



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

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE APOYO PARA LA ADMINISTRACION DE
CAPACIDAD EN LA INDUSTRIA DE ARRIENDO DE EQUIPOS INDUSTRIALES**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN GESTION DE
OPERACIONES**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO
CIVIL MECANICO**

JUAN PABLO TORRES CABRERA

**PROFESOR GUÍA:
SR. RODRIGRO PASCUAL JIMENEZ**

**MIEMBROS DE LA COMISION:
SR. PABLO ANDRES REY
SR. ANDRES WEINTRAUB POHORILLE
SR. RAFAEL HASBUN JACIR**

**SANTIAGO DE CHILE
2007**



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

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE APOYO PARA LA ADMINISTRACION DE
CAPACIDAD EN LA INDUSTRIA DE ARRIENDO DE EQUIPOS INDUSTRIALES**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN GESTION DE
OPERACIONES**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO
CIVIL MECANICO**

JUAN PABLO TORRES CABRERA

**PROFESOR GUÍA:
SR. RODRIGRO PASCUAL JIMENEZ**

**MIEMBROS DE LA COMISION:
SR. PABLO ANDRES REY
SR. ANDRES WEINTRAUB POHORILLE
SR. RAFAEL HASBUN JACIR**

**SANTIAGO DE CHILE
NOVIEMBRE 2007**

RESUMEN DE LA TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO CIVIL MECÁNICO Y GRADO DE
MAGISTER EN GESTIÓN DE OPERACIONES
POR: JUAN PABLO TORRES C.
PROF. GUIA: SR. RODRIGO PASCUAL
FECHA: 19/11/2007

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE APOYO PARA LA ADMINISTRACIÓN DE CAPACIDAD EN LA
INDUSTRIA DE ARRIENDO DE EQUIPOS INDUSTRIALES”

En este trabajo se aborda el problema de cómo obtener mayor rentabilidad a través de una correcta gestión de capacidad sujeta a un determinado nivel de servicio. El problema involucra a toda la organización y es común a industrias con capacidad limitada y, productos intangibles y perecibles.

Se diseña un sistema de apoyo a decisiones inspirado en una visión sistémica y transversal a la organización cuyos principales elementos constitutivos son: *producto*, *tecnología* y *recursos humanos*. En el elemento *producto*, la metodología propuesta contempla: (i) el diagnóstico de la situación actual, (ii) análisis, definición e implementación de indicadores de desempeño y; (iii) evaluación de oportunidades a través de modelos de simulación. En el elemento *tecnología*, se contempla el levantamiento de un modelo conceptual del sistema y la definición de la arquitectura que permita mantener el sistema de apoyo propuesto en el tiempo. En el elemento *recursos humanos*, se adopta la metodología de la Matriz de Cambio para identificar las barreras y las facilidades al implementar el sistema propuesto.

El estudio de caso considera la empresa de arriendo de equipos industriales AB S.A. Como principales resultados se encuentran: (i) una estrategia en balance oferta-demanda que considera la reducción de la capacidad en 42 equipos, de los 696 que existen actualmente (ii) un retorno esperado de 67.000 USD anuales por concepto de la reducción sugerida, monto que representa un 7% de la recaudación anual (iii) implementación de una plataforma de análisis de capacidad. Los resultados parciales son: a) Se estima que la capacidad ociosa representa un 36% de la recaudación anual; b) Los costos asociados a mantenimiento alcanzan el 12% de la recaudación anual; c) Se categorizan 70 equipos críticos bajo distintos indicadores de desempeño; d) Se identifica la información crítica para la implementación de la base de datos equipos-estado y clientes. e) Se recomienda crear dentro de la organización el cargo de analista en gestión de capacidad cuyas responsabilidades serán: implementación de la metodología, integración de las áreas servicios, sistemas y gestión de operaciones.

El principal logro del sistema propuesto radica en su perspectiva integradora, ya que exige una visión transversal de la empresa. El sistema permite que a futuro puedan incorporarse fácilmente técnicas de gestión de activos y gestión de retorno en ámbitos como inventario, calidad, segmentación y fidelización de clientes.

Índice de Contenidos

I. INTRODUCCIÓN	1
I.1. Motivación	1
I.2. Enfoque	2
I.2.1. Procesos e Innovación de Procesos en una empresa	2
I.2.2. Elementos constitutivos de la visión de procesos.....	3
I.3. Antecedentes	4
I.4. Formulación del problema	4
I.5. Comentarios generales	6
II. OBJETIVOS	7
II.1. Objetivos Generales	7
II.2. Objetivos Específicos	7
III. MARCO CONCEPTUAL	8
III.1. Qué se entiende por mejoras	9
III.2. Asset Management	9
III.3. Revenue Management	10
III.4. Administración de capacidad	11
III.5. Gestión de Mantenimiento	12
III.5.1. Terminología	12
III.5.2. Paradigmas de mantenimiento clásicos	13
III.5.3. Mantenimiento: proceso de negocio y su vínculo con sistemas de información	18
III.5.4. Mantenimiento como un sistema	19
III.5.5. Métrica del desempeño de los sistemas de mantenimiento.....	19
III.5.6. Fallas	21
III.6. Otras perspectivas	23
III.6.1. Risk Based Inspection (RBI)	23
III.6.2. Total Quality Management (TQM)	23
III.6.3. Root Cause Analysis (RCA).....	23
III.6.4. Globalización, Results Oriented Management (ROM) y Business Centered Maintenance (BCM)	23
III.7. Comentarios generales	24
IV. METODOLOGÍA	25
IV.1. Producto	26
IV.1.1. Análisis de comportamiento: capacidad y demanda.....	26
IV.1.2. Definición de indicadores.....	27
IV.1.2.1. Definición.....	27
IV.1.2.2. Análisis de los indicadores	30
IV.1.3. Modelo de simulación	30
IV.2. Tecnología	31
IV.2.1. Modelo de conocimiento	31
IV.2.2. Modelo de análisis OLAP	32
IV.2.2.1. Sistemas de información	32
IV.2.2.2. Base de datos multidimensionales, sistemas OLAP y vistas de datos	32
IV.2.2.3. Modelo datos MOLAP y sus beneficios.....	34
IV.2.2.4. Pasos para diseñar e implementar un cubo de datos MOLAP	34
IV.2.2.5. Software PALO	35
IV.3. Recurso Humano	35
IV.3.1. Partes de una matriz de cambio	35
IV.3.2. Construcción de una matriz de cambio.....	36
IV.3.3. Interpretando la matriz de cambio	37
V. CASO DE ESTUDIO	38
V.1. Empresa AB y el negocio de arriendo de equipos industriales	38
V.2. Sistema	39
V.2.1. Equipos	39
V.2.2. Centros de arriendo.....	39

V.2.3. Taller de mantenimiento y bodega.....	39
V.2.4. Clientes.....	40
V.2.5. Negocio y tarifas.....	40
V.3. Dinámica del sistema	40
V.3.1. Políticas de intervención en taller de mantenimiento	40
V.3.2. Estados de los equipos	40
V.4. Diagnóstico inicial en la empresa AB.....	41
VI. ALCANCES	43
VII. ACTIVIDADES DEL PROYECTO.....	44
VII.1. Actividad 1: Análisis de la situación actual y Modelo de conocimiento.....	44
VII.2. Actividad 2: Definición de indicadores.....	45
VII.3. Actividad 3: Modelo de análisis OLAP	45
VII.4. Actividad 4: Modelo de simulación	45
VII.5. Actividad 5: Recomendaciones y barreras en la implementación del sistema	45
VIII. DESARROLLO DE RESULTADOS.....	46
VIII.1. Actividad 1: Modelo de conocimiento e identificación de la situación actual.....	46
VIII.1.1. Análisis de comportamiento y la evolución de la capacidad y la demanda	46
VIII.1.2. Modelo de conocimiento basado en UML.....	58
VIII.2. Actividad 2: Definición de indicadores.....	61
VIII.2.1. Indicadores.....	61
VIII.2.2. Análisis de correlación	62
VIII.2.3. Uso de los índices propuestos.....	63
VIII.3. Actividad 3. Modelo de análisis OLAP.....	66
VIII.3.1. Definición de área temática	66
VIII.3.2. Definición de fuente de depósito	66
VIII.3.3. Definición de destino de depósito.....	67
VIII.3.4. Definición de movimiento y transformación de datos	67
VIII.3.5. Definición de esquema estrella	67
VIII.3.6. Carga de datos al cubo MOLAP	71
VIII.3.7. Ejemplo de uso del cubo MOLAP	74
VIII.4. Actividad 4: Modelo de simulación	77
VIII.4.1. Formulación del problema	77
VIII.4.2. Especificación del modelo.....	79
VIII.4.3. Construcción del modelo	80
VIII.4.4. Simulación e integración como soporte de decisiones.....	98
VIII.4.5. Conclusiones para la etapa diseño de un modelo de simulación.....	105
VIII.5. Actividad 5: Recomendaciones y barreras en la implementación del sistema.....	106
VIII.5.1. Matriz de cambio	106
VIII.5.2. Barreras y recomendaciones	111
IX. Puntos Finales	114
IX.1. Modelo de conocimiento y procesos relevantes	114
IX.2. Diagnóstico inicial.....	115
IX.3. Indicadores de desempeño.....	116
IX.4. Monitoreo en línea	117
IX.5. Modelo de simulación	118
IX.6. Estrategia de cambio	119
X. Conclusiones y comentarios.....	120
X.1. Conclusiones.....	120
X.2. Trabajo Futuro	121
XI. Anexos.....	122
XII. Bibliografía.	127

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Elementos constitutivos de la visión de procesos.....	3
Ilustración 2: Marco Conceptual	8
Ilustración 3: Dinámica entre los paradigmas de mantenimiento	22
Ilustración 4: Metodología contemplada	25
Ilustración 5: Planillas tradicionales.....	33
Ilustración 6: Cubo de datos	33
Ilustración 7: Operaciones con los cubos de datos	34
Ilustración 8: Partes de una matriz de cambio	36
Ilustración 9: Organigrama de la empresa AB	39
Ilustración 10: Familias de equipos	39
Ilustración 11: Centros de arriendo	39
Ilustración 12: Tramos de tarifas	40
Ilustración 13: Transición y estados de los equipos	41
Ilustración 14: Figura esquemática del desarrollo del proyecto	44
Ilustración 15: Modelo de conocimiento e identificación de la situación actual	46
Ilustración 16: Evolución de la capacidad.....	47
Ilustración 17: Evolución de la participación en la capacidad.....	47
Ilustración 18: Evolución de la demanda.....	48
Ilustración 19: Evolución de la participación en la demanda	49
Ilustración 20: Evolución de la tasa de arriendos	50
Ilustración 21: Diferencia entre capacidad y demanda.....	51
Ilustración 22: Histograma de estados equipos GB	52
Ilustración 23: Histograma de estados equipos GD.....	53
Ilustración 24: Histograma de estados equipos MB	54
Ilustración 25: Histograma de estados equipos MD	55
Ilustración 26: Histograma de estados equipos SC.....	56
Ilustración 27: Histograma de estados equipos SE.....	57
Ilustración 28: Modelo de conocimiento	59
Ilustración 29: Definición de indicadores.....	61
Ilustración 30: Correlaciones entre indicadores	63
Ilustración 31: Modelo de análisis OLAP	66
Ilustración 32: Diagrama estrella del cubo análisis	68
Ilustración 33: Diagrama estrella del cubo histograma	70
Ilustración 34: Dimensiones del cubo análisis.....	71
Ilustración 35: Jerarquía en las dimensiones del cubo análisis.....	72
Ilustración 36: Interfaz para la carga de datos	73
Ilustración 37: Interfaz de selección de dimensiones del cubo análisis	74
Ilustración 38: Selección de dimensiones: lugar, equipos y estado del cubo análisis.....	75
Ilustración 39: Resultado de la selección de dimensiones del cubo análisis.....	75
Ilustración 40: Diseño de un modelo de simulación.....	77
Ilustración 41: Familia de equipos.....	78
Ilustración 42: Tramos de tarifas	78
Ilustración 43: Transición y estados de los equipos	80
Ilustración 44: Diseño inicial.....	80
Ilustración 45: Red principal	83
Ilustración 46: Proceso de llegada de clientes	84
Ilustración 46: Filtros al proceso de Poisson: dónde y en que familia se da la transición al estado arriendo	85
Ilustración 47: Subred datos para el caso norte	86
Ilustración 48: Identificación de familia y actualización de los contadores	86
Ilustración 49: Subred tramos para la instancia “tgb”	87
Ilustración 50: Subred tramos: definición de la cantidad de días de arriendo	87
Ilustración 51: Nodo assign: definición de los costos de reparación y tipo de falla	88
Ilustración 52: Subred de asignación de recurso: FGB.....	89

Ilustración 53: Verificación de disponibilidad de recurso	90
Ilustración 54: Subred revisión en la subred de asignación de recurso	91
Ilustración 55: Subred revisión.....	92
Ilustración 56: Subred revisión en la subred de asignación de recurso	93
Ilustración 57: Nodos devolución, assign1, assign2 en la subred asignación de recurso	93
Ilustración 58: Nodo “free2” en la subred de asignación de recurso	94
Ilustración 59: Nodo “free” en la subred de asignación de recurso	94
Ilustración 60: Reasignación de recursos en la subred de asignación de recurso	95
Ilustración 61: Registro de negocios perdidos en la subred de asignación de recurso.....	95
Ilustración 62: Subred taller: “arreglos” en la subred asignación de recurso	95
Ilustración 63: Subred taller	96
Ilustración 64: Porción la red principal donde las entidades salen de la subred asignación de recursos	97
Ilustración 65: Nodo write de la red principal para entidades que pasan por nodo salida	98
Ilustración 66: Nodo write de la red principal para entidades que pasan por nodo reparadas	98
Ilustración 67: Impacto de alternativas de reducción en la cantidad de equipos de la familia GB.....	101
Ilustración 68: Impacto de alternativas de reducción en la cantidad de equipos de la familia GD.....	102
Ilustración 69: Impacto de alternativas de reducción en la cantidad de equipos de la familia MB	103
Ilustración 70: Impacto de alternativas de reducción en la cantidad de equipos de la familia MD	103
Ilustración 71: Impacto de alternativas de reducción en la cantidad de equipos de la familia SC.....	104
Ilustración 72: Impacto de alternativas de reducción en la cantidad de equipos de la familia SE.....	105
Ilustración 73: Recomendaciones y barreras para la implementación del sistema dentro de la organización.....	106
Ilustración 74: Matriz horizontal	107
Ilustración 75: Matriz vertical	108
Ilustración 76: Interacciones en la matriz horizontal.....	109
Ilustración 77: Interacciones en la matriz vertical	110
Ilustración 78: Matriz de transición.....	111
Ilustración 79: Indicadores de desempeño.....	116

Índice de Tablas

Tabla 1: Datos normalizados respecto al promedio anual de recaudaciones - Medidas de diagnóstico	41
Tabla 2: Capacidad actual y su respuesta como niveles de servicio para registros históricos	58
Tabla 3: Matriz de correlaciones (R2)	62
Tabla 4: Equipos críticos para cada uno de los indicadores propuestos en el horizonte de estudio	64
Tabla 5: Equipos críticos para cada uno de los indicadores propuestos en el último semestre del horizonte de estudio	64
Tabla 6: Valores promedio de los indicadores de desempeño en horizonte de tiempo de estudio	65
Tabla 7: Valores promedio de los indicadores de desempeño para los últimos seis meses del horizonte de tiempo de estudio	65
Tabla 8: Promedios anuales para las variables output conforme información histórica	99
Tabla 9: Promedios anuales para las variables output conforme al modelo	100
Tabla 10: Desviación estándar porcentual observada	100
Tabla 11: Estrategia en reducción de cantidad de equipos	105
Tabla 12: Panorama de eventuales áreas de mejora – análisis sobre dos años	115
Tabla 13: Panorama de eventuales áreas de mejora – análisis sobre últimos seis meses	115
Tabla 14: Alternativas de reducción de equipos considerando análisis en horizonte de dos años	117
Tabla 15: Alternativas de reducción de equipos considerando análisis en horizonte de últimos 6 meses	117
Tabla 16: Estrategia en reducción de cantidad de equipos	118
Tabla 17: Valores promedio del efecto de la estrategia en reducción de cantidad de equipos	118
Tabla 18: Tabla de probabilidades de arriendo por lugar geográfico	122
Tabla 19: Tabla de probabilidades de arriendo por familia, meses y lugar geográfico	122
Tabla 20: Tabla de probabilidades de tramos de cobro por concepto de arriendo por familia y meses	124
Tabla 21: Tabla de probabilidades de tipo de falla por familias	126
Tabla 22: Tabla de rangos de costos de intervención en pesos por tipo de falla por familias	126
Tabla 23: Tabla de probabilidad de falla por familia y tiempo	126

Agradecimientos

A Dios por su apoyo y compañía.

A mi patria, Bolivia, por darme el privilegio de ser boliviano.

A Chile, por su acogida y su gente hermosa.

A mis padres por su ejemplo e incondicionalidad.

A mis hermanos: Augusto, Alba Daniela y Maria René por su amor.

A Alejandra por su cariño.

A mis amigos por todos los grandes momentos.

A la Universidad de Chile y a mis profesores por su vocación y entrega.

Acrónimos

Ai	Disponibilidad inherente
Ao	Disponibilidad operacional
BCM	Mantenimiento centrado en negocios
GB	Generadores bencineros
GD	Generadores diesel
ID	Índice de disponibilidad
IEC	Índice de equipos costosos
IF	Índice de falla
IM	Índice de manipulación
IO	Índice de ocupación
IP	Índice de penetración
IPI	Índice de políticas de intervención
IR	Índice de retorno
MB	Motosoldadoras bencineros
MD	Motosoldadoras diesel
MDT	Tiempo medio de los tiempos de reposo causados por mantenimiento o por la falta de mantenimiento
MTBM	Tiempo medio entre reparaciones
MTTF	Tiempo medio entre fallas
MTTR	Tiempo medio de reparación
PID	Controladores proporcionales integrales y diferenciales
OEE	Efectividad global de los equipos
RBI	Inspección basa en el riesgo
ROM	Administración enfocada a resultados
SC	Servicio convertidor
SE	Servicio eléctrico
TQM	Administración de calidad total
UML	Lenguaje de modelamiento unificado

I. INTRODUCCIÓN

I.1. Motivación

Las tendencias de mercado en los últimos años han hecho patentes la necesidad de una mejora sustancial y sostenida de los resultados operacionales y financieros en la empresa, lo que ha llevado a la búsqueda y aplicación de nuevas y más eficientes técnicas y prácticas de gestión y medición del desempeño de los negocios.

Esta fuerte presión impulsa a todos los sectores involucrados a explorar áreas de oportunidades para mejorar el rendimiento de los activos físicos. Esta actividad es la que se define como Asset Management o gerenciamiento de los activos. Los primeros hitos en esta actividad es lograr eficacia y eficiencia en la administración de capacidad y en la gestión de mantenimiento¹, generalmente a través de herramientas y metodología que permitan el uso indicadores técnicos-financieros que por un lado ayudan a identificar cuáles son las estrategias que se deben seguir para alcanzar la visión del negocio en una empresa, y por otro lado que permitan expresar dichas estrategias en objetivos específicos cuyo logro sea medible a través de un conjunto de indicadores del negocio.

La administración de capacidad es un tema muy relevante en la industria de arriendos puesto que balancear la oferta con la demanda es crucial para el éxito del servicio y para cumplir con las expectativas del cliente. El no lograr este equilibrio resultará en costos más altos, donde existirá sobrecapacidad o una calidad reducida del servicio, en tiempos de entrega más largos o negocios perdidos cuando la capacidad no sea la suficiente. Más aún, la gestión del mantenimiento se encuentra íntimamente vinculada a esta dinámica de capacidad, ya que influye directamente en la disponibilidad del producto.

En ésta industria una característica habitual es operar con una capacidad limitada que no se puede modificar inmediatamente, y el producto: “disponibilidad de equipo para arrendar”, no se puede inventariar ya que no se trata de un producto tangible. De esta manera, generalmente se cuenta con un número fijo de unidades de producto perecible, es decir, si un equipo no fue arrendado el valor comercial del producto “disponibilidad de equipo para arrendar” se pierde.

Al no poder contar con inventario para hacer frente a las variaciones de la demanda es posible observar periodos en que la capacidad esta subutilizada y otros en que la capacidad no es suficiente para satisfacer la demanda. Así, el lograr balancear la oferta con la demanda se vuelve una tarea fundamental para mejorar la rentabilidad de estas empresas, tarea que se puede enfrentar modificando la oferta de producto, mejorando la eficiencia procesos críticos y discriminando la demanda. Estos y otros mecanismos para lograr este ajuste son descritos tanto a nivel táctico como operacional en Bitran y Mondschein (1997).

Es más, la evolución natural de la administración de capacidad en industrias en que es posible discriminar a los clientes y balancear adicionalmente la oferta y la demanda a través del manejo de los precios permiten aumentar los ingresos percibidos de manera significativa. Esto resulta fundamental para la supervivencia de las empresas en un escenario fuertemente

¹ Asset Management Processes & Tools, Institute of Asset Management, 2001

competitivo. La disciplina que aborda este problema en su aspecto más general se denomina Revenue Management, y puede definirse como el arte de maximizar los ingresos provenientes de una capacidad limitada de un producto perecible por medio de vender cada unidad al cliente correcto, en el momento correcto y al precio correcto.

La industria de arriendo de equipos industriales se presta para la eventual discriminación de clientes y el balanceo entre oferta y demanda a través del manejo de precios; sin embargo para evolucionar hasta este punto es necesario primero conocer, administrar y monitorear la capacidad existente.

Una visión integral del negocio permite a las organizaciones tomar decisiones, hacer seguimiento y establecer planes de acción para poder alcanzar el objetivo de la empresa. El diseño del sistema de apoyo en la administración de capacidad persigue proveer al tomador de decisiones dicha visión a partir de indicadores técnicos y financieros, o por sus siglas en inglés KPI².

I.2. Enfoque

Las organizaciones y empresas son tan eficaces y eficientes como lo son los procesos que realizan. Las empresas animadas por las nuevas normativas de gestión de calidad ISO 9000:2000 han tomado conciencia de esto y se plantean cómo mejorar los procesos y evitar algunos males habituales como pueden ser:

- Bajo rendimiento
- Subprocesos inútiles debido a la falta de visión global del proceso
- Reprocesamiento

Ante la existencia de estos problemas o ante la implantación de un nuevo sistema de gestión de procesos o sistema de planificación de recursos empresariales, se debe previamente comprender qué es un proceso y cómo éste forma parte integral de las empresas e instituciones, cuales quiera sea su naturaleza.

I.2.1. Procesos e Innovación de Procesos en una empresa

Las definiciones más citadas corresponden a Davenport, “un proceso es un orden específico de actividades a través del tiempo y lugar, con un comienzo y fin, inputs y outputs: una estructura para la acción” y a Hammer & Champy: “un proceso de negocios es un conjunto de actividades que toman uno o más tipos de inputs y crean un output que es de valor para un cliente”.

La creación de un vínculo fuerte y sostenido entre la estrategia y la forma de hacer el trabajo es un reto permanente en todas las organizaciones. La innovación de procesos sólo es significativa cuando mejora una empresa de forma coherente con su estrategia.

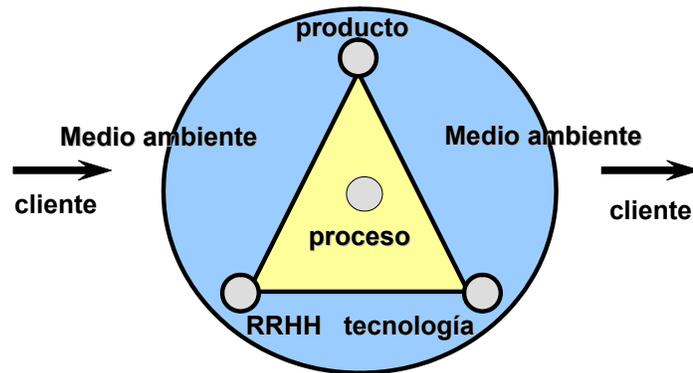
² De sus siglas en inglés: Key Performance Indicator, indicadores de rendimiento.

La innovación de procesos -un nuevo enfoque revolucionario que funde la tecnología de la información con la gestión de recursos humanos- puede mejorar dramáticamente el rendimiento de la empresa. Hammer y Champy definen a la innovación de procesos como “la reconcepción fundamental y el rediseño radical de los procesos de negocios para lograr mejoras dramáticas en medidas de desempeño tales como en costos, calidad, servicio y rapidez”³

Por lo tanto se trata de una reconcepción fundamental y una visión holística de una organización. Preguntas como: ¿por qué hacemos lo que hacemos? y ¿por qué lo hacemos como lo hacemos?, llevan a interiorizarse en los fundamentos de los procesos de trabajo.

I.2.2. Elementos constitutivos de la visión de procesos

Ilustración 1: Elementos constitutivos de la visión de procesos



Los elementos constitutivos de la visión de procesos son:

- Producto. Sólo se puede producir un buen producto si se conocen: sus especificaciones, sus parámetros de calidad y su costo. Un cliente es por quien existe un proceso, es a quien se debe proporcionar un determinado producto.
- Tecnología. No es suficiente con incorporarla. Puede transformarse en un problema si los otros factores de riesgo no han sido considerados prioritariamente. Debe estar integrada y servir como elemento de coordinación e integración entre las áreas-funciones administrativas y los procesos de negocios.
- Recurso Humano. Las organizaciones (y sus procesos) cambian cuando la gente cambia. Más que capacitarlos es necesario entrenarlos para que adquieran nuevas competencias en:
 - trabajo en equipo
 - responsabilidad profesional
 - el cumplimiento de los compromisos (funcionales y con procesos de negocios)

³ Institute of Industrial Engineers, "Más allá de la Reingeniería", CECSA, México, 1995, p.4

- comunicación para la acción

I.3. Antecedentes

La experiencia ha demostrado que en industrias intensivas en capital, tales como la industria aérea, la minería, hotelería, y la industria de arriendos, entre otras, el cumplimiento de los objetivos y la rentabilidad están sujetos a: la gestión óptima de activos físicos, al balanceo entre la capacidad disponible y la demanda, y a la discriminación de precios que se puede aplicar a la oferta.

Existen varios estudios desde las perspectivas de la gestión de activos físicos, también conocida como Asset Management, y de Revenue Management que recopilan las experiencias exitosas en aumento de márgenes a través de la aplicación de determinadas técnicas transversales a la organización, a modo de citar un par de ellas, están:

- Rotshtein, 1971, quien propone un modelo de sobreventa para la industria aérea y la industria hotelera.
- Littlewood, 1972, quien determinó una regla para determinar la aceptación de clientes a través de tarifas distintas.
- Jardine, 1973, en base a la investigación en gestión de activos físicos se proponen modelos para diversas áreas: militar, minería, transporte, petroquímica, etc.
- Orkin, 1988, implementó técnicas desarrolladas en la industria aérea en la industria hotelera que permiten obtener mayores márgenes a través de la correcta gestión de la capacidad instalada.
- Weatherford y Bodelly, 1992, descripción de elementos para clasificar problemas en Asset Management con productos perecibles.
- Strasser, 1996, desarrollo en la industria de ferrocarriles políticas cuyos objetivos principales son la reducción de costos y la mejora del rendimiento del servicio.
- Gerarghty y Johnson, 1997, desarrollaron técnicas en el manejo de capacidad para la industria de arriendo de automóviles y su impacto en la empresa norteamericana National Car Rental.

I.4. Formulación del problema

Para formular el problema será necesario incorporar una serie de conceptos, simplificaciones y supuestos, en relación a las distintas variables y dimensiones del estudio.

El problema abordado en este trabajo consiste en obtener mayores márgenes en una empresa de arriendo de equipos industriales a través de políticas que permitan balancear la capacidad ofertada con la demanda observada, sujeto a la restricción que tiene la empresa de ofrecer un determinado nivel de servicio. La característica particular de la industria de arriendo de equipos industriales: producto⁴ es intangible y perecible, determina que la administración de la capacidad y los procesos asociados a la disponibilidad del producto sean críticos para el negocio⁵. Lo anterior exige un visión holística y transversal de la organización y del problema.

Bajo el supuesto que las organizaciones y empresas son tan eficaces y eficientes como lo son los procesos que realizan y dado que no se pueden abarcar todas las posibles dimensiones del problema⁶, se opta por un enfoque orientado a procesos cuyos elementos constitutivos son: producto, tecnología y recurso humano.

Las actividades que se pretenden soportar en el contexto del problema mencionado son:

- Renovar la cantidad de equipos a fin de mantener oferta actual.
- Incorporar cierta cantidad de equipos a fin de aumentar la oferta actual.
- Disminuir la cantidad de equipos o alternativamente discontinuar su oferta.
- Identificar procesos críticos.

El escenario ideal para el tomador de dichas decisiones es contar con la mejor y mayor cantidad de información, de esta manera se entiende podrá tomar decisiones más acertadas. Por lo tanto en la medida que él pueda:

- Monitorear la intensidad de arriendo
- Categorizar los equipos que constituyen la capacidad ofertada
- Identificar equipos críticos, basados en criterios tales como:
 - Equipos con repuestos costosos.
 - Equipos que han fallado más veces.
 - Equipos con mayor tiempo de intervención, los que congestionan el taller de mantenimiento.
 - Equipos que tienen los mayores costos acumulados en intervención.
 - Equipos con bajo retorno en inversión.
 - Equipos con poca aceptación de parte de la demanda; no los arriendan frecuentemente.

⁴ Disponibilidad de equipo para arrendar

⁵ Gerarghty, M. K., Johnson, E. *Revenue Management saves National car rental*

⁶ Recurso de tiempo para desarrollar el proyecto es limitado

- Analizar información histórica.
- Proponer políticas en administración de capacidad orientadas a balancear oferta y demanda.
- Evaluar el impacto el impacto de las políticas planteadas, y seleccionar las que mejor cumplan con el objetivo principal: aumentar el margen.

Podrá cerrar un círculo virtuoso en el soporte de decisiones para manejar la capacidad existente, todo esto bajo en una perspectiva holística y eficaz.

I.5. Comentarios generales

La revisión de la literatura relacionada con el problema tanto en su enfoque como en las soluciones exitosas para instancias determinadas permite tener un panorama general de las facetas del problema. Se observa que la forma en la que se pretende desarrollar el proyecto no tiene un símil directo, ya que no se encontraron experiencias documentadas que combinen los siguientes tópicos: aumentar margen mediante el balance entre oferta y demanda, enfoque en procesos e industria de arriendo de equipos industriales. Por lo que resulta interesante ver si es posible adaptar soluciones existentes y proponer nuevas alternativas.

En particular, se aplicará el diseño propuesto a un caso en particular: la empresa de arriendos AB. El objetivo de dicha aplicación es poner a prueba el sistema propuesto y recoger resultados cuantitativos y cualitativos, así como identificar las principales barreras en la implementación del enfoque considerado.

II. OBJETIVOS

II.1. Objetivos Generales

Diseñar un sistema de apoyo para la administración de capacidad en la industria de arriendo de equipos industriales.

II.2. Objetivos Específicos

Levantar un modelo de conocimiento: información y procesos relevantes en administración de capacidad.

Identificar el comportamiento actual de la oferta y demanda, así como la intensidad de uso de la capacidad.

Generar un sistema de indicadores que permitan conocer y monitorear condiciones afines a la administración de capacidad.

Analizar la dinámica del sistema que se observa en la organización en función de los indicadores propuestos con el objetivo de identificar oportunidades.

Evaluar el impacto de las oportunidades identificadas.

Realizar un diagnóstico en base a los resultados obtenidos.

Proponer líneas de acción que ayuden a mejorar la gestión en la administración de capacidad.

III. MARCO CONCEPTUAL

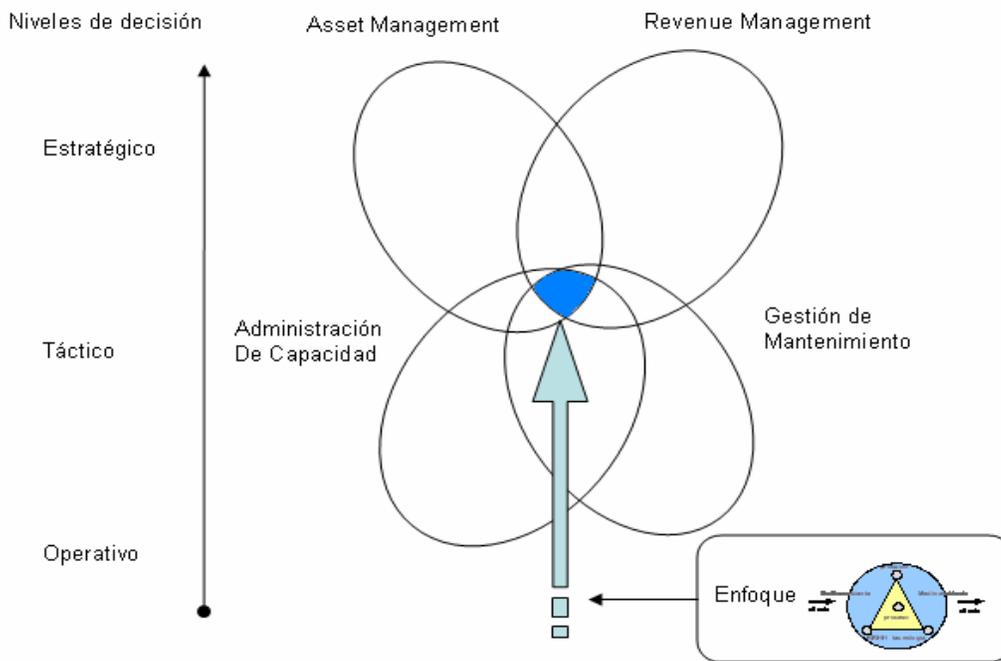
Las empresas y organizaciones en su totalidad reconocen la necesidad de un plan maestro que involucre una perspectiva holística de manera de poder difundir la estrategia de la gerencia a todos los niveles de la organización. Nadie negaría que herramientas como: BPR, RCM, BCM, RBI, TPM, TQM, Six-Sigma, Administración de Capacidad, FMECA, RCA, entre otras contienen un tremendo potencial, y la evidencia ha demostrado que una correcta implementación de cada una de estas se ha traducido en cada caso en mejoras en eficacia y en eficiencia.

Estas herramientas comparten muchos elementos en común, y cada una se diferencia por fortalezas y debilidades que hacen que algunas de ellas se ajusten mejor a determinados casos. La inquietud de hoy en día es cómo integrar estas soluciones individuales y generar un conjunto de mejores prácticas de manera sostenible y personalizada a la realidad de la organización, y evitar pasar de una “buena herramienta” a otra. En síntesis se busca cómo establecer una planificación lo suficientemente dinámica y de carácter acumulativo que permita echar mano de las fortalezas de cada una de las herramientas disponibles.

Tal visión exige una combinación de excelencia técnica, optimización comercial y una buena estrategia, todo esto al mismo tiempo, para evitar el ciclo de motivación y frustración que se experimenta al abrazar ciegamente alguna de las soluciones individuales expuestas.

El marco conceptual del trabajo desarrollado se puede resumir a través de la siguiente ilustración.

Ilustración 2: Marco Conceptual



A través de un enfoque orientado a procesos se pretende desarrollar un sistema que soporte decisiones a nivel táctico que combine técnicas en administración de capacidad y gestión de mantenimiento y que sienta las bases para la incorporación futura de herramientas estratégicas en: Asset Management y Revenue Management.

III.1. Qué se entiende por mejoras

Los objetivos de una organización se encuentran en general en conflicto debido a que las prioridades de cada departamento son diferentes. Construir una estrategia integradora que permita incluir aquellas soluciones que muevan a la organización en la dirección deseada exige ordenar estas prioridades y aquello que persiguen. Afortunadamente existe una elegante forma de realizar este ordenamiento, es una estructuración formulada por el proyecto europeo MACRO⁷ y básicamente expone que el conjunto de prioridades pueden ser enmarcadas en cinco maneras genéricas:

- Gestión de confiabilidad y riesgo: Seguridad, riesgos económicos, confiabilidad de los equipos, etc.
- Eficiencia: Costos de operación, productividad, calidad, input-for-ouput, demanda, etc.
- Longevidad: Pérdida de capital, depreciación, obsolescencia tecnológica, etc.
- Conformidad: Normas, estándares, expectativas del cliente, etc.
- Factores de imagen. Percepción de imagen pública, impresión del consumidor, responsabilidad social, ambiente de trabajo, etc.

Desde esta perspectiva una manera de cuantificar las mejoras sobre cualquier actividad es observar el impacto total sobre el negocio, es decir la suma de los atributos anteriores.

III.2. Asset Management

Durante el siglo XX la industria ha visto pasar un sin número de soluciones en administración, cada una de estas en mayor o menor medida ha generado brechas respecto a sus predecesoras, generando ventajas comparativas; sin embargo ninguna de estas ha sido demasiado flexible para permitir una solución totalmente personalizada, es más la implementación de diversas soluciones en general han sido traumáticas y muchos intentos han fracasado debido a lo dogmático que llegan a ser.

Asset Management, es una visión del negocio que se está utilizando cada vez más, ya que provee la capacidad de describir la naturaleza holística e integrada de las mejoras,

⁷ Proyecto que reúne a una variedad de industrias europeas y que han coloborado durante más de 5 años en un programa orientado a desarrollar técnicas para la evaluación cuantitativa de costos, riesgos y rendimiento.

extendiéndose sobre: la reorganización estructural, complementariedad entre las inversiones y el rendimiento, análisis y decisiones durante el ciclo de vida de los productos y el manejo de los riesgos. La principal fortaleza de esta, es que da un espacio para generar un estrategia suficientemente flexible que incorpore las fortalezas de las soluciones en gestión que mejor de adecuen a la organización, sin perder de vista los objetivos que plasmen la estrategia y como medirlos.

Las características de la industria de arriendos de equipos industriales: alta inversión, capacidad limitada, producto perecible e intangible, necesidad constante de disponibilidad; hacen que el conflicto entre las áreas sea intenso, por lo que cualquier intento de mejora debe tener una visión holística si persigue el éxito, de otra manera no logrará el compromiso ni la colaboración necesaria de áreas no directamente beneficiadas. El Asset Management parece integrar elementos estratégicos que logren la sinergia de las capacidades y habilidades de las distintas áreas de la organización de acuerdo a estudios realizados por J. Vanier, 2001, “Why industry needs asset management tools”, y A.K.S. Jardine, 1973, “Maintenance, Replacement and Reliability”.

III.3. Revenue Management

El Revenue Management es una técnica de gerenciamiento que está innovando en las estrategias de fijación de precios en actividades tan dispares como la hotelería, el alquiler de automóviles y hasta las emisoras de televisión. En el sector del transporte aéreo, se lo emplea con el objetivo de viajar con los aviones más llenos y más rentables, soporta las decisiones en: determinación los precios, definición de tarifas con descuento, definición de programas de millaje, determinación de temporadas altas y bajas en diferentes países, entre otras.

En industrias dónde se observe una capacidad finita, la que constituye la oferta, el producto sea intangible y perecible, y es posible discriminar a los consumidores por medio de programas especiales, tarifas corporativas o restricciones, contar con buenas estructuras de precios y políticas de control de reservas y admisiones tienen un gran impacto en los ingresos. Los intentos que intentan dar estas respuestas se enmarcan dentro del Revenue Management, la que puede entenderse como el arte de maximizar el ingreso provenientes de una capacidad limitada de un producto perecible por medio de vender cada unidad al cliente correcto, en el momento correcto y al precio correcto.

La industria de arriendo de equipos industriales comparte las características de aquellas industrias dónde la aplicación de Revenue Management ha sido exitosa. Este antecedente constituye una invitación preferencial para que la industria de arriendos explore las alternativas que ofrece el Revenue Management, tal cómo se implementó exitosamente en la industria de arriendo de automóviles: Gerarghty y Johnson, 1997, desarrollaron técnicas en el manejo de capacidad para la industria de arriendo de automóviles y su impacto en la empresa norteamericana National Car Rental.

III.4. Administración de capacidad

“Administración de capacidad es la conjugación de dos disciplinas: administración de rendimiento y planeación de capacidad.[...] Y se la puede definir como el aprovisionamiento continuo de niveles de servicio aceptables y consistentes a un costo conocido y controlado”

Tim Foxon, A Road Map to Success in Capacity Management, 2003.

De acuerdo a la definición previa los objetivos de la administración de capacidad son:

- Niveles de servicio aceptables. Esto es, dado un nivel de recursos y una intensidad de uso, definir el nivel de servicio que satisfaga a los clientes y a la empresa.
- Aprovisionamiento continuo. Significa que se debe asegurar un rendimiento satisfactorio en el horizonte de tiempo de interés.
- Costo conocido y controlado. Debe existir un mecanismo de monitoreo y control de los recursos.

Las aplicaciones en administración de capacidad con mayor símil al caso de estudio corresponden aquellas investigaciones sobre administración de capacidad en la industria de arriendo de automóviles. El estudio de administración de capacidad en la industria de arriendos de automóviles se remonta a mediados de los años noventa, con los trabajos de Gerahty y Johnson y Carroll y Grimes en National Car Rental. El contexto de dichos estudios corresponde a una época de crisis del sector debido a los precios del combustible, a la aparición de actores asiáticos en el mercado automovilístico de los Estados Unidos, y cómo adaptar al campo del arriendo de automóviles el éxito que tuvieron las líneas aéreas al aplicar técnicas de Revenue Management para aumentar sus ingresos.

El éxito de algunas de las aplicaciones de Revenue Management, que en el caso de American Airlines la llevó a ganar más de mil millones de dólares en 1997, Cook (1998), ha contribuido a que esta técnica haya sido adaptada a numerosas industrias en los últimos años. Entre estas se puede encontrar las líneas de cruceros, hoteles, arriendos de autos y tiendas de ropa de moda.

En el trabajo de Weatherford y Bodily (1992) se realiza una descripción de los elementos que deberían tomarse en cuenta para clasificar los distintos problemas y propone reemplazo el término de Revenue Management por Perishable Asset Revenue Management (PARM) para todos los problemas que comparten las siguientes características: el producto o servicio involucrado tiene una fecha en que empieza a estar disponible y otra en que deja de estarlo o caduca, existe un número fijo de unidades y existe la posibilidad de segmentar el precio. En base a esta clasificación se hace un resumen con los problemas del área resueltos hasta esa fecha, contribuyendo a la sistematización de la disciplina.

El propósito de esta sección es mostrar el vínculo que existe entre administración de capacidad y Revenue Management, y a esta última como la evolución de la primera. Todo esto a la luz de los estudios realizados y los éxitos obtenidos.

III.5. Gestión de Mantenimiento

Se dice que un equipo está disponible⁸ si éste puede arrendarse a un cliente. La disponibilidad de equipos es un elemento crítico en la industria de arriendos de equipos industriales, por esta razón sus principales procesos internos son el mantenimiento de los equipos, la adquisición y venta de estos. La dinámica de los procesos mencionados controla la capacidad ofertada. Por lo tanto, el concepto: disponibilidad de los equipos, constituye el vínculo entre la administración de capacidad y la gestión de mantenimiento. Por esta razón es necesario que el diseño de un sistema de apoyo en la administración de capacidad en la industria de arriendo de equipos conjugue con paradigmas de mantenimiento.

En adelante, la terminología básica de mantenimiento, los paradigmas de éste, las actividades de la gestión de mantenimiento y algunos aspectos del negocio de arriendo son revisados con objeto de construir los fundamentos para el diseño del sistema de apoyo en la administración de capacidad.

III.5.1. Terminología

El término mantenimiento incluye varias acciones y tareas que tienden a incrementar o mantener la fiabilidad de las máquinas. Un término comúnmente presentado es política de mantenimiento, que se refiere a las categorías de acciones de mantenimiento aplicadas a las máquinas. Dependiendo del tipo de industria y al tipo de paradigma de mantenimiento empleado los términos de las categorías varían. Dichos términos incluyen al mantenimiento basado en estados, al mantenimiento basado en fallas, al mantenimiento preventivo, al mantenimiento predictivo, al mantenimiento reactivo, al mantenimiento correctivo (ej. Horner et al., 1997; Johnson, 1999; Moubray, 1997; Nakajima, 1989) y el mantenimiento oportunista. Principalmente todas las categorías se refieren a la programación o metodología de la gestión de mantenimiento.

La principal categorización la brindan las actividades de mantenimiento que ocurren antes y después de la falla. Entonces, se pueden emplear los términos mantenimiento proactivo y mantenimiento reactivo. Los tipos mantenimiento proactivo y reactivo pueden ser a su vez planificados o no planificados. Esto significa que los procedimientos de trabajo de la acción de mantenimiento y los recursos que esta requiere pueden ser planificados como no planificados antes de la necesidad de misma de la acción de mantenimiento. Una acción de mantenimiento que responde a una falla que nunca antes había ocurrido es difícil de ser planificada de antemano. Por lo tanto, el mantenimiento reactivo es usualmente pensado como un sinónimo de mantenimiento no planificado. Sin embargo, la planificación del mantenimiento reactivo puede ser llevada adelante si los procedimientos de mantenimiento son conocidos. Por ejemplo, los procedimientos de mantenimiento y recursos requeridos de la falla de una lámpara pueden ser planificados aun si la acción de mantenimiento es reactiva.

Una acción de mantenimiento proactivo puede ser tanto preventivo como predictivo. El mantenimiento preventivo intenta prevenir la falla antes de su ocurrencia con actividades como la lubricación, limpieza y cambio de componentes desgastados en una máquina. El mantenimiento predictivo, también conocido como mantenimiento basado en estados, intenta detectar la

⁸ En el contexto de la industria de arriendo de equipos industriales

condición de la máquina, ya sea automática como manualmente, para ejecutar la acción de mantenimiento basada en el estado actual de la máquina. El mantenimiento programado es una acción de mantenimiento proactivo que ha sido programada de antemano según un plan. El mantenimiento proactivo puede ser programado, pero el mantenimiento reactivo jamás puede ser programado con anticipación.

III.5.2. Paradigmas de mantenimiento clásicos

De acuerdo al estudio de la literatura existen cuatro principales paradigmas clásicos que se aplican en la actualidad, a saber, mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM), mantenimiento productivo total (TPM), ingeniería de confiabilidad (RE) e ingeniería de control (CE). Todos los paradigmas aplican varias metodologías y políticas de mantenimiento para el control de la confiabilidad. Los orígenes de los paradigmas son diferentes, de la misma manera en que lo son sus campos de aplicación y puntos de vista. RCM y TPM surgen las prácticas industriales, difieren en el énfasis en planificación y mejoramiento continuo; pero son complementarios, y la ingeniería de confiabilidad así como la ingeniería de control surge del mundo académico. Estos paradigmas y otros nuevos serán brevemente revisados de modo que se consiga la capacidad de entender realmente los diferentes enfoques de la confiabilidad y de cómo el mantenimiento es planificado y controlado.

III.5.2.1. Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)

La historia de RCM se origina en las labores de la fuerza de tareas de la industria de aviación de los Estados Unidos de América entre los años de 1960 y 1980, para mejorar la seguridad y confiabilidad de las naves civiles (Jardine, 1999). Una secuencia de procedimientos y manuales fueron publicados, a saber, MSG-1, MSG-2, y MSG-3 (Asociación de Transporte Aéreo Americana, 1993). La United Airlines fue patrocinada por el por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos para redactar un informe sobre la relación existente entre mantenimiento, confiabilidad y seguridad, el cual se convirtió en la piedra angular del RCM. RCM es un marco de trabajo muy robusto para el desarrollo de estrategias de mantenimiento. Como metodología de desarrollo RCM responde a las siguientes preguntas (Moubray, 1997): i) Cuáles son las funciones y normas de desempeño asociadas a las condiciones presentes del contexto de operación, ii) en qué manera esta falla en el cumplimiento de sus funciones, iii) qué ocasiona cada falla funcional, iv) qué sucede cuando cada falla ocurre, v) en qué manera cada falla se hace significativa respecto del medio ambiente, la seguridad de las personas, pérdidas y seguridad, vi) qué puede hacerse para predecir y prevenir cada falla, vii) qué debe hacerse si no se puede encontrar una tarea preactiva conveniente?

La idea central de RCM, según lo indicado por las preguntas, es que cualquier máquina física o sistema tiene al menos una función, y que sus usuarios tienen requerimientos de desempeño por esta. La máquina es considerada como un sistema en un contexto o medio operativo.

La falla de una máquina se entiende como su incapacidad para realizar aquello que sus usuarios esperan que realice. En otras palabras, RCM define la falla como un estado de la máquina que no puede ser aceptado por el usuario. Un término específico falla funcional se define como “la incapacidad de cualquier activo de cumplir una función según una norma de desempeño que es admitida como aceptable por el usuario”

(Moubray, 1997, p. 47). Esta definición enfatiza la falla como un estado cualquiera en el cual un estado de desempeño normalizado, definido por el usuario para una función de una máquina específica, que no puede ser alcanzada. La definición separa las fallas de las propiedades físicas de la máquina. Aún si la máquina es físicamente maltratada pero que aún así puede alcanzar el nivel de desempeño que el usuario espera de esta, no existe falla según el paradigma RCM. Por otro lado, una falla puede ocurrir debido a requerimientos de cambio del usuario sin cambios en las propiedades funcionales o estructurales de la máquina.

Al responder a la tercera pregunta de la metodología RCM se pretende identificar los eventos que causan que la máquina entre en estado de falla. Estos eventos se denominan modos de falla. RCM hace una distinción de fallas totales, que es la pérdida total de función, de la falla parcial, que es la incapacidad de cumplir con las normas de desempeño aún cuando la máquina aún está en funcionamiento. El procedimiento de búsqueda de eventos de falla, modos de falla y análisis de efectos de falla (FMEA), es realizado para cada falla funcional. Esto es, para cada estado de falla los eventos causales y los eventos consecuentes son identificados con objeto de predecir los efectos de las fallas. Las consecuencias de las fallas son identificadas en relación a la seguridad personal, medio ambiente, operaciones de producción, y costos de reparación; con objeto de crear una estrategia proactiva para prevenirlas. Debido al origen de la aeronáutica, la metodología RCM otorga mayor importancia a la vida humana y al medio ambiente que a lo material.

Algunos métodos menos exigentes de RCM se han desarrollado, como la optimización PM (PMO) que parte de las políticas de un mantenimiento proactivo existente e intenta identificar los eventos de falla este trata de prevenir (Turner, 2001). Este enfoque responde rápidamente a las tres primeras preguntas de RCM. Luego de esto se sigue la misma lógica que en RCM. Un inconveniente de la optimización PM es que esta puede omitir la consideración de algunos escenarios de falla que podrían ser identificados por la metodología RCM.

En resumen, RCM reconoce que los objetivos del mantenimiento deberían ser definidos partiendo de la idea de qué función desempeña la máquina – y no de qué máquina se trata. El enfoque de RCM es emplear tareas proactivas para eliminar los eventos que causan fallas. Los efectos de fallas y sus consecuencias en las operaciones, seguridad y medio ambiente son evaluados para priorizar las tareas de mantenimiento proactivo. Lo más importante para RCM es la seguridad del ser humano, la metodología representa una ardua labor en su intento de predecir lo que podría suceder. Por tanto, no puede ser utilizada con mucha frecuencia. Por ejemplo, el instructivo de la NASA (1996) para recintos propone un análisis RCM cada 2 años.

III.5.2.2. Mantenimiento productivo total (TPM)

El mantenimiento productivo total combina las políticas de la gestión de calidad total y del mantenimiento proactivo con objeto de alcanzar la máxima eficiencia productiva. La historia del TPM se origina del mantenimiento preventivo y de la investigación relacionada a la ingeniería de confiabilidad de la década de 1950 en Japón. El paradigma de la ingeniería de confiabilidad fue combinada con la gestión de calidad japonesa en la década de 1970. Como un paradigma de gestión estratégica, TPM hace

énfasis en la importancia de la calidad y en la participación de los empleados en la gestión de mantenimiento. El objetivo más importante de TPM es la maximización de la efectividad global de los equipos (OEE), que es calculado mediante (Nakajima, 1988)

$$OEE = Disponibilidad (\%) * Desempeño (\%) * Calidad (\%) \quad (1)$$

Donde disponibilidad es el tiempo de operación del tiempo de trabajo disponible. Desempeño es la razón entre la producción actual y la producción máxima, y calidad es la razón entre buenos productos y la producción total.

Para alcanzar el máximo OEE, TPM intenta eliminar “las seis grandes pérdidas” que tienen un efecto negativo en la OEE. Estas pérdidas están categorizadas en tres grupos: tiempos de parada, pérdidas de velocidad y defectos de calidad. Los tiempos de parada consisten en fallas de máquina y tiempos perdidos en ajustes y montajes. Las pérdidas de velocidad consisten en tiempos ociosos y paradas menores debidas a las perturbaciones en las operaciones de las máquinas y a la pérdida de velocidad. Los defectos de calidad consisten en defectos de procesos a raíz de defectos de calidad y puestas a punto en el arranque de máquinas.

Se consideran dos tipos de fallas en TPM: fallas por pérdida de función y fallas por reducción de función. Las fallas por pérdida de función es un estado “en el que la máquina deja de funcionar.” (Shirose and Goto, 1989, p. 86) La falla de reducción de función es un estado en el que la máquina aún funciona pero causa pérdidas de velocidad y defectos. Estas definiciones son muy afines a lo que se conoce como falla y falla parcial en RCM. Nakajima (1989) hace una clara distinción entre fallas repentinas y fallas crónicas. Las fallas repentinas son aquellas que suceden de manera aleatoria. Usualmente son fáciles de detectar porque cambian el *status quo* de la capacidad de producción de la fábrica. En contraste con las fallas repentinas, las fallas crónicas son pequeñas, ocurren con frecuencia, y suelen ser poco evidentes dentro el sistema de producción. Suelen ser consideradas normales, y por lo tanto, no son notadas o prevenidas. Por lo tanto, pueden ser encontrados únicamente comparando el actual *status quo* con las condiciones teórica ú óptimas. Las causas de problemas crónicos, como la suciedad o la humedad, no son necesariamente críticas, cuando estas se presentan solas, pero usualmente causan la amplificación de los efectos de la otra. Entonces, TPM hace énfasis en la normalización de las condiciones de operación mediante la limpieza de las máquinas, tarea que a su vez sirve para la inspección de las mismas.

El mantenimiento proactivo en TPM se enfoca en inspecciones periódicas, restauraciones planificadas y rutinas de mantenimiento (Miyoshi, 1989). La principal fuente de información del mantenimiento predictivo son las inspecciones que a su vez sirven, tanto en la planificación de rutinas de mantenimiento como en la restauración de las máquinas. TPM promueve la importancia de los operadores en las operaciones básicas de mantenimiento, como son la inspección y la limpieza. Esto incrementa la posibilidad de identificar fallas antes de que sus consecuencias se tornen muy costosas. El programa de mantenimiento preventivo se deriva de regulaciones reglamentarias, normas de mantenimiento de máquinas, fallas e historia del orden del trabajo.

Dado que la mantención es realizada por los operadores es una de las características distintivas de TPM es necesario prestarle mayor atención a la forma de

implantarla. El Instituto Japonés de Mantenimiento de Plantas (JIPM) ha desarrollado un método de siete pasos, mantenimiento autónomo, cuyo objetivo es lograr el cambio de actitud indispensable para el éxito del programa.

En resumen, el TPM intenta estabilizar el ambiente operativo de las máquinas manteniéndolas limpias y al mismo tiempo inspeccionándolas a través de los sentidos de los sentidos del operador. La meta absoluta de la OEE apunta a hacer posible la detección de fallas críticas que de otra manera serían indetectables. Los procedimientos de operación normalizados ayudan a hacer las acciones de mantenimiento más repetibles.

III.5.2.3. Ingeniería de confiabilidad (RE)

La ingeniería de confiabilidad es una rama de las matemáticas y de la ciencia de diseño de máquinas bastante bien establecida y conocida (Jardine, 1973; Bukowski and Goble, 2001; IEC 60050-191, 1996; Endrenyi et al., 2001; Hoyland and Rausand, 1994; Pulkkinen, 1994, Schneeweiss, 2001; Simola, 1999; Turner, 2002; Villemeur, 1992).

La relación entre ingeniería de confiabilidad y mantenimiento está caracterizada por la Asociación Americana de Transporte Aéreo (1993, p. 2) en la nota adicional referente a los objetivos del programa de mantenimiento: Estos objetivos reconocen que los programas de mantenimiento, como tales, no pueden corregir deficiencias en la seguridad inherente y los niveles de confiabilidad de los equipos. El programa de mantenimiento puede únicamente prevenir la deterioración de dichos niveles inherentes. Si los niveles inherentes son encontrados insatisfactorios, modificaciones en el diseño son necesarias para obtener mejoras.

El mantenimiento no puede mejorar la capacidad ni la confiabilidad de una máquina por encima de los niveles inherentes de esta. Entonces, el diseño de la máquina así como los materiales empleados son los factores más significativos en el momento de determinar la máxima confiabilidad de los sistemas.

Como una metodología, la ingeniería de confiabilidad se enfoca en la identificación de las causas, probabilidades y consecuencias de las fallas para planificar las acciones relevantes para reducirlas. Esto se lleva a cabo gracias a la modelación de sistemas físicos y sus características de confiabilidad y falla con modelos matemáticos o mediante el uso de análisis de decisión de mayor calidad (Vatn, 1997, por ejemplo). Los sistemas físicos son usualmente modelados con redes de confiabilidad o árboles de falla (IEC 61025, 1990), los cuales describen la relación entre los componentes y cómo las fallas de un componente afectan la operación de otros componentes. La ocurrencia de falla y la probabilidad de duración de los sistemas y componentes son modelados mediante el uso de distribuciones de probabilidad, como la de Weibull, exponencial y distribución Gamma entre otras. Mediante el uso de estos modelos es posible estimar el tiempo de vida y las probabilidades de falla de componentes y de los sistemas que comprenden estos componentes.

La ingeniería de confiabilidad hace algunas suposiciones respecto a las fallas. La definición formal de la palabra “falla” es usualmente excluida de la literatura de ingeniería de confiabilidad y de los modelos matemáticos. Con frecuencia, las fallas son

consideradas como eventos binarios que ocurren estocásticamente durante el ciclo de vida de la máquina. La máquina puede estar o no en estado de falla. Las metodologías de la ingeniería de confiabilidad raramente presentan metodologías para manipular fallas parciales. La razón principal es aparentemente que resulta difícil modelar la propagación de fallas parciales hacia otras fallas parciales en el sistema de interés.

Como una ciencia matemática, el interés radica en los modelos de falla y su aplicabilidad a diferentes sistemas. Ya que la aproximación es probabilística y se enfoca en la estimación de la confiabilidad promedio o asintótica de los sistemas, este enfoque es utilizado en la actualidad por fabricantes de máquinas que tienen interés en incrementar el mantenimiento y la inherente confiabilidad de sus productos.

III.5.2.4. Ingeniería de control (CE)

El modelamiento de sistemas dinámicos y sistemas de control es una ciencia de ingeniería de control y automatización. Las variables del proceso son controladas con algoritmos matemáticos, tales como los controladores PID (Astrom y Hagglund). Los controladores mantienen satisfactoriamente las operaciones mediante la compensación de perturbaciones en los procesos. El término utilizado para estados indeseados del sistema es falla (Chiang et al., 2001).

La detección de fallas y el diagnóstico son importantes campos de investigación con la consigna de mantener tanto a operadores como a mantenimiento informados sobre el estado del proceso y de diagnosticar las causas de posibles fallas. Las tres categorías para la detección de condiciones anormales de procesos son los basados en datos, analíticos y aquellos basados en conocimiento (Chiang et al., 2001; Lewin, 1995). Los modelos basados en datos operan únicamente sobre datos medidos en procesos y reducen los datos medidos a datos de menores dimensiones sin perder la información esencial de los datos originales. Los métodos analíticos utilizan modelos matemáticos y estimación por parámetros para la detección de fallas. Los métodos basados en conocimiento utilizan análisis causal, sistemas expertos o reconocimiento de patrones para la detección de fallas.

El enfoque desde la ingeniería de control para regular las fallas consiste en controlar los procesos de producción y compensar las perturbaciones en el sistema de producción. Entonces, un proceso estable debe tener algunos parámetros estocásticos límites de operación o los parámetros de operación deberían seguir un comportamiento modelado dinámicamente. La desviación de un parámetro del comportamiento estadística o dinámicamente modelado es signo de un estado anormal de proceso, que puede indicar que un evento de falla ha ocurrido.

La dificultad del enfoque desde el punto de vista de la ingeniería de control es que la industria manufacturera y los procesos de producción no siempre son estables. Cuando existe un cambio en el plan de producción o en el producto, el sistema puede hacerse más sensible a los factores externos causando dificultades en el control y falsas alarmas.

Bajo este alero se ha desarrollado toda una estrategia de mantenimiento basado en la condición, CBM, que contribuye a detectar daños en etapas tempranas y a

minimizar el riesgo de paradas imprevistas de maquinaria así como los costosos daños económicos añadidos.

III.5.2.5. Resumen de paradigmas clásicos

TPM y RCM reflejan los antecedentes culturales de sus orígenes. RCM es una metodología de reingeniería de planificación frontal, mientras que TPM hace énfasis en pequeñas mejoras continuas por parte de los empleados de la planta. Las áreas centrales son algo diferentes: RCM se enfoca en mantener el *status quo* de las máquinas, y TPM se enfoca en la maximización del rendimiento de las máquinas. La ingeniería de control no se relaciona de manera cercana a los otros tres paradigmas y aproxima las fallas desde el punto de vista de la ciencia de los sistemas de control, a pesar de que algunas aproximaciones de la ingeniería de confiabilidad, como el modelo de fallas proporcionales (PHM) utilizan una combinación de modelos basados en datos con distribuciones de probabilidad de fallas (Kobbacy et al., 1997) y cadenas de Markov (Wiseman, 1999).

En resumen, las conexiones formalizadas entre RCM, TPM, ingeniería de confiabilidad e ingeniería de control son sorprendente y débilmente definidas, a pesar de que todos los paradigmas son usualmente aplicados en plantas de producción, al menos parcialmente. Esto se debe a la sutil diferencia entre los alcances y objetivos de los paradigmas.

III.5.3. Mantenimiento: proceso de negocio y su vínculo con sistemas de información

Como actividad, el mantenimiento puede ser descrito como un proceso de negocios. El término es algo difuso y sobrecargado. La idea de un concepto de proceso de negocios es que existen varias actividades secuenciales que forman una cadena de procesamiento de información. Sharp y McDermott (2001) definen un proceso de negocios como “una colección de tareas de trabajo interrelacionadas, iniciadas en respuesta a un evento, que logra un resultado específico para el cliente del proceso”. Esta definición enfatiza el hecho que la instancia de proceso es activada por un evento, y consiste en tareas de trabajo para satisfacer las necesidades del cliente. Sharp y McDermott (2001) hacen mención de que en algunos casos los sistemas de información y los procesos de negocios no pueden ser separados. Los sistemas de información implementan un proceso de negocios y habilitan el flujo de trabajo del proceso. Entonces, es importante entender el proceso de mantenimiento con objeto de modelar los efectos de los sistemas de información.

Una descripción detallada de un proceso de mantenimiento es difícil. La implementación del flujo de proceso depende de la industria en la que se aplica y la compañía. El modelo del proceso es derivado de la observación de la documentación de sistemas de gestión de mantenimiento computarizados (MRO Software, 2001). El modelo es general y debería ser conveniente para describir la mayoría de los procesos de mantenimiento. Su importancia informativa no es muy alta, pero debería ser lo suficientemente correcto como para facilitar el entendimiento de las actividades de los sistemas de mantenimiento.

Los eventos de activación para los procesos de mantenimiento son i) eventos de falla reactiva, usualmente en la forma de reportes de falla ú órdenes de trabajo, ii) eventos de mantenimiento basados en estados, iii) eventos de mantenimiento preventivo, del programa de

mantenimiento preventivo, y iv) eventos de tareas retrasadas, de la lista de trabajos que deberían haber sido realizadas.

Dependiendo del punto de vista, el cliente del proceso de mantenimiento puede ser el propietario del proceso de producción o el propietario del equipo de producción. El proceso de producción requiere máquinas funcionales, y por lo tanto el proceso de producción está directamente afectado por la calidad y la eficiencia del proceso de mantenimiento. Por otro lado, el propietario de la máquina ha invertido dinero en ellas y espera beneficios a largo plazo de la inversión realizada. El dueño del proceso productivo así como el dueño de la maquinaria no son necesariamente de la misma organización, como se da en la industria de arriendo de equipos industriales por ejemplo

Las principales actividades en mantenimiento son la planificación, la programación y ejecución. La planificación consiste en planificar las actividades de trabajo actual y las necesidades de recursos, como son las herramientas, materiales y las habilidades de trabajo para las tareas de mantenimiento. La programación consiste en ordenar las tareas de mantenimiento en el orden y tiempos correctos en relación al plan de producción y a la disponibilidad de recursos. La ejecución de las tareas de mantenimiento consiste en actividades como la instalación, inspección, modificación, restauración y reparación de máquinas.

En adición estos aspectos existen otras actividades de soporte como la grabación de fallas, solicitudes de trabajo, informes de ejecución de mantenimiento, cambio en la configuración de las máquinas y administración de informes, elaboración presupuesto, ingeniería, regulación conforme y control de inventarios.

III.5.4. Mantenimiento como un sistema

Entre la bibliografía donde se puede encontrar al mantenimiento como sistema, esta Kerr (1991) y Blanchard (1998). El primero menciona que el mantenimiento puede ser dividido en planificación táctica del mantenimiento preventivo y en control operacional en la ejecución del mantenimiento mismo, y se sugiere que la pérdida de la capacidad debido a los mantenimientos planificados y no planificados debería ser conocida para la planificación del mantenimiento, así como el historial completo de las fallas ocurridas y de sus frecuencias. Por otro lado, el segundo, hace énfasis en el análisis del ciclo de vida del sistema y cómo atender las necesidades del cliente durante el mencionado ciclo, para este fin se define un sistema de tareas, cuyo acrónimo es SIMILAR.

Es también difícil separar el proceso de producción y el proceso de mantenimiento. El enfoque de Johnson (1999) no separa el mantenimiento de la producción, pero considera al mantenimiento como una parte del proceso de producción. El mantenimiento en este modelo crea la capacidad de producción, que es una entrada secundaria para el proceso de producción, y la producción genera necesidad de mantenimiento, que es una salida secundaria del proceso de producción. Los resultados de la investigación de Johnson (1999) indican que las compañías que integran el mantenimiento y su estrategia de producción, tienen una posición competitiva; lo que no significa que necesariamente les va mejor.

III.5.5. Métrica del desempeño de los sistemas de mantenimiento

El objetivo de este trabajo es el diseño de un sistema de apoyo en la administración de capacidad en la industria de arriendo de equipos industriales. La principal actividad interna de la

empresa de arriendos es el mantenimiento, por lo tanto la operación de un sistema de mantenimiento debe ser medido para tener la capacidad de controlar el sistema. A continuación se revisa algunas métricas del sistema de mantenimiento que podrían ser utilizados como variables a controlar.

III.5.5.1. Eficiencia, eficacia y efectividad

Turban y Aronson (1998) proponen que los sistemas deberían ser medidos con, eficiencia y eficacia. Definen eficacia como el grado en que las metas han sido alcanzadas. La eficacia se preocupa de los resultados y las salidas de un sistema. La eficiencia es una medida de cómo las entradas logran las salidas. En otras palabras, la eficacia se trata de hacer las cosas correctas, y eficiencia se trata de hacer correctamente las cosas. Por otro lado la efectividad es el resultado del logro de la eficiencia y la eficacia. Sharp y McDermott (2001) propone varios procesos métricos como el número de veces que el proceso ha sido ejecutado, el tiempo del ciclo del proceso, el costo por ejecución, el costo de los defectos, y la razón de buenas salidas versus malas salidas.

Johstone y Ward (1981) describe métricas para la medición de los sistemas de mantenimiento, como el número de accidentes personales, la varianza en el presupuesto de mantenimiento, costo de mantenimiento por máquina, costo de mantenimiento como porcentaje del capital de inversión o porcentaje del tiempo de disponibilidad de la máquina, carga de trabajo retrasado, razones de sobre tiempo y razones de trabajo de emergencia respecto al trabajo total. Middleton y Stevens (1999) definen tres tipos de negocios: limitados en costo, limitados en capacidad y limitados en requerimientos. Para cada uno de ellos sugieren diferentes métricas primarias: costos, OEE y tasas de calidad. Wireman (1998) describe varias otras métricas, incluyendo también aquellas que miden la utilización de sistemas computarizados de mantenimiento. El también menciona que un error común en la medida de la eficiencia es el uso de los valores de entrada únicamente en los procesos de mantenimiento, como el número de órdenes de trabajo completadas y el personal de mantenimiento como un porcentaje del personal total.

III.5.5.2. Disponibilidad

Por definición (IEC 60050-191, 1996) la confiabilidad es una medida de cuál es la habilidad que debe desempeñar una máquina respecto a una función requerida en un intervalo dado. La disponibilidad es una medida de la habilidad de una máquina para desempeñar una función en un instante de tiempo dado. Estos términos se relacionan cuantitativamente (Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América, 1982; IEC 60050-191, 1996) según se define en la siguiente ecuación de disponibilidad inherente.

$$A_i = (MTTF)/(MTTF + MTTR) \quad (2)$$

Donde MTTF denota el tiempo medio entre fallas, y MTTR denota el tiempo medio de reparación o restauración: mientras mayor sea el tiempo entre fallas mayor será la confiabilidad y durabilidad de la máquina. MTTR es una medida de la mantenibilidad de la máquina, que indica cuánto tiempo toma restaurarla hasta dejarla en condiciones de trabajo óptimas. La disponibilidad operacional está definida por:

$$A_o = (MTBM)/(MTBM + MDT) \quad (3)$$

Donde MTBM denota el tiempo medio de operación entre mantenimientos, y MDT denota la media de los tiempos de reposo causados por mantenimiento – o por la falta de mantenimiento. MTBM es una medida de la frecuencia del mantenimiento proactivo o reactivo de la máquina.

La diferencia entre (2) y (3) son que la disponibilidad inherente A_i es principalmente afectada por el diseño de la máquina. El diseño afecta la confiabilidad (MTTF) y mantenibilidad (MTTR) de una máquina, que puede ser vista como el máximo en disponibilidad inherente de la máquina. La disponibilidad operacional A_o representa la disponibilidad de la máquina en su contexto operacional. Ambos cálculos MTBM y MDT de A_o están afectados no sólo por el diseño, sino también por la disponibilidad de los repuestos, la política de mantenimiento aplicada, y otras obligaciones operacionales.

III.5.5.3. Disponibilidad de fuentes de datos para las métricas

En la vida real, existe un problema en cómo recopilar los datos para calcular las métricas. Existen numerosos modelos matemáticos en la ingeniería de confiabilidad que pueden ser usados para la estimación del tiempo de vida de las máquinas, el efecto del mantenimiento en la confiabilidad de las máquinas y mucho más. Como modelos matemáticos son válidos, pero los cálculos reales con estos modelos encaran la problemática de las definiciones y exactitud de la fuente de datos. Las definiciones y la exactitud de la medición de tales métricas en los sistemas de mantenimiento cuantitativo como el número de fallas, el tiempo de operación y tiempos de inactividad varían según el paradigma, el observador, del número de muestras disponibles y de los métodos de colección de datos. Entonces, un método matemático de ingeniería de confiabilidad producirá resultados comparables únicamente con aquellos producidos por paradigmas de confiabilidad similares, definiciones y métodos de recopilación de datos. Por tanto, los MTTF, OEE, o A_o de una máquina no pueden ser comparados al MTTF de otra máquina a no ser que las definiciones, paradigmas de confiabilidad y métodos de colección de datos sean similares.

En la práctica, no parece existir un camino sencillo para reunir y calcular información de operación precisa de las máquinas, especialmente la información de los tiempos de actividad y de espera.

III.5.6. Fallas

Lo que parece diferir entre los variados paradigmas de confiabilidad y metodologías es la definición de términos de mantenimiento básicos. La semántica de las palabras no es exactamente la misma en los distintos enfoques de confiabilidad. ¿Si la definición de una sola palabra que diferencia a una máquina en completo estado de funcionamiento de otra que no lo está, es débil, cómo es posible saber cuándo una acción de mantenimiento es requerida?. Hasta las normas tienen contradicciones: IEC 60050-191 (1996) define la falla como un evento, mientras que SAE J1011 (1999) define la falla como un estado.

III.5.6.1. Estados de falla

La teoría de sistemas sugiere que una función de sistema está definida por sus estados y los estados de cambio. Esto va de la mano con el pensamiento de RCM y TPM, dónde las fallas son estados de sistema. Entonces, se asume que la falla es un

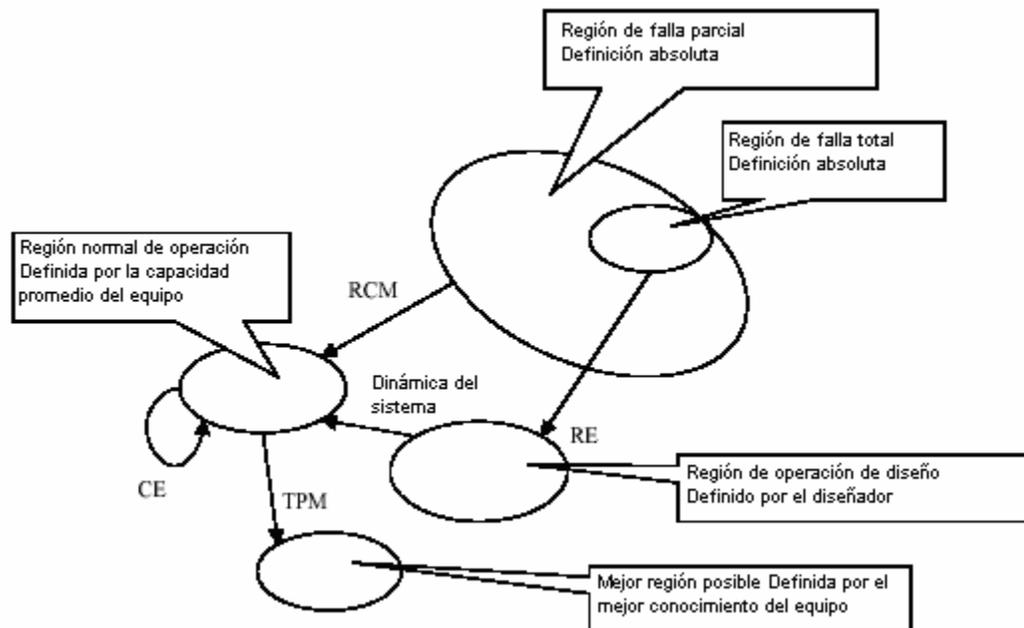
estado. Por ejemplo, el estado de falla $S_f \in S$, donde $S = \{S_0, S_1, \dots, S_n\}$ es un conjunto de posibles estados del sistema.

En la práctica, un sistema de producción es un sistema diseñado por el hombre con un propósito. Entonces, el estado de falla es siempre definido por el usuario. Un sistema de producción puede tener varios usuarios, cada uno con diferentes puntos de vista y actitudes que incumben al propósito del sistema. Por lo tanto, el usuario es meramente un rol de una organización, y la definición de fallas no son necesariamente específicas de una persona sino más bien específicas de un rol.

III.5.6.2 Definición de estados subjetivos en los paradigmas de mantenimiento

En la práctica, deben existir varios tipos de organización y paradigmas envueltos en un sistema de producción. Las reparaciones de emergencia, el mantenimiento predictivo, el mantenimiento preventivo, la optimización de sistemas y control operacional de sistema; todos ellos intentan controlar los estados del sistema. Los estados permisibles y satisfactorios del sistema, sin embargo, difieren en función de los paradigmas. La ilustración intenta capturar los enfoques de los paradigmas relacionados a los estados observados.

Ilustración 3: Dinámica entre los paradigmas de mantenimiento



RCM se enfoca en mantener el *status quo* de las máquinas a través metodología de reingeniería de planificación frontal, TPM se enfoca en la maximización del rendimiento de las máquinas haciendo énfasis en pequeñas mejoras continuas por parte de los empleados de la planta, RE se centra en mejorar la confiabilidad y extender lo más posible la vida útil considerando mejoras en materiales y componentes. CE no se relaciona de manera cercana a los otros tres paradigmas y aproxima las fallas desde el punto de vista de la ciencia de los sistemas de control, dónde la falla es entendida como un estado del proceso estadísticamente anormal.

III.6. Otras perspectivas

III.6.1. Risk Based Inspection (RBI)

El RBI provee una visión sistemática basada en criticidad para equipos estáticos y sugiere métodos apropiados para el monitoreo de su condición. Viene del American Petroleum Institute's, y su principal fortaleza radica en el manejo de riesgos en base a una perspectiva de criticidad: "consecuencia – probabilidad" y la combinación de esta con el monitoreo de tasas de corrosión, propiedades de los materiales y métodos de inspección. En contraparte, su principal debilidad reside en la imposibilidad de determinar métodos alternativos frente a fallas y dilucidar el trade off entre costo-beneficio-riesgo, áreas donde el RCM es mejor.⁹

III.6.2. Total Quality Management (TQM)

Es una visión de los 70's cuyo éxito en Japón remeció el área de la manufactura. Se considera la base del mejoramiento continuo como filosofía, y se la atribuye a Darming y Motorola. Su fortaleza radica en la orientación hacia los procesos y sus clientes internos y externos desde grupos de trabajo multidisciplinarios, cuyo efecto inmediato es la implementación de vías de comunicación expeditas dentro de una organización. Su principal debilidad es la ausencia de un vínculo entre el diagnóstico y la mejor solución desde las alternativas posibles y en las medidas adecuadas¹⁰.

III.6.3. Root Cause Analysis (RCA)

Esta perspectiva incluye una familia de metodologías cuyo objetivo es la investigación desde grandes incidentes a fallas repetitivas. Esta muy determinada por la conducta de los empleados, en quienes cae la responsabilidad de dicha investigación. En la medida que se motive el por qué de los eventos de falla la aplicación de esta perspectiva tendrá éxitos transversales.

III.6.4. Globalización, Results Oriented Management (ROM) y Business Centered Maintenance (BCM)

El marco actual corresponde a un mundo globalizado, en este los clientes buscan calidad, precio y servicio; los inversionistas buscan mayor rendimiento y máxima seguridad para su inversión; el personal persigue mejores condiciones de trabajo; la sociedad exige atención a temas de medio ambiente y de convivencia; el estado cada vez más se concentra en la actividad reguladora y fiscalizadora; por otro lado los competidores ya no son sólo del medio local sino globales.

Todas las funciones, en empresas industriales, comerciales y de servicios, existen debido a que aportan al resultado que se busca, o sea el lucro del negocio. En cuanto a la función del mantenimiento frente a este desafío, primero se debe cambiar el concepto de mantenimiento y ubicarlo en el contexto de las demás funciones empresariales. Por lo tanto el mantenimiento no puede ni debe ser la excepción y debe concebirse orientado a los negocios (Business Centered Maintenance - BCM, Anthony Kelly), y orientado a los resultados (Results Oriented Maintenance - ROM, Christer Idhammar). Para ello se debe tener en mente que para ser competitivos los

⁹ IAM, Institute of Asset Management

¹⁰ IAM, Institue of Asset Management

factores claves son: calidad, precio, productividad, confiabilidad, seguridad y medio ambiente. La confiabilidad es lo que permite asegurar los cuatro restantes factores claves a lo largo del tiempo y por lo tanto asegurar la competitividad. La confiabilidad solo es posible obtenerla mediante una correcta administración del mantenimiento.

Entonces la incidencia que el mantenimiento tiene sobre los factores clave: confiabilidad, seguridad, medio ambiente, calidad y productividad, así como en otros no menos importantes como la disponibilidad, la costo-eficacia y el uso racional de la energía, lo ubica actualmente en los primeros planos de la dirección empresarial, en resumen esto es gracias a su aporte a la competitividad. De acuerdo a esta perspectiva el mantenimiento ha dejado de ser un “mal necesario” de la producción, para convertirse en un “factor clave” de la competitividad.

Ya no se habla de la tradicional división de funciones producción–mantenimiento, porque para lograr confiabilidad se requiere un esfuerzo conjunto entre ambos tal como si fueran dos caras de la misma moneda, esto es el uso y el cuidado de los activos deben ser una única función coordinada para obtener el resultado de confiabilidad que se espera.

III.7. Comentarios generales

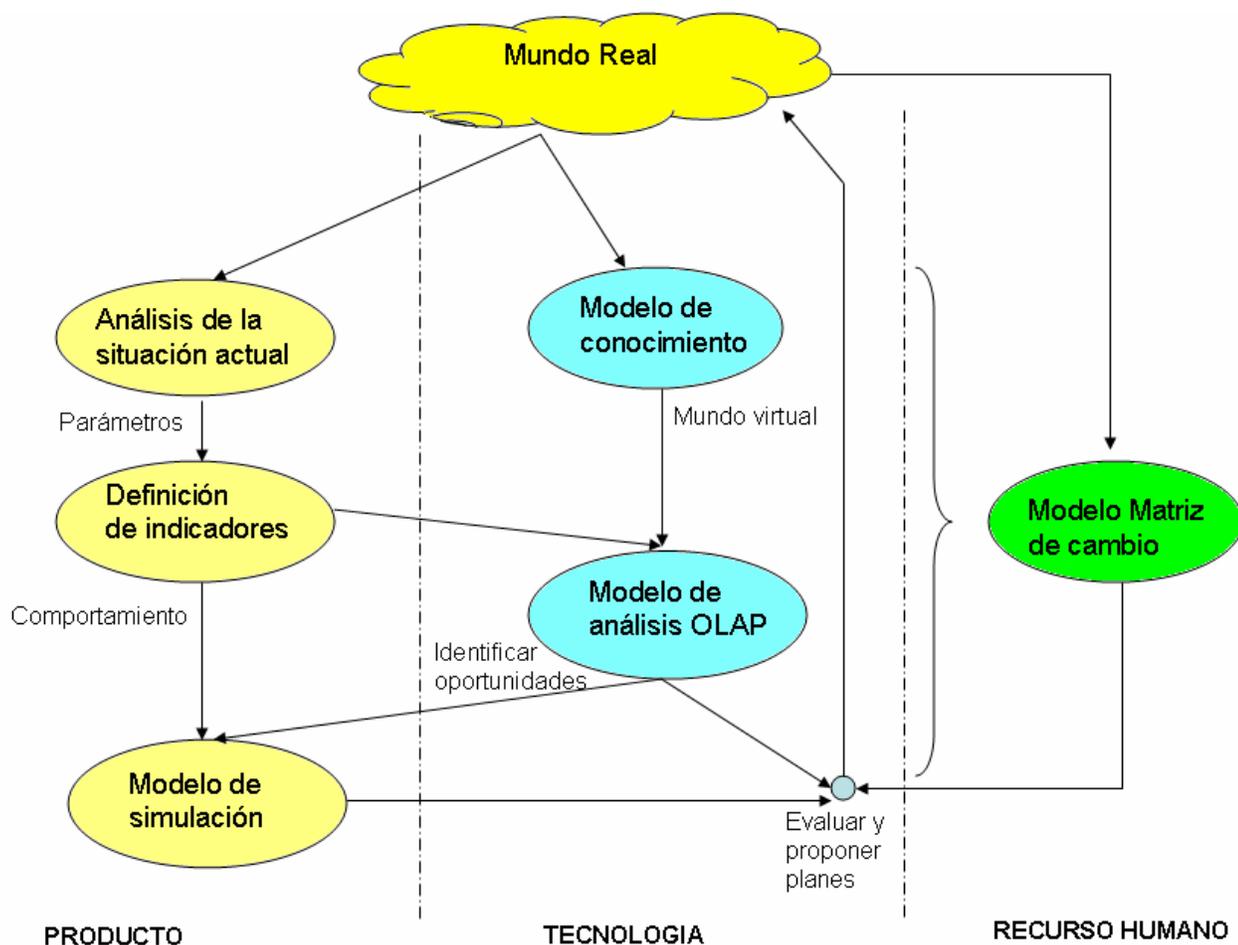
El marco conceptual ayuda a decidir y a explicar el camino que se ha decidido tomar basándose en las experiencias de los demás, y en lo que se quiere explorar o descubrir. Se puede concluir que se ha trazado el mapa del proyecto, los conceptos que se han de adoptar: asset management, revenue management, administración de capacidad, enfoque en procesos, gestión de mantenimiento, transversalidad, negocio de la industria de arriendo representan la simbología del mapa; los niveles de decisión comprometidos establecen la escala; por último las experiencias previas constituyen trayectorias conocidas y aquello que se quiere explorar o descubrir constituyen las trayectorias desconocidas.

En el próximo capítulo se describe la metodología, la cual intenta plasmar la visión de conjunto de las ideas y las prácticas que conforman el modo en que se llevará a cabo el trabajo de este proyecto.

IV. METODOLOGÍA

La metodología del proyecto entrega la forma en cómo se pretende cumplir con los distintos objetivos del trabajo, y corresponde a un enfoque en procesos, el cual tiene un carácter sistémico y transversal, sus elementos constitutivos son: producto, tecnología y recurso humano. La siguiente ilustración representa una síntesis de la metodología contemplada.

Ilustración 4: Metodología contemplada



El objetivo principal del proyecto es el diseño de un sistema de apoyo para la administración de capacidad en la industria de arriendo de equipos industriales, para este fin se propone para cada uno de los elementos constitutivos determinadas etapas, las que a continuación se describen:

Producto

- Análisis de la situación actual. Se subdivide en la identificación del comportamiento actual de la oferta y demanda y en la identificación de la intensidad de uso de la capacidad.

- Definición de indicadores. Su propósito es generar un sistema de indicadores que permitan conocer y monitorear condiciones afines a la administración de capacidad.
- Modelo de simulación. Permitirá generar el output para evaluar oportunidades identificadas mediante la simulación del comportamiento de la empresa para un horizonte de tiempo dado.

Tecnología

- Modelo de conocimiento. Su propósito es conceptualizar la realidad en mundo virtual con la información crítica y necesaria para darle al diseño del sistema un carácter sostenible en el tiempo.
- Modelo de análisis OLAP¹¹. Incorpora a través de una arquitectura OLAP el sistema de indicadores propuesto y permitirá identificar oportunidades.

Recurso Humano

- Modelo de la matriz de cambio. Aporta a través de una visión sistémica las barreras en la implementación del sistema propuesto.

La idea de esta estructura es generar un ciclo de control sostenible que permita generar, evaluar e implementar políticas cuyo objetivo principal sea generar mayores márgenes producto del correcto balance entre oferta y demanda.

IV.1. Producto

Bajo esta perspectiva se detallan a continuación las etapas: análisis de la situación actual, definición de un sistema de indicadores y modelo de simulación.

IV.1.1. Análisis de comportamiento: capacidad y demanda

Una faceta del análisis corresponde a los procesos y flujos de información y otra a los números que determinan tanto el tamaño del problema como un diagnóstico inicial de la administración de la capacidad. Este diagnóstico se refiere a: la evolución de la capacidad, la evolución de la demanda y a la intensidad de uso de la capacidad ofertada.

Respecto a la intensidad de uso se construyen histogramas para que sea más fácil y evidente determinar dichas intensidades.

¹¹ OLAP, se refiere al análisis de los procesos en línea.

IV.1.2. Definición de indicadores

Los indicadores dan cuenta de la existencia de algún fenómeno. En general, un indicador es un dato estadístico; pero no cualquier dato estadístico. Estos deben ofrecer una visión integral que permita elaborar un juicio sobre el funcionamiento de un sistema o un proceso.

Buenos indicadores de desempeño miden el logro de los objetivos, el cumplimiento de metas, la calidad, efectos del servicio; y también verifican que los recursos se utilicen con eficiencia y eficacia; proporcionan información relevante para la toma de decisiones.

De acuerdo al objetivo de este trabajo, dentro del marco conceptual y sujetos a la restricción de información con la que se cuenta, se proponen un grupo de indicadores. Estos tienen estrecha relación con los estados definidos para la dinámica del arriendo de equipos: arriendo, disponible, intervención y no disponible; y miden:

- Ocupación [IO]. Este indicador mide cuanto se han ocupado estos equipos.
- Penetración [IP]. Este indicador mide la aceptación del equipo por parte de la demanda, su penetración en el mercado.
- Disponibilidad [ID]. Este indicador mide la disponibilidad del equipo, entendiéndose esta como aquella condición en la cual el equipo no está sujeto a una intervención ni está esperando recursos en el taller de mantenimiento.
- Política de intervención [IPI]. El indicador mide la política de intervención del taller.
- Fallas [IF]. El indicador mide la cantidad de eventos de falla que se registraron.
- Manipulación [IM]. Da cuenta de la cantidad de transiciones de estado para que se de un arriendo.
- Retorno [IR]. Mide el retorno del equipo considerando: arriendos y costos de intervención.
- Costos [IEC]. Mide los costos de intervención del o de los equipos.

A continuación se presentará la definición formal de cada uno de estos indicadores y una propuesta metodológica de cómo analizarlos y validarlos.

IV.1.2.1. Definición

Los indicadores planteados tienen una dimensión temporal subyacente, es decir se medirá el desempeño en un horizonte de tiempo. Dicho horizonte de

tiempo estará definido por una fecha inicial, F1, y una fecha de final, F2. Para la definición de los indicadores se utilizará la siguiente convención:

- F1F2T. Se refiere al horizonte de tiempo completo entre las fechas F1 y F2.
- F1F2A. Se refiere al tiempo dentro del horizonte F1F2T en el cual el equipo se encuentra arrendado.
- F1F2D. Se refiere al tiempo dentro del horizonte F1F2T en el cual el equipo se encuentra en estado disponible.
- F1F2I. Se refiere al tiempo dentro del horizonte F1F2T en el cual el equipo se encuentra en estado de intervención.
- F1F2ND. Se refiere al tiempo dentro del horizonte F1F2T en el cual el equipo se encuentra en estado no disponible.
- QT. Corresponde a la cantidad total de transiciones de un estado a cualquier otro en el horizonte de tiempo considerado.
- QA: Corresponde a la cantidad de transiciones desde cualquier estado al estado arriendo en el horizonte de tiempo considerado.
- QD: Corresponde a la cantidad de transiciones desde cualquier estado al estado disponible en el horizonte de tiempo considerado.
- QI: Corresponde a la cantidad de transiciones desde cualquier estado al estado intervención en el horizonte de tiempo considerado.
- QND: Corresponde a la cantidad de transiciones desde cualquier estado al estado no disponible en el horizonte de tiempo considerado.
- DINEA: Corresponde al dinero recaudado por concepto de arriendo en el horizonte de tiempo considerado.
- CI: Corresponde al costo de intervención en el horizonte de tiempo considerado.

IV.1.2.1.1. Índice de ocupación [IO]

Se define como:

$$IO = F1F2A / F1F2T \quad (4)$$

El dominio del indicador es el intervalo [0,1]. Mientras más cercano a uno este dicho indicador mayor habrá sido su ocupación.

IV.1.2.1.2. Índice de penetración [IP]

Se define como:

$$IP= F1F2A/(F1F2A+ F1F2D) \quad (5)$$

El dominio del indicador es el intervalo [0,1]. Mientras más cercano a uno este dicho indicador mayor habrá sido su penetración en el mercado.

IV.1.2.1.3. Índice de disponibilidad [ID]

Se define como:

$$ID= (F1F2A+F1F2D)/F1F2T \quad (6)$$

El dominio del indicador es el intervalo [0,1]. Mientras más cercano a uno este dicho indicador mayor habrá sido su disponibilidad, entendida ésta como la condición del equipo que corresponde a los estados: arriendo y disponible.

IV.1.2.1.4. Índice de política de intervención [IPI]

Se define como:

$$IPI= F1F2ND/(F1F2ND +F1F2I) \quad (7)$$

El dominio del indicador es el intervalo [0,1]. Mientras más cercano a uno este dicho indicador mayor habrá sido la proporción del tiempo de espera para la respectiva intervención respecto al tiempo que se empleo efectivamente en la intervención.

IV.1.2.1.5. Índice de fallas

Se define como:

$$IF= QI/(QI+QA) \quad (8)$$

El dominio del indicador es el intervalo [0,1]. Mientras más cercano a uno este dicho indicador mayor serán los eventos de falla registrados por cantidad de eventos de arriendo.

IV.1.2.1.6. Índice de manipulación

Se define como:

$$IM= QT/QA \quad (9)$$

El dominio del indicador es el intervalo [0,∞). Mientras mayor sea este indicador mayor será el número de transiciones de estado para efectuar un arriendo.

IV.1.2.1.7. Índice de retorno

Se define como:

$$IR = (DINEA - CI) / (QA + QI) \quad (10)$$

El dominio del indicador es el intervalo $(-\infty, \infty)$. Mide el balance entre el dinero que se recaudo por concepto de arriendo y el dinero que se gasto como costo de intervención.

IV.1.2.1.8. Índice de equipos costosos

Se define como:

$$IEC = CI / QI \quad (11)$$

El dominio del indicador es el intervalo $[0, \infty)$. Mientras mayor sea este indicador se habrán registrado costosas intervenciones.

IV.1.2.2. Análisis de los indicadores

Es relevante que este grupo de indicadores satisfaga las siguientes condiciones:

- Deben ser útiles para la toma de decisiones.
- Deben ser verificables, es decir que se puedan comprobar mediante información confiable.
- Deben ser confiables, a fin de utilizarlos como elementos de comparación.
- Deben ser fáciles de interpretar.
- Deben ser válidos, debe existir correspondencia entre la información que suministra el indicador y el fenómeno de objeto de análisis.

A fin de validar y estudiar con mayor profundidad la relación entre los indicadores planteados, se realizará un análisis de las correlaciones entre estos, los resultados se expondrán en el desarrollo posterior de este trabajo.

IV.1.3. Modelo de simulación

La simulación de procesos es una de las técnicas aplicadas más utilizadas en gestión de operaciones. Con la simulación de procesos uno construye un modelo computacional de un proceso que se lleva a cabo en el mundo real, por lo tanto, la primera meta es lograr que el comportamiento del modelo computacional se asemeje al proceso real. Una vez logrado este objetivo el modelo computacional servirá para ensayar y analizar distintas configuraciones de recursos, escenarios, políticas, etc.

El proceso de modelación es iterativo porque al modelar se va revelando nuevos requerimientos de información, se definen y redefinen relaciones entre componentes del

sistema. El hecho de que esta etapa constituya el último nivel del diseño propuesto es ventajoso ya que se aprovecha el levantamiento de información y la plataforma de análisis.

La metodología propuesta, Pristker 1999, y la que se adoptará para encarar el diseño de simulación consiste en:

- Formulación del problema
- Especificación del modelo
- Construcción del modelo
- Simulación e integración como soporte de decisiones

IV.2. Tecnología

De acuerdo al enfoque propuesto la tecnología tiene un rol de coordinación e integración entre las áreas-funciones administrativas y los procesos de negocios, en particular para el diseño propuesto constituye una base para conceptualización del mundo real y para el análisis y la identificación de oportunidades. Las etapas consideradas: modelo de conocimiento y modelo de análisis, son descritas en esta sección.

IV.2.1. Modelo de conocimiento

Se plantea un modelo de conocimiento basado en lenguaje UML (lenguaje de modelamiento unificado) para visualizar, especificar y documentar los procesos de negocio y funciones de sistema que involucren la administración de capacidad y la gestión de mantenimiento en la empresa. El propósito principal del modelo es compartir el conocimiento del sistema adquirido durante el desarrollo del trabajo a través de un levantamiento conceptual de alto nivel de los procesos de negocio y funciones de sistema relevantes para el objetivo principal.

IV.2.1.1. Ontología y conocimiento

Para desarrollar un modelo de conocimiento, una definición de conocimiento debe estar establecida. Para este fin recurrimos a la ontología: “El término ontología en informática hace referencia al intento de formular un exhaustivo y riguroso esquema conceptual dentro de un dominio dado, con la finalidad de facilitar la comunicación de la información entre diferentes sistemas”¹². En este contexto se dice, Kerr (1991, p. 65), que el conocimiento de un entorno o un dominio es “el conjunto organizado de construcciones referentes a un particular entorno o dominio por parte de uno o muchos individuos”.

V.2.1.2. UML: metodología para modelar el conocimiento

¹² Fuente: Enciclopedia Wikipedia

El análisis es la primera fase en el diseño de un sistema de información, este corresponde a la investigación del problema y los requerimientos. La diferencia entre el análisis y el diseño es que el análisis no toma en cuenta como el sistema debe ser implementado, sino se enfoca en que es lo que existe y como funciona.

Una herramienta de representación muy común en la ingeniería de software es UML. Esta herramienta puede ser vista tanto como un formato de representación de un modelo de conocimiento como notación en el diseño de software. Esta dualidad es la razón por la cual se escoge esta herramienta en esta fase de análisis y levantamiento del modelo de conocimiento.

IV.2.2. Modelo de análisis OLAP

Esta etapa es muy importante pues integra el modelo conceptual y el sistema de indicadores, constituye la base para la propuesta del sistema de apoyo para la administración de capacidad. En ésta se diseñan y se construyen las herramientas que permitan monitorear la intensidad de arriendo de las respectivas familias de equipos y a la vez permitan implementar automáticamente los indicadores de desempeño propuestos, los que harán utilizados como criterios de categorización.

A continuación se presenta lo que son los sistemas de información, los sistemas OLAP, los cubos MOLAP, los pasos a seguir para construir un cubo de datos MOLAP y por último la herramienta que se utilizará para construir el cubo de datos MOLAP.¹³

IV.2.2.1. Sistemas de información

La información reduce la incertidumbre sobre algún aspecto de la realidad y, por tanto, permite tomar mejores decisiones. Inicialmente la finalidad de los sistemas de información era recopilar información. Actualmente, los sistemas de información tienen como finalidad dar soporte a los procesos básicos de la organización.

La evolución de los sistemas de información ha ido desde simples informes hasta: herramientas de análisis integradas¹⁴, almacenes de datos, herramientas que permiten análisis en línea denominados OLAP, y simulación de procesos bajo distintos escenarios.

IV.2.2.2. Base de datos multidimensionales, sistemas OLAP y vistas de datos

En contraste con las bases de datos relacionales, las multidimensionales están compuestas por dimensiones que son atributos estructurales de un cubo, organizadas con jerarquías de categorías que describen los datos en tablas. El

¹³ Existe una extensa bibliografía acerca de sistemas de información, se privilegio aquella relacionada con productos IBM por la amplia experiencia de dicha corporación en el área de sistemas de información.

¹⁴ conocidas como intelligent business tools

modelo multidimensional de datos simplifica a los usuarios formular consultas complejas, arreglar datos en un reporte, cambiar de datos resumidos a datos detallados, etc.

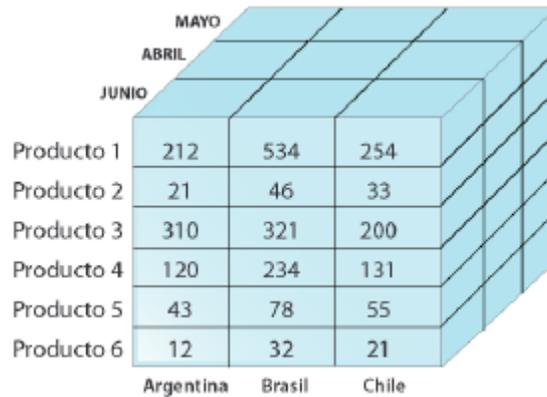
En un sistema OLAP los datos son clasificados en diferentes dimensiones y pueden ser vistas unas con otras en diferentes combinaciones para obtener diferentes análisis de los datos que contienen. En este modelo los datos son vistos como cubos los cuales consisten en categorías descriptivas (dimensiones) y valores cuantitativos (medidas).

La vista de datos como cubos es una extensión de la manera normal en que los usuarios de negocios interactúan con los datos. Por ejemplo: la mayoría de los usuarios desearía ver como se desarrollan las ventas a lo largo del tiempo. Para ello se necesitaría ver varias planillas de cálculo.

Ilustración 5: Planillas tradicionales

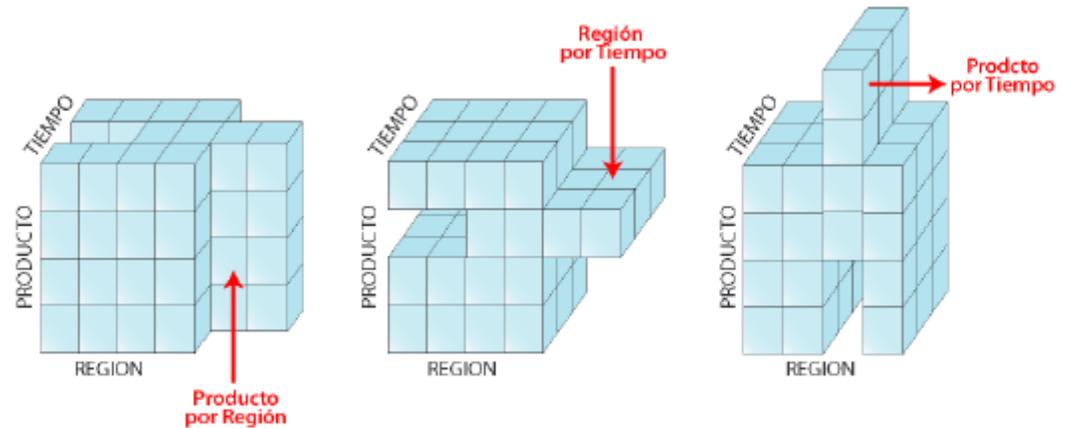
		REGION		
		Argentina	Brasil	Chile
PRODUCTOS	Producto 1	212	534	254
	Producto 2	21	46	33
	Producto 3	310	321	200
	Producto 4	120	234	131
	Producto 5	43	78	55
	Producto 6	12	32	21

Ilustración 6: Cubo de datos



Debido a su representación pueden ser tomadas rebanadas de datos de las mismas, para responder diversas preguntas.

Ilustración 7: Operaciones con los cubos de datos



IV.2.2.3. Modelo datos MOLAP y sus beneficios

En estos sistemas los datos se encuentran almacenados en una estructura de datos multidimensional (OLAP multidimensional), estos son precalculados y luego son almacenados. Las principales utilidades y beneficios de trabajar con MOLAP son:

- Analizan las relaciones entre muchos tipos de elementos.
- Involucran datos agregados.
- Comparan datos agregados a través de periodos jerárquicos.
- Presentan los datos en diferentes perspectivas.
- Es de fácil uso y acceso flexible para los usuarios.
- Los datos están organizados en diferentes dimensiones lo que permite un mejor análisis.

IV.2.2.4. Pasos para diseñar e implementar un cubo de datos MOLAP

De acuerdo a la bibliografía consultada los pasos recomendados son:

- Definición de área temática.
- Definición de fuente de depósito.
- Definición de destino de depósito.
- Definición de movimiento y transformación de datos.
- Definición de esquema estrella.

- Carga de datos al cubo MOLAP

IV.2.2.5. Software PALO

Palo es una base de datos OLAP multidimensional, soporta hasta 256 dimensiones con jerarquías para cada dimensión. Cabe decir por ejemplo: línea, producto, marca, o años, semestre, trimestres, mes. Las principales características de PALO son:

- Es una herramienta open source¹⁵
- Se integra completamente con Excel, hoja de cálculo de la compañía Microsoft .

La herramienta consta del servidor de datos, existen versiones para sistemas operativos: Windows y Linux, así como el plug-in para Excel. También hay disponible una API¹⁶ de desarrollo con librerías y ejemplos para C, Java, PHP y .Net.

Las características mencionadas de PALO hacen de este software la herramienta ideal para el diseño de un cubo MOLAP de bajo impacto en organizaciones cuyo sistema de información no tenga aplicaciones empresariales dedicadas.

IV.3. Recurso Humano

En función de los resultados obtenidos, la dificultad de implementación, y el impacto que puede tener en la organización se delinearán una matriz de cambio para implementar el diseño. La matriz de cambio¹⁷ es una herramienta apropiada para reingeniería de procesos de negocio, (BPR), brinda soporte para la transformación de una organización. Permite considerar la factibilidad de los cambios propuestos, los riesgos involucrados, la velocidad de ejecución apropiada, y la mejor secuencia de cambios.

IV.3.1. Partes de una matriz de cambio

La matriz de cambio es una herramienta de la visualización que permite capturar los estados existentes y deseados del cambio propuesto, las prácticas complementarias y los elementos de oposición al cambio. De esta manera ayuda a determinar cual es la mejor manera de proceder con el cambio.

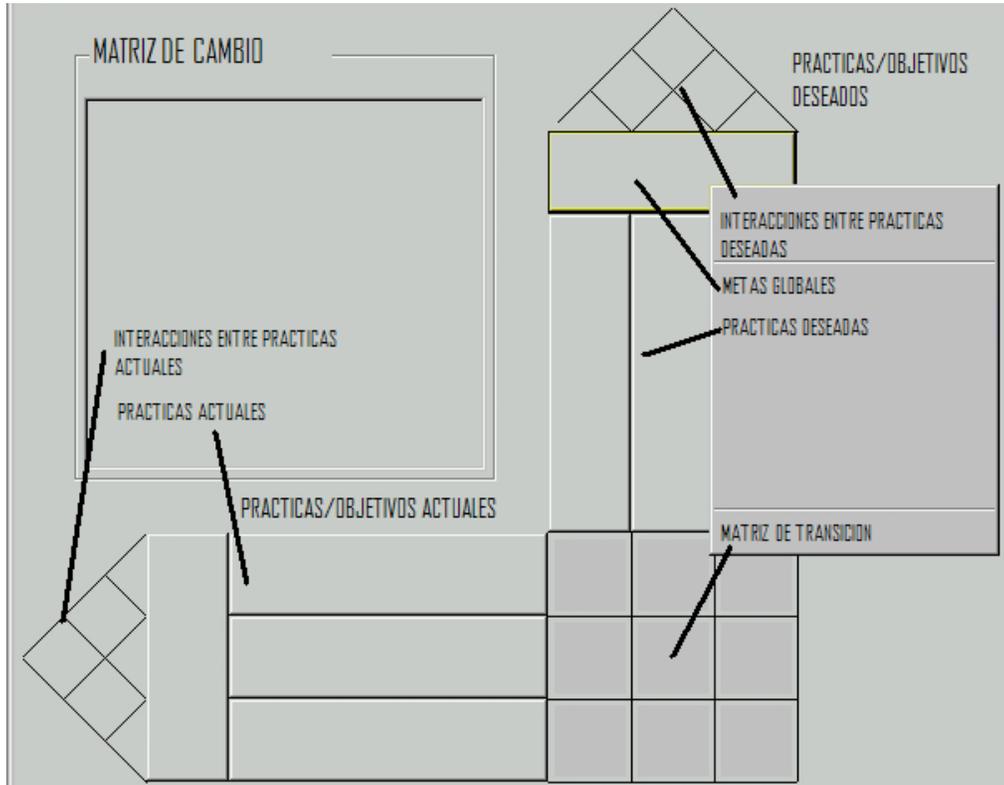
¹⁵ Código abierto (del inglés open source) es el término por el que se conoce al software distribuido y desarrollado en forma libre. Este término empezó a utilizarse en 1998 por algunos usuarios de la comunidad del software libre. La filosofía del open source centra su atención en la premisa de que al compartir el código, el programa resultante tiende a ser de calidad superior al software propietario, es una visión meramente técnica.

¹⁶ Una API (del inglés Application Programming Interface - Interfaz de Programación de Aplicaciones) es un conjunto de especificaciones de comunicación entre componentes software.

¹⁷ Esta metodología fue propuesta por Marshall van Alstyne, Erik Brynjolfsson y Amy Austin Renshaw en 1997, Escuela de Negocios del MIT.

Consiste en tres matrices: (1) La matriz horizontal, representa el sistema de organización actual (2) la matriz vertical, representa el sistema de organización objetivo o propuesto (3) la matriz de la transición, es un puente entre los otros dos.

Ilustración 8: Partes de una matriz de cambio



IV.3.2. Construcción de una matriz de cambio

La construcción de una matriz de cambio contempla los siguientes pasos:

IV.3.2.1. Identificar los procesos de negocio, las metas actuales y los objetivos

Primero se debe enumerar las metas existentes, las prácticas de negocio, y las maneras de agregación de valor que existe en la empresa. Identificar los procesos más importantes puede ser difícil; pero puede ayuda enfocarse en las áreas de interés, los sistemas de información y los procesos críticos.

IV.3.2.2. Identificar procesos de negocio y objetivos deseados

Una vez que se haya identificado el estado actual y los procesos, el siguiente paso es levantar una lista de las nuevas prácticas o de los nuevos objetivos. La puesta en práctica de un cambio se puede pensar como el proceso de transición hacia un estado futuro deseado.

IV.3.2.3. Identificar las interacciones en la transición

Después de describir prácticas existentes, se debe completar la matriz triangular horizontal para identificar las practicas u objetivos complementarios y aquellos

competitivos entre sí. La complementación de procesos u objetivos refuerzan uno con otro mientras que la competencia entre ellos los enfrenta. Cuando existe complementación, se usa “+” para denotarla, en cambio si existe competencia, se utiliza “-”.

IV.3.2.4. Identificar interacciones de la transición

El próximo paso es la construcción de la matriz de transición, la matriz cuadrada central, que ayudará a determinar el grado de dificultad de cambiar desde las prácticas u objetivos actuales a las prácticas u objetivos deseados.

La matriz de transición muestra las interacciones de la transición y la importancia que pueden tener estas interacciones. Emerge de la combinación de las matrices horizontales y verticales de la matriz de cambio.

IV.3.3. Interpretando la matriz de cambio

Los beneficios del análisis de la matriz de cambio son que ayudan a identificar como los procesos actuales y los deseados interactúan entre ellos, además permiten visualizar un camino de transición.

Las preguntas que se podrían responder con este análisis son:

- Viabilidad: ¿El conjunto de prácticas u objetivos deseados constituyen un sistema coherente y estable? ¿El sistema actual de prácticas u objetivos es coherente y estable? ¿La transición parece ser fácil, difícil?
- Secuencia de la ejecución: ¿Dónde se debe empezar el cambio? ¿Cuál es la secuencia que podría asegurar el éxito de la transición?
- Localización: La densidad de relaciones que interfieren en la matriz de transición indica cómo serán los cambios propuestos. Si existe demasiada interferencia entonces existirá una mayor necesidad de aislamiento, y habrá mucho más por reorganizar. En cambio, si es poca, se la transición es una alternativa atractiva.
- Velocidad y naturaleza del cambio: ¿El cambio debe ser lento o rápido? ¿Incremental o radical? ¿Qué grupos de prácticas, si las hay, deben ser cambiados? ¿Cuáles al mismo tiempo?

V. CASO DE ESTUDIO

En el presente trabajo de título se aplica la metodología propuesta para el diseño de un sistema de apoyo para la administración de capacidad en la empresa de arriendos AB. Los datos recopilados corresponden a datos operativos de las gestiones 2002, 2003 y el primer trimestre de 2004, desde ahora el horizonte de estudio.

Al igual que la mayoría de las empresas en la industria de arriendo de equipos industriales, AB tiene resuelta su cotidianidad gracias a un sistema de información de desarrollo propio que soporta las áreas de: contabilidad, arriendos de equipos y bodega. La empresa está interesada en extender este sistema hacia uno que constituya un apoyo en la administración de capacidad. Esta necesidad es la que se recoge y se intenta cubrir con el desarrollo del proyecto.

En las siguientes líneas se hace una descripción de la empresa AB como sistema, su respectiva dinámica y un primer diagnóstico de la gestión de mantenimiento y la administración de capacidad en el horizonte de estudio.

V.1. Empresa AB y el negocio de arriendo de equipos industriales

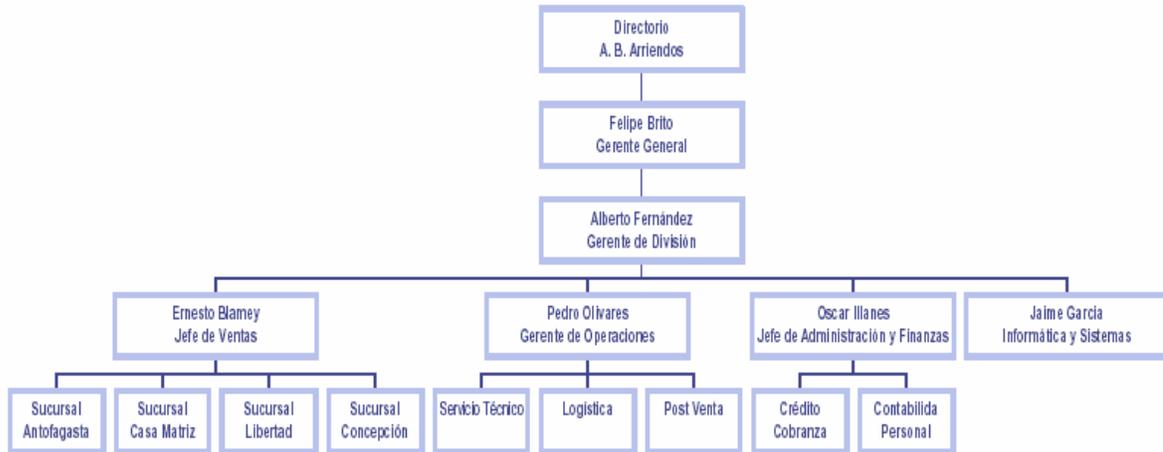
La empresa AB de arriendos de equipos industriales enfoca sus esfuerzos en dar soluciones integrales en el campo de equipos de soldar, generación de energía y sistemas de iluminación, ofreciendo equipos en arriendo por períodos que van desde un día hasta más de un año.

Desde noviembre de 1998, la empresa es propiedad de Küpfer Hnos. S.A. y The Lincoln Electric Co. (USA), siendo el servicio técnico autorizado de estas reconocidas compañías. Su logística les permite entregar en el tiempo oportuno y lugar adecuado los requerimientos del mercado. Pudiendo abastecer desde una soldadora hasta un gran proyecto de inversión.

Conscientes de la importancia que significa el ofrecer a sus clientes un mejor y eficiente servicio cuenta con una red de sucursales, las cuales están ubicadas en Antofagasta, Santiago y Concepción; a través de éstas, garantiza servicio de atención en los principales centros productivos del país.

A continuación se presenta el organigrama de la empresa AB. Respecto a la organización se puede decir que esta es del tipo lineal, debido a que es simple y de conformación piramidal, donde cada jefe recibe y transmite todo lo que sucede en su área. Las líneas de comunicación son rígidamente establecidas, cada subordinado se reporta solamente a su superior, tiene un solo jefe y no recibe órdenes de ningún otro.

Ilustración 9: Organigrama de la empresa AB

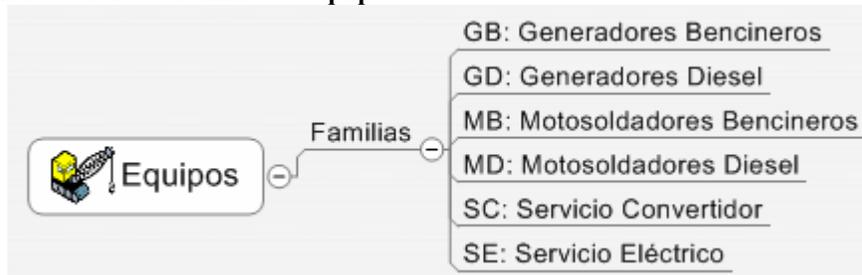


V.2. Sistema

V.2.1. Equipos

Existen seis líneas de equipos. La cantidad total de equipos bordea las 700 unidades.

Ilustración 10: Familias de equipos



V.2.2. Centros de arriendo

Existen tres centros de arriendo: Antofagasta, Santiago y Concepción.

Ilustración 11: Centros de arriendo



V.2.3. Taller de mantenimiento y bodega

Se encuentran centralizados en Santiago y su principal tarea es la intervención de los equipos. Estas intervenciones pueden ser de acuerdo al costo involucrado de carácter grave, medio y leve.

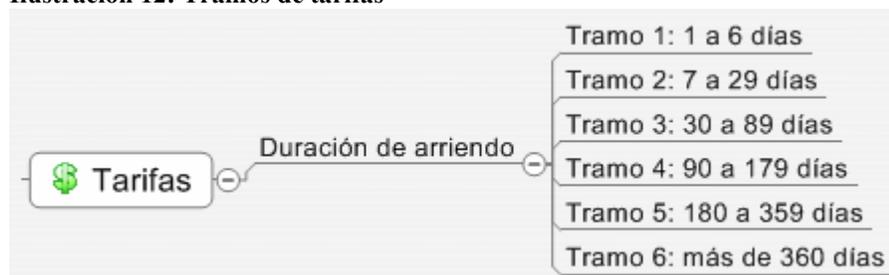
V.2.4. Clientes

Los clientes se encuentran distribuidos a lo largo del país. Su heterogeneidad es su principal característica, ya que existen clientes como empresas forestales, constructoras que solicitan grandes cantidades de equipos; y también existen clientes que solicitan una máquina generadora para cubrir alguna necesidad momentánea.

V.2.5. Negocio y tarifas

El negocio básicamente consiste en el arriendo de equipos industriales. Existen seis tipos de tarifas de acuerdo a la cantidad de días solicitados y al tipo de equipo.

Ilustración 12: Tramos de tarifas



V.3. Dinámica del sistema

V.3.1. Políticas de intervención en taller de mantenimiento

El jefe del taller de mantenimiento, de acuerdo al costo que significa intervenir un equipo, hace una lista de prioridad. Dicha lista se va vaciando de acuerdo a la prioridad asignada por el jefe del taller de mantenimiento.

V.3.2. Estados de los equipos

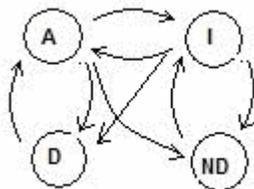
Se puede identificar cuatro estados para cada uno de los equipos:

- A: Arrendado
- D: Disponible
- I: En intervención
- ND: No disponible

El único estado que genera retorno es A, arrendado. Cuando un equipo se encuentra en el estado ND, no disponible, quiere decir que se está en una lista de espera de equipos a intervenir. Si el equipo se encuentra en intervención, su estado será I. Por último, todos aquellos equipos que han sido intervenidos y se encuentran listos para ser arrendados tienen el estado D, disponible.

A continuación se presenta las posibles transiciones entre los distintos estados:

Ilustración 13: Transición y estados de los equipos



V.4. Diagnóstico inicial en la empresa AB

El diagnóstico inicial de la administración de capacidad y de la gestión de mantenimiento en el horizonte de tiempo considerado consistió en cuantificar en términos de proporción de la recaudación:

- Los costos de intervención (CI), insumos y repuestos necesarios en la intervención de los equipos.
- El tiempo que se emplea en la intervención (I), el cual da cuenta de los procesos internos de mantenimiento.
- El tiempo en el cual el equipo se encuentra disponible (D), es decir el tiempo en el cual se observa capacidad ociosa.
- El tiempo en el cual el equipo se encuentra no disponible (ND), el cual da cuenta de la política de intervención en el taller de mantenimiento.
- La agregación de todos los factores anteriores.

A través de este ejercicio se puede identificar en cuanto es teóricamente posible aumentar los niveles de recaudación, específicamente en que área y en cuales familias.

Tabla 1: Datos normalizados respecto al promedio anual de recaudaciones - Medidas de diagnóstico

	CI	Intervención	No disponible	Disponible	CI + Estados
Todos	5%	7%	5%	36%	53%
GB	8%	9%	15%	69%	102%
GD	5%	14%	10%	53%	82%
MB	8%	8%	4%	52%	71%
MD	1%	3%	5%	37%	46%
SC	4%	5%	3%	26%	38%
SE	8%	4%	3%	34%	48%

De acuerdo a la anterior tabla, se podría argumentar que es posible aumentar la recaudación global en más del 50%. Bajo esta misma perspectiva se observa que donde

existe la mejor oportunidad es en la familia GB. De todas las medidas consideradas se observa que la capacidad subutilizada (Disponible) y la gestión de mantenimiento (Intervención y No disponible) son áreas donde los esfuerzos pueden tener mejores recompensas. En términos generales el techo para aumentar la recaudación, si se enfocan los esfuerzos en administración de capacidad y gestión de mantenimiento, es un 48%.

Este diagnóstico constituye una invitación a enfocar esfuerzos en procesos y gestión dentro de la empresa con el fin de aumentar los retornos.

VI. ALCANCES

El trabajo busca diseñar un sistema de apoyo en la administración de capacidad en la industria de arriendo de equipos industriales, y aplicar el diseño en una empresa de la industria, la empresa AB.

Los alcances del trabajo son:

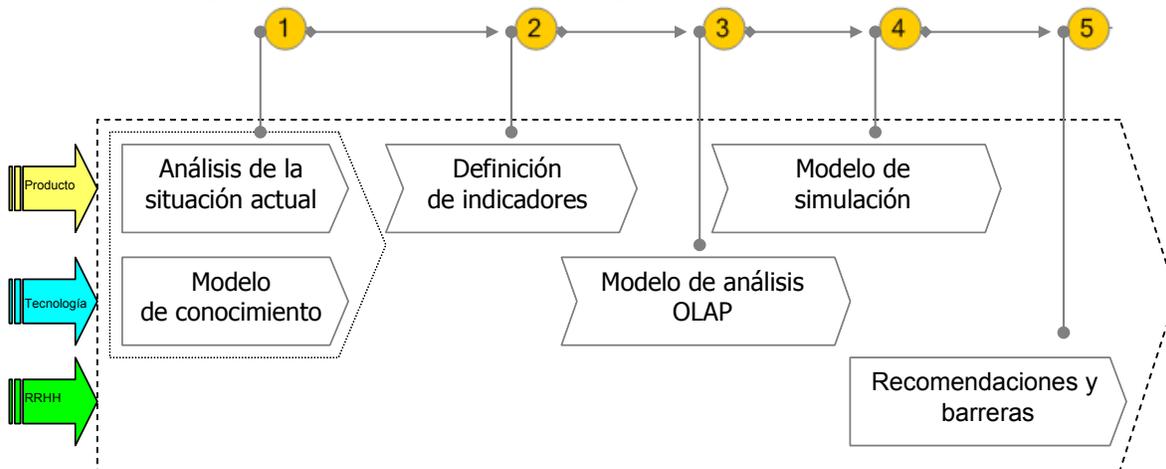
- Levantamiento de la información y procesos concernientes a la administración de capacidad. El levantamiento de la información y procesos estará plasmado en un modelo de conocimiento basado en lenguaje UML.
- Análisis del comportamiento de la demanda y la capacidad. De acuerdo a la información con que se cuenta el análisis corresponderá al horizonte de tiempo de los años: 2002, 2003 y primer trimestre de 2004, y se presentará a través de distintas ilustraciones.
- Intensidad de uso de la capacidad. La intensidad de uso de la capacidad será presentada a través de histogramas para el horizonte de tiempo contemplado.
- Propuesta de medidas de desempeño orientadas estas a la administración de capacidad. La propuesta será sometida a un análisis y se presentarán los resultados de su aplicación en la capacidad existente.
- Diseño y construcción de una plataforma para el análisis en función de la información que se tiene y las medidas de desempeño propuestas. El diseño se presentará a través de un diagrama estrella y su implementación se realizará con el software especializado, los resultados y la interfaz se presentarán a través de distintas ilustraciones.
- Diseño de un modelo de simulación que permita evaluar alternativas en la administración de capacidad. El diseño se presentará a través de ilustraciones con la respectiva explicación de todos los supuestos que se adoptaron, además se presentará la validación del modelo y los resultados que éste arroja al testear las alternativas en la administración de capacidad.
- Recomendaciones acerca de cómo y que podría cambiarse en el sistema de información actual. Las recomendaciones estarán sintetizadas e ilustradas a través de una matriz de cambio, con esta se sugerirá cual es la mejor estrategia en la implementación del sistema.

VII. ACTIVIDADES DEL PROYECTO

El proyecto consiste en diseñar un sistema de apoyo para la administración de capacidad en la industria de arriendo de equipos industriales, aplicarlo a una empresa en particular: AB Arriendos y observar los resultados de dicha aplicación así como las principales barreras para su implementación.

Las etapas del proyecto corresponden al enfoque metodológico descrito con anterioridad; sin embargo con el fin de estructurarlo y obtener la mayor sinergia posible en la ejecución, se propone la siguiente secuencia de actividades:

Ilustración 14: Figura esquemática del desarrollo del proyecto



Las flechas de color corresponden a los elementos constitutivos del enfoque planteado, descritos de arriba hacia abajo corresponden a: producto, tecnología y recurso humano.

VII.1. Actividad 1: Análisis de la situación actual y Modelo de conocimiento

En esta actividad se combina las perspectivas de producto y tecnología. Primero se procede con el análisis del comportamiento de:

- La evolución del parque y demanda, cuyo objetivo es identificar posibles capacidades ociosas o subutilizadas.
- La intensidad de uso de las distintas familias de equipos. Se dice que el uso de cierto equipo es más intenso que otro si las frecuencias de arriendo son mayores para el primero. Dado que los equipos se pueden encontrar en distintos estados, se puede observar y analizar las frecuencias de ocurrencia para cada uno de los estados y de esta manera identificar intensidades de uso, de reparación o intervención.

Desarrollada la familiaridad con el sistema a través del anterior ejercicio se construye un modelo de conocimiento basado en lenguaje UML para visualizar, especificar y documentar los procesos de negocio y funciones de sistema que involucren la administración de capacidad y la gestión de mantenimiento.

VII.2. Actividad 2: Definición de indicadores

. Una vez reconocidos la situación actual y la información con la que se cuenta respecto de los procesos y funciones que involucran la administración de capacidad en la empresa se propone la construcción de indicadores de desempeño que permitan la categorización de los equipos. Dado que el mantenimiento es el proceso interno central en la empresa, la construcción de estos indicadores conjuga con paradigmas de mantenimiento.

VII.3. Actividad 3: Modelo de análisis OLAP

A esta altura, con las etapas anteriores ejecutadas, se tiene un escenario claro respecto a la información, procesos e indicadores concernientes a la administración de capacidad en la empresa. Es en esta etapa que se diseñan y se construyen las herramientas que permitan monitorear la intensidad de arriendo de las respectivas familias de equipos y permitan a su vez identificar aquellos candidatos para la renovación de acuerdo a los indicadores planteados; los que harán de criterios de categorización.

Para este fin se utiliza OLAP multidimensional, MOLAP, como método de almacenamiento de datos, el software a utilizar debe ser compatible con las prácticas actuales y la estructura del sistema de información que existe en la empresa, esto a fin de aminorar el impacto en la organización de la propuesta de diseño del sistema de apoyo en la administración de capacidad.

VII.4. Actividad 4: Modelo de simulación

En esta etapa se construye un modelo de simulación que integre todo el levantamiento de información anterior, cabe decir los procesos internos y el comportamiento de la demanda. De esta manera se pretende replicar el funcionamiento de la empresa. Todo esto constituye la herramienta que permitirá evaluar el impacto de las decisiones en ciertos horizontes de tiempo.

Las restricciones para la simulación están determinadas por la información disponible y por la compatibilidad con los datos de entrada.

VII.5. Actividad 5: Recomendaciones y barreras en la implementación del sistema

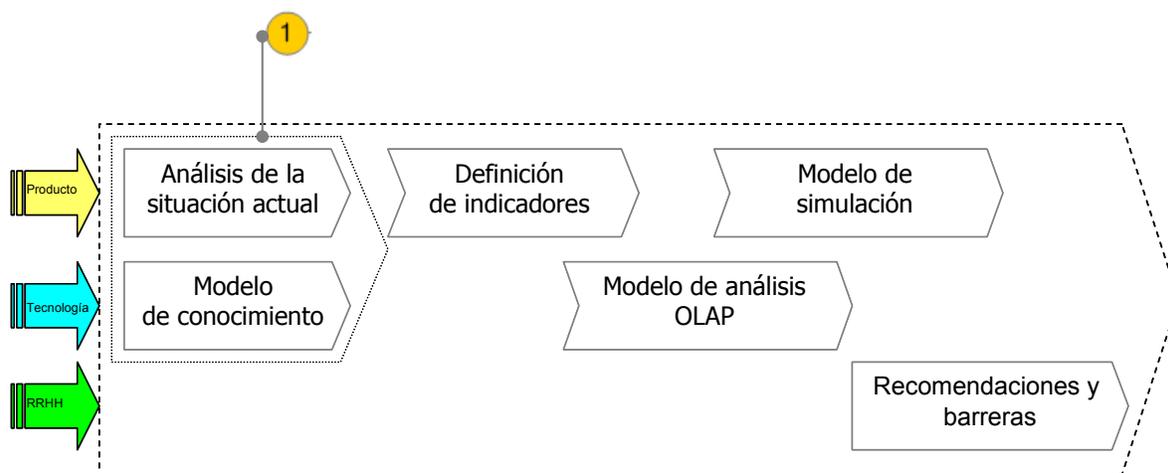
Finalmente se indican los principales factores que serán tomados en cuenta para la implementación del sistema desarrollado, así como la mejor manera de realizar la transición del sistema actual al sistema deseado.

VIII. DESARROLLO DE RESULTADOS

En este capítulo se desarrollan uno a uno los resultados de las distintas etapas planteadas.

VIII.1. Actividad 1: Modelo de conocimiento e identificación de la situación actual

Ilustración 15: Modelo de conocimiento e identificación de la situación actual



VIII.1.1. Análisis de comportamiento y la evolución de la capacidad y la demanda

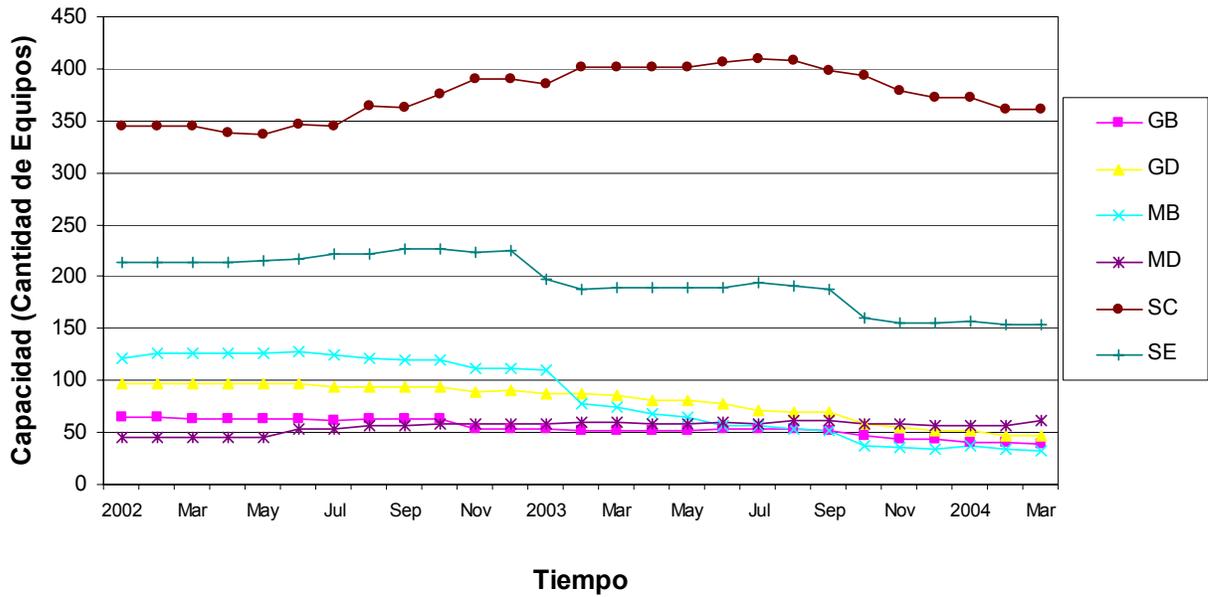
El análisis se refiere a: la evolución de la capacidad, la evolución de la demanda y a la intensidad de uso de la capacidad ofertada.

VIII.1.1.1. Capacidad

La siguiente ilustración da cuenta de la evolución de capacidad para los años 2002, 2003 y primer trimestre de 2004. Se observa en general una reducción en la capacidad agregada desde los 900 equipos a 700 equipos. La reducción se concentro en las familias: MB, SE, GB y GD. A la vez se observan incrementos en capacidad para las familias: SC y MD.

Ilustración 16

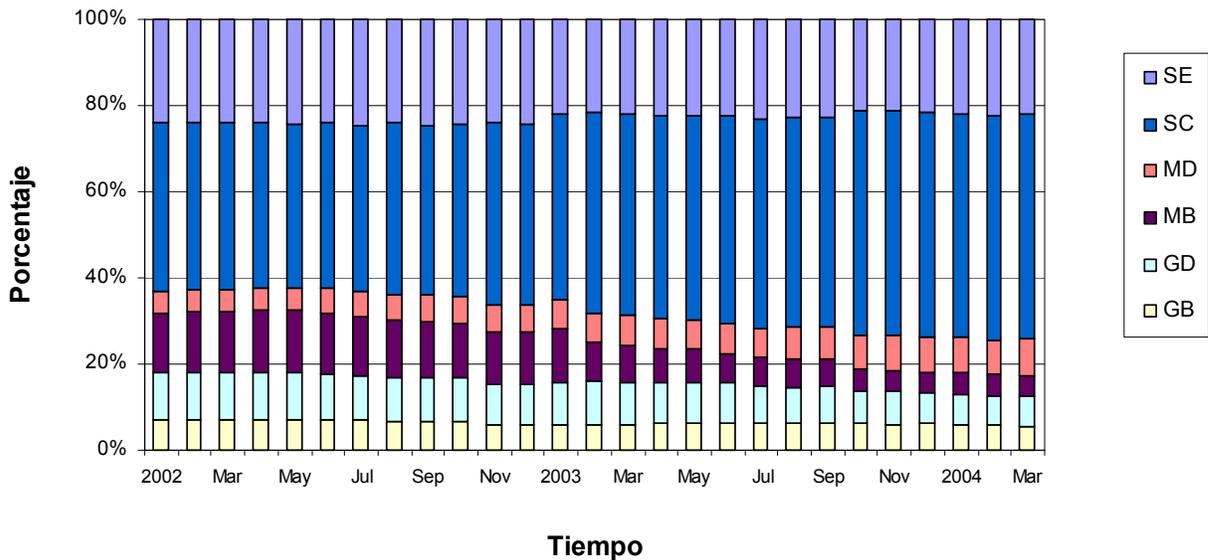
Evolución de la capacidad



A continuación se presente un detalle la evolución de la participación de las distintas familias en la capacidad agregada.

Ilustración 17

Evolución de la participación en la capacidad

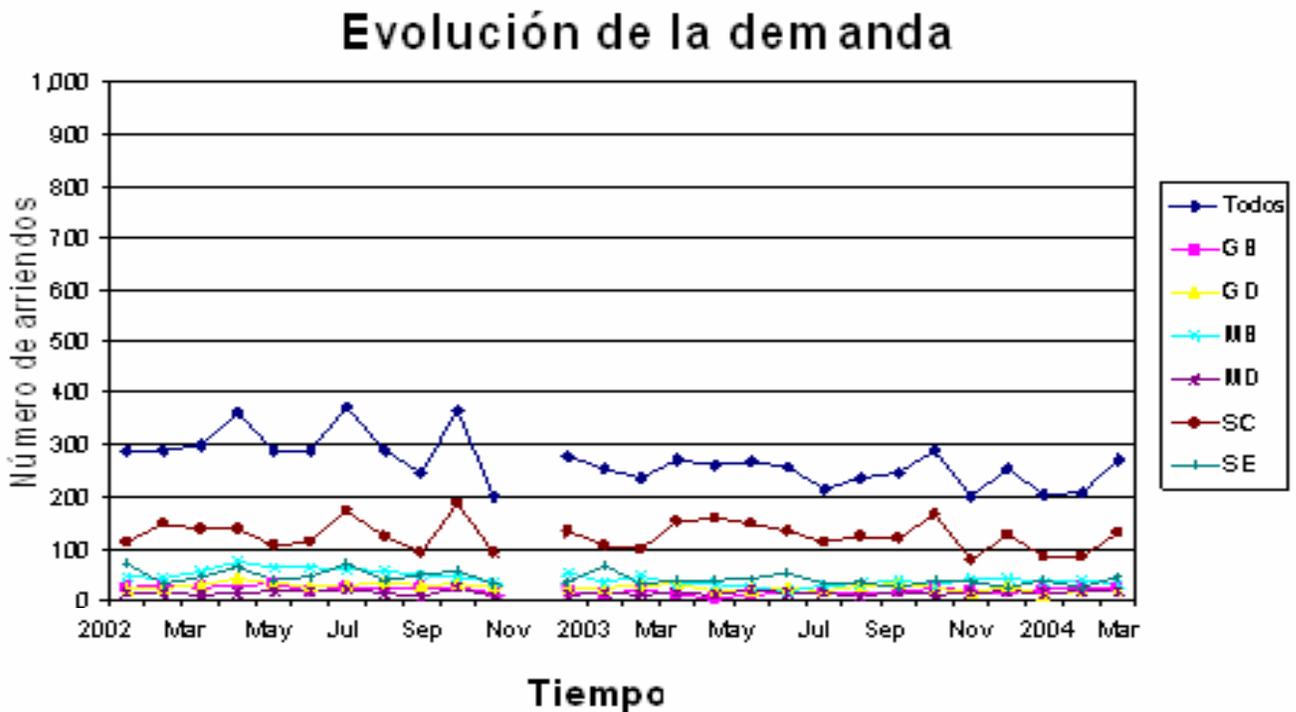


Esta ilustración hace más evidente los decrementos e incrementos de capacidad para las distintas familias de equipos. Se observa que las familias SC y SE constituyen más del 70% de la capacidad agregada.

VIII.1.1.2. Demanda

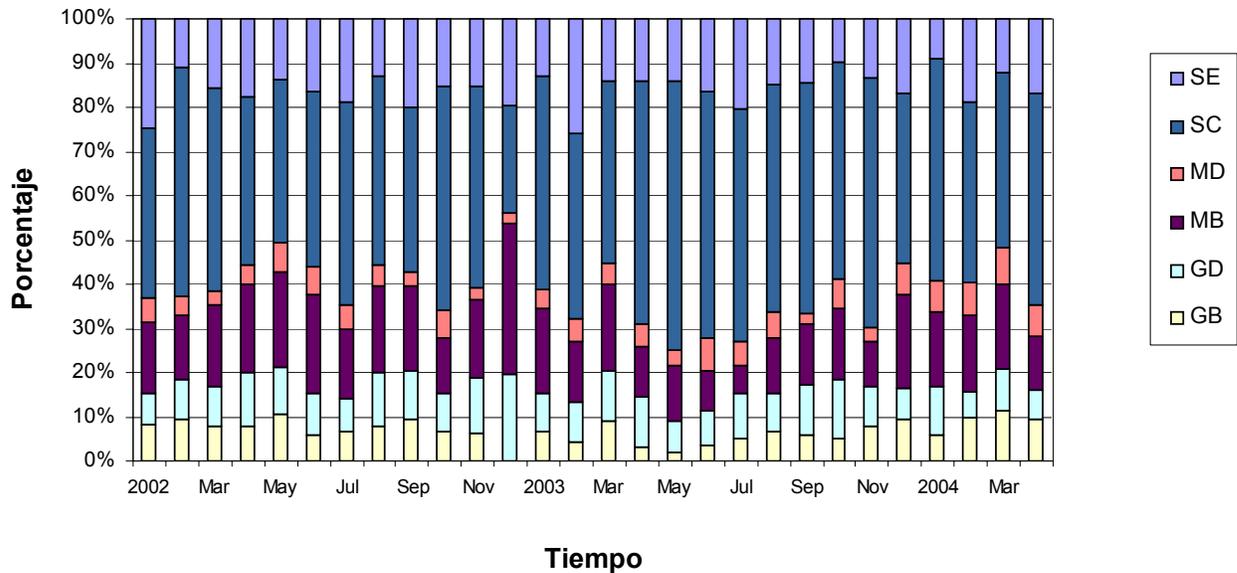
Del mismo modo se hace el respectivo análisis de la evolución de la demanda para los años 2002, 2003 y primer trimestre de 2004. Al realizar este análisis se identificó irregularidad en los datos, específicamente para el mes de diciembre de 2002. La razón se atribuye a una pérdida de datos en la migración de información.

Ilustración 18



La tendencia de la demanda agregada refleja un decremento de aproximadamente 80 equipos, considerando que en el mismo periodo de tiempo la capacidad fue reducida en aproximadamente 200 equipos se puede afirmar que la estrategia de reducción no tuvo demasiado impacto en la oferta y correspondió a un ajuste de capacidad. A continuación se ilustra la evolución de la participación de las familias en la demanda.

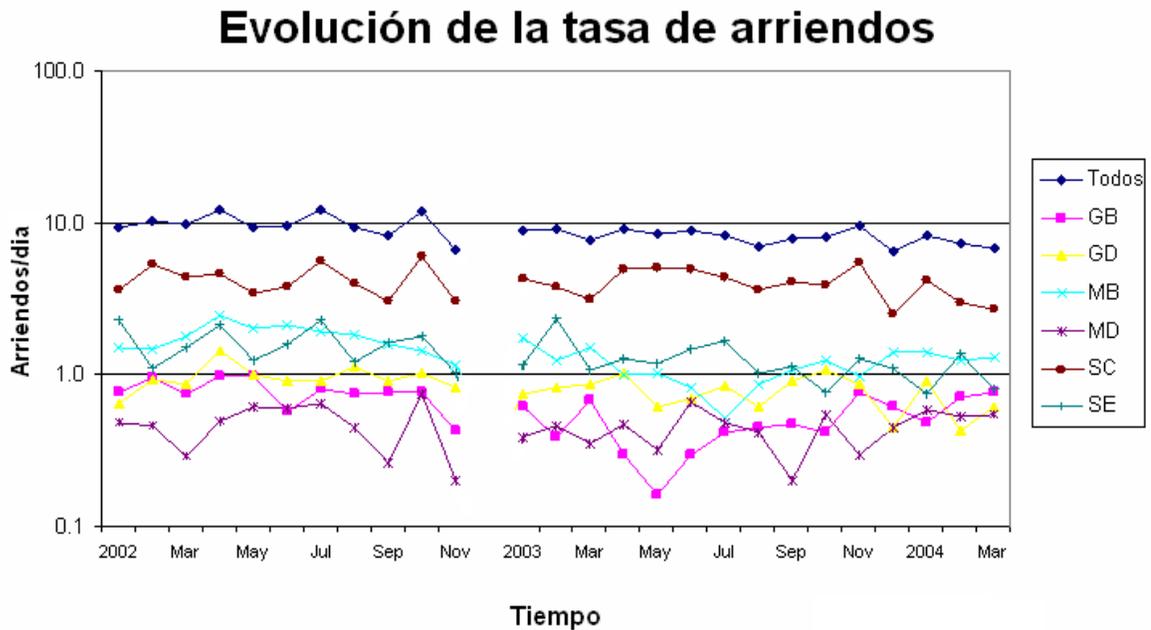
Evolución de la participación en la demanda



En esta ilustración se observa que las familias SE, SC y MB concentran aproximadamente el 60% de la demanda agregada. Este dato es curioso si se considera la información previa respecto a la capacidad, ya que, si bien existe una correlación entre las respectivas participaciones de las familias en la capacidad y en la demanda, se observa diferencias significativas, más aún si se considera por separado el grupo de familias MB, GB y GD que representan un 35% en la participación de la demanda y solamente 20 % en la participación de capacidad.

VIII.1.1.3. Tasa de arriendos

A modo de identificar la evolución en la tasa de arriendos se presenta la siguiente ilustración. La escala utilizada en el eje arriendos/mes es logarítmica, de esta manera se puede apreciar mejor los cambios en la tasa de arriendos.

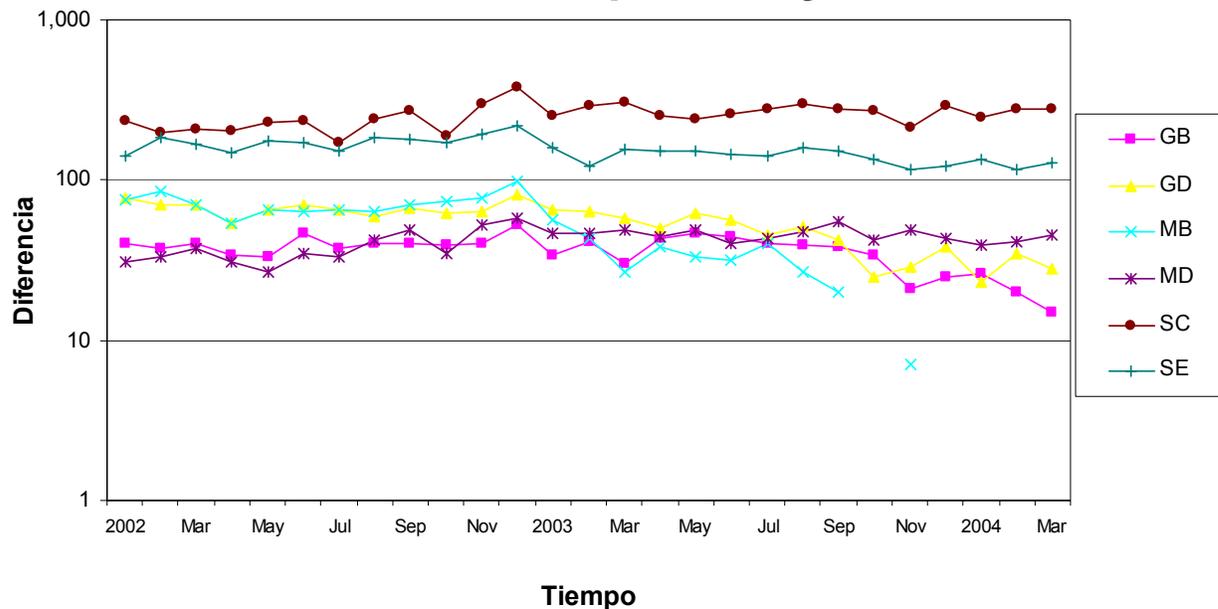


Se observa que para el mes de diciembre de 2002 los datos no corresponden al comportamiento habitual; además en líneas generales se puede observar que cada familia sufre un leve descenso en la tasa de arriendos/mes.

VIII.1.1.4. Capacidad y demanda

Una vez representados tanto la evolución de la capacidad y de la demanda, se estimo conveniente ilustrar para los mismos periodos de tiempo la diferencia entre la capacidad existente y la demanda solicitada, de igual manera que en la anterior ilustración la escala correspondiente al eje diferencia es logarítmica.

Diferencia entre capacidad y demanda



Se pueden identificar dos grupos de familias:

- El primero constituido por las familias: GB, GD, MB y MD, cuya característica principal es que la diferencia entre capacidad existente y demanda solicitada no supera los 100 equipos y es superior a los 10 equipos. En particular se observa que dicha diferencia en la familia MB cae bajo las 10 unidades, es más en los últimos meses se tuvo que subarrendar para cubrir la demanda solicitada.
- El segundo constituido por las familias: SC y SE, cuya característica principal es que la diferencia entre capacidad existente y demanda solicitada supera los 100 equipos, y dichas cantidades tienen un comportamiento estable en el horizonte considerado.

VIII.1.1.5. Intensidad del uso la capacidad ofertada

De acuerdo a la metodología propuesta, se ilustra la intensidad del uso de la capacidad ofertada con histogramas. A través de estos se podrá identificar cual es la frecuencia con la que una determinada cantidad de equipos se encuentra arrendada simultáneamente. De esta manera se podrán observar las cimas en las curvas de solicitud de arriendos y evaluar de manera gráfica si el nivel de la capacidad ofertada es suficiente o no para atender la demanda, en otras palabras, poder definir o monitorear un nivel de servicio. Se considera un nivel de servicio de 100% cuando ante cualquier solicitud de arriendo existe un equipo disponible para arrendar. Luego, de manera más formal, el nivel de servicio es:

NS = número de respuestas satisfactorias a solicitudes de arriendo/número de solicitudes de arriendo

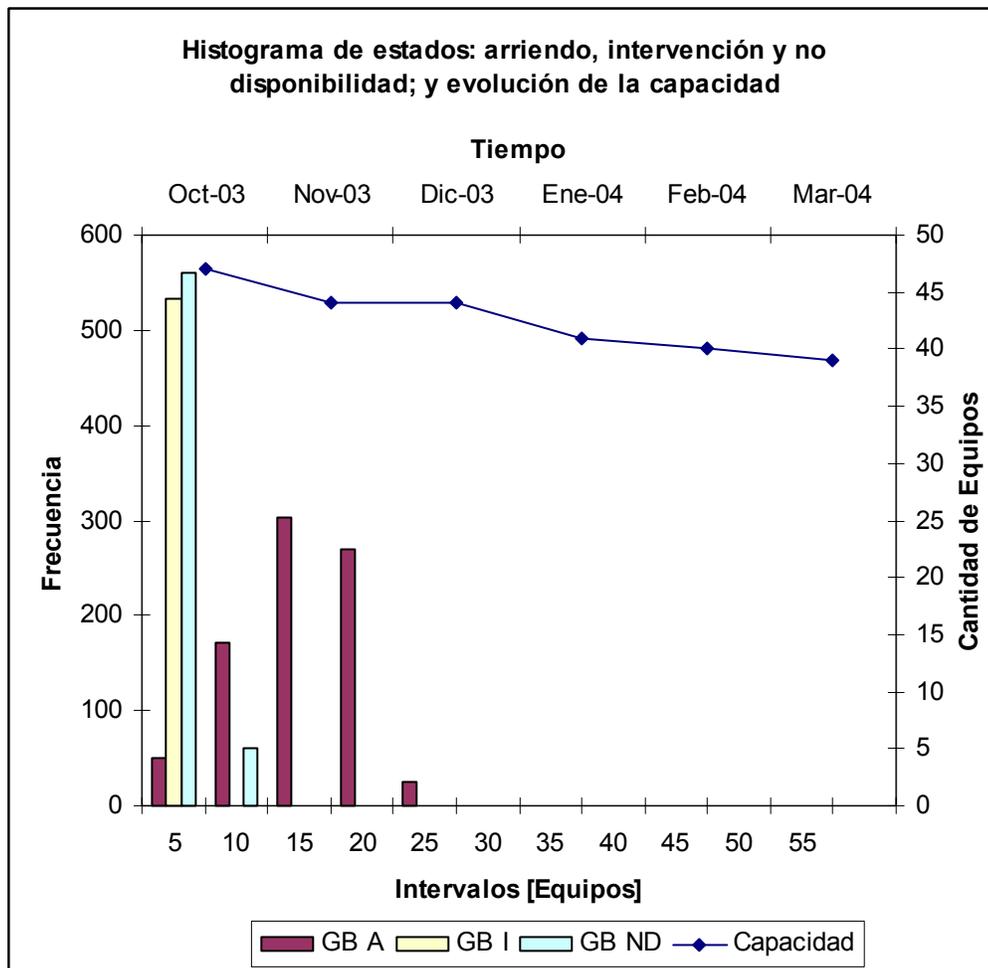
Dónde:

Respuesta satisfactoria indica que existe equipo disponible para arrendar

Se estimo conveniente incluir en los histogramas la evolución de la capacidad para el último semestre del horizonte de tiempo considerado. Así, se podrá evaluar en el mismo gráfico la intensidad de uso de la capacidad ofertada.

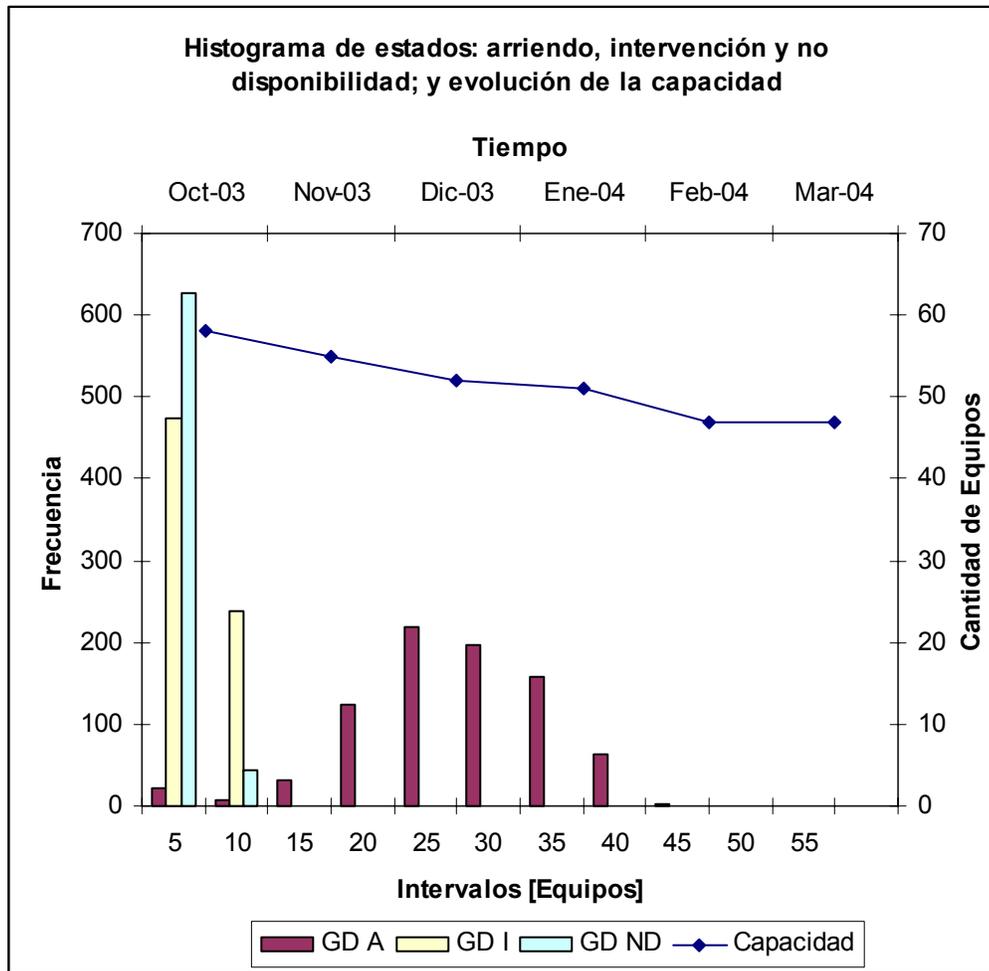
Para distinguir los estados: arriendo, intervención y no disponible se utilizarán las letras A, I y ND respectivamente. A continuación se presenta el análisis desglosado por familia.

Ilustración 22



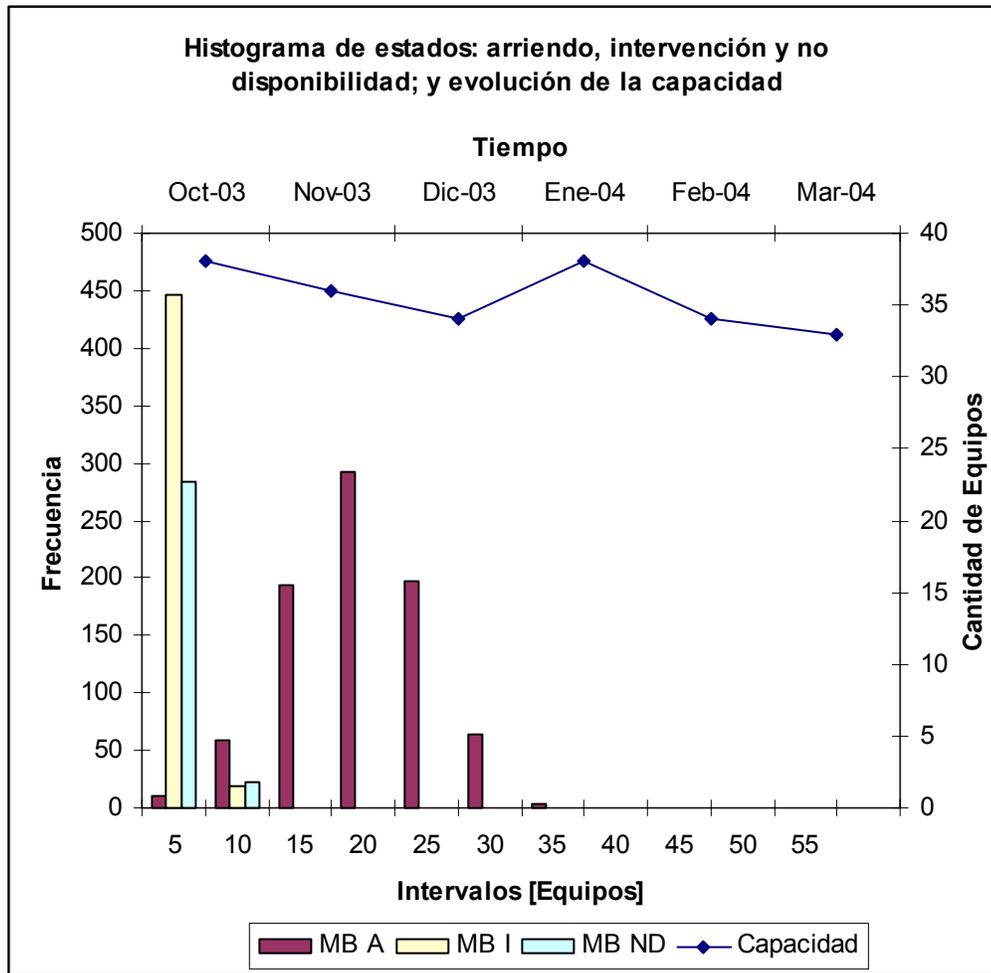
Para esta familia de equipos se observa cierta holgura en la cantidad de equipos como oferta, puesto que aún para un nivel de servicio que satisfaga el 99% de los registros históricos se disponen de equipos para ofertar.

Ilustración 23



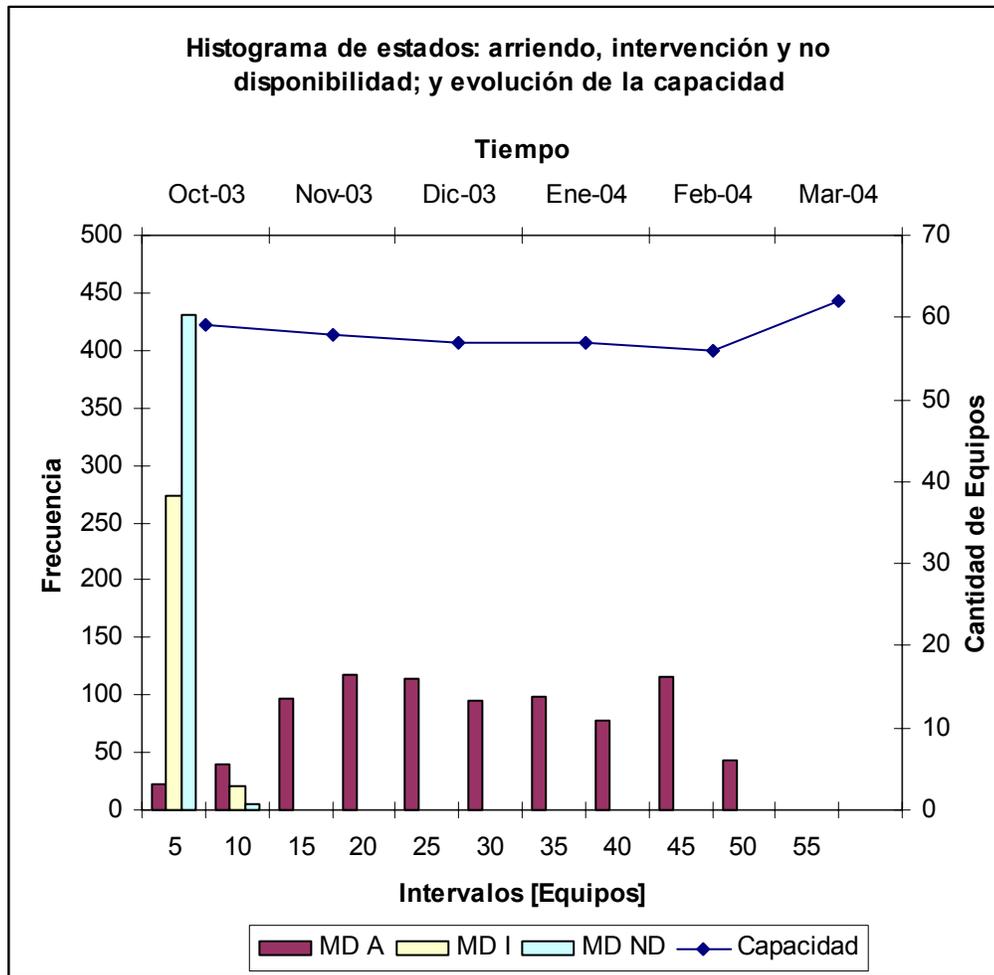
Esta familia presenta una menor holgura. Si se considera un nivel de servicio que satisfaga el 95% de los registros históricos la cantidad de equipos en oferta es la justa y necesaria.

Ilustración 24



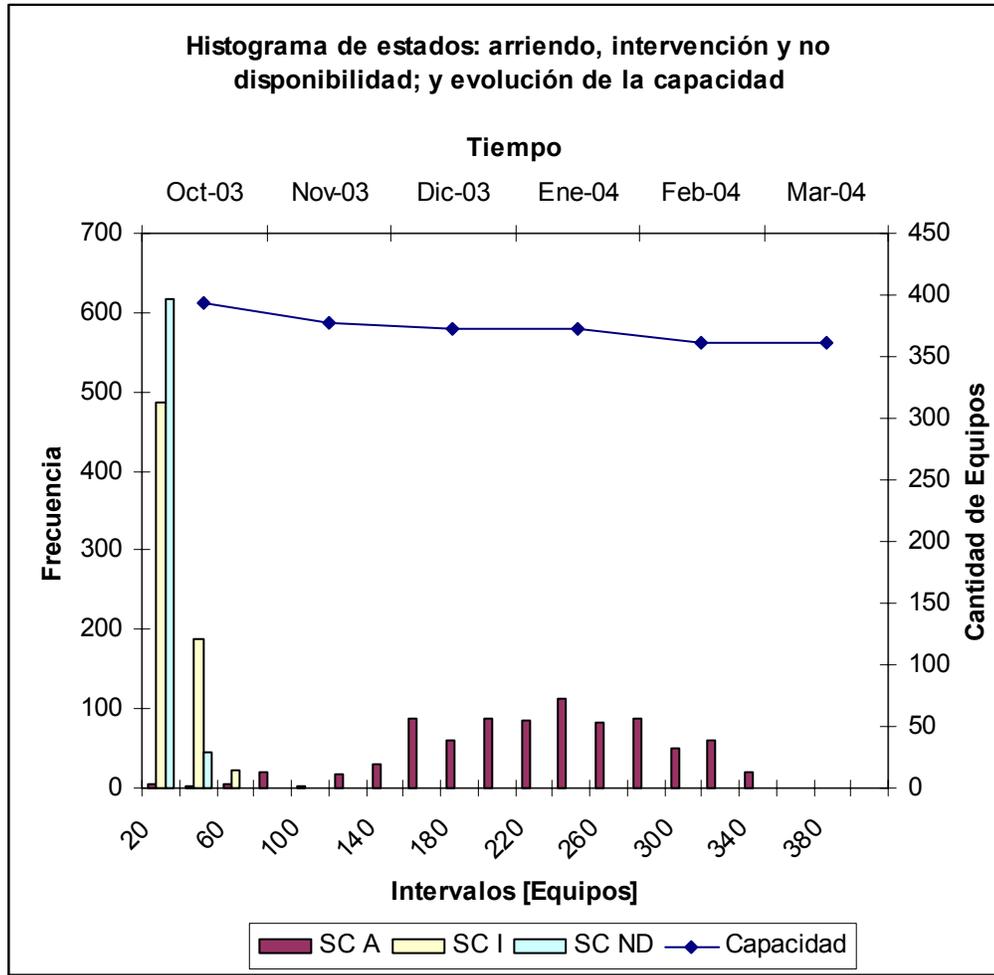
Esta familia dispone de una cantidad insuficiente de equipos si se considera un nivel de servicio que satisfaga el 90% de los registros históricos.

Ilustración 25



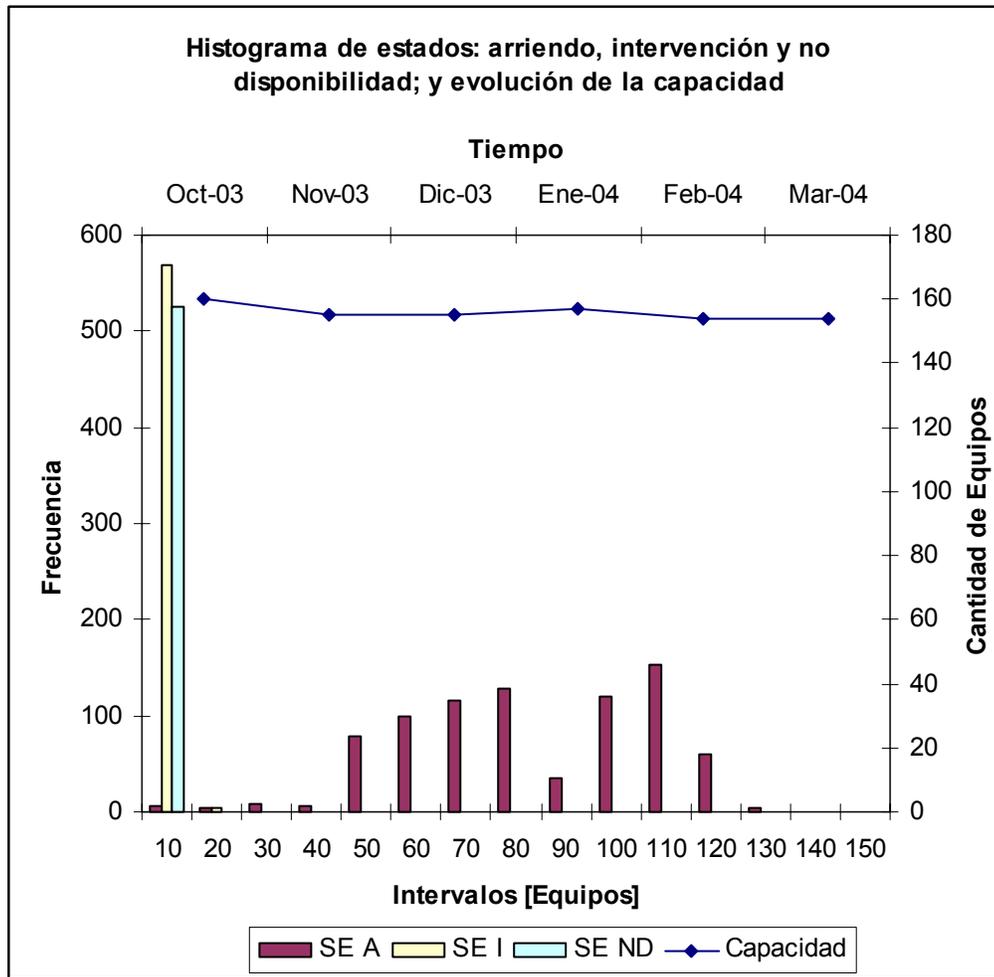
Casi igual que en el primer caso, para esta familia de equipos se observa cierta holgura en la cantidad de equipos como oferta, puesto que para un nivel de servicio que satisfaga el 99% de los registros históricos se disponen de la cantidad justa y necesaria de equipos para satisfacer demanda simultánea de equipos.

Ilustración 26



Esta familia presenta una menor holgura. Si se considera un nivel de servicio que satisfaga el 95% de los registros históricos la cantidad de equipos en oferta es apenas la suficiente.

Ilustración 27



En esta familia se observa una significativa holgura en la cantidad de equipos, puesto que para un nivel de servicio que satisfaga el 99% de los registros históricos, existe una sobreoferta de más de 10 equipos.

VIII.1.1.6. Resumen del análisis

Se elaboró un diagnóstico de la gestión de capacidad y el requerimiento de ésta. Se observa en líneas generales que existe y se ha manejado mucha capacidad ociosa, esto considerando distintos niveles de servicio. En general se observa que los procesos internos de la empresa son determinantes si se quiere hablar de capacidad real ofertada, considerando esto último la capacidad actual existente cubre un nivel de servicio del 90% de los registros históricos en forma desagregada, cabe decir por familia.

A continuación se presenta en detalle la capacidad actual y su respuesta, medida como nivel de servicio, a las solicitudes de demanda simultánea obtenidas de los registros históricos.

Tabla 2: Capacidad actual y su respuesta como niveles de servicio para registros históricos

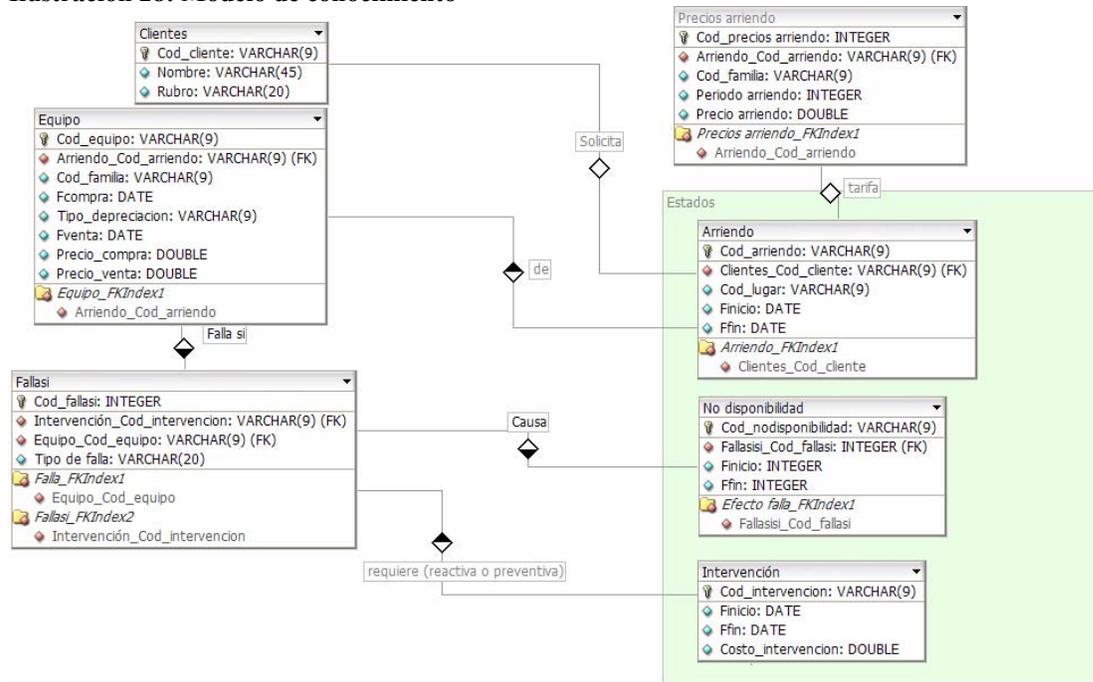
Familias	Estados	Niveles de servicio que cubren la demanda para registros históricos			Capacidad
		90%	95%	99%	
GB	A	18	21	23	
	I	4	5	5	
	ND	5	6	9	
	Total	27	32	37	
GD	A	33	36	41	
	I	5	5	5	
	ND	4	7	10	
	Total	42	48	56	
MB	A	23	26	30	
	I	5	5	7	
	ND	4	7	10	
	Total	32	38	47	
MD	A	43	45	48	
	I	5	7	9	
	ND	3	5	6	
	Total	51	57	63	
SC	A	298	312	325	
	I	35	38	42	
	ND	17	20	25	
	Total	350	370	392	
SE	A	109	113	120	
	I	6	8	10	
	ND	6	9	10	
	Total	121	130	140	
Total	A	524	553	587	
	I	60	68	78	
	ND	39	54	70	
	Total	623	675	735	

Es inmediato identificar que los procesos internos afectan a la capacidad real ofertada en un rango de 100 a 150 equipos. Luego, a la luz de estos resultados es conveniente enfocar esfuerzos también en el control de los procesos internos y las políticas de intervención del taller.

VIII.1.2. Modelo de conocimiento basado en UML

El resultado de levantamiento de información y los procesos de aquello concerniente a la administración de capacidad se sintetiza en la siguiente ilustración.

Ilustración 28: Modelo de conocimiento



A los objetos clientes, equipo, fallas, precios de arriendo, arriendo, no disponibilidad, e intervención se denominan clases. Cada clase tiene información que la identifica y se relaciona con otras clases.

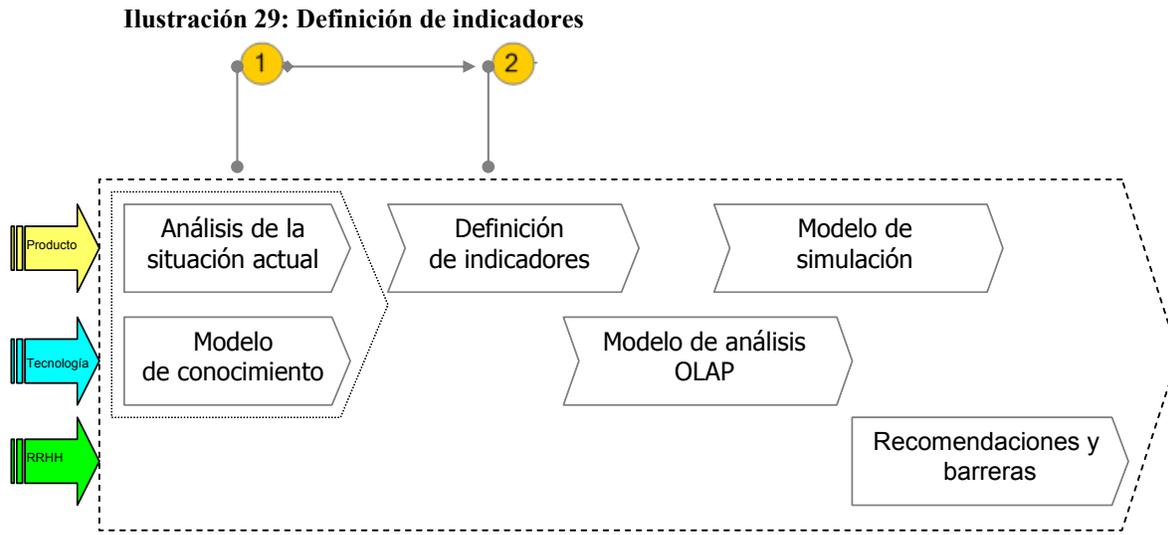
A modo de detallar las partes del modelo de conocimiento se puede decir que respecto a la clase:

- **Cliente.** Se registran debidamente a los clientes y es posible separarlos por rubro, esta información no es tan relevante para el diseño de administración de capacidad; pero será esencial si se considera la evolución del diseño propuesto hacia uno donde se pueda discriminar y analizar a los clientes, por esta razón se la incluye en el modelo de conocimiento.
- **Equipo.** La información de esta clase incluye una bitácora de los arriendos que tuvo el equipo, así como su debida clasificación dentro del parque, cabe decir clasificación por criterio y algún tipo de subcriterio si corresponde. Dado que la empresa fue comprada en 1998, tanto las fechas de compra, los montos por la adquisición y las depreciaciones están estandarizados y no existe una debida discriminación caso a caso, por esta razón se cataloga esta información como no fiable por lo que se decidió prescindir de ésta para el diseño del sistema de apoyo en la administración de capacidad, sin embargo esto no significa que a futuro se pueda incluir esta información.
- **Fallas.** La información de esta clase esta totalmente aislada del sistema de información de la empresa, si bien existe un vínculo evidente, tal cual se muestra en el modelo de conocimiento, prácticamente se tuvo que levantar el historial de fallas para cada uno de los equipos, esto con la documentación histórica disponible, cabe decir aquella correspondiente a 2002, 2003 y primer trimestre de 2004.

- Precios de arriendo. Esta clase es la que mejor representa la estructura de clasificación de los equipos, por lo tanto es esencial para comprender la estructura de las familias existentes, además provee la información de las tarifas de acuerdo a períodos de arriendo.
- Arriendo. En esta se observa el registro de todos los arriendos, incluyen en dicha información la fecha inicial de arriendo, la fecha final y el centro de arriendo. El sistema de información esta orientado a esta clase específica, por lo que se considera es la información más fidedigna.
- No disponibilidad. Dado que esta clase se vincula con la clase fallas, entonces comparte ese aislamiento del sistema de información antes mencionado, por lo tanto si bien es clasificado como información esencial para el diseño del sistema también se tuvo que hacer un levantamiento de los datos.
- Intervención. Al igual que las clases fallas y no disponibilidad, para manipular esta información se tuvo que hacer el levantamiento respectivo de la información histórica. Esto significa digitalizar los datos en implementar una base de datos con la información de la clase.

El modelo de conocimiento permite visualizar los procesos más importantes, la información relevante y la interacción de estos elementos. Ésta será la base para el diseño del modelo de análisis ya que determina la frontera de acción.

VIII.2. Actividad 2: Definición de indicadores



Una vez definidos los indicadores y recabada la información disponible, se procedió a la construcción de ellos y al análisis del grado en que representan objetivamente el desempeño o lo que se pretende medir con ellos. A continuación se presentará un análisis de las correlaciones existentes entre los distintos indicadores. Su objetivo es poder estudiar cuáles son las variantes que inciden en los comportamientos. Para cada relación entre las variables de interés, se confeccionó un gráfico de burbujas.

Además se muestra el valor del coeficiente R^2 , que puede interpretarse como la proporción de la varianza de la variable dependiente que puede atribuirse a la varianza de la variable independiente. Tanto los gráficos como el estadígrafo R^2 constituyen una ayuda en la comprensión global del comportamiento de los indicadores.

VIII.2.1. Indicadores

Los indicadores propuestos tienen estrecha relación con los estados definidos para la dinámica del arriendo de equipos: arriendo, disponible, intervención y no disponible; y miden:

- Ocupación [IO]. Este indicador mide cuanto se han ocupado estos equipos.
- Penetración [IP]. Este indicador mide la aceptación del equipo por parte de la demanda, su penetración en el mercado.
- Disponibilidad [ID]. Este indicador mide la disponibilidad del equipo, entendiéndose esta como aquella condición en la cual el equipo no está sujeto a una intervención ni está esperando recursos en el taller de mantenimiento.
- Política de intervención [IPI]. El indicador mide la política de intervención del taller.
- Fallas [IF]. El indicador mide la cantidad de eventos de falla que se registraron.

- Manipulación [IM]. Da cuenta de la cantidad de transiciones de estado para que se de un arriendo.
- Retorno [IR]. Mide el retorno del equipo considerando: arriendos y costos de intervención.
- Costos [IEC]. Mide los costos de intervención del o de los equipos.

VIII.2.2. Análisis de correlación

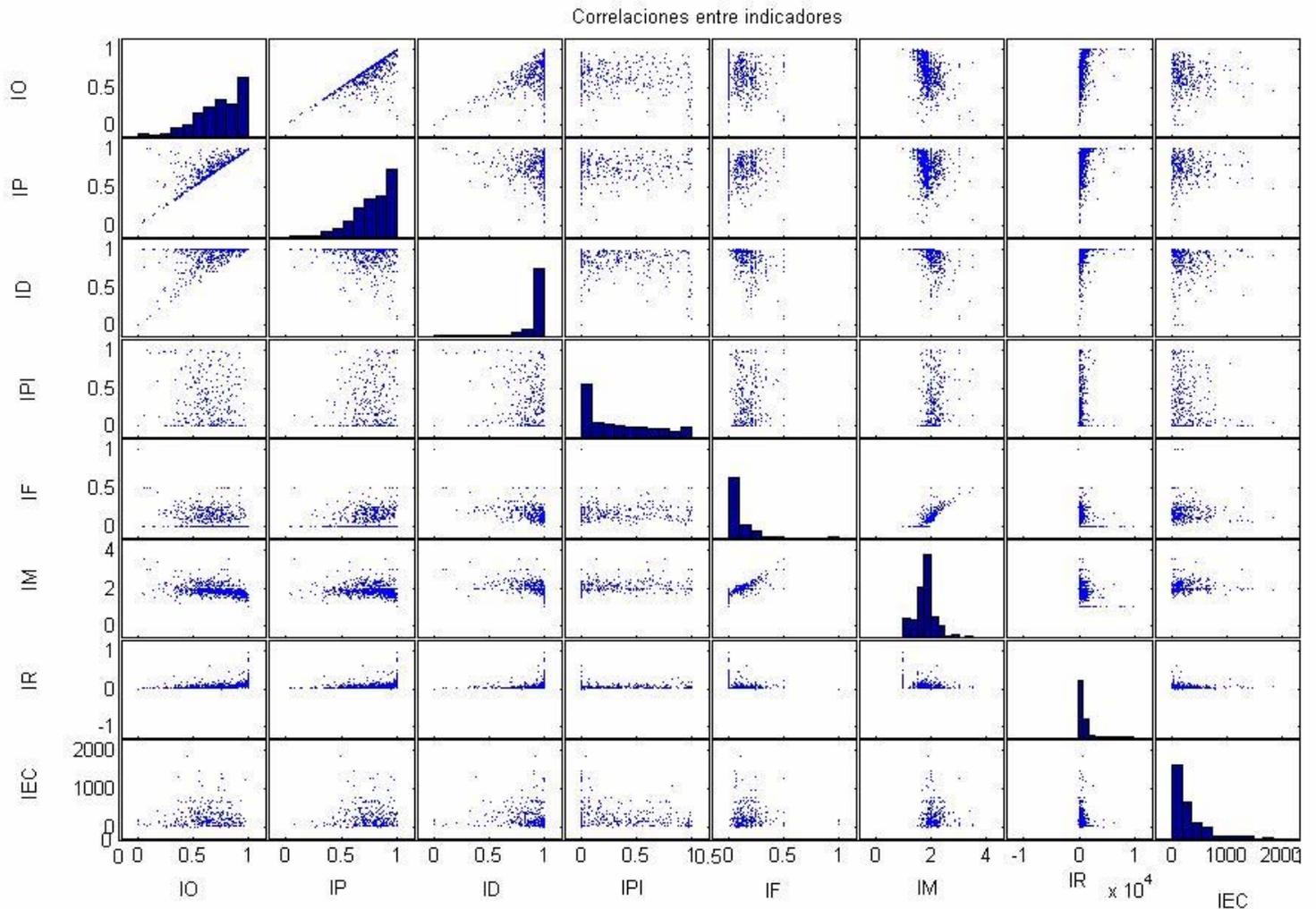
A continuación se expone el análisis de correlación de los indicadores propuestos, los coeficientes R^2 , son:

Tabla 3: Matriz de correlaciones (R^2)

	IO	IP	ID	IPI	IF	IM	IR	IEC
IO	1,00	0,75	0,31	0,00	0,18	0,30	0,11	0,00
IP		1,00	0,00	0,01	0,00	0,13	0,10	0,00
ID			1,00	0,03	0,55	0,25	0,02	0,00
IPI				1,00	0,00	0,02	0,00	0,03
IF					1,00	0,53	0,02	0,00
IM						1,00	0,08	0,00
IR							1,00	0,01
IEC								1,00

Los coeficientes R^2 entre los indicadores propuestos son bajos, salvo el caso de los indicadores: IO e IP, IF e ID, IF e IM. Sin embargo en términos generales no existe una dependencia fuerte entre estos. A continuación se presentan los gráficos burbuja que apoyan la afirmación anterior.

Ilustración 30: Correlaciones entre indicadores



Se observa que los gráficos correspondientes a la diagonal son histogramas de los indicadores, estos dan una idea de cual es la distribución y la varianza de los indicadores. Mientras el indicador presente mayor varianza y esta se encuentre distribuida en el dominio del indicador tanto mejor para explicar y categorizar los equipos.

A la luz de este análisis se trabajará con el grupo de indicadores propuestos ya que cada uno presenta una varianza que permite categorizar los equipos y responden satisfactoriamente a preguntas que se plantean al tratar de establecer criterios de desempeño.

VIII.2.3. Uso de los índices propuestos

Los índices propuestos permiten jerarquizar y categorizar los equipos, de esta manera se puede identificar de acuerdo a distintos criterios cuales son los equipos más críticos. A continuación se exhiben dos resultados de la aplicación de los indicadores.

El primero da cuenta de la categorización en el horizonte de estudio, cabe decir un poco más de dos años.

Tabla 4: Equipos críticos para cada uno de los indicadores propuestos en el horizonte de estudio

IO	IP	ID	IPI	IF	IM	IR	IEC
GB35	GB1	GB67	MB176	GB67	GB58	GB20	GB3
GB62	GB2	GB79	SC279	GD46	GB67	GB7	GD107
GB67	GB3	GD69	SC371	GD77	GD106	GD69	GD84
GD33	GB7	GD78	SC375	GD88	GD77	MB108	GD90
GD39	GD69	SC344	SC377	SC281	GD78	MB207	MD60
GD69	GD76	SC357	SC392	SC535	MD44	MB211	MD65
GD78	SC24	SC411	SC424	SE118	MD55	MB213	SC120
SC146	SC410	SC433	SC426	SE247	SC344	SE219	SC333
SE204	SC460	SC524	SC532	SE258	SC434	SE255	SC475
SE285	SE204	SC526	SE210	SE315	SE315	SE319	SC537
SE287	SE345	SE210	SE245	SE345	SE345	SE345	SE223

Se escogieron para cada criterio los diez equipos más críticos, este número corresponde a un ajuste tentativo de ochenta equipos en la capacidad ofertada. El análisis de capacidad previo conjugado con la aplicación de los indicadores de desempeño permite ser eficaz a la hora de orientar esfuerzos en la administración de capacidad.

El segundo resultado es la aplicación de los indicadores a un horizonte de tiempo menor, el último semestre del horizonte de estudio. De acuerdo a la lógica anterior también se seleccionan los diez equipos más críticos para cada métrica.

Tabla 5: Equipos críticos para cada uno de los indicadores propuestos en el último semestre del horizonte de estudio

IO	IP	ID	IPI	IF	IM	IR	IEC
SE120	SC574	SE256	SE256	GB79	SE314	MB106	SC357
GB18	SE120	SC574	SE246	MD65	SC414	MD65	SC390
MD32	GB18	GD28	SE314	SC434	SC490	SC524	GD58
SE8	MD32	MB106	GD97	SC521	SC312	GB79	MB75
SC315	SE8	SE246	GB71	SC524	SC324	MB67	SC382
SC235	SC315	MB67	GD90	GB68	SC574	SC521	GB77
SC203	SC235	SC281	GD72	SE314	GD84	SC574	MB106
SC574	GD84	SC434	GD106	SC414	MD54	GB69	GB69
GD84	SC203	MD65	GD58	MD54	SC359	MB75	SC362
GD98	GD98	GB79	SC414	SC535	SC355	SC434	GD66

De la comparación de los resultados anteriores se observa que los equipos que figuran en las tablas de criticidad no son los mismos. Esto induce a que el tomador de decisiones tenga claro que horizonte de tiempo privilegiará a la hora de analizar el comportamiento de la capacidad.

A continuación se presentan los valores promedio de los indicadores de desempeño para cada una de las familias y para la capacidad agregada. Se observan dos tablas de resultados, la diferencia entre ellas es el tiempo considerando en el análisis, en la primera tabla se considera el horizonte de estudio y en la segunda tabla se considera solamente los últimos seis meses de dicho horizonte tiempo.

Esta información es muy útil si se quiere comparar de acuerdo a los criterios propuestos una familia respecto a otra.

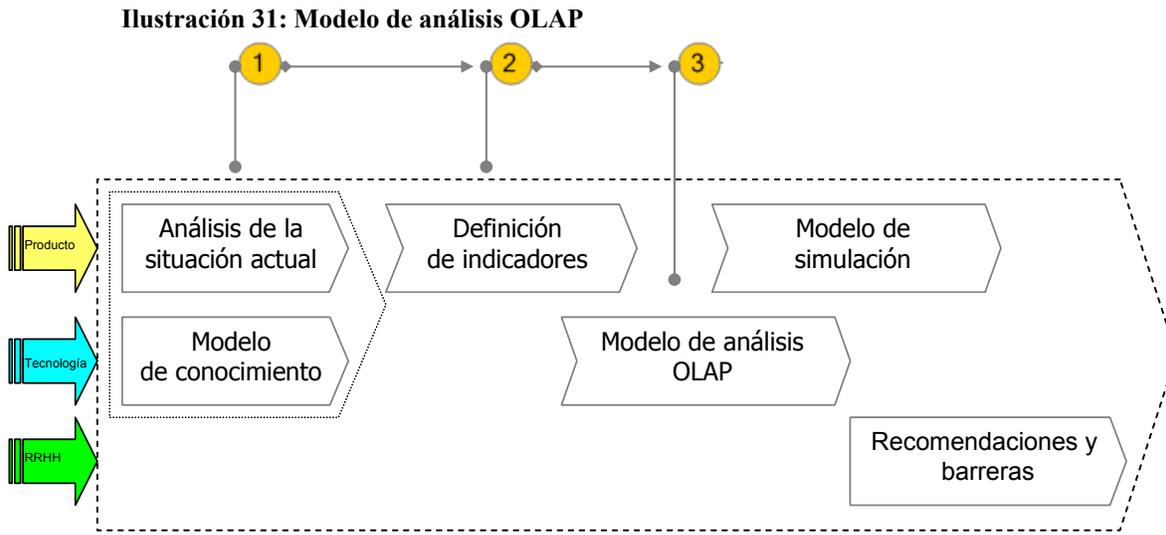
Tabla 6: Valores promedio de los indicadores de desempeño en horizonte de tiempo de estudio

INDICADORES DE DESEMPEÑO								
FAMILIAS	IO	IP	ID	IPI	IF	IM	IR	IEC
GB	0.63	0.69	0.92	0.24	0.13	1.98	235	89,634
GD	0.60	0.70	0.85	0.34	0.15	2.07	758	143,991
MB	0.66	0.73	0.90	0.28	0.04	1.72	160	156,818
MD	0.72	0.77	0.94	0.56	0.09	1.94	969	98,850
SC	0.82	0.85	0.96	0.33	0.07	1.88	464	181,473
SE	0.72	0.75	0.95	0.36	0.08	1.95	195	119,018
TODOS	0.69	0.75	0.92	0.35	0.09	1.92	463	131,631

Tabla 7: Valores promedio de los indicadores de desempeño para los últimos seis meses del horizonte de tiempo de estudio

INDICADORES DE DESEMPEÑO								
FAMILIAS	IO	IP	ID	IPI	IF	IM	IR	IEC
GB	0.59	0.61	0.96	0.41	0.12	2.04	165	100,322
GD	0.56	0.62	0.89	0.42	0.11	2.10	704	115,409
MB	0.58	0.65	0.90	0.27	0.04	1.83	134	214,837
MD	0.72	0.73	0.99	0.38	0.08	2.26	818	62,747
SC	0.76	0.78	0.98	0.32	0.08	2.18	384	92,832
SE	0.56	0.58	0.97	0.94	0.02	2.09	164	65,204
TODOS	0.63	0.66	0.95	0.46	0.08	2.08	395	108,558

VIII.3. Actividad 3. Modelo de análisis OLAP



En esta etapa del trabajo el resultado es el diseño y la implementación de cubos MOLAP como soporte que permita monitorear la intensidad de arriendo de las respectivas familias de equipos y a la vez permitan implementar automáticamente los indicadores de desempeño propuestos. De acuerdo a la metodología se definen los siguientes pasos:

- Definición de área temática.
- Definición de fuente de depósito.
- Definición de destino de depósito.
- Definición de movimiento y transformación de datos.
- Definición de esquema estrella.
- Carga de datos al cubo MOLAP

VIII.3.1. Definición de área temática

De acuerdo a la información que se pudo recabar en el modelo de conocimiento, se definen dos áreas temáticas para el diseño e implementación de los cubos de datos. La primera, tiene que ver con los indicadores de desempeño y la segunda esta orientada a monitorear la intensidad de arriendo de las respectivas familias de equipos.

VIII.3.2. Definición de fuente de depósito

Cada una de las áreas temáticas exige una propia fuente de depósito. En virtud de que el diseño contempla el uso de PALO, como herramienta, las fuentes de depósito actuales: base de datos en Microsoft Access, son totalmente compatibles con el uso de esta herramienta. Por lo tanto bastaría indicar cuales son las tablas que se necesitarán al momento de construir los cubos, para este fin se presentará los esquemas estrellas de cada uno de los cubos.

VIII.3.3. Definición de destino de depósito

El destino de depósito de la información son cubos en el formato de archivos PALO, estos cubos residen en un servidor o alternativamente un computador que haga las veces de servidor. Una vez definidas las fuentes de depósito y el esquema estrella, la carga de datos se hace a través de una interfaz de Microsoft Excel, en este proceso PALO define el destino del depósito de estos datos automáticamente.

VIII.3.4. Definición de movimiento y transformación de datos

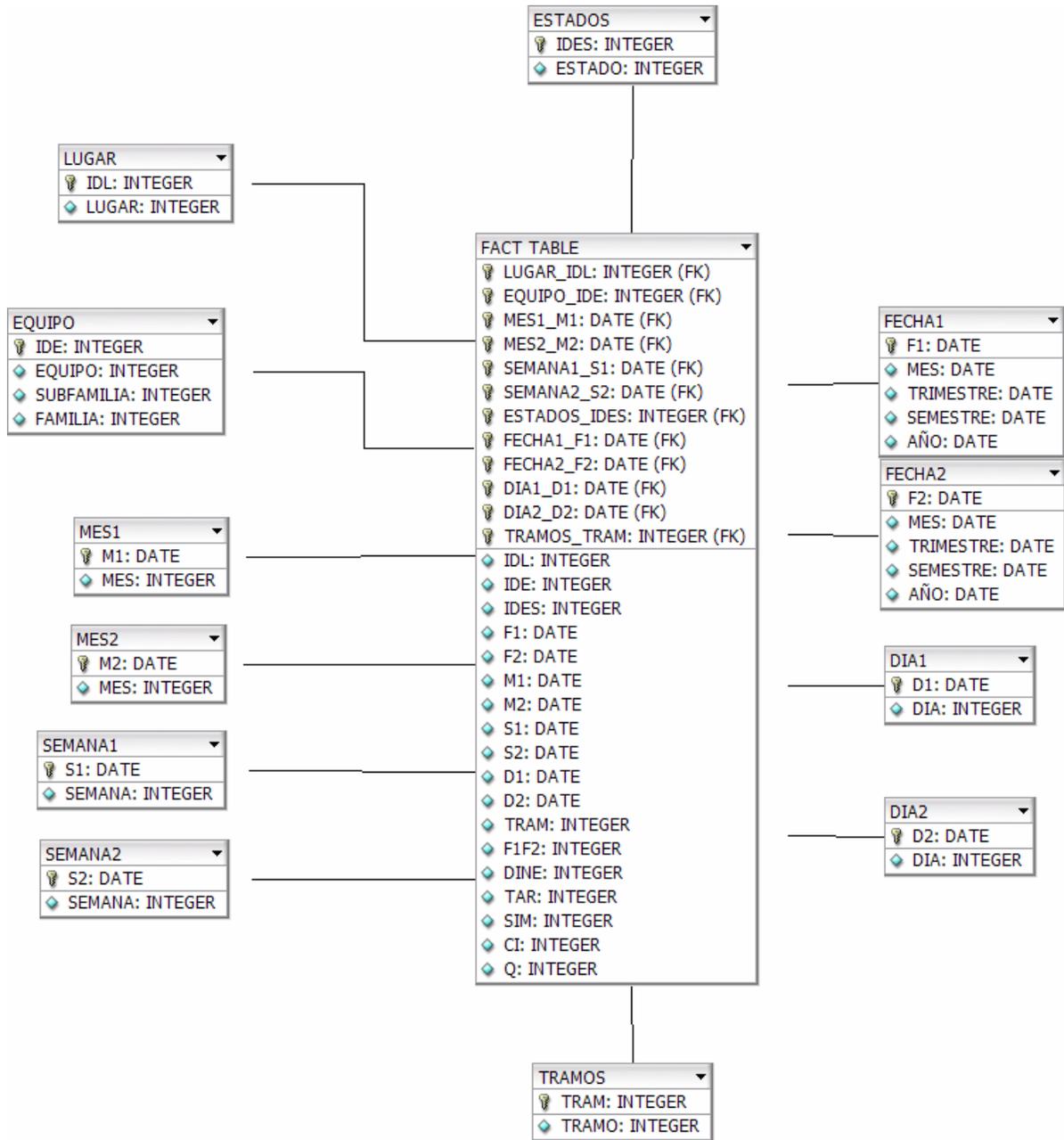
La dinámica que incluye el movimiento y la transformación de datos se puede explicar en los siguientes pasos:

- Preparación de las tablas que alimentarán el cubo. Esta es una tarea del administrador del sistema de información actual, las tablas que alimentarán el cubo están definidas en los esquemas estrella de los cubos.
- Carga de dimensiones del cubo. Esta tarea consiste en identificar desde los datos las dimensiones que tendrá el cubo, este proceso es totalmente automático ya que las dimensiones también se encuentran en el esquema estrella.
- Carga de datos al cubo. Esta tarea consiste en llenar el cubo con la información de las tablas, el proceso también es automático.
- Transformación de datos. Para cada una de las áreas temáticas, se deben preparar interfaces que incluyan la construcción de gráficos, estas tareas no requieren ningún nivel de sofisticación. La principal ventaja de usar PALO es que los cubos se podrán ver en Microsoft Excel, dado que esta última herramienta es más común en las tareas cotidianas de los tomadores de decisión será muy sencillo para ellos construir los gráficos que estimen convenientes, si es que llegan a necesitarlos.

VIII.3.5. Definición de esquema estrella

Los esquemas estrellas para cada una de las áreas temáticas se describen a continuación. Primero, el diagrama estrella del cubo de análisis.

Ilustración 32: Diagrama estrella del cubo análisis



Este es el esquema estrella del cubo cuyo fin es implementar las medidas de desempeño de manera automática. Se observan las siguientes dimensiones: lugar, equipo, estados, mes1, mes2, semana1, semana2, fecha1, fecha2, dia1, dia2, tramos; y las siguientes medidas: F1F2, DINE, TAR, SIM, CI y Q. A continuación se especificaran las dimensiones consideradas en el esquema estrella.

- Lugar. Esta dimensión permite incorporar la siguiente jerarquía: regiones y nacional.

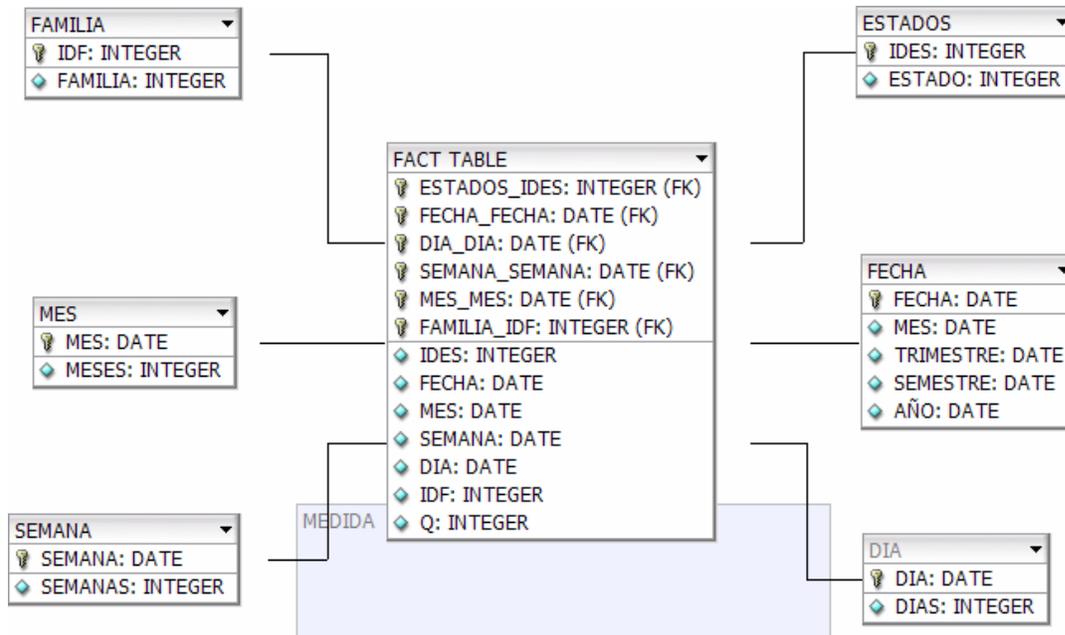
- Equipo: Esta dimensión permite reconocer la clasificación de los equipos en familias, subfamilias y códigos individuales.
- Fecha1, fecha 2: Estas dimensiones hacen referencia a los días en que empezó un estado y terminó un estado respectivamente, ambas incorporan la siguiente jerarquía: mes, trimestre, semestre y año.
- Mes1, mes2: Las dimensiones hacen referencia exclusivamente a meses particulares, y los números 1 y 2 denotan comienzo y fin de algún estado.
- Semana1, semana2: Al igual que las dimensiones anteriores permiten referenciar las semanas por mes, de la misma manera el 1 y el 2 denotan comienzo y fin de algún estado.
- Dia1, dia2: También permiten referenciar el tiempo; pero esta vez se trata de los días de la semana, al igual que en los casos anteriores el 1 y el 2 denotan comienzo y fin de algún estado.
- Estados: Esta dimensión da cuenta de los posibles estados del equipo: arrendado, disponible, intervención o no disponible.
- Tramo: Esta dimensión permite incorporar la jerarquía de tramos de arriendo, existen seis tramos de arriendo en función de los días en que el equipo estará arrendado, estos tramos definen la tarifa de arriendo.

Las medidas del esquema estrella vienen a ser los datos que se observarán cuando se especifiquen las dimensiones. Dada la información de la que se dispone se proponen las siguientes medidas:

- F1F2: Da cuenta de la cantidad de días en que el equipo se encuentra en un determinado estado.
- DINE: Es la cantidad de dinero recaudado que corresponde al número de días en que el equipo se encuentra arrendado.
- TAR: Identifica la tarifa que se aplica para el arriendo.
- SIM: Es el dato que especifica si se trata de un arriendo simultáneo, cabe decir si se arrendaron dos o más equipos a la vez, este dato es meramente informativo para el análisis propuesto.
- CI: Es el costo de intervención en el cual se incurrió al componer el equipo.
- Q: Este dato servirá como contador, para cualquier tipo de consulta sobre las dimensiones.

A continuación se presenta el diagrama estrella del cubo para monitorear la intensidad del uso de los equipos, cabe decir que permita automáticamente obtener los histogramas.

Ilustración 33: Diagrama estrella del cubo histograma



Este es el esquema estrella del cubo cuyo fin es monitorear el uso de la capacidad de manera automática. Se observan las siguientes dimensiones: familia, mes, semana, estados, fecha y día; y la siguiente medida: Q. A continuación se especificaran las dimensiones consideradas en el esquema estrella.

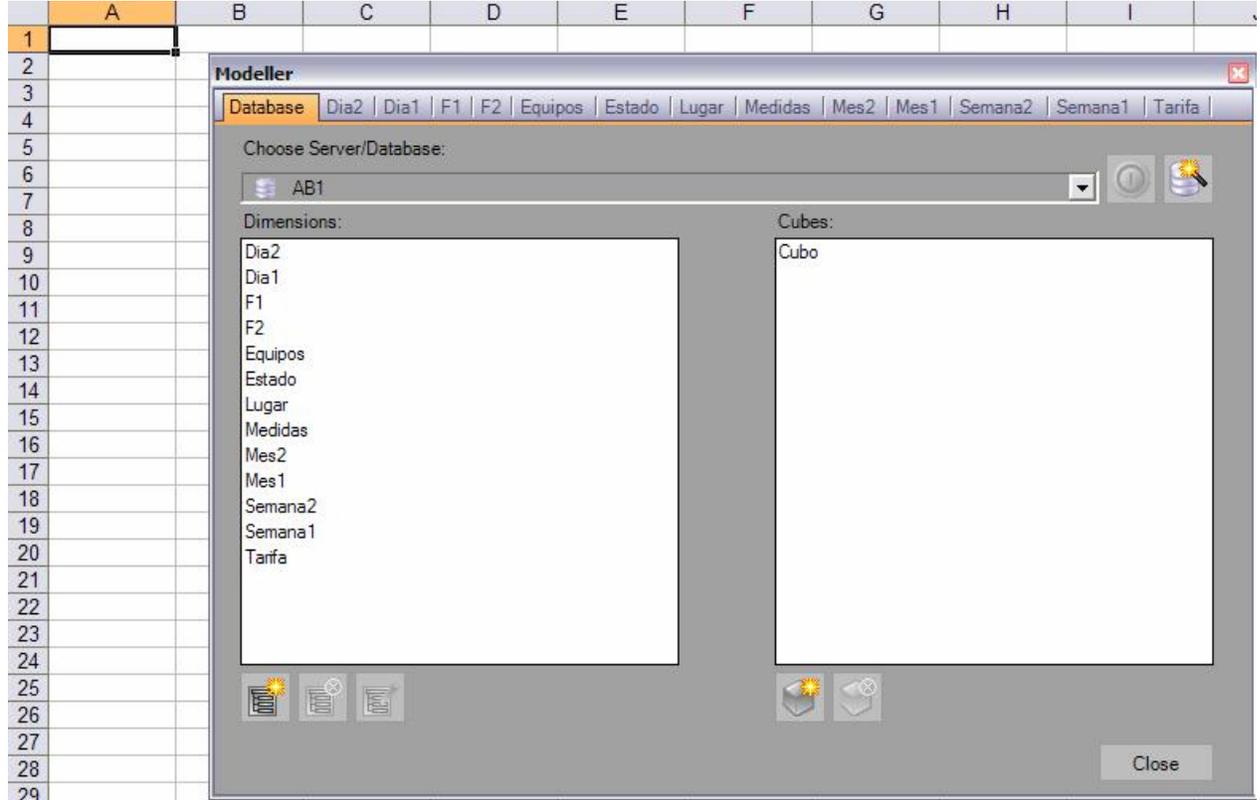
- Familia: Esta dimensión permite reconocer la familia de los equipos.
- Estados: Esta dimensión da cuenta de los posibles estados del equipo: arrendado, disponible, intervención o no disponible.
- Fecha: Esta dimensión hace referencia a la fecha calendario. Incorpora la siguiente jerarquía: mes, trimestre, semestre y año.
- Mes: Esta hace referencia exclusivamente a los meses.
- Semana: Al igual que la dimensión anterior permite referenciar las semanas por mes.
- Día: También permite referenciar el tiempo; pero esta vez se trata de los días de la semana.

La medida del esquema estrella es el dato que se observará cuando se especifiquen las dimensiones. En particular, para el cubo histograma la medida Q, se refiere a la cantidad de equipos que se encuentran simultáneamente en un estado en particular, en lugar en particular, de una familia en particular.

VIII.3.6. Carga de datos al cubo MOLAP

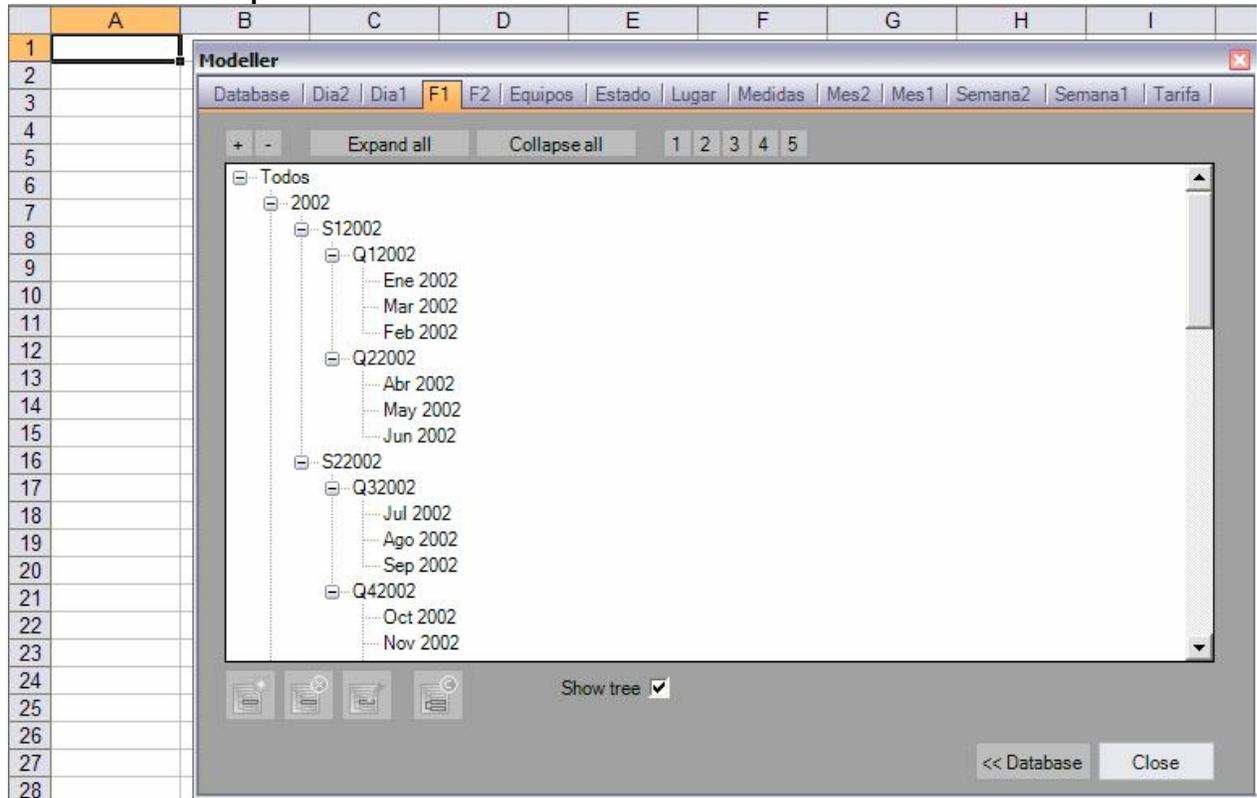
Una vez dados los anteriores pasos, la carga de datos es un proceso sistemático. Para es fin se construye una interfaz en Microsoft Excel. A continuación se ilustra el cubo con las dimensiones listas.

Ilustración 34: Dimensiones del cubo análisis



En la anterior ilustración se observa las dimensiones del cubo, el nombre del cubo: Cubo y la base de datos destino: AB1.

Ilustración 35: Jerarquía en las dimensiones del cubo análisis



En esta ilustración se observa la jerarquía para la dimensión fecha. Esta jerarquía fue definida en el esquema estrella. Cada dimensión cuenta con sus respectivas jerarquías.

Una vez que las dimensiones se encuentran definidas, se procede con la carga de datos. Para este fin es necesario construir una interfaz en Microsoft Excel, la interfaz que se utilizó para carga del cubo de análisis se presenta en la siguiente ilustración.

Ilustración 36: Interfaz para la carga de datos

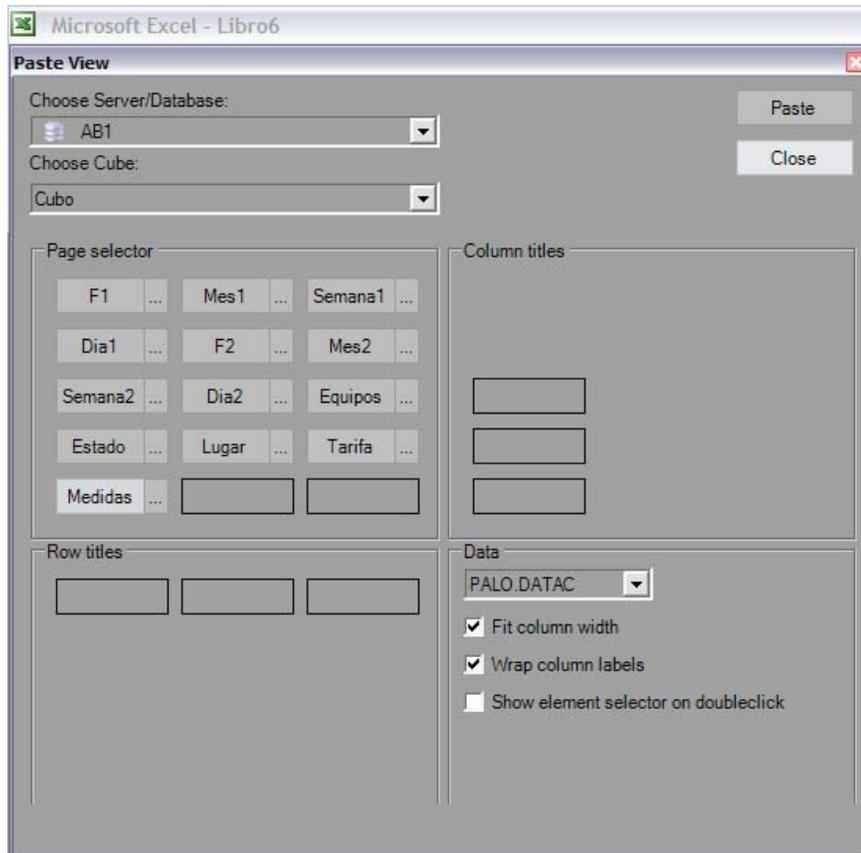
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
1		6 SE96		2	17-11-2002	05-03-2003	Nov	Sem3	Domingo	Mar	Sem1	Miercoles
2	IDL	IDE	IDES	F1	F2	M1	S1	D1	M2	S2	D2	
3												
4	Server	localhost/AB1	Note: Cell A1, B1, C1 must be formatted as Text									
5	Row Headers?	FALSO										
6												
7	DIMENSION	F1		DIMENSION	Mes1		DIMENSION	Semana1		DIMENSION	Dia1	
8												
9	Mes	Nov 2002		Semana	Nov		Semana	Sem3		Día	Domingo	
10	Trimestre	Q42002		Familia	Todos		Familia	Todos		Familia	Todos	
11	Semestre	S22002										
12	Año	2002		Formula 1	FALSO		Formula 1	FALSO		Formula 1	FALSO	
13	Tiempo	Todos										
14												
15	Formula 1	FALSO										
16	Formula 2	FALSO										
17	Formula 3	FALSO										
18	Formula 4	FALSO										
19	DIMENSION	F2		DIMENSION	Mes2		DIMENSION	Semana2		DIMENSION	Dia2	
20												
21	Mes	Mar 2003		Semana	Mar		Semana	Sem1		Día	Miercoles	
22	Trimestre	Q12003		Familia	Todos		Familia	Todos		Familia	Todos	
23	Semestre	S12003										
24	Año	2003		Formula 1	FALSO		Formula 1	FALSO		Formula 1	FALSO	
25	Tiempo	Todos										
26												
27	Formula 1	FALSO										
28	Formula 2	FALSO										
29	Formula 3	FALSO										
30	Formula 4	FALSO										
31	DIMENSION	Equipos		Seleccionador		6 GB	GD	MB	MD	SC	SE	
32				Columna		2 Potencia 1-5	Potencia 16-19		Commander		Monofasica	
33	Equipo	SE96		Fila		Potencia 6-12	Potencia 20-25		No commander		Trifasica	
34	Subfamilia	Trifasica					Potencia 26-45				Fuente poder	
35	Familia	SE					Potencia 46-79					
36	Gran Familia	Todos					Potencia 80-99					
37							Potencia 100-130					
38	Formula 0	FALSO					Potencia 131-165					
39	Formula 1	FALSO					Potencia 166-200					
40	Formula 2	FALSO					Potencia 201-275					
41							Potencia 276-350					
42							Potencia 351-550					

La primera fila corresponde a los datos que se van incorporando, al cubo. En la segunda fila se encuentran el nombre de los campos a incorporar. En la tercera fila se observa el servidor destino del cubo. A partir de la cuarta fila se especifican las dimensiones dónde se colocarán las medidas.

VIII.3.7. Ejemplo de uso del cubo MOLAP

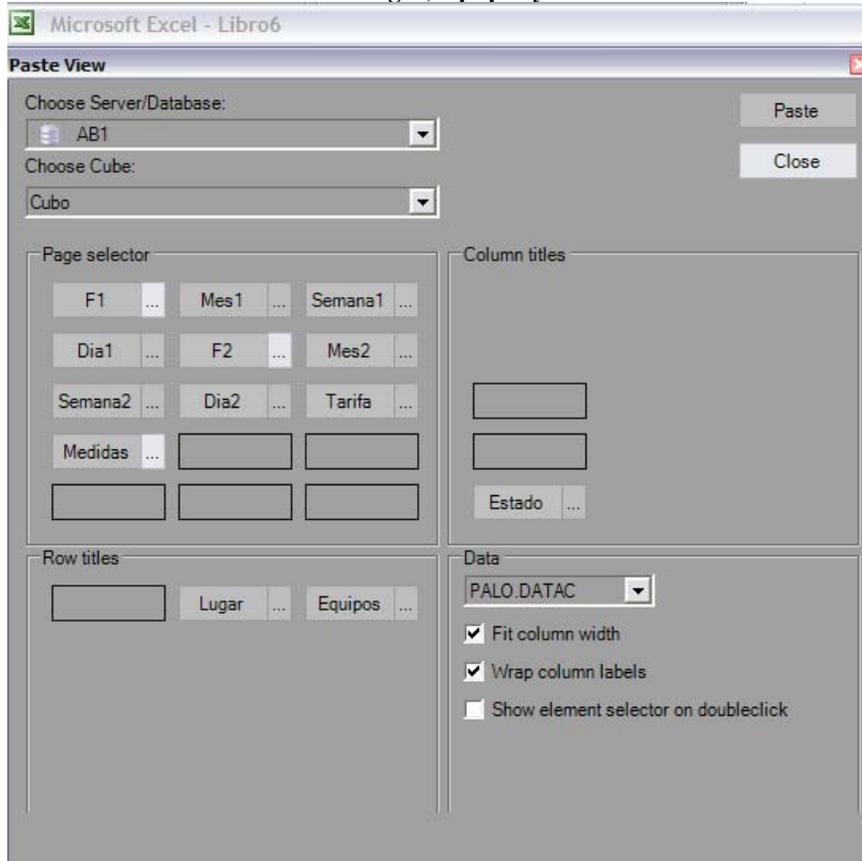
Para ejemplificar lo sencillo que resulta usar el cubo MOLAP una vez diseñado e implementado se procede a mostrar la siguiente secuencia de ilustraciones.

Ilustración 37: Interfaz de selección de dimensiones del cubo análisis



A través de esta interfaz se determina el tipo de consulta que se requiere hacer, por ejemplo si se quiere saber la cantidad de equipos que se encuentran en los distintos estados durante el primer semestre de 2002 por familia y lugar, la interfaz correspondiente sería la siguiente.

Ilustración 38: Selección de dimensiones: lugar, equipos y estado del cubo análisis



El resultado de esta selección en la hoja de Microsoft Excel se observa a continuación.

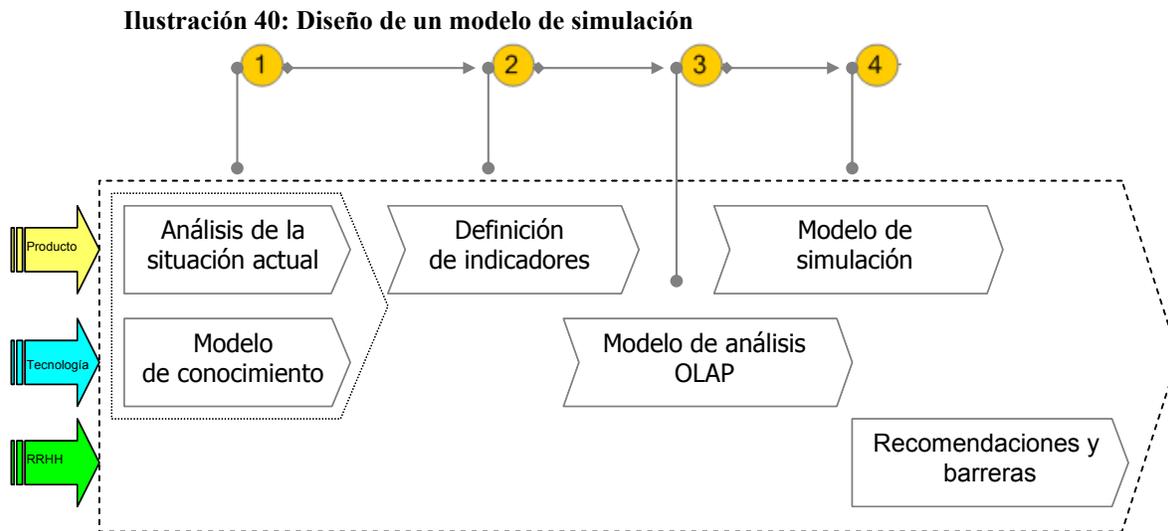
Ilustración 39: Resultado de la selección de dimensiones del cubo análisis

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	localhost/AB1										
2	Cubo										
3	\$12002										
4	Todos										
5	Todos										
6	Todos										
7	\$12002										
8	Todos										
9	Todos										
10	Todos										
11	Total										
12	Q										
13											
14											
15	Nacional	Todos	2.706	1.464	1.065	128	49				
16		GB	258	133	102	21	2				
17		GD	295	142	106	34	13				
18		MB	550	320	216	11	3				
19		MD	115	59	46	7	3				
20		SC	1.056	591	426	24	15				
21		SE	432	219	169	31	13				
22	Sur	Todos	813	465	332	12	4				
23		GB	21	12	9	0	0				
24		GD	73	40	31	1	1				
25		MB	241	144	95	2	0				
26		MD	8	5	3	0	0				
27		SC	373	213	153	4	3				
28		SE	97	51	41	5	0				
29	Centro	Todos	1.353	717	496	99	41				
30		GB	211	108	80	21	2				
31		GD	160	69	49	30	12				
32		MB	294	168	114	9	3				
33		MD	17	11	4	1	1				
34		SC	378	220	136	12	10				
35		SE	293	141	113	26	13				
36	Norte	Todos	540	282	237	17	4				

En esta ilustración se puede identificar las dimensiones en las primeras doce filas amarillas. En estas se encuentra especificado el horizonte de tiempo de la consulta: primer semestre de 2002. Se observa también la selección de la medida Q, la cual denota cantidad. En el cuadro de diálogo, a la derecha, se puede seleccionar cualquier tipo de medida.

El resultado en sí se encuentra en la tabla, donde se aprecian los estados, las familias y las zonas geográficas. Para la especificación de dimensiones del ejemplo se observan datos que dan cuenta de la cantidad de equipos de acuerdo a la zona geográfica, familia y estado.

VIII.4. Actividad 4: Modelo de simulación



En esta actividad el resultado es la construcción del modelo que compromete la integración de la dinámica del sistema, los supuestos que permitieron su conceptualización y las etapas ya desarrolladas. Las metas principales son lograr que el comportamiento del modelo computacional se asemeje al proceso real, para luego ensayar y analizar distintas configuraciones de capacidad y a través de los indicadores de desempeño poder medir el impacto de dichas configuraciones.

La metodología propuesta, Pristker 1999, y la que se adoptará para encarar el diseño de simulación consiste en:

- Formulación del problema
- Especificación del modelo
- Construcción del modelo
- Simulación e integración como soporte de decisiones

VIII.4.1. Formulación del problema

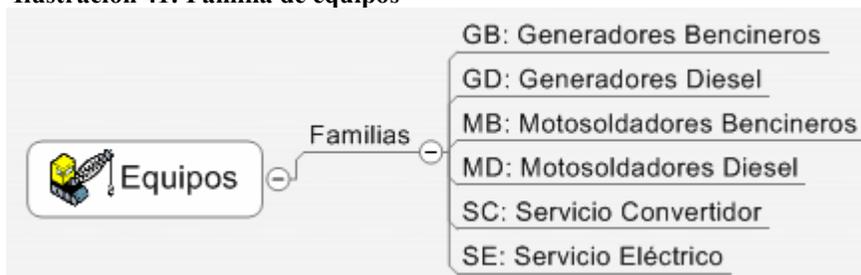
La formulación del problema exige la comprensión del contexto del problema, la identificación de los objetivos del proyecto, la especificación de las medidas de desempeño y la definición del sistema a modelar.

VIII.4.1.1. Contexto del problema

La empresa AB a través de sus tres sucursales: Antofagasta, Santiago y Concepción abastece a su clientela distribuida a lo largo de todo Chile. Los elementos del sistema son:

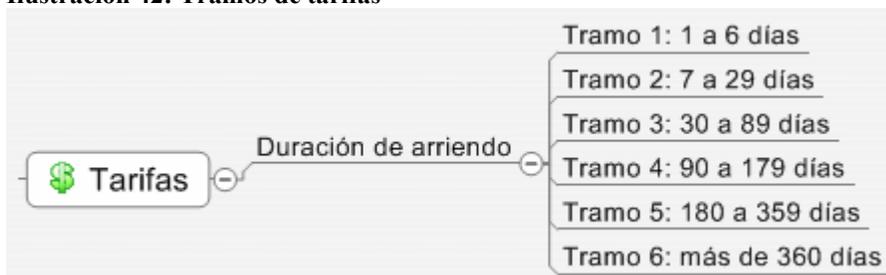
- Familias de equipos. La cantidad total de equipos bordea las 700 unidades.

Ilustración 41: Familia de equipos



- Taller y bodega. Se encuentra centralizados en Santiago y su principal tarea es la intervención de los equipos. Estas intervenciones pueden ser de acuerdo al costo involucrado de carácter grave, medio y leve.
- Negocio y las tarifas de arriendo. El negocio básicamente consiste en el arriendo de equipos industriales. Existen seis tipos de tarifas de acuerdo a la cantidad de días solicitados y al tipo de equipo.

Ilustración 42: Tramos de tarifas



VIII.4.1.2. Objetivos del proyecto

El objetivo del proyecto es diseñar un sistema de apoyo en la administración de capacidad en la industria arriendo de equipos industriales, específicamente en la empresa AB. Sujetos a las restricciones de información y compatibilidad de sistemas.

VIII.4.1.3. Especificación de las medidas de desempeño

Las medidas de desempeño que se incluirán corresponden aquellas propuestas en la segunda etapa. Las cuales miden:

- Ocupación [IO]
- Penetración [IP]
- Disponibilidad [ID]
- Política de intervención [IPI]
- Fallas [IF]

- Manipulación [IM]
- Retorno [IR]
- Costos [IEC]

VIII.4.1.4. Definición del sistema a modelar

El sistema a modelar esta constituido por

- Los procesos de la empresa AB que involucren la administración de capacidad, estos son: registro de los arriendos, aplicación de tarifas, registro de devolución de equipo y políticas de intervención de los equipos en el taller de mantenimiento.
- La información concerniente a la administración de capacidad, la cual se encuentra resumida en el modelo de conocimiento, en el análisis de la evolución de la demanda y la capacidad, en el análisis de la intensidad de uso y en las medidas de desempeño implementadas en el cubo de datos MOLAP

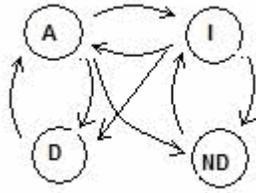
VIII.4.2. Especificación del modelo

Conceptualizar el modelo exige la comprensión de la estructura y las reglas de operación que determinan la dinámica del sistema. La dinámica del sistema se puede resumir en los siguientes puntos:

- Políticas de intervención en el taller de mantenimiento. El jefe del taller de mantenimiento, de acuerdo al costo que significa intervenir un equipo, hace una lista de prioridad.
- Estados de los equipos. Se puede identificar cuatro estados para cada uno de los equipos:
 - A: Arrendado
 - D: Disponible
 - I: En intervención
 - ND: No disponible

El único estado que genera retorno es A, arrendado. Cuando un equipo esta en estado ND, no disponible, quiere decir que se encuentra en la pila de equipos a intervenir. Si el equipo se encuentra en intervención, su estado será I. Por, último todos aquellos equipos que han sido intervenidos y se encuentran listos para ser arrendados tienen el estado D, disponible. La transición de estados se puede visualizar a través de la siguiente ilustración.

Ilustración 43: Transición y estados de los equipos



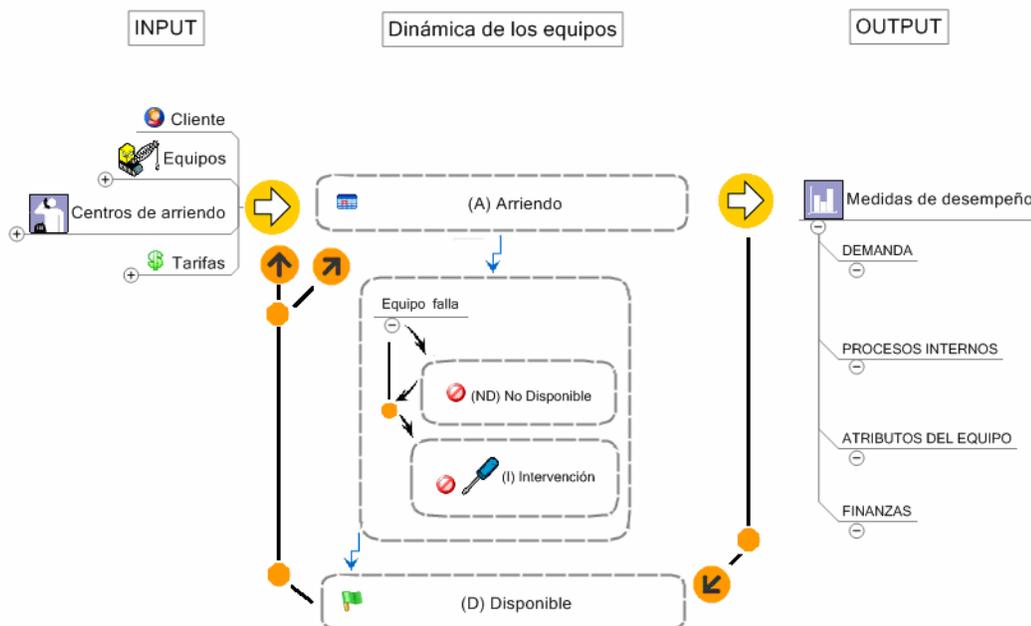
VIII.4.3. Construcción del modelo

La construcción del modelo compromete la integración de la dinámica del sistema, los supuestos que permiten conceptualizarlo y las etapas previas planteadas. La herramienta que se usará para la modelación es AWESIM. El detalle de dicha construcción se presentará en la sección de desarrollo de resultados, dado que corresponde al resultado de un proceso iterativo.

A continuación se presentarán detalles globales de la herramienta AWESIM y el modelo que se construirá.

- **AWESIM.** Es un sistema que soporta la modelación y la simulación de procesos. Provee capacidades que permiten la integración con otras herramientas, específicamente con Microsoft Office. La característica fundamental de la arquitectura de AWESIM es su arquitectura versátil, la que permite incorporar procedimientos en lenguaje C/C++ como componentes de AWESIM.
- **Diseño inicial.** El diseño inicial del modelo se resume en la siguiente ilustración, como se observa integra las etapas propuestas anteriormente más la dinámica y estructura del sistema.

Ilustración 44: Diseño inicial



VIII.4.3.1. Nociones de AWESIM

Awesim es un software de simulación de propósito específico, se basa en simulación por procesos. Los modelos se definen en base a entidades que fluyen por el sistema.

Las entidades pueden ser, por ejemplo: personas, trabajos, productos, clientes, etc. Cada entidad tendrá asociada ciertos atributos (estáticos o dinámicos), como por ejemplo: tiempo de llegada, tiempo en que comienza a ser atendido, edad, etc.

Adicionalmente el modelo puede manejar dos tipos de variables: para entidades y globales. Las variables para entidades son:

- ATRIB[i]: atributo # i de cada entidad, valor real.
- LTRIB[i]: atributo # i de cada entidad, valor entero.
- STRIB[i]: atributo # i de cada entidad, cadena de caracteres.

Las variables globales son:

- XX[i]: Variable real.
- LL[i]: Variable entera.
- TNOW: reloj de la simulación.
- NNQ[i]: Largo de la cola i.
- NNACT[i]: Entidades activas en la actividad i.
- NNCNT[i]: Entidades que han completado la actividad i.

Los elementos básicos de AweSim, son: la red y el control. En la red se modela el flujo de las entidades a través de los procesos, esta compuesta por un conjunto de nodos interconectados. Existen varios tipos de nodos cada uno realiza una función específica cuando pasa una entidad por él, algunos de los nodos más usados son:

- Nodo CREATE: Crea las entidades.
- Nodo TERMINATE: Elimina las entidades.
- Nodo ASSIGN: Asigna valores a variables.
- Nodo COLLECT: Recoge estadísticas de las variables.
- Nodo ACTIVITY: Representa demoras en el sistema. También se usa para unir nodos.

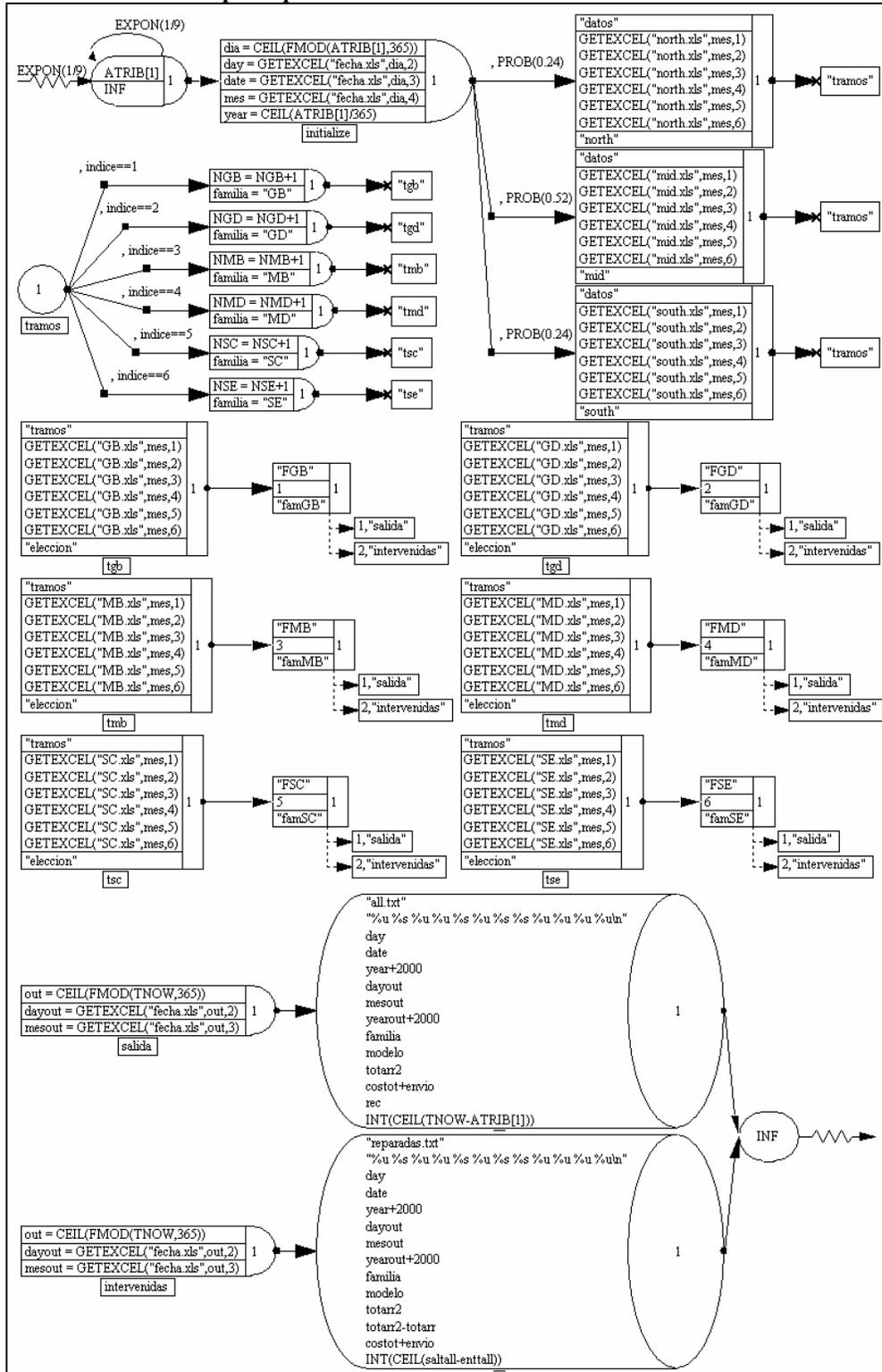
- Nodo GOON: Ratea entidades después de una actividad.
- Nodo QUEUE: Modela una cola o una espera.
- Nodo WRITE: Escribe el valor de una variable en un archivo.

En el control se definen las entradas y se asignan los atributos que controlan la simulación.

VIII.4.3.2. El modelo de simulación

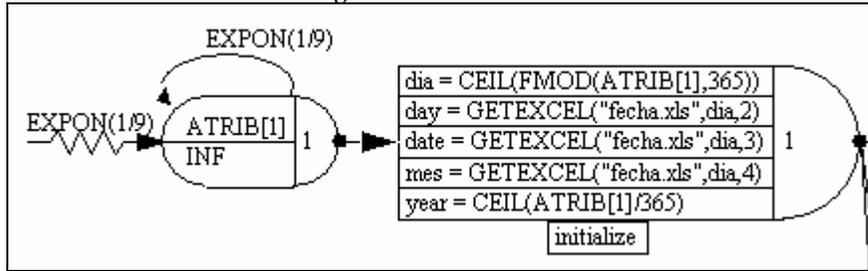
El proceso de descripción del modelo va desde lo más global hacia detalle de las partes, de esta manera lo primero que se presentará es la red principal del modelo de simulación. A continuación se ilustra la red principal.

Ilustración 45: Red principal



El primer proceso que se debe simular es la llegada de clientes, dicho proceso se ilustra a continuación.

Ilustración 46: Proceso de llegada de clientes



La ilustración muestra en la izquierda un nodo create, el cual crea las entidades. El instante de tiempo de llegada de un cliente se registrará en la variable ATRIB [1]. Las instancias representan a los clientes y se adopta el siguiente supuesto: en cada llegada se arrienda un equipo. Este supuesto es consistente con los datos históricos ya que se tienen los registros por arriendo de equipos y no por llegada de clientes, por lo tanto para ser específico cuando se habla de llegada de clientes se refiere en realidad a las transiciones de estado del equipo al estado arriendo. Estas transiciones son las que se analizaron en la ilustración 21. Evolución de la tasa de arriendos.

Los tiempos entre dichas transiciones se distribuyen exponencialmente con una media de 1/9 [día/clientes o día/transiciones]. A luz de los registros históricos se asume que es un proceso de Poisson con tasa igual a nueve, la tasa fue obtenida de los datos disponibles y reflejan la tendencia actual.

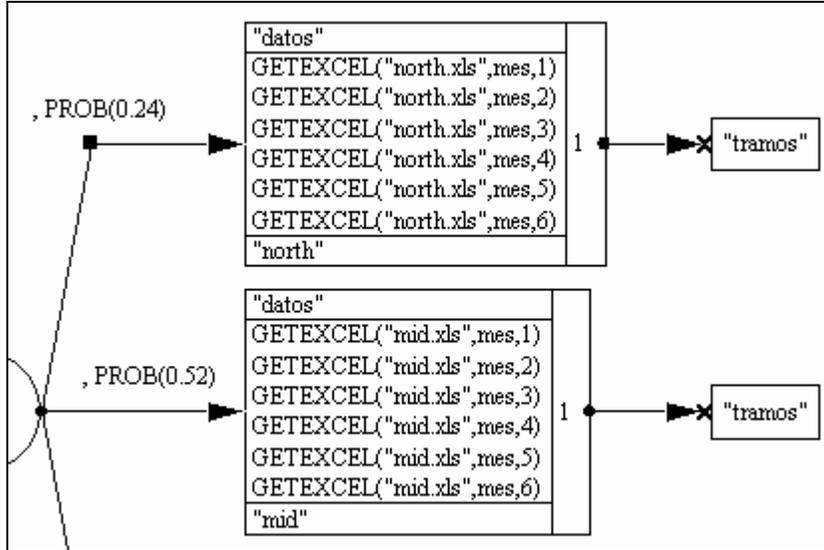
Luego se asigna como atributos de las entidades el día, el mes y el año en que se registra el evento de llegada utilizando un nodo assign, nodo en el lado derecho de la ilustración “Proceso de llegada de clientes”. Para este fin se lee un archivo en Microsoft Excel, el cual contiene en su primera columna el día del año [1,365], en su segunda columna el valor de ese día dentro del mes correspondiente [1,31], en la tercera columna se encuentran las tres primeras letras del mes y en la cuarta columna el número del mes [1,12].

Después de haber asignado los atributos correspondientes a la fecha se rutea a la entidad de acuerdo a las siguientes probabilidades 0.24, 0.52 y 0.24, las que dan cuenta del lugar geográfico en el que se da la transición al estado de arriendo. Básicamente a esta altura se construye un proceso de Poisson filtrado. El filtro enruta a la entidad a la subred “datos” ya sea para el caso: north, mid o south, correspondientes a los centros de arriendo en el norte, centro y sur del país¹⁸.

Una vez enrutada la entidad, se define para cada subred las probabilidades de que dicha transición se efectúe en una determinada familia. Esto constituye otro filtro al proceso de Poisson, y con éste se termina de definir dónde y cual equipo pasa al estado arrendado. A continuación se presenta parte de los filtros antes mencionados.

¹⁸ ANEXOS. Tabla de probabilidades por lugar geográfico

Ilustración 46: Filtros al proceso de Poisson: dónde y en que familia se da la transición al estado arriendo



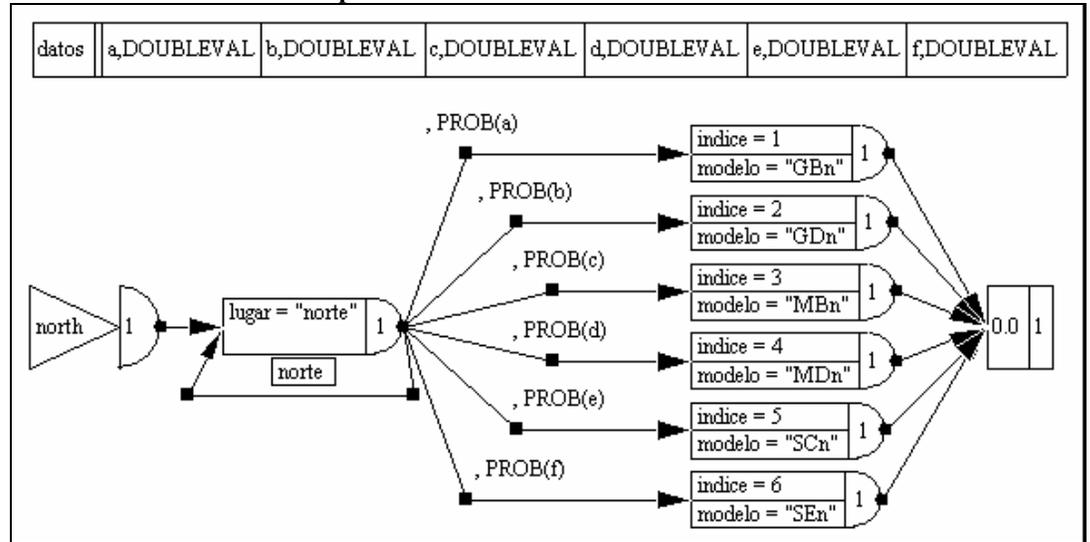
Los datos de entrada para la subred “datos” son las probabilidades de elección de una determinada familia en función del lugar geográfico. Estas probabilidades son calculadas gracias al cubo análisis y se encuentran almacenados en un archivo de Microsoft Excel. La principal característica del modelo es que a partir de este punto se incorporan los efectos del tiempo, ya que se trata de niveles más desagregados donde se observan estacionalidades. De acuerdo a lo anterior el archivo probabilidades tiene dos dimensiones: familia y meses¹⁹.

Subred datos

De acuerdo a la explicación previa a esta altura se definen dónde y en que familia se da la transición al estado arriendo. Estas definiciones se pueden ubicar en la subred a través de: un atributo “índice”, el cual servirá para identificar a la familia, y el atributo “modelo”, con el que se especificará el lugar, por ejemplo: si la transición se da en la familia GB, el atributo “índice” será igual a uno y dependiendo del centro de arriendo el atributo “modelo” puede ser GBn, GBc o GBs.

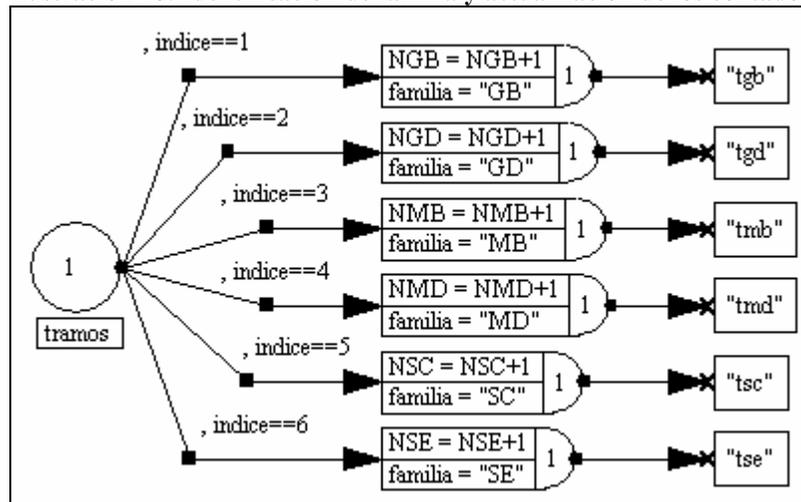
¹⁹ ANEXOS: Tablas de probabilidades por familia y meses

Ilustración 47: Subred datos para el caso norte



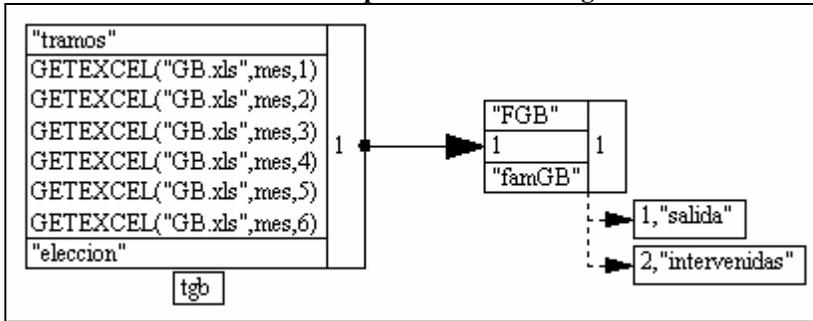
Después de pasar por la subred datos la entidad vuelve a la red principal. El punto de retorno en la red es el nodo goon: “tramos”. A partir de este la entidad tomará alguno de las seis rutas posibles. Dicha elección esta determinada por el atributo “indice”, es decir por la familia en la que se da la transición al estado de arriendo.

Ilustración 48: Identificación de familia y actualización de los contadores



En esta parte de la red principal se actualizan los contadores para las distintas familias y se registra la familia en la que se da la transición al estado de arriendo. Después la entidad pasa a la subred tramos, para dicha subred se definen seis posibles instancias: “tgb”, “tgd”, “tmb”, “tmd”, “tsc” y “tse”.

Ilustración 49: Subred tramos para la instancia “tgb”

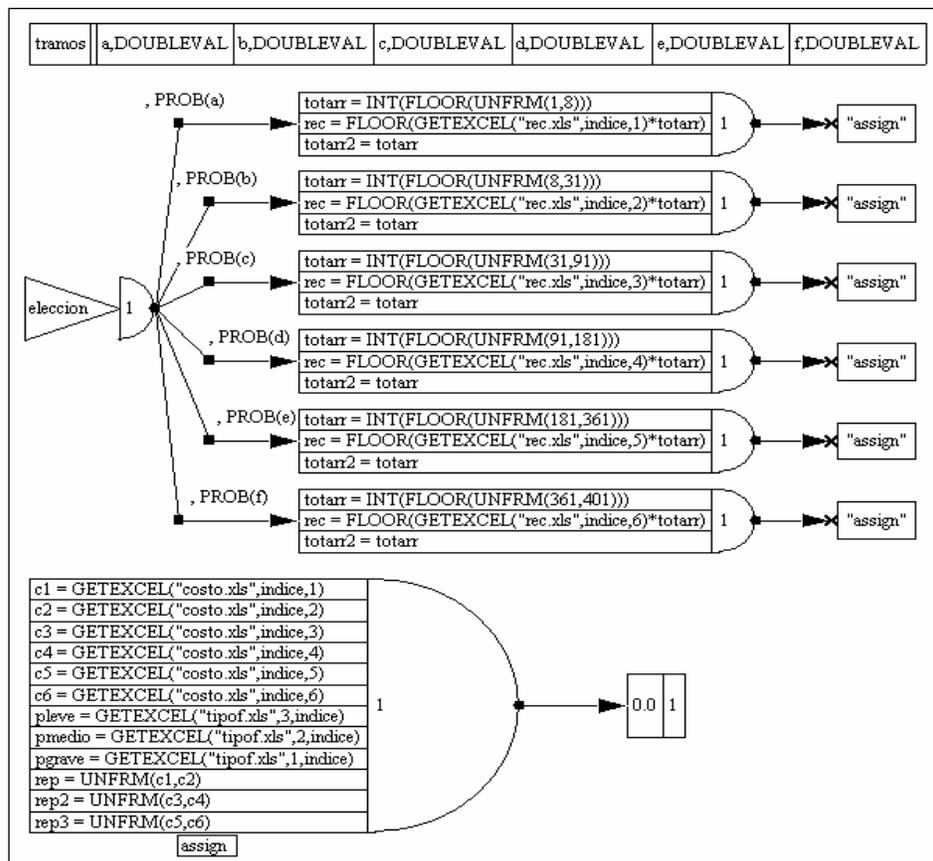


En la subred tramos se define el periodo de arriendo, es decir la cantidad de días que el equipo se encontrará en estado de arriendo y la tarifa que debe cargarse a dicho estado. Después la entidad pasará a la subred asignación de recurso “FGB”, para el caso de la ilustración anterior. En dicha subred se revisa si existe disponibilidad para cubrir la solicitud de arriendo que hasta este punto ya esta simulada.

Subred tramos

Cuando las entidades entran a la subred tramos se define en función de la familia y el mes que tramo de arriendo corresponde. Esta definición es nuevamente un filtro definido por probabilidades obtenidas de registros históricos²⁰.

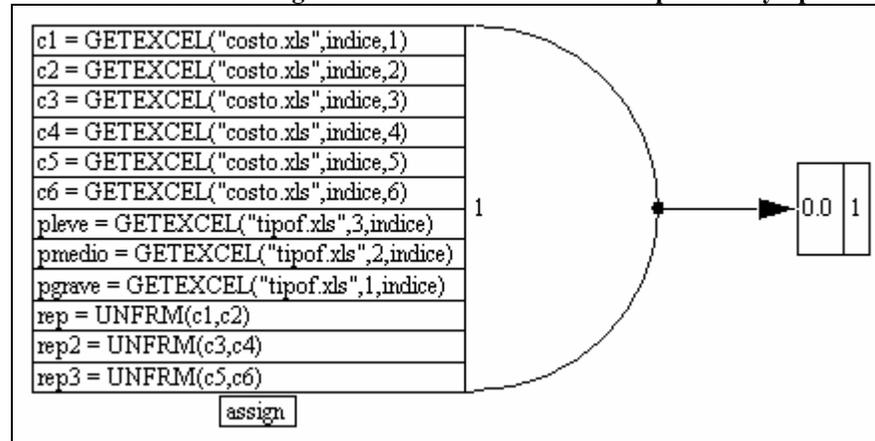
Ilustración 50: Subred tramos: definición de la cantidad de días de arriendo



²⁰ ANEXOS: Tablas de probabilidades para asignación de tramos

Después de haberse definido el tramo para el arriendo, se procede a definir la cantidad exacta de días que el equipo se encontrara arrendado y la recaudación por concepto de dicho arriendo. Inmediatamente después la entidad para a un nodo assign, donde se asignan, si corresponde, los costos de reparación del equipo y la gravedad de la falla.

Ilustración 51: Nodo assign: definición de los costos de reparación y tipo de falla



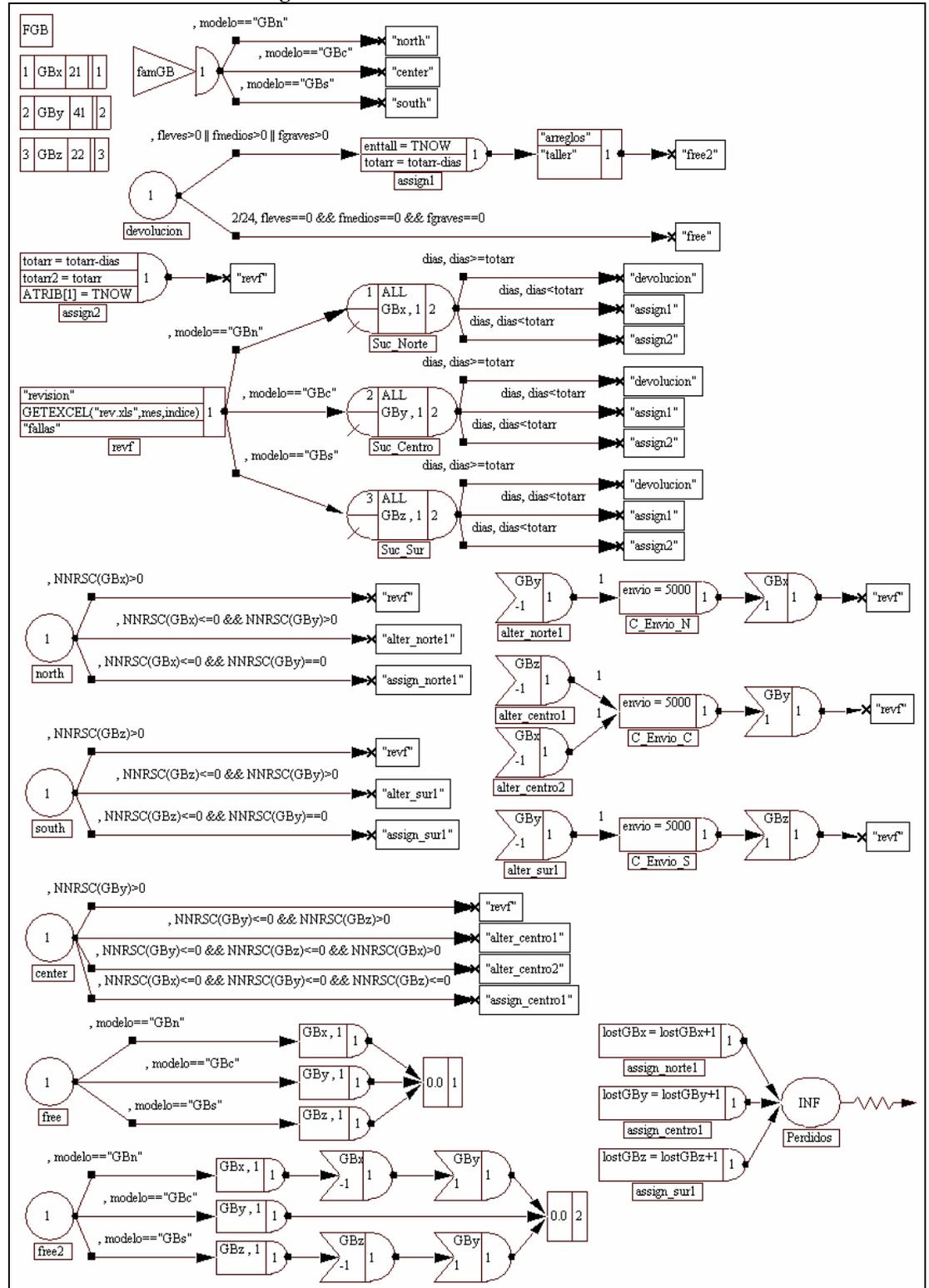
Los datos para la definición de costos son obtenidos de los registros históricos, en los cuales se tienen distintos valores de costos para cada una de las familias de equipos, además en función de estos se define la gravedad de la falla. Mientras mayor sea el costo de intervención, la falla será catalogada como grave, al contrario si el costo de intervención es bajo la falla será catalogada como leve²¹.

Subred de asignación de recurso: FGB

Estas subredes son las más extensas y complejas del modelo, se tiene una subred de asignación para cada una de las familias: FGB, FGD, FMB, FMD, FSC, FSE. El punto de entrada de las entidades es el nodo entervsn: "famGB", para la ilustración que se presenta a continuación. Las entidades son enrutadas de acuerdo a la especificación de donde se solicita el equipo, cabe decir en el centro de arriendo norte, centro o sur.

²¹ ANEXOS: Tabla de probabilidades de tipo de falla por equipos y tabla de costos de intervención por equipos y tipos de falla

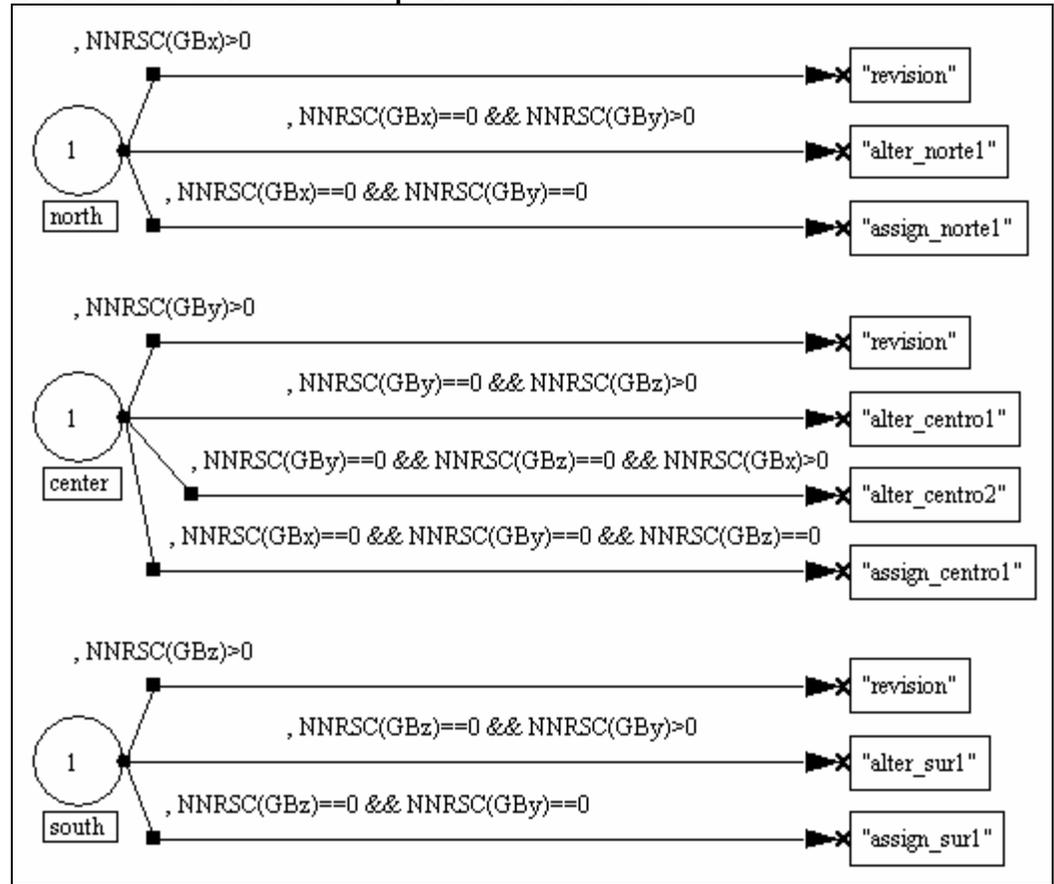
Ilustración 52: Subred de asignación de recurso: FGB



Inicialmente se observa que el recurso, la cantidad de equipos disponibles, se encuentra repartida en los distintos centros, dichas cantidades figuran en el extremo superior izquierdo de la ilustración anterior y corresponden a datos históricos de asignación.

Una vez que se define el centro de arriendo, la entidad pasa al nodo goon correspondiente, el cual puede ser: north, center y south. Es en esta parte en la que se verifica si existe recurso disponible en el centro de arriendo correspondiente. Si no existe recurso disponible se solicita un equipo al centro de arriendo más cercano, si dicha solicitud no tiene una respuesta satisfactoria entonces se pierde el negocio.

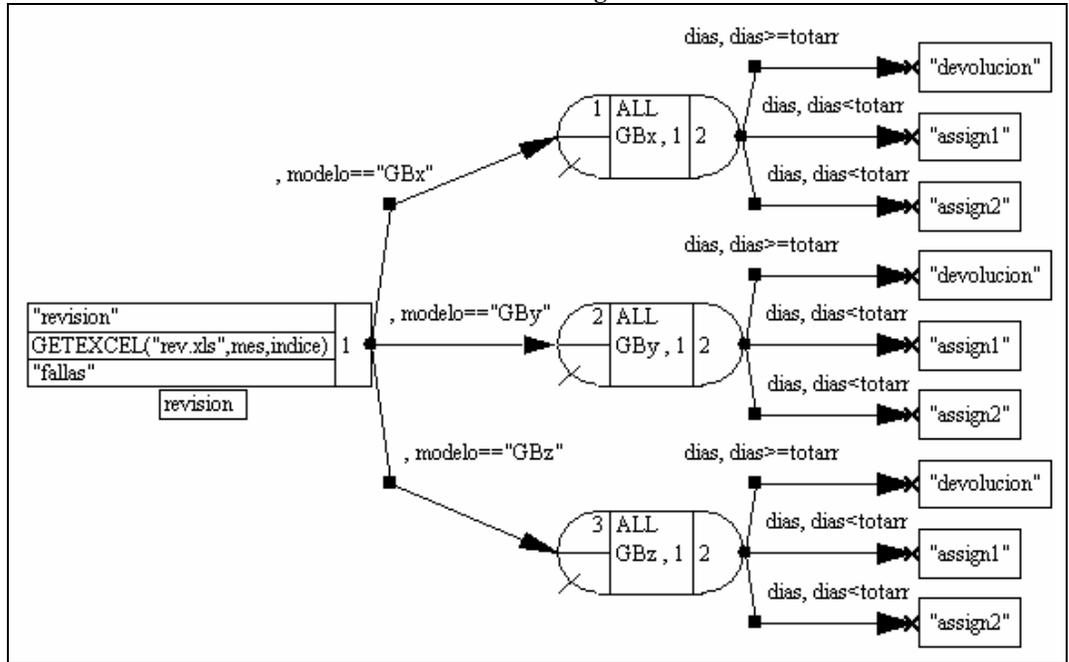
Ilustración 53: Verificación de disponibilidad de recurso



Una vez que la entidad es enrutada se observa que puede llegar a cualquiera de las siguientes subredes: revisión, alter y assign. A continuación se presenta la porción de la subred de asignación de recurso dónde las entidades pasan a la subred revisión. En dicha subred se define la probabilidad de que el equipo presente una falla mientras se encuentre en estado: arriendo. Dichas probabilidades son calculadas de los registros históricos con los que se cuentan, y las dimensiones de dichas tablas son: familia y meses²².

²² ANEXOS: Tabla de probabilidades de falla por equipos y meses

Ilustración 54: Subred revisión en la subred de asignación de recurso

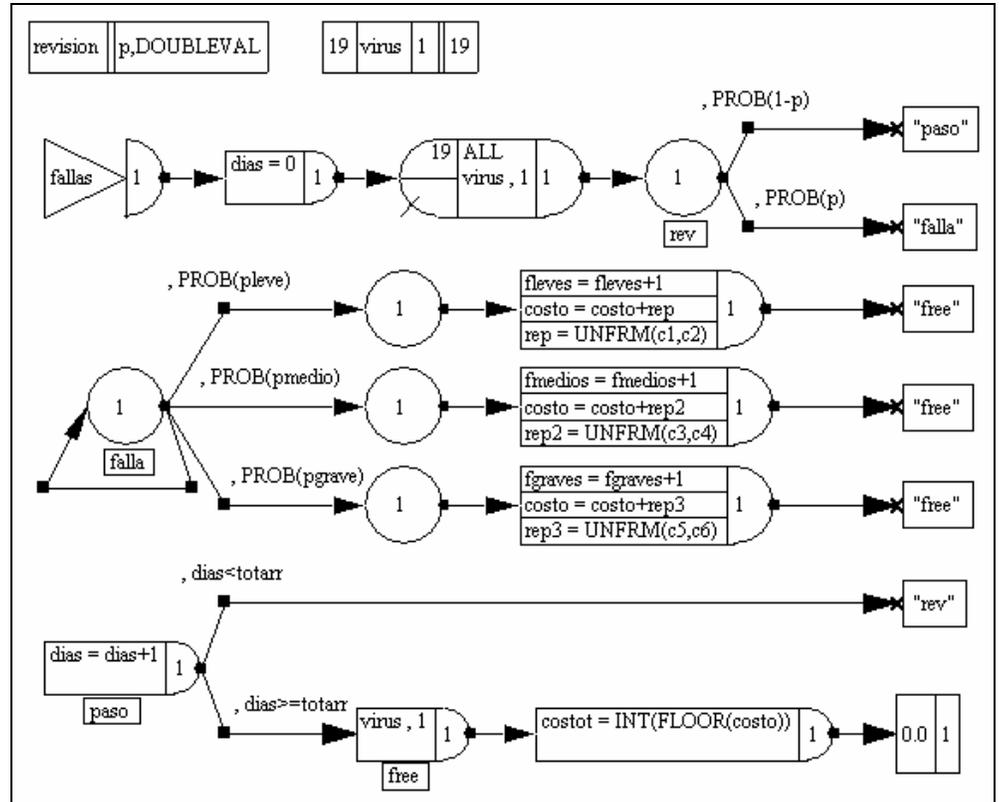


Subred revisión

Cada vez que llega una entidad a la subred revisión se monitorea si esta falla o no mientras se encuentra en estado de arriendo. Si el equipo falla entonces éste deberá ser reemplazo por otro en caso de que exista disponibilidad, sino se pierde el arriendo.

A continuación se ilustra la subred revisión, la cual empieza en el nodo entervsn: "fallas".

Ilustración 55: Subred revisión



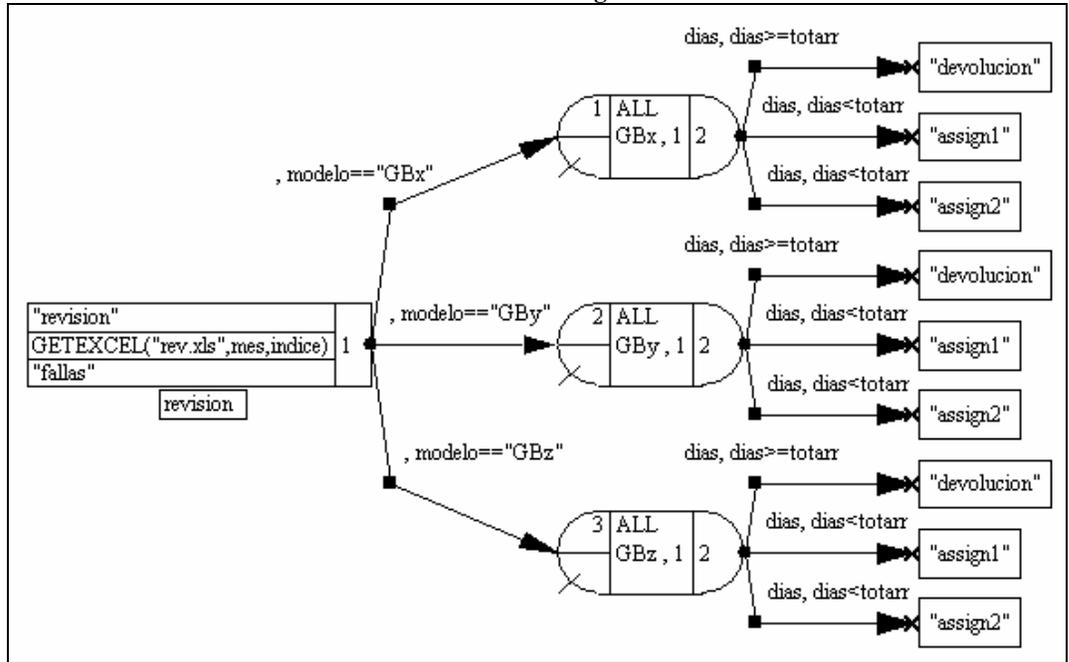
Cuando la entidad llega al nodo goon: “rev” se observa que puede seguir dos rutas posibles.

Aquellas entidades que tomen la ruta superior se dirigen al nodo assign “paso”, en este se actualiza el contador de días pues el equipo no presenta falla alguna. En el nodo paso, se observan dos rutas posibles, la primera define que el periodo de arriendo todavía no terminó y la segunda da cuenta de que el periodo de arriendo llegó a su fin y libera el equipo, es decir se registra una transición del estado arriendo al estado disponible. Consecutivamente se registra los costos de intervención, si corresponde y luego la entidad vuelve a la red principal.

Para las entidades que desde el nodo goon: “rev” toman la ruta inferior se registra una falla, entonces dichas entidades pasan al nodo goon “falle” donde se define aleatoriamente el tipo de falla usando los atributos pleve, pmedio y pgrave, posteriormente pasan a un nodo assign donde se actualizan los contadores de fallas y el costo de intervención. Por último, las entidades son dirigidas al nodo free, ubicado en la ruta inferior que sigue al nodo assign “paso”.

A esta altura la entidad vuelve a la subred asignación de recurso.

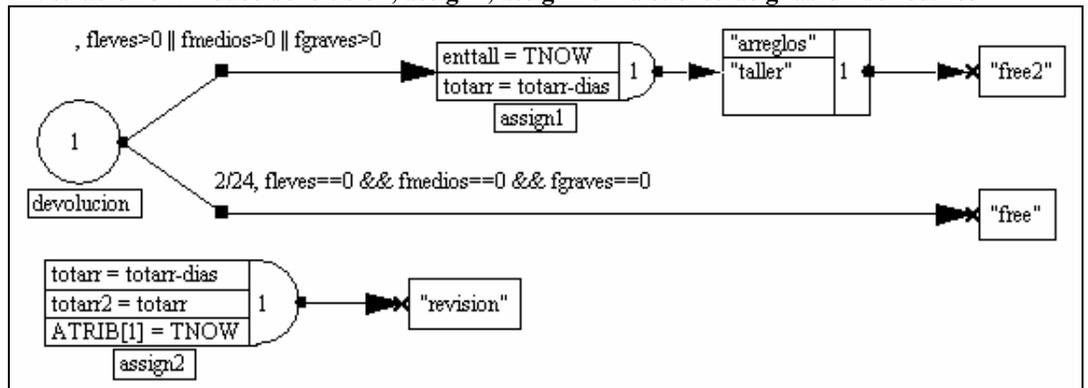
Ilustración 56: Subred revisión en la subred de asignación de recurso



Cuando la entidad sale de la subred revisión toma una de las tres rutas posibles dependiendo de la sucursal en la que se registro el arriendo. Posteriormente, la entidad se enfrenta de nuevo a tres posibles rutas, en la primera pasaran todas aquellas entidades que completen todos los días de arriendo sin presentar falla alguna, esto las conduce al nodo “devolución”. La segunda y la tercera ruta tienen las mismas condiciones de ruteo porque se clonan entidades, aquellas que tomen la segunda ruta se dirigirán al nodo “assign1”, y las que tomen la tercera ruta serán dirigidas al nodo “assign2”.

A continuación se presenta la porción de la subred asignación de recurso donde figuran los nodos: devolución, assign1 y assign2.

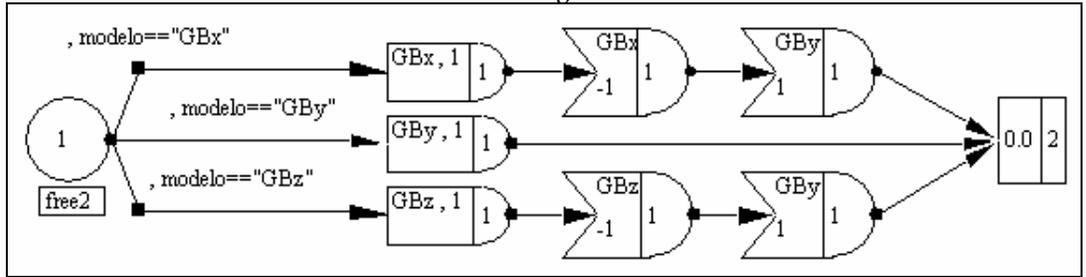
Ilustración 57: Nodos devolución, assign1, assign2 en la subred asignación de recurso



En esta porción de la subred asignación de recurso se registran, si corresponde, el instante de entrada del equipo al taller de mantenimiento, cuanto tiempo resta por terminar el período de arriendo, si el equipo es liberado o si ingresa a la subred taller: “arreglos”, dónde se simula el tiempo de intervención.

A continuación se explicarán los recorridos que siguen las entidades cuando llegan a los nodos: free2 y free.

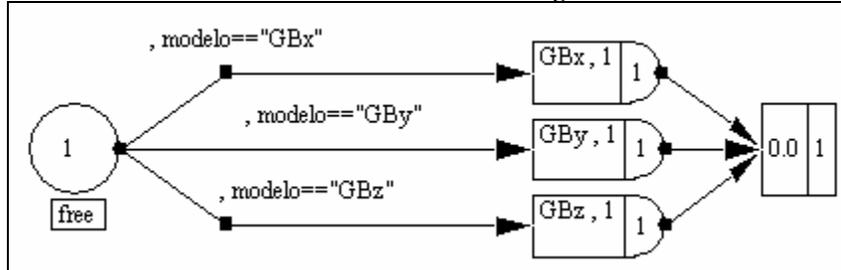
Ilustración 58: Nodo “free2” en la subred de asignación de recurso



Se observa que una vez que las entidades llegan al nodo goon: “free2” deben seguir una de las tres rutas posibles, la elección de la ruta esta determinada por el lugar donde se efectuó la solicitud de arriendo. Si el equipo fallo en el centro de arriendo norte o sur, este debe ser enviado al taller de mantenimiento que queda en Santiago. En tal caso se procede a actualizar la cantidad de equipos existentes en dichos centros de arriendo.

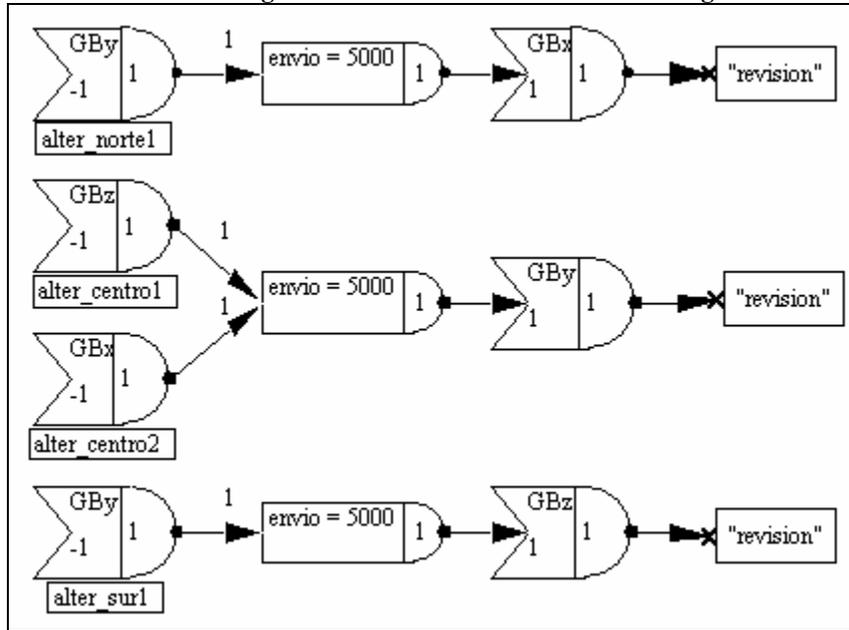
Por último, en el nodo goon “free” se encuentran las entidades que no requieren ser intervenidas. Se observa que también existen tres rutas. En cada una de los cuales se libera el recurso utilizado y luego las entidades vuelven a la red principal.

Ilustración 59: Nodo “free” en la subred de asignación de recurso



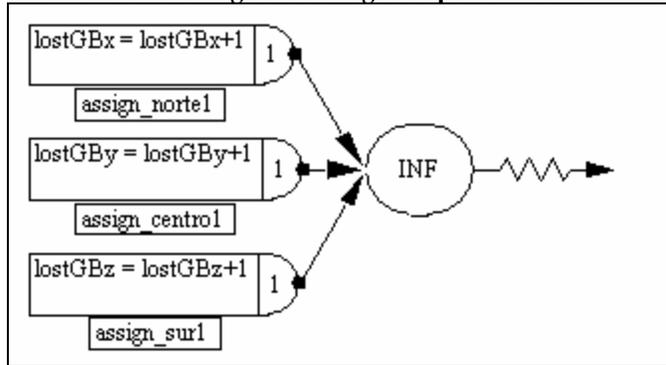
Para terminar de describir la subred de asignación de recurso se presentan las siguientes ilustraciones, en la primera se observa como se tratan los casos en los cuales no existe recurso disponible en el centro de arriendo donde se efectuó la solicitud y se envía un equipo para satisfacer dicha solicitud desde el centro de arriendo más cercano. Se observa que el costo de transporte esta registrado en la variable envío.

Ilustración 60: Reasignación de recursos en la subred de asignación de recurso



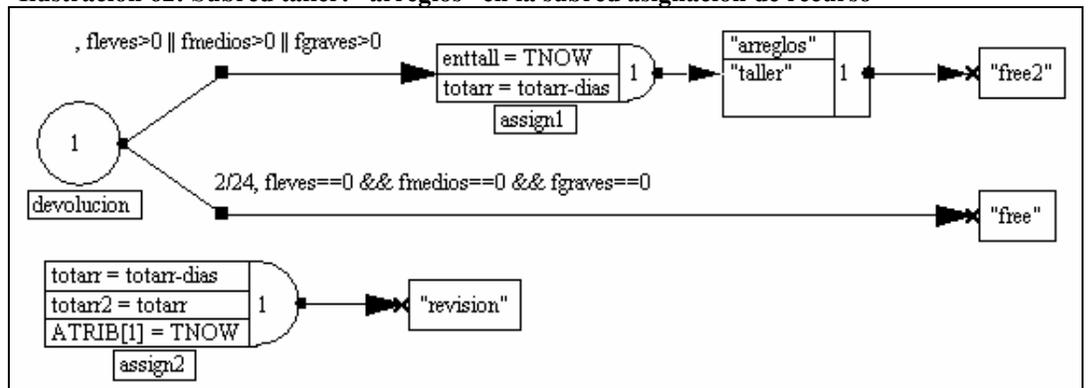
En la segunda ilustración se registran a las solicitudes que no se pudieron satisfacer, es decir clientes perdidos.

Ilustración 61: Registro de negocios perdidos en la subred de asignación de recurso



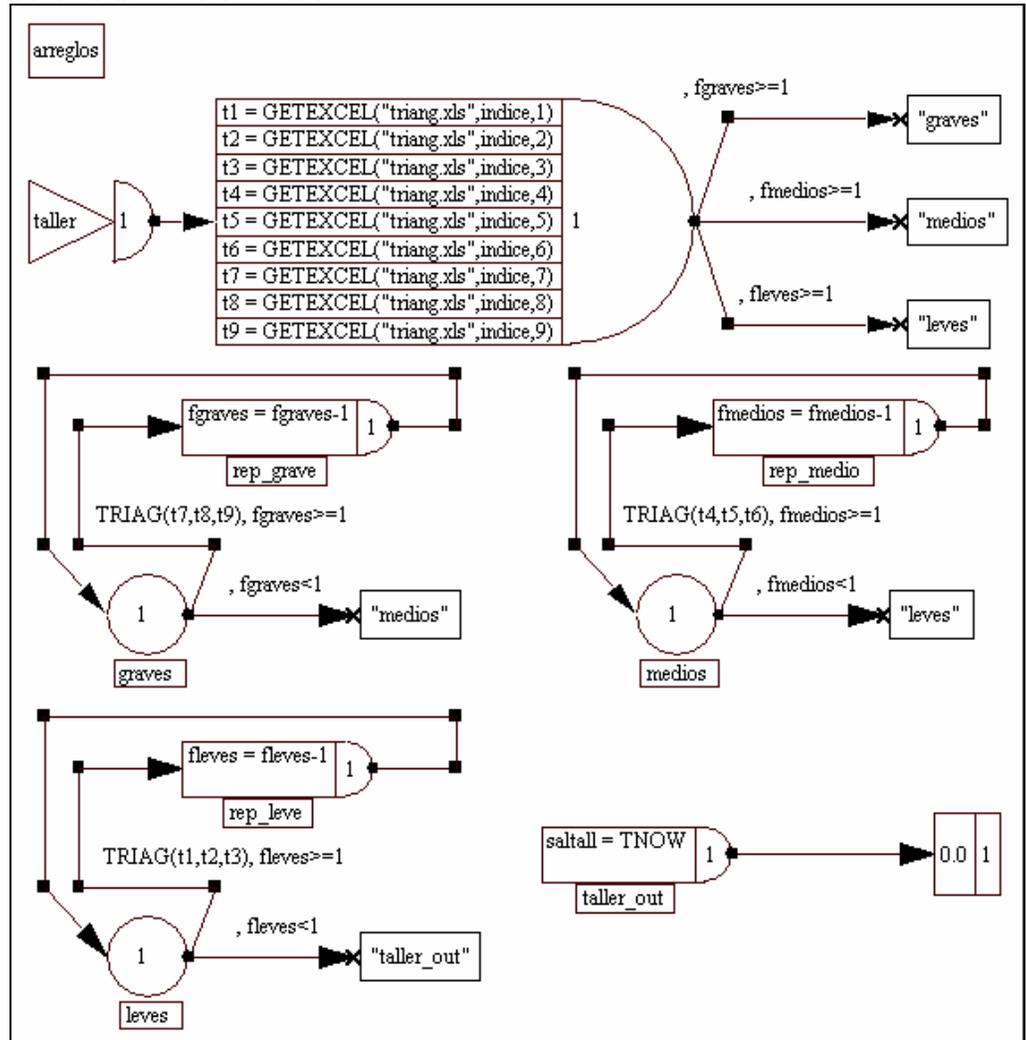
Al describir la subred de asignación de recurso se topo con la subred taller: “arreglos”. Dicha subred se encuentra después del nodo goon “devolución”. Y a continuación se explicará el detalle de dicha subred.

Ilustración 62: Subred taller: “arreglos” en la subred asignación de recurso



Subred taller

Ilustración 63: Subred taller



La subred taller empieza en el nodo entervsn: “taller”. Al llegar las entidades reciben como atributos los indicadores t_i , $i=1..9$. Estos definen el tiempo de intervención, la ley que gobierna este tiempo es una distribución triangular.

Por ejemplo, si el equipo presenta una falla leve se usará una distribución triangular con valor mínimo de t_1 , una moda de t_2 y un valor máximo de t_3 para calcular el tiempo de demora en el taller de mantenimiento. Dichos valores son obtenidos del registro histórico con el que se cuenta²³.

Posteriormente la entidad enfrenta tres posibles rutas, las cuales están determinadas por el tipo de falla en cuestión. Si el equipo presenta una falla grave la entidad será enviada al nodo goon: “graves”, donde se simula un tiempo de demora en el taller con la distribución que corresponda, luego

²³ ANEXOS: Tablas de tiempos de demora en taller de mantenimiento

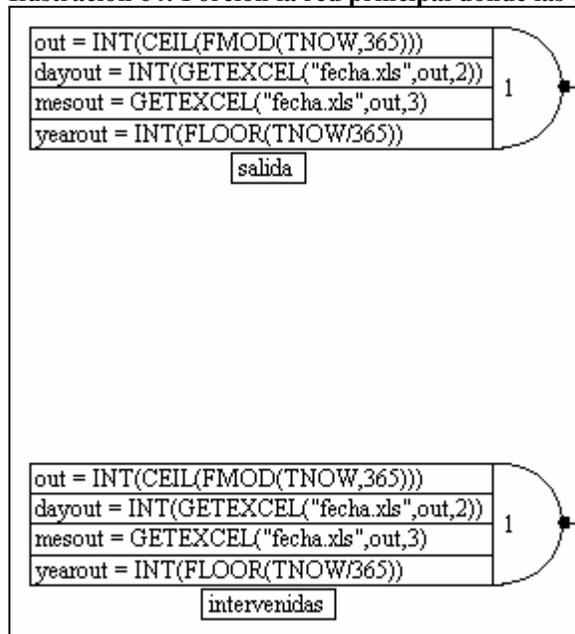
se actualiza el número de fallas graves. La misma lógica se aplica para los nodos goon: “medios” y “leves”

Por último, antes de salir del taller, se registra el instante de salida del taller de mantenimiento.

Se estimo conveniente simular el taller de mantenimiento desde esta perspectiva ya que la información acerca de los recursos empleados en el taller: horas hombre, especialización de tareas, insumos, no esta disponible.

A esta altura ya se encuentra modelado las posibles transiciones de estado del equipo, lo último que queda por describir en la red principal es el proceso de recopilación de datos. Las entidades salen de la subred de asignación de recursos por dos rutas distintas.

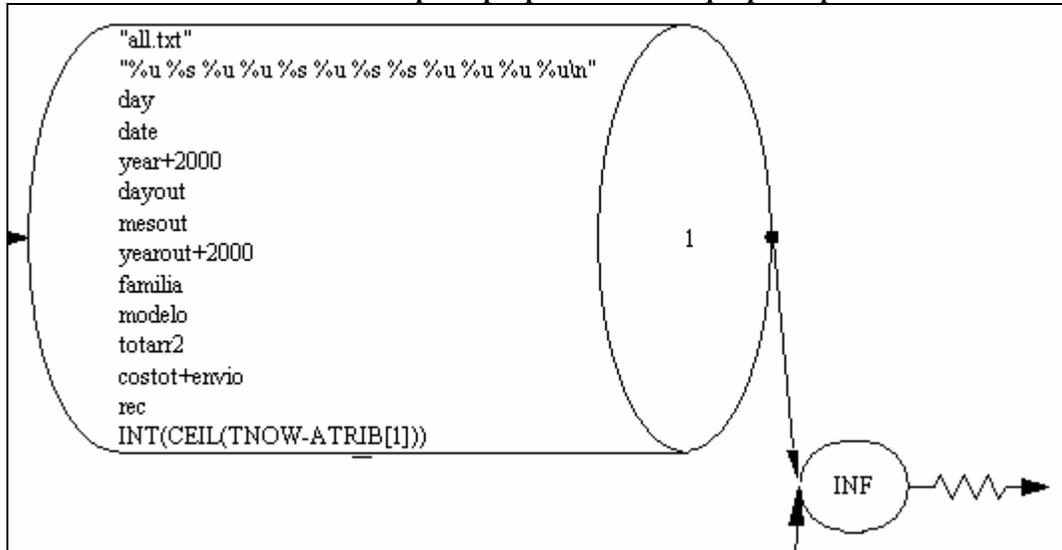
Ilustración 64: Porción la red principal donde las entidades salen de la subred asignación de recursos



Unas por el nodo salida y otras por el nodo intervenidas, para ambas se registra el instante de salida o transición de estado.

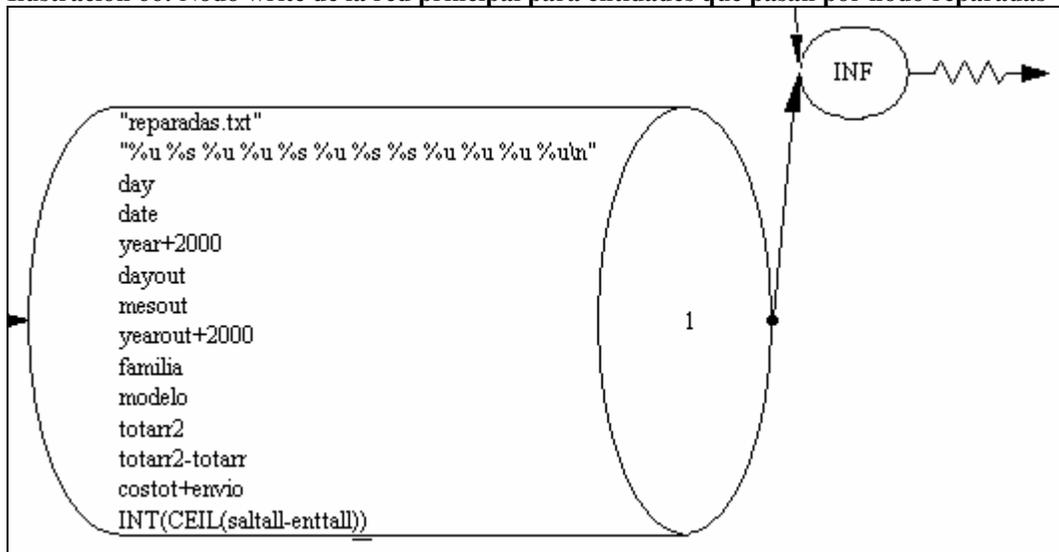
Las entidades que pasaron por el nodo “salida”, llegan al nodo write presentado a continuación. En dicho nodo se registran los datos relevantes para el análisis. Posteriormente las entidades son destruidas en un nodo terminate.

Ilustración 65: Nodo write de la red principal para entidades que pasan por nodo salida



De la misma manera las entidades que pasaron por el nodo “intervenidas” llegan a otro nodo write, en el que también se registran los datos más importantes para luego efectuar el respectivo análisis.

Ilustración 66: Nodo write de la red principal para entidades que pasan por nodo reparadas



VIII.4.4. Simulación e integración como soporte de decisiones

La simulación y la respectiva integración del modelo como soporte de decisiones involucra la etapa de validación del modelo y posteriormente el uso de este como herramienta de análisis de impacto de decisiones en la administración de capacidad.

VIII.4.4.1. Validación

Se entiende a la validación de un modelo de simulación como la sustentación de que dicho modelo posee una exactitud satisfactoria en su dominio de aplicación respecto a la realidad que quiere representarse. (Schlesinger et al. 1979). El proceso de validación es crítico, ya que ayuda a cimentar la confianza necesaria para que los usuarios potenciales estén dispuestos a utilizar el modelo y la información derivada de este.

Dado que las variables de output del modelo tienen una naturaleza aleatoria y además se cuenta con información histórica. Las técnicas de validación adoptadas son:

- Validación de eventos. La ocurrencia de los eventos del modelo de simulación son comparados con aquellos del mundo real.
- Validación de los usuarios. Se pregunta si los valores de las variables de output corresponden al comportamiento natural del sistema.
- Validación con la información histórica. Se utiliza la información histórica para hacer un test del modelo.

Las variables output consideradas en la validación son:

- Cantidad de máquinas arrendadas
- Recaudación
- Periodos de arriendo
- Cantidad de máquinas que fallan
- Costo de intervención
- Demora en la intervención

La validación considera el análisis de los valores promedio de las variables mencionadas en un horizonte de un año y la diferenciación de dichos valores para cada familia, de esta manera se monitorea 36 variables en cien corridas. Cada corrida del modelo considera un periodo de warm up para aminorar el efecto de las condiciones iniciales.

Los valores para estas variables de acuerdo a un análisis histórico se exponen en la siguiente tabla.

Tabla 8: Promedios anuales para las variables output conforme información histórica

Variables	Familias					
	GB	GD	MB	MD	SC	SE
Cantidad de máquinas arrendadas [equipo]	214.0	309.0	505.0	157.5	1478.5	509.0
Recaudación [USD/equipo]	301.9	1193.1	186.6	1550.7	639.4	331.7
Periodo de arriendos [días]	23.9	31.7	13.1	67.7	57.3	62.7

Cantidad de fallas [falla/equipo]	30.5	57.5	22.5	14.0	118.0	50.0
Costo de intervención [\$/equipo]	88907.1	147994.3	157243.8	103788.0	176280.9	133416.2
Demora intervención [días]	16.2	19.4	42.1	12.4	41.2	23.9

Para las variables en mención, el modelo presenta los valores expuestos en la siguiente tabla.

Tabla 9: Promedios anuales para las variables output conforme al modelo

Variables	Familias					
	GB	GD	MB	MD	SC	SE
Cantidad de máquinas arrendadas [equipo]	212.6	299.8	502.7	153.0	1470.3	503.9
Recaudación [USD/equipo]	306.1	1233.5	183.1	1552.1	633.8	334.5
Periodo de arriendos [días]	23.3	29.2	13.6	65.5	56.2	60.4
Cantidad de fallas [falla/equipo]	30.5	57.3	21.9	14.4	116.6	47.6
Costo de intervención [\$/equipo]	89701.1	142221.1	163424.3	109261.7	182177.4	125302.5
Demora intervención [días]	17.8	20.8	42.6	13.5	41.1	25.3

Con el objeto de validar el modelo, se utilizará la razón entre la desviación estándar y la tendencia central, de esta manera se puede apreciar el grado de dispersión porcentual de los datos de salida del modelo respecto a la tendencia central. Una desviación estándar porcentual grande indica que los puntos están lejos de la media y una desviación estándar porcentual pequeña indica que los datos están agrupados cerca de la media. En estos términos, la desviación estándar porcentual puede ser interpretada como una medida de incertidumbre. El modelo será de utilidad mientras la medida en que la incertidumbre sea lo menor posible.

La desviación estándar porcentual observada para cada una de las variables que sustentan la validación se presenta siguiente tabla.

Tabla 10: Desviación estándar porcentual observada

Variables	Familias					
	GB	GD	MB	MD	SC	SE
Cantidad de máquinas arrendadas [equipo]	0.6%	3.0%	0.4%	2.8%	0.6%	1.0%
Recaudación [USD/equipo]	-1.4%	-3.4%	1.9%	-0.1%	0.9%	-0.8%
Periodo de arriendos [días]	2.7%	7.9%	-4.2%	3.2%	1.9%	3.7%
Cantidad de fallas [falla/equipo]	0.2%	0.3%	2.8%	-2.9%	1.2%	4.7%
Costo de intervención [\$/equipo]	-0.9%	3.9%	-3.9%	-5.3%	-3.3%	6.1%
Demora intervención [días]	-10.1%	-7.0%	-1.1%	-9.1%	0.3%	-6.0%

La incertidumbre observada es tolerable, por lo que se acepta el modelo como válido.

VIII.4.4.2. Integración del modelo como soporte de decisiones

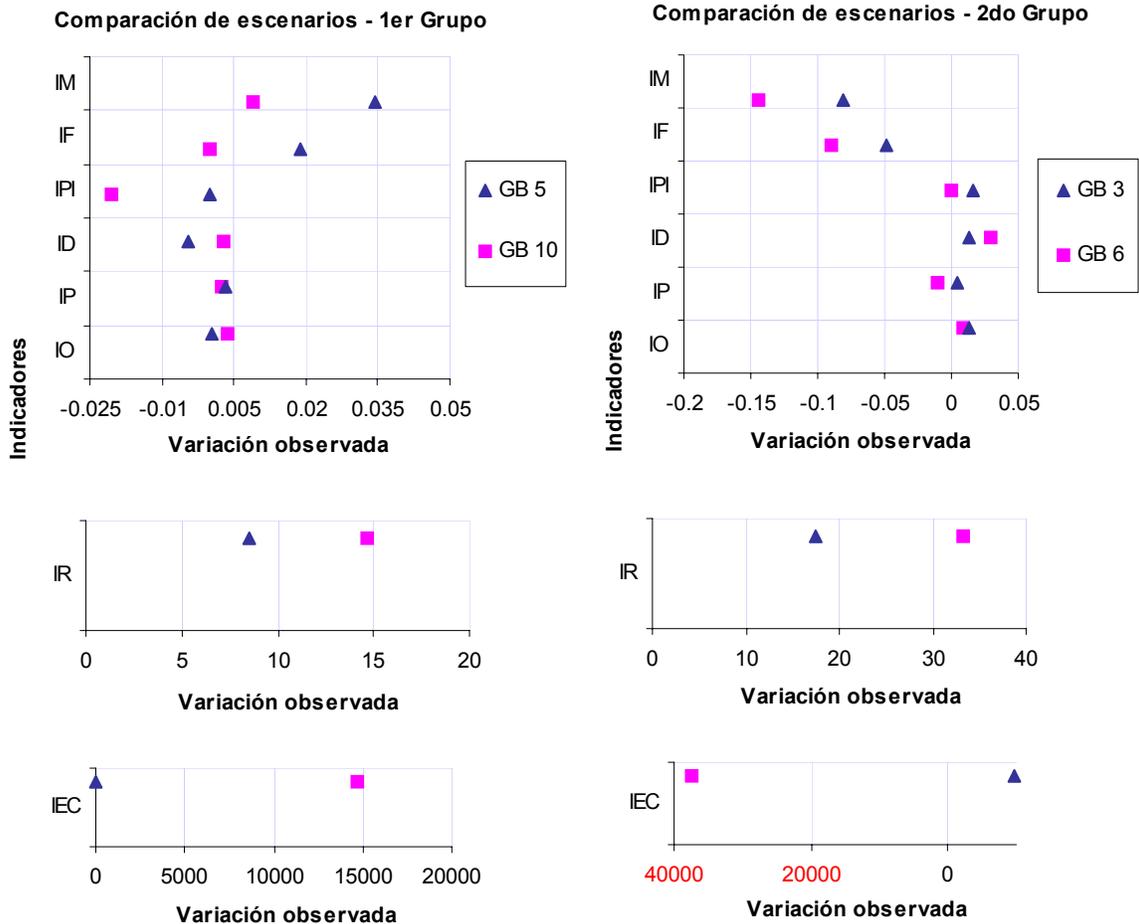
La parte más importante del modelo de simulación de cara al usuario final es su respectiva integración en el soporte de decisiones en administración de capacidad. El tipo

de decisiones pueden ser: reducción de la cantidad de equipos, mantener la cantidad o disminuir dicha cantidad. El análisis efectuado en anteriores etapas sugiere que una adecuada estrategia en la reducción de equipos puede traer consigo retornos interesantes. Por esta razón, de acuerdo a la aplicación de los indicadores de desempeño se identifican dos grupos de equipos críticos: los primeros corresponden a aquellos equipos con los menores valores en sus indicadores de desempeño en el horizonte de análisis, cabe decir dos años, y el segundo grupo corresponde a aquellos equipos que de acuerdo a la lógica anterior sus indicadores son analizados para los últimos seis meses de operación.²⁴

Dados estos grupos se configuraron distintas alternativas de reducción en la cantidad de equipos. El modelo de simulación permite analizar el impacto de dichas alternativas en términos de la variación que se consigue en los valores promedio de los indicadores de desempeño por familia.

A continuación se exhibe el impacto de las alternativas de reducción en la cantidad de equipos, tanto para equipos del primer grupo como para aquellos del segundo grupo. En cada ilustración se observan los indicadores en el eje Y, y en el Eje X la variación observada en dichos indicadores respecto al escenario base. Las alternativas se formulan de acuerdo al siguiente formato: familia – número, que indica la cantidad de equipos que se reducirán en la familia aludida.

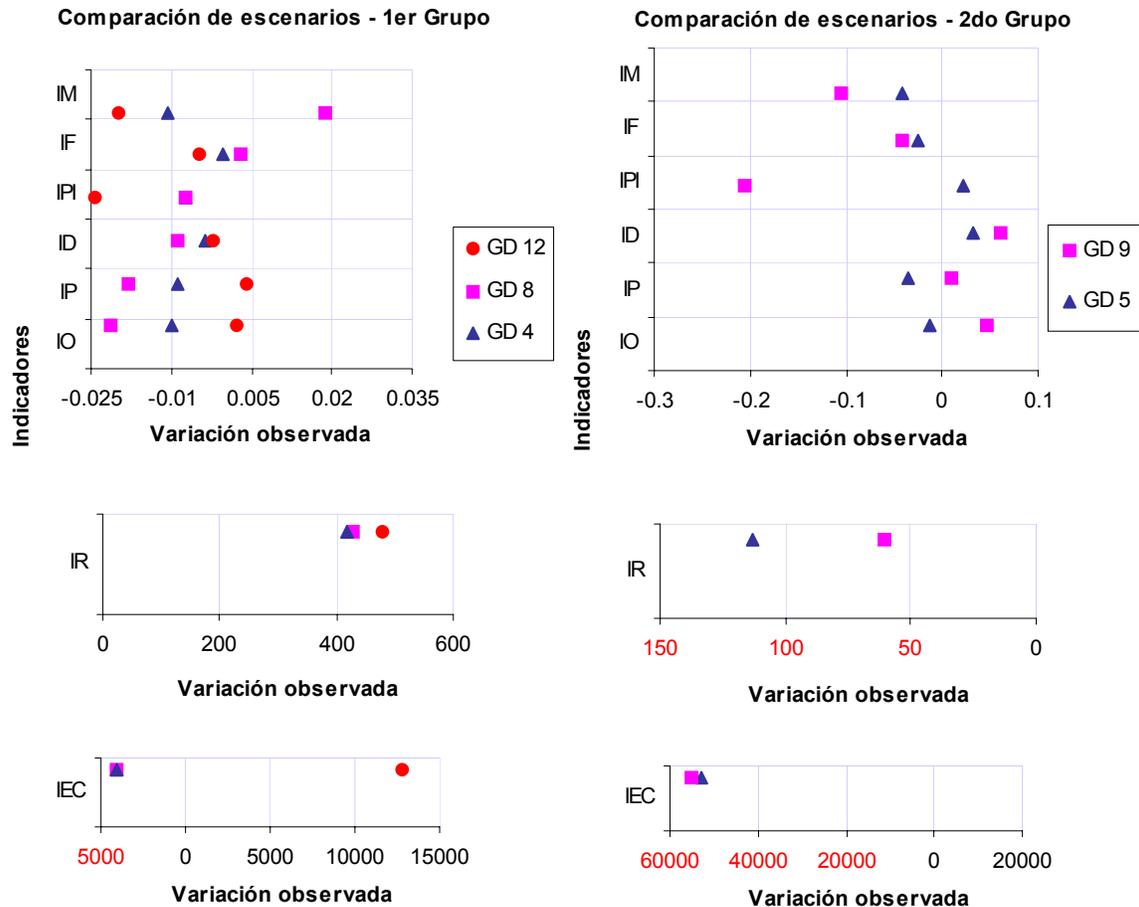
Ilustración 67: Impacto de alternativas de reducción en la cantidad de equipos de la familia GB



²⁴ Los miembros de los grupos mencionados se encuentran especificados en las tablas presentadas en la etapa de indicadores de desempeño como resultado de la aplicación de dichos indicadores.

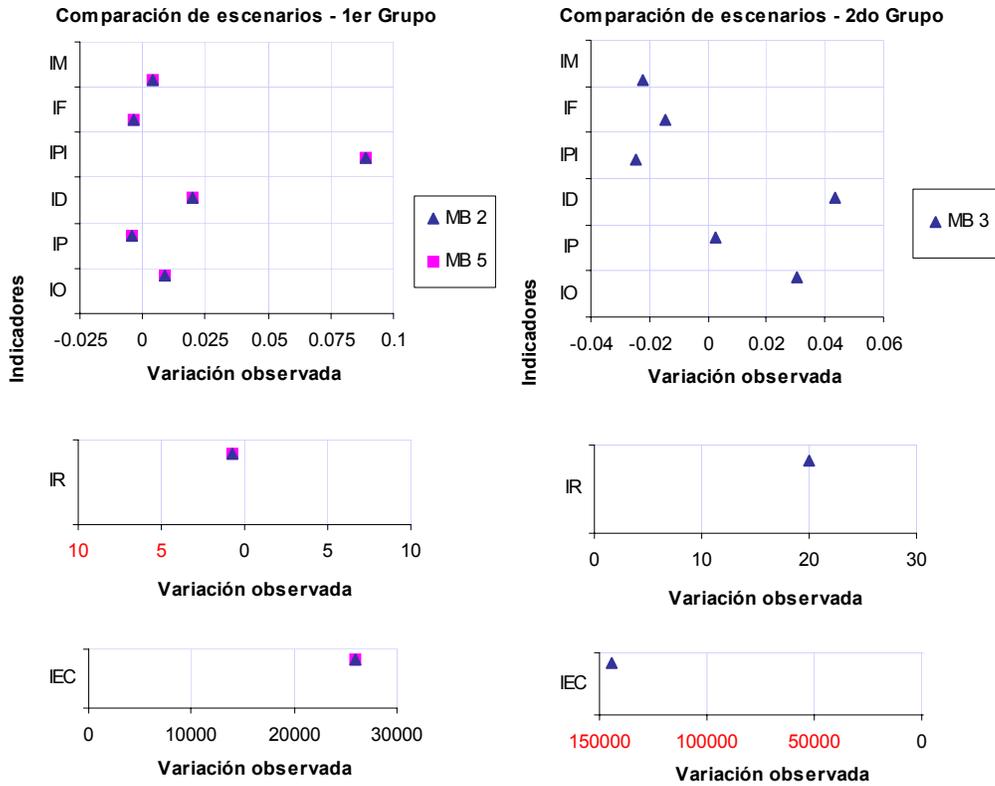
Comparando el impacto en las medidas de desempeño entre los grupos 1 y 2, se observa que las alternativas que consideran reducciones en el segundo grupo de equipos tienen, en términos generales, efectos más interesantes que reducciones en el primer grupo de equipos, esto por el orden de magnitud de las variaciones observadas. Entre las dos alternativas que consideran el equipos del segundo grupo, la reducción de seis equipos es aquella que es más atractiva en casi todos los indicadores, salvo en aquel que mide la penetración en la demanda.

Ilustración 68: Impacto de alternativas de reducción en la cantidad de equipos de la familia GD



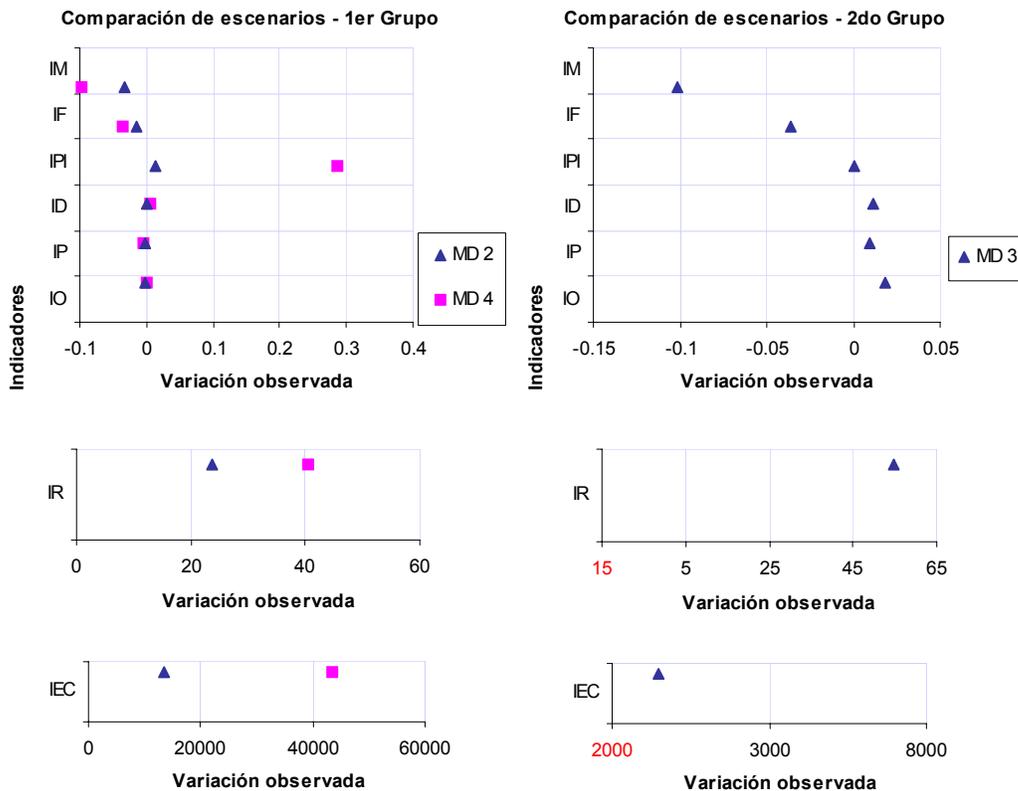
De acuerdo a la ilustración, se observa que también las alternativas que consideran reducciones en el segundo grupo de equipos tienen efectos más interesantes, sin embargo ninguna de las dos alternativas es atractiva en términos de las variaciones en los indicadores de desempeño.

Ilustración 69: Impacto de alternativas de reducción en la cantidad de equipos de la familia MB



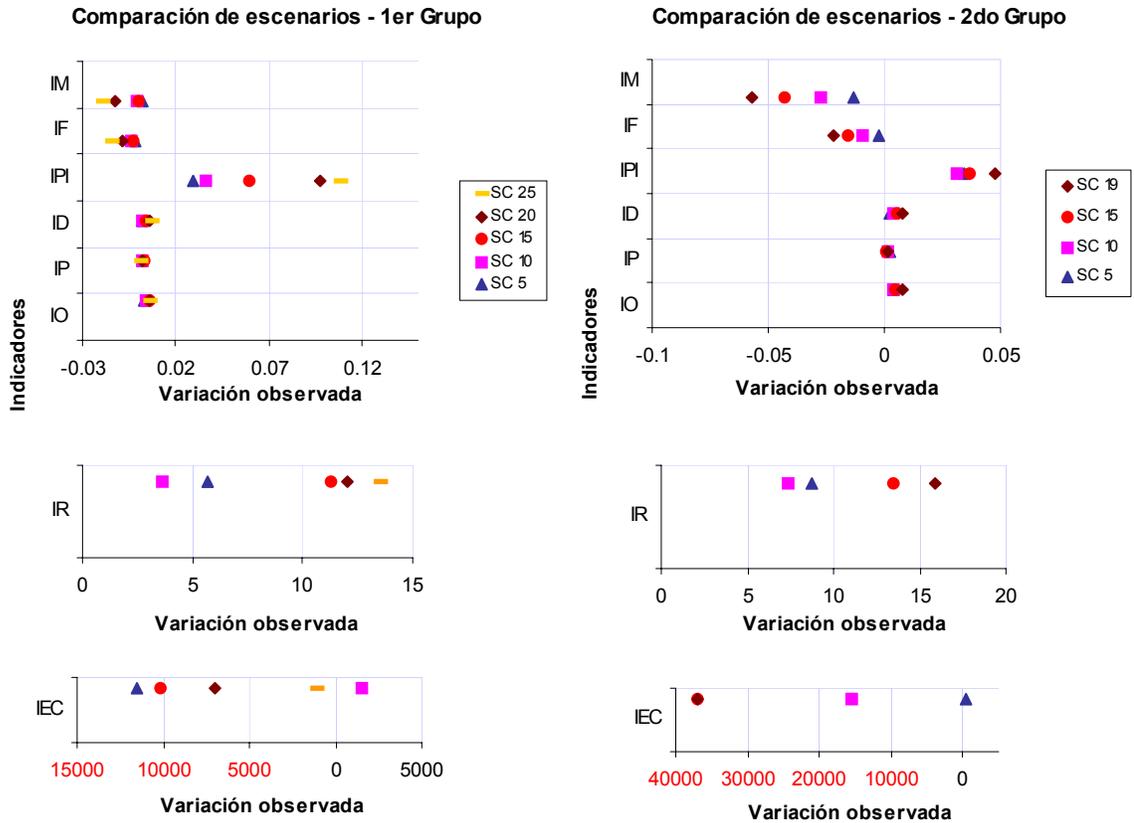
Para este caso se observa que los efectos en todos los escenarios no son significativos como para justificar una eventual reducción en cantidad de equipos.

Ilustración 70: Impacto de alternativas de reducción en la cantidad de equipos de la familia MD



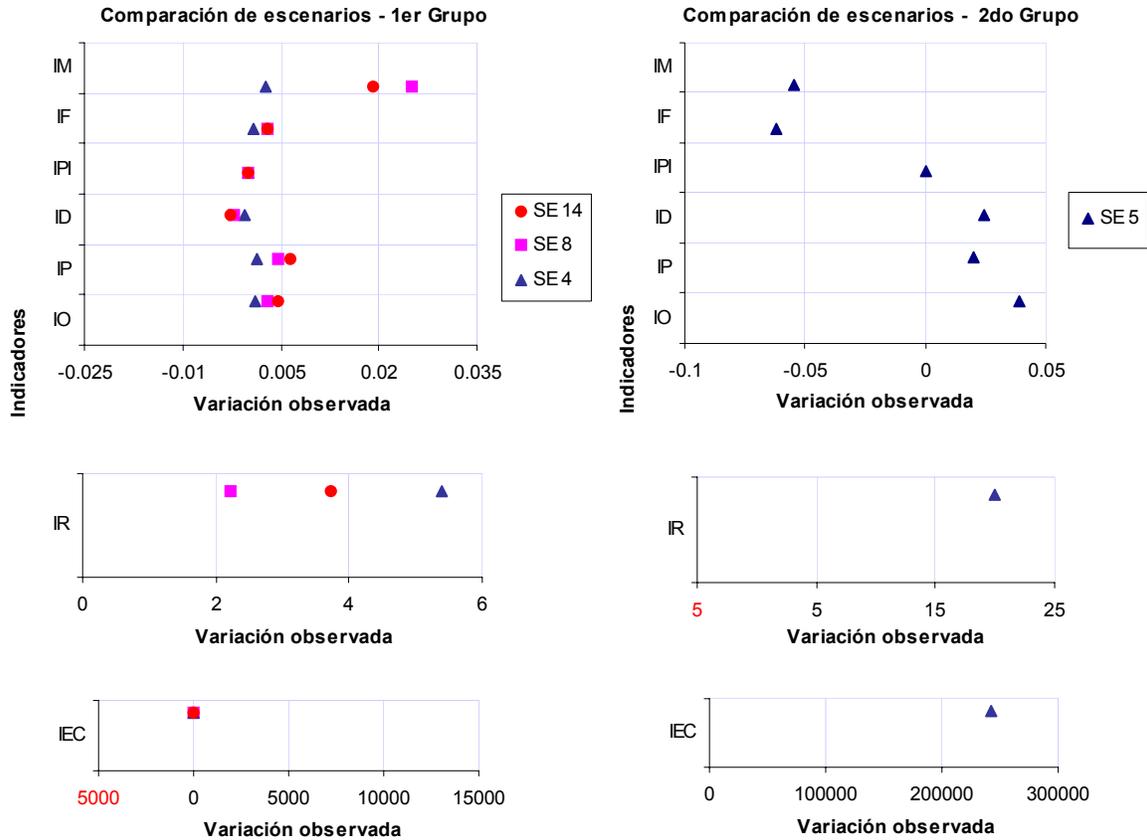
De acuerdo a la anterior ilustración, se observa que también la alternativa que considera reducciones en el segundo grupo de equipos tiene efectos más interesantes, específicamente para los criterios de retorno y equipos costosos. Luego, una reducción de cantidad en tres equipos en la familia MD es atractiva.

Ilustración 71: Impacto de alternativas de reducción en la cantidad de la familia SC



Las alternativas más interesantes de acuerdo a la información de la ilustración anterior son aquellas reducciones en quince y veinte equipos que pertenecen al grupo 1 y reducciones en quince y diecinueve equipos que pertenecen al grupo 2, ya que en estas se observan variaciones más significativas y favorables en criterios tales como retorno y costo. De este grupo de alternativas, la más relevante es una reducción en quince equipos que pertenecen al grupo 2, ya que conjuga un buen impacto en términos de costo y retorno con una reducción en cantidad de equipos no tan drástica.

Ilustración 72: Impacto de alternativas de reducción en la cantidad de equipos de la familia SE



De acuerdo a la ilustración, las alternativas de reducción en cantidad de equipos tienen un impacto no tan significativo en las medidas de desempeño para los grupos 1 y 2; sin embargo análisis previos sugieren que en esta familia de equipos si existe una holgura en la cantidad de equipos existentes que representa una capacidad ociosa. Por lo tanto a luz de estos resultados se sugiere que la alternativa que indica una reducción en catorce equipos del grupo 1 es la más recomendable.

VIII.4.5. Conclusiones para la etapa diseño de un modelo de simulación

En esta etapa se cumplieron con éxito los objetivos planteados: diseño, implementación, validación y aplicación del modelo. Un análisis de las alternativas contempladas en conjunto con los resultados previos sugiere que la estrategia en reducción de capacidad debe ser en los números que se presentan a continuación.

Tabla 11: Estrategia en reducción de cantidad de equipos

Familia	Cantidad
GB	6
GD	0
MB	0
MD	3
SC	19
SE	14
Total	42

El área de procesos: capacidad, esta constituido por la clasificación de equipos, las adquisiciones y ventas, y las tareas de coordinación con el taller de mantenimiento. Estos determinan la dinámica de la cantidad de equipos que constituyen la oferta.

Respecto a la organización se puede decir que esta es del tipo lineal, debido a que es simple y de conformación piramidal, donde cada jefe recibe y transmite todo lo que sucede en su área. Las líneas de comunicación son rígidamente establecidas, cada subordinado se reporta solamente a su superior, tiene un solo jefe y no recibe órdenes de ningún otro. Se observa coordinación push entre áreas, se habla de coordinación push entre áreas cuando las acciones entre estas son reactivas, y los requerimientos son impuestos sin mucho consenso. Dado el tipo de organización en la empresa la coordinación push entre áreas es muy natural.

La descripción anterior respecto a la situación actual se resume en la siguiente ilustración de la matriz horizontal.

Ilustración 74: Matriz horizontal

Sistemas de información	Base de datos: bitacora de arriendos
	Base de datos: cliente
	Base de datos: equipos
	Registro de intervenciones y repuestos: manual
Logística y atención cliente	Centros de arriendo: atención al cliente
	Seguimiento de solicitudes de arriendo
	Monitoreo de disponibilidad
Capacidad	Clasificación de equipos
	Adquisiciones y ventas
	Coordinación con taller de reparación
Organización	Organización lineal: comunicación rigida
	Tipo de coordinación entre áreas: push
	Tipo de ejecución: reactivo

VIII.5.1.2. Identificar procesos de negocio y objetivos deseados

Respecto al sistema deseado, los factores que se consideran necesitan un cambio son: sistemas de información, capacidad y organización.

El sistema de información debe incluir una base de datos para el registro de intervenciones y repuestos, así mismo es necesario un repositorio para los cubos de datos: análisis e histograma.

En el área de procesos capacidad, se deben incluir los análisis de intensidad de uso, de desempeño e impacto, de esta manera se apuesta a una mejora en la administración de la capacidad ofertada.

Los cambios propuestos en los sistemas de información y capacidad pueden tener mayor penetración si el tipo de organización es de carácter funcional con coordinación entre áreas del tipo pull y ejecución de tareas de manera proactiva y reactiva. En una organización del tipo funcional los reportes no son a un solo jefe, los planes y las decisiones requieren consenso entre áreas y de esta manera se consigue que la ejecución de tareas sea del tipo proactiva y reactiva.

Ilustración 75: Matriz vertical

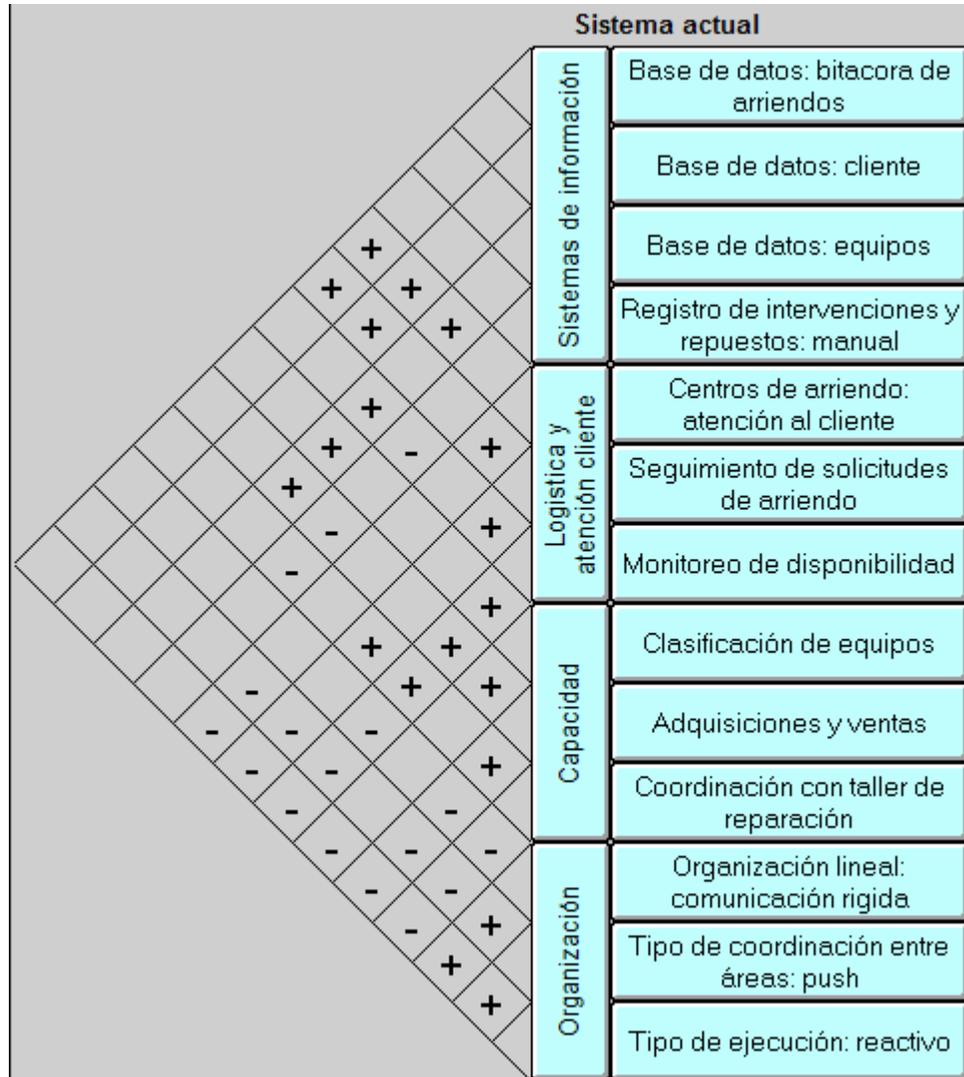
Sistemas de información			Capacidad					Organización			
Base de datos: registro de intervenciones y repuestos	Repositorio para cubo de datos análisis	Repositorio para cubo de datos histograma	Clasificación de equipos	Adquisición y ventas	Coordinación con taller de reparación	Análisis de intensidad de uso de la capacidad	Análisis de desempeño de acuerdo a indicadores	Análisis de impacto para adquisición y ventas	Organización funcional	Tipo de coordinación entre áreas: pull	Tipo de ejecución: proactivo-reactivo

VIII.5.1.3. Identificar las interacciones en la transición

Después de describir el sistema existente y el deseado, se procede a completar las matrices triangulares para identificar las practicas u objetivos complementarios y aquellos competitivos entre si. La complementación de procesos u objetivos refuerzan uno con otro mientras que la competencia entre ellos los enfrenta. Cuando existe complementación, se usa “+” para denotarla, en cambio si existe competencia, se utiliza “-”.

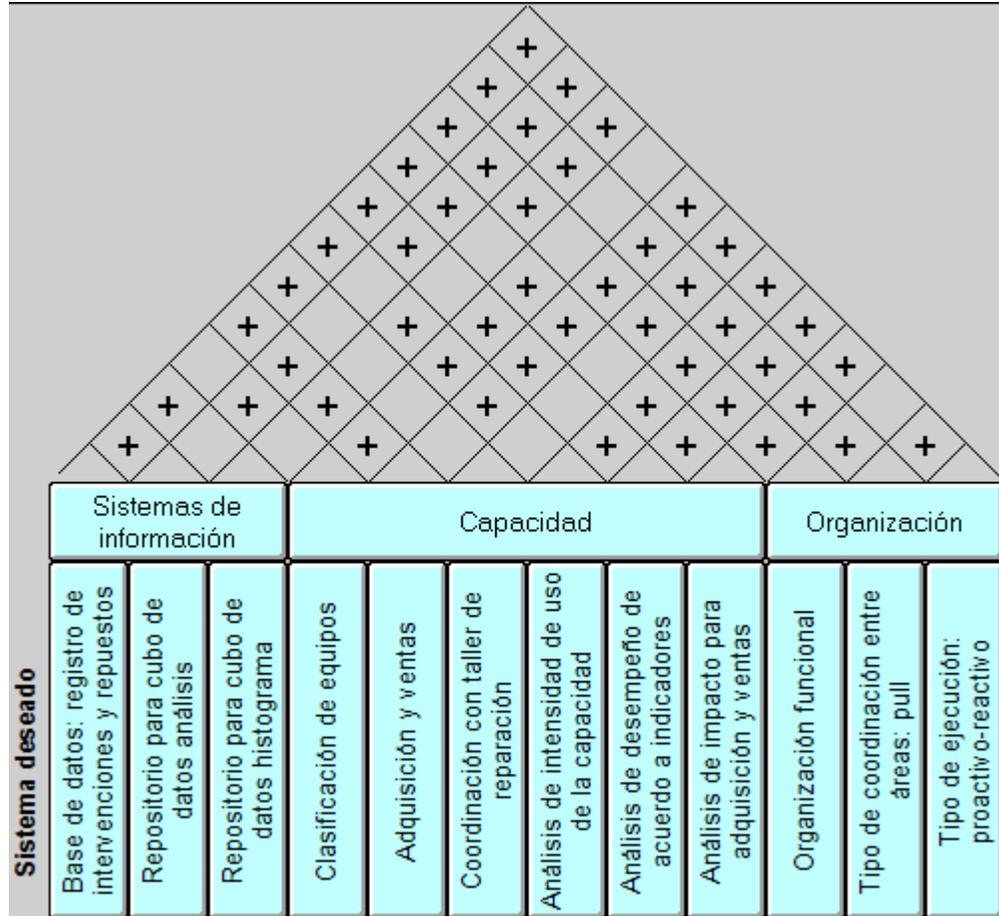
Para el sistema actual se observa que existe una débil complementación, si bien los procesos se encuentran relacionados de alguna manera, el como se hacen las cosas no corresponde a un espacio de consenso sino a uno de respuesta a necesidades cotidianas.

Ilustración 76: Interacciones en la matriz horizontal



En el sistema deseado se plantea una mayor complementación, específicamente orientado al apoyo de los procesos de capacidad. En este escenario los sistemas de información y la organización son soporte en el análisis y la toma de decisiones.

Ilustración 77: Interacciones en la matriz vertical



VIII.5.1.4. Identificar interacciones de la transición

El próximo paso es la construcción de la matriz de transición, la matriz cuadrada central, que ayudará a determinar el grado de dificultad de cambiar desde las prácticas u objetivos actuales a las prácticas u objetivos deseados.

Ilustración 78: Matriz de transición

Sistema actual		Sistemas de información			Capacidad					Organización		
		Base de datos: registro de intervenciones y repuestos	Repositorio para cubo de datos análisis	Repositorio para cubo de datos histograma	Clasificación de equipos	Adquisición y ventas	Coordinación con taller de reparación	Análisis de intensidad de uso de la capacidad	Análisis de desempeño de acuerdo a indicadores	Análisis de impacto para adquisición y ventas	Organización funcional	Tipo de coordinación entre áreas: pull
Sistemas de información	Base de datos: bitacora de arriendos		+	+								
	Base de datos: cliente											
	Base de datos: equipos		+	+	+	+						
	Registro de intervenciones y repuestos: manual	-	-	-		-	-					
Logística y atención cliente	Centros de arriendo: atención al cliente									-	-	-
	Seguimiento de solicitudes de arriendo											
	Monitoreo de disponibilidad						+			-	-	-
Capacidad	Clasificación de equipos				+	+				-	-	-
	Adquisiciones y ventas				+	+		-	-	-	-	-
	Coordinación con taller de reparación	+					+			+	+	+
Organización	Organización lineal: comunicación rígida							-	-	-	-	-
	Tipo de coordinación entre áreas: push							-			-	
	Tipo de ejecución: reactivo							-	-	-		

De acuerdo a la matriz de transición se observa que la menor dificultad de cambio se encuentra en los sistemas de información y en los procesos de capacidad. El impacto del diseño planteado en estas áreas representa una evolución y continuidad. Al contrario, en el área de organización se espera mayor dificultad en el cambio puesto que involucra cambio en las conductas establecidas en la empresa. Generalmente los cambios en la cultura organizacional son los más difíciles de ejecutar.

VIII.5.2. Barreras y recomendaciones

El diseño del sistema de apoyo en la administración de capacidad en la industria de arriendo de equipos industriales tiene un impacto sobre los sistemas de información, los procesos

de capacidad y también a nivel de organización. Si bien este impacto no se puede cuantificar, si se pueden establecer caminos de transición.

- Viabilidad: El conjunto de prácticas y objetivos deseados constituyen un sistema coherente y estable, ya que existe un alto grado de complementación. Se observa que en el sistema actual la complementación no es la principal característica, esto se atribuye al esquema organizacional y a la configuración y uso de los sistemas de información. La transición parece ser fácil si se trata de la configuración de los sistemas de información y de los procesos de capacidad; pero este no es el caso para la transición organizacional.
- Secuencia de la ejecución: Se recomienda privilegiar la transición en los sistemas de información y en los procesos de capacidad, ya que sus resultados tendrán un efecto en el corto plazo, dependiendo del éxito de esta transición se podrá delinear una transición de largo aliento en el plano organizacional, para que de esta manera el apoyo en la administración de capacidad involucre más actores.
- Localización: Dados los tipos de relaciones en la matriz de transición, y de acuerdo a la secuencia propuesta en el párrafo anterior, se identifican dos áreas de transición inmediata o a mediano plazo y una última área que involucra una transición a largo plazo. La transición en sistemas de información y procesos de capacidad puede realizarse en paralelo en las etapas iniciales. Dentro de los procesos de capacidad, el análisis de impacto para la adquisición y venta esta muy vinculado con el modelo de simulación propuesto, esto exige ciertos conocimientos técnicos que actualmente no se observan en la empresa, por lo que se sugiere implementar esta transición en una segunda etapa.
- Velocidad y naturaleza del cambio: Se sugiere que la transición sea de carácter incremental, la velocidad estará determinada por el área en la que se plantea la transición, se espera que un cambio organizacional demande mucho esfuerzo y largo aliento. No es el caso para los otros factores: sistemas de información y procesos de capacidad, donde la transición debiese ser rápida.

Es fundamental el apoyo de la dirección de la empresa ya que los cambios necesarios para la implementación del diseño propuesto involucran compromiso de distintas áreas. Por tal razón, es importante entregar información para que la gente comprenda su sentido y utilidad, y con ello lograr su compromiso de participación. Se deberían considerar reuniones con los participantes con el fin de dar transparencia y claridad de los objetivos.

De acuerdo a las experiencias en casos similares²⁵ presentar el modelo y sus alcances a los trabajadores, si bien activa resistencias iniciales, es clave en el proceso de implementación cultural, pues en el corto plazo y una vez que las personas constatan que no existen objetivos ocultos de despidos o menoscabos, lo conciben como una oportunidad de tener un sistema de administración claro y centrado en desempeños.

El diseño propuesto implica a las personas exponerse ante la organización en su conjunto, lo que transforma en un enfoque “amenazante” que puede dejar al descubierto ciertas

²⁵ Geraghty M. K. y Jonson Ernest. *Revenue Management saves National Car Rental*. 1997.

“incompetencias personales” que han podido ser disimuladas hasta la fecha por un sistema de gestión tradicional mantenedor de “status quo”, y escudadas detrás de jerarquías nominales que otorgan los cargos.

La manera de evadir este obstáculo es a través de la transparencia en el proceso. Si se hace énfasis en esta característica la mayoría de los trabajadores tendería a aceptar el sistema propuesto. Otra característica importante en la que hacer énfasis es que una vez implementado el diseño se abren las puertas de cambios transversales en la organización, aumentando con ello la posibilidad de los trabajadores a desarrollarse en distintas áreas.

La implementación y mantención del sistema propuesto a través del tiempo, implica la inversión en capacitación de personal a involucrar en la operación del sistema, la generación de nuevas tareas administrativas y comprometer tiempo del personal requerido para los análisis y evaluaciones, entre otros, lo cual implica destinar tiempo y recursos importantes en la organización.

Los costos directos de una implementación tienen directa relación con el personal contratado para liderar el proyecto: personal administrativo de tiempo completo que sea dueño del diseño, administre y lidere el proyecto de implementación, y la creación o compra de software que permita plasmar el diseño planteado, se necesitaría: software para cubos de datos y un software para simulación, en particular de acuerdo al diseño propuesto estos podrían ser PALO y AWESIM, respectivamente. El segundo tiene un costo por licencia. Herramientas similares en el mercado pueden llegar a costar hasta 50.000 USD²⁶ (sin contar las horas de consultorías).

²⁶ Herramientas: DB2 UDB de IBM Inc, CubeViews de IBM Inc. y ARENA de Rockwell Autoinformation

IX. Puntos Finales

De acuerdo al objetivo general del proyecto se diseñó un sistema que soporte decisiones para la administración de capacidad en la industria de arriendo de equipos industriales, específicamente se probó dicho diseño en una empresa del sector: empresa de arriendos AB.

El diseño del sistema comprometió las siguientes actividades:

- Análisis de la situación actual y modelo de conocimiento.
- Diagnóstico inicial del comportamiento de la oferta, la demanda y la intensidad de uso de la capacidad.
- Definición de indicadores: propuesta y aplicación de indicadores de desempeño.
- Modelo de análisis: diseño e implementación de un sistema que permita análisis en línea.
- Diseño e implementación de un modelo de simulación que permita realizar análisis de impacto de alternativas que consideren reducción en la cantidad de equipos.
- Diseño de una estrategia de cambio que debe considerarse al momento de implementar el sistema.

A continuación se expone brevemente como la ejecución secuencial de cada uno los pasos mencionados anteriormente permite cumplir los objetivos específicos planteados.

IX.1. Modelo de conocimiento y procesos relevantes

La conceptualización de la información y los procesos de negocio concernientes a la administración de capacidad permitieron la identificación de aquella información relevante y de ésta cual era fidedigna.

Se recomienda poner énfasis en el valor de la información y seguimiento de los procesos internos, en concreto:

- Extender el registro de clientes, de manera que permita categorizarlos.
- Incorporar en la información de los equipos datos operativos tales como carga de trabajo, lugar geográfico del trabajo, resultado de análisis técnicos tales como análisis de gases, análisis de aceite, etc.
- Implementar política paperless en la organización, específicamente en los procesos internos: punto de contacto con el cliente, ordenes de arriendo, políticas de asignación del taller de mantenimiento, bodega y repuestos.
- Estandarizar procesos e implementar monitoreo de la calidad de servicio tanto para clientes internos como para clientes externos.

- Reunir toda la información de la empresa en un solo repositorio de información. Esto para facilitar los análisis y la toma de decisiones.

IX.2. Diagnóstico inicial

El diagnóstico inicial dejó en evidencia que las políticas de administración para el horizonte de estudio no han sido eficaces, esto a la luz de:

- Las posibilidades que se identificaron para aumentar la recaudación actual a través de políticas centradas en la gestión de mantenimiento y en la gestión de capacidad.

Se recomienda que al momento de decidir sobre que áreas mejorar, analizar primero la información agregada que permita cuantificar en términos de proporción de la recaudación:

- Los costos de intervención (CI), insumos y repuestos necesarios en la intervención de los equipos.
- El tiempo que se emplea en la intervención (I), el cual da cuenta de los procesos internos de mantenimiento.
- El tiempo en el cual el equipo se encuentra disponible (D), es decir el tiempo en el cual se observa capacidad ociosa.
- El tiempo en el cual el equipo se encuentra no disponible (ND), el cual da cuenta de la política de intervención en el taller de mantenimiento.

A través de este ejercicio se puede identificar en cuanto es teóricamente posible aumentar los niveles de recaudación, específicamente en que área y en cuales familias; y cual es la dinámica de estas oportunidades en distintos horizontes de tiempo. A continuación se exhiben diagnósticos para identificar áreas de mejora en horizontes de tiempo de dos años y últimos seis meses²⁷.

Tabla 12: Panorama de eventuales áreas de mejora – análisis sobre dos años

	CI	Intervención	No disponible	Disponible
Todos	5%	7%	5%	36%
GB	8%	9%	15%	69%
GD	5%	14%	10%	53%
MB	8%	8%	4%	52%
MD	1%	3%	5%	37%
SC	4%	5%	3%	26%
SE	8%	4%	3%	34%

Tabla 13: Panorama de eventuales áreas de mejora – análisis sobre últimos seis meses

	CI	Intervención	No disponible	Disponible
Todos	2%	2%	2%	41%
GB	10%	4%	2%	116%
GD	2%	6%	5%	55%
MB	10%	9%	4%	57%

²⁷ Desglose de Tabla 1 para distintos horizontes de tiempo

MD	0%	0%	0%	22%
SC	2%	1%	1%	34%
SE	1%	0%	2%	67%

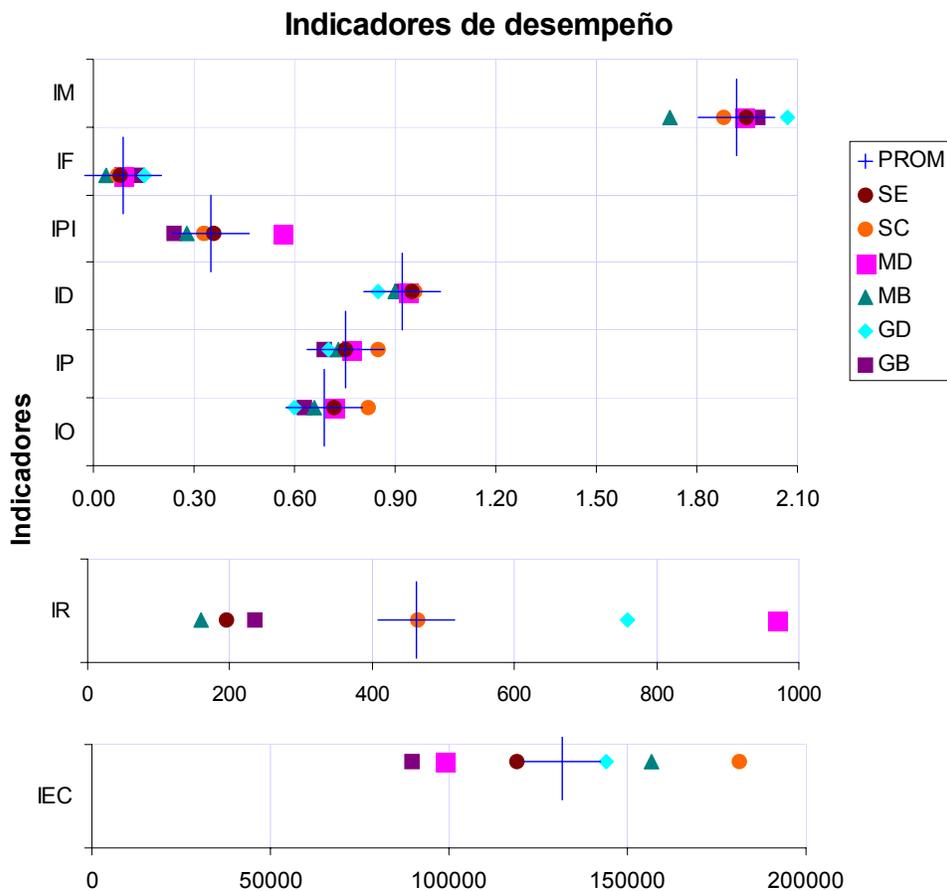
Se recomienda concentrar esfuerzos en administración de capacidad de familias GB y SE particularmente y en gestión de mantenimiento en familias GD y MB.

IX.3. Indicadores de desempeño

La propuesta y la aplicación de indicadores de desempeño permiten incorporar los criterios más relevantes para analizar el comportamiento de los procesos internos, el comportamiento de la demanda y el desempeño de la oferta, entendiéndose esta última como la cantidad de equipos que se disponen para arrendar.

La aplicación de los indicadores permite familiarizarse con el desempeño de las familias de equipos e identificar los equipos críticos del sistema. De esta manera se abre la posibilidad a estudiar las razones de su criticidad.

Ilustración 79: Indicadores de desempeño



Se recomienda monitorear las familias de equipos tomando en cuenta la dinámica de sus indicadores de desempeño, de esta manera uno puede observar comportamientos que se

desconocen, por ejemplo: la familia MB presenta mayor ocupación que el promedio de las familias, sin embargo exhibe la peor rentabilidad por equipo y mayores costos en insumo e intervención que el promedio de las familias. Análisis de este tipo permite ser más eficaz a la hora de proponer políticas: reducción de cantidad de equipos, mejorar los procesos internos, proponer una tarificación alternativa a la existente a fin de mejorar la rentabilidad, etc.

IX.4. Monitoreo en línea

Los resultados anteriores constituyen de por sí un sistema de monitoreo y alarma que permite delinear políticas en gestión de mantenimiento y administración de capacidad más eficaces; puesto que a partir de medidas macro se puede comparar el comportamiento de las distintas familias y desde esta comparación se puede concentrar esfuerzos en aquellas familias donde se evidencian medidas no satisfactorias, más aún el mismo sistema permite la identificación de aquellos equipos que dentro de una familia y bajo determinados criterios presentan medidas no satisfactorias. Bajo este esquema, frente a oportunidades para aumentar la recaudación, las alternativas de gestión surgirán a partir de los datos cuantitativos obtenidos del sistema propuesto.

El desafío desde este punto fue incorporar a este sistema características que permitan que éste sea sostenible en el tiempo, para este fin se propuso el diseño y la implementación de un cubo de datos, MOLAP. Con dicha implementación se consiguió:

- Incorporar al sistema el carácter de sostenible en el tiempo.
- Disponibilidad del sistema de monitoreo y análisis para cualquier área que lo necesite.
- Instaurar una plataforma de análisis transversal a la empresa, y que el análisis de la información constituya una característica dentro la cultura organizacional de la misma.

El diseño y la implementación fue un éxito ya que permitió automatizar las etapas anteriores y dio pie para el diseño y construcción de un modelo de simulación que permita analizar el impacto de aquellas alternativas en gestión que surgieron: disminuir la capacidad ociosa y aumentar el retorno por equipo.

Con la aplicación del sistema de monitoreo se identificaron los equipos más críticos, se configuraron alternativas para la venta de equipos con el propósito de mejorar los retornos de la empresa a través de la liberación en capacidad ociosa y costos en insumos.

Tabla 14: Alternativas de reducción de equipos considerando análisis en horizonte de dos años

GB	GD	MB	MD	SC	SE	
	5	4	2	2	5	4
	10	8	5	4	10	8
		12			15	14
					20	
					25	

Tabla 15: Alternativas de reducción de equipos considerando análisis en horizonte de últimos 6 meses

GB	GD	MB	MD	SC	SE
	3	5	3	3	10
	6	9		5	15
					19

IX.5. Modelo de simulación

El modelo de simulación permite visualizar el impacto que tienen en los indicadores de desempeño las distintas alternativas en reducción de equipo. Dicho análisis de impacto sugiere la siguiente estrategia en venta de equipos.

Tabla 16: Estrategia en reducción de cantidad de equipos

Familia	Cantidad
GB	6
GD	0
MB	0
MD	3
SC	19
SE	14
Total	42

El análisis del efecto de dicha estrategia en un horizonte de seis meses en términos de ahorro y ganancias por equipo, considerando que la cantidad de equipos final será de alrededor de 650, se exhibe en la siguiente ilustración.

Tabla 17: Valores promedio del efecto de la estrategia en reducción de cantidad de equipos

	Ahorro			Ganancia		Resultado
	Reducción de días sin recaudación/Equipo	Reducción de días sin recaudación valorizada en USD/equipo	Reducción en costos de insumo de insumo USD/equipo	Incremento en días arrendados/Equipo	Incremento en recaudación USD/Equipo	Efecto total en USD
Todos	0.17	1.75	2.90	0.28	12.41	11,089
GB	0.08	0.28	0.87	0.09	4.44	3,632
GD	0.00	0.00	0.11	0.07	3.27	2,057
MB	0.00	0.00	0.11	0.06	0.88	502
MD	0.01	0.37	0.10	0.04	0.89	880
SC	0.03	1.14	2.17	0.25	3.21	4,239
SE	0.06	0.04	0.02	0.04	0.28	221

Por lo tanto el modelo dice que en promedio se espera que de aplicarse la estrategia sugerida se puede obtener 11000 USD, de los cuales más del 70% corresponderían a incrementos en la recaudación. Un dato interesante es que para la familia SE no se obtienen resultados positivos, de hecho el efecto total representa una pérdida de 221 USD, los cuales son atribuidos casi en su totalidad a la menor recaudación producto de la reducción en cantidad de equipos.

El proceso regular de venta de dichos equipos es a través de casas de remates, en general el valor de dichos equipos oscila entre el 35% al 45% del valor del equipo nuevo. Se estima que el ingreso por concepto de esta operación será cercano a los 45000 USD.

En síntesis el efecto total en un horizonte de seis meses sera cercano a los 56000 USD, esta cifra corresponde al 13% de las recaudaciones estimadas para dicho horizonte de tiempo.

Más allá del resultado la principal recomendación pasa por el esquema metodológico que se propone para comparar alternativas que afectan la administración de capacidad y la gestión de mantenimiento.

IX.6. Estrategia de cambio

Por último, dado que cualquier implementación de un sistema de información exige el compromiso e invita al cambio de la cotidianidad de los que serán los usuarios de dicho sistema, se propone una estrategia para encaminar dicho cambio. Los principales puntos de dicha estrategia se resumen a continuación:

- Viabilidad: El conjunto de prácticas y objetivos deseados constituyen un sistema coherente y estable. La transición parece ser fácil para la configuración de los sistemas de información y de los procesos de capacidad; pero este no es el caso si se considera una transición de la cultura organizacional.
- Secuencia de la ejecución: Privilegiar la transición en los sistemas de información y en los procesos de capacidad, por el efecto de corto plazo.
- Localización: Se evidencian dos áreas de transición inmediata o a mediano plazo y una transición a largo plazo. Además se propone que el análisis de impacto, modelo de simulación, sea considerado en una segunda etapa de transición, esto por las características técnicas que exige.
- Velocidad y naturaleza del cambio: Se sugiere una transición de carácter incremental, y rápida para el caso de procesos de capacidad y sistemas de información.

X. Conclusiones y comentarios

X.1. Conclusiones

Este trabajo se centró en el diseño de un sistema de apoyo para la administración de capacidad en la industria de arriendo de equipos industriales que soporte decisiones cuyo objetivo sea el de obtener mayores márgenes a través del balance entre la oferta y la demanda.

Se estableció que estas decisiones se pueden enmarcar a nivel estratégico dentro de lo que se conoce como Asset Management y Revenue Management. La primera permite enfrentar el problema con una visión holística e incorporar a la gestión de mantenimiento y la administración de capacidad como factores claves de competitividad: potenciando el uso y cuidado de activos como una función coordinada. La segunda proyecta el problema hacia otra dimensión: aumentar ingresos a partir de correctas estructuras de precios y políticas de control de capacidad, esta perspectiva exige también la combinación de la gestión de mantenimiento y la administración de capacidad como agentes que permitan la disponibilidad del producto. Las decisiones comprometidas en el balance entre la oferta y la demanda corresponden a la dinámica que afecta la cantidad de equipos que constituyen la capacidad de oferta y a la disponibilidad de los mismos para ser arrendados, ambas de orden táctico.

Como punto de partida se determinó que el enfoque coherente con la escala del problema es uno orientado en procesos cuyos elementos constitutivos son: producto, tecnología y recurso humano. Esta perspectiva permite aplicar distintas metodologías las cuales son integradas en el diseño propuesto.

Se define la implementación del sistema apoyo en cinco actividades, cada una de estas exige orquestar la interacción entre los elementos constitutivos. En el caso particular de la empresa de arriendos AB la aplicación del sistema propuesto arroja interesantes resultados, los cuales satisfacen el objetivo principal del diseño propuesto: obtener mayores márgenes; sin embargo, más allá de este resultado se valora el aporte del sistema de apoyo por los siguientes atributos:

- La perspectiva eficaz al concentrar esfuerzos
- Monitoreo y control de recursos
- Incorporación del análisis en la cultura organizacional de la empresa
- Explotación y valoración de la información histórica.

Tal cual se desarrollo el proyecto se considera que su aplicación en otras empresas es inmediata, no necesariamente con los mismos resultados monetarios; pero si con el aporte sistémico y flexible para desarrollar soluciones hechas en casa.

X.2. Trabajo Futuro

El proyecto tal cual se ha planteado y desarrollado en la empresa de arriendos AB constituye un hito para ésta en la búsqueda de la eficacia y eficiencia en la administración de capacidad y en la gestión de mantenimiento. Dicha búsqueda se hace tangible a través de herramientas y metodología que permitan el uso indicadores técnicos-financieros que ayudan a identificar cuáles son las estrategias que se deben seguir para alcanzar la visión del negocio, y permiten a la vez expresar dichas estrategias en objetivos específicos cuyo logro sea medible a través de un conjunto de indicadores.

Todo esto es la base fundamental para enfocar la gestión hacia la mejora en el rendimiento de activos físicos, lo que permitirá incorporar técnicas exitosas, las que siguiendo la línea del trabajo desarrollado serían:

- Administración del ciclo de vida de productos. Actualmente se visualiza esta como uno de los cuatro pilares de la estructura en tecnologías de información de una empresa. Persigue la administración e innovación de productos y servicios considerando su vida económica.
- Revenue Management. Persigue maximizar los ingresos provenientes de una capacidad limitada de un producto perecible por medio de vender cada unidad al cliente correcto, en el momento correcto y al precio correcto.

XI. Anexos

Tabla 18: Tabla de probabilidades de arriendo por lugar geográfico

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Sur	0.23	0.22	0.23	0.27	0.22	0.23	0.20	0.18	0.22	0.21	0.33	0.29	0.24
Centro	0.46	0.57	0.52	0.51	0.51	0.56	0.58	0.59	0.60	0.52	0.41	0.44	0.52
Norte	0.31	0.21	0.24	0.23	0.27	0.21	0.23	0.23	0.18	0.27	0.25	0.27	0.24

Tabla 19: Tabla de probabilidades de arriendo por familia, meses y lugar geográfico

Centro	GB	GD	MB	MD	SC	SE
Ene	0.12	0.06	0.16	0.02	0.41	0.23
Feb	0.10	0.10	0.11	0.03	0.42	0.24
Mar	0.12	0.12	0.18	0.03	0.32	0.22
Abr	0.11	0.12	0.14	0.02	0.37	0.24
May	0.09	0.11	0.18	0.03	0.38	0.22
Jun	0.08	0.11	0.17	0.02	0.40	0.22
Jul	0.09	0.10	0.14	0.01	0.38	0.27
Ago	0.10	0.10	0.19	0.02	0.39	0.21
Sep	0.10	0.10	0.15	0.02	0.41	0.21
Oct	0.07	0.13	0.15	0.01	0.52	0.11
Nov	0.11	0.13	0.13	0.04	0.46	0.14
Dic	0.12	0.14	0.16	0.01	0.41	0.15

Norte	GB	GD	MB	MD	SC	SE
Ene	0.04	0.11	0.03	0.09	0.64	0.08
Feb	0.04	0.18	0.04	0.13	0.55	0.06
Mar	0.04	0.10	0.06	0.14	0.65	0.01

Abr	0.03	0.12	0.07	0.13	0.60	0.04
May	0.05	0.07	0.06	0.10	0.66	0.05
Jun	0.02	0.09	0.03	0.22	0.56	0.08
Jul	0.06	0.10	0.06	0.20	0.56	0.03
Ago	0.03	0.14	0.05	0.13	0.59	0.07
Sep	0.08	0.13	0.08	0.13	0.50	0.08
Oct	0.06	0.09	0.04	0.21	0.47	0.13
Nov	0.05	0.09	0.07	0.15	0.60	0.05
Dic	0.02	0.06	0.06	0.15	0.57	0.14

Sur	GB	GD	MB	MD	SC	SE
Ene	0.03	0.12	0.36	0.02	0.26	0.20
Feb	0.05	0.09	0.31	0.06	0.41	0.09
Mar	0.04	0.07	0.25	0.01	0.54	0.09
Abr	0.02	0.10	0.24	0.00	0.44	0.20
May	0.05	0.13	0.30	-	0.41	0.11
Jun	0.01	0.09	0.20	0.01	0.57	0.12
Jul	0.06	0.13	0.14	0.00	0.55	0.11
Ago	0.04	0.07	0.22	0.03	0.48	0.14
Sep	0.04	0.10	0.17	0.00	0.47	0.21
Oct	0.06	0.10	0.15	0.00	0.49	0.20
Nov	0.07	0.08	0.12	0.02	0.52	0.19
Dic	0.02	0.11	0.20	-	0.46	0.20

Tabla 20: Tabla de probabilidades de tramos de cobro por concepto de arriendo por familia y meses

GB	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Tramo 5	Tramo 6
Ene	0.30	0.35	0.21	0.07	0.07	-
Feb	0.53	0.29	0.16	0.03	-	-
Mar	0.32	0.32	0.30	0.07	-	-
Abr	0.50	0.26	0.16	0.05	0.03	-
May	0.11	0.37	0.49	0.03	-	-
Jun	0.31	0.23	0.38	0.04	0.04	-
Jul	0.47	0.37	0.16	-	-	-
Ago	0.51	0.35	0.11	0.03	-	-
Sep	0.32	0.27	0.32	0.08	-	-
Oct	0.41	0.43	0.16	-	-	-
Nov	0.36	0.50	0.14	-	-	-
Dic	0.42	0.37	0.21	-	-	-

GD	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Tramo 5	Tramo 6
Ene	0.40	0.23	0.28	0.07	-	0.02
Feb	0.45	0.27	0.22	0.02	0.02	0.02
Mar	0.31	0.37	0.22	0.04	0.06	-
Abr	0.26	0.35	0.30	0.08	0.01	-
May	0.30	0.30	0.34	0.06	-	-
Jun	0.33	0.35	0.27	0.04	-	-
Jul	0.46	0.39	0.11	0.04	-	-
Ago	0.33	0.28	0.22	0.13	0.04	-
Sep	0.52	0.26	0.17	0.04	0.02	-
Oct	0.28	0.42	0.18	0.08	0.05	-
Nov	0.37	0.33	0.18	0.10	0.02	-
Dic	0.32	0.36	0.23	0.05	0.05	-

MB	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Tramo 5	Tramo 6
Ene	0.60	0.28	0.10	0.02	-	-
Feb	0.47	0.39	0.12	0.01	-	-
Mar	0.60	0.27	0.10	0.03	-	-
Abr	0.68	0.27	0.04	-	0.01	-
May	0.63	0.29	0.07	-	0.01	-
Jun	0.55	0.28	0.17	-	-	-
Jul	0.49	0.39	0.09	0.03	-	-
Ago	0.56	0.29	0.11	0.05	-	-
Sep	0.61	0.26	0.11	0.01	-	-
Oct	0.62	0.29	0.07	0.02	-	-
Nov	0.66	0.23	0.11	-	-	-
Dic	0.68	0.28	0.02	0.02	-	-

MD	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Tramo 5	Tramo 6
Ene	0.07	0.48	0.22	0.15	-	0.07
Feb	0.27	0.27	0.27	0.15	-	0.04
Mar	0.50	0.30	0.05	0.15	-	-
Abr	0.28	0.14	0.45	0.07	0.07	-
May	0.03	0.17	0.41	0.31	0.03	0.03
Jun	0.13	0.13	0.26	0.34	0.13	-
Jul	0.11	0.29	0.37	0.09	0.11	0.03
Ago	0.04	0.30	0.22	0.37	0.07	-
Sep	0.36	0.29	0.14	0.21	-	-
Oct	0.10	0.55	0.10	0.15	0.10	-
Nov	0.07	0.53	0.13	0.27	-	-
Dic	0.20	0.33	0.07	0.40	-	-

SC	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Tramo 5	Tramo 6
Ene	0.11	0.40	0.35	0.11	0.03	0.01
Feb	0.17	0.36	0.27	0.11	0.08	0.01
Mar	0.21	0.37	0.27	0.09	0.05	0.01
Abr	0.18	0.42	0.22	0.13	0.05	0.01
May	0.09	0.30	0.31	0.23	0.07	0.00
Jun	0.24	0.24	0.22	0.25	0.05	0.00
Jul	0.13	0.32	0.31	0.16	0.07	0.01
Ago	0.12	0.24	0.37	0.20	0.07	0.00
Sep	0.13	0.33	0.30	0.17	0.07	-
Oct	0.12	0.41	0.33	0.09	0.05	-
Nov	0.13	0.42	0.23	0.15	0.06	-
Dic	0.20	0.35	0.16	0.25	0.03	-

SE	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Tramo 5	Tramo 6
Ene	0.17	0.42	0.27	0.12	0.01	0.01
Feb	0.05	0.34	0.38	0.12	0.08	0.02
Mar	0.13	0.24	0.29	0.08	0.10	0.18
Abr	0.19	0.44	0.19	0.13	0.04	0.02
May	0.11	0.29	0.36	0.21	0.01	0.03
Jun	0.15	0.36	0.33	0.15	-	-
Jul	0.13	0.19	0.38	0.16	0.13	0.01
Ago	0.11	0.41	0.16	0.21	0.10	-
Sep	0.20	0.36	0.20	0.14	0.07	0.01
Oct	0.20	0.33	0.31	0.14	0.03	-
Nov	0.19	0.62	0.13	0.03	0.03	-
Dic	0.21	0.26	0.29	0.24	-	-

Tabla 21: Tabla de probabilidades de tipo de falla por familias

	GB	GD	MB	MD	SC	SE
Falla grave	0.14	0.13	0.07	0.08	0.14	0.11
Falla media	0.25	0.22	0.27	0.23	0.20	0.20
Falla leve	0.60	0.64	0.66	0.69	0.65	0.67

Tabla 22: Tabla de rangos de costos de intervención en pesos por tipo de falla por familias

Familias	Falla leve		Falla media		Falla grave	
	Costo min	Costo sup	Costo min	Costo sup	Costo min	Costo sup
GB	2,350	63,650	66,000	167,316	172,164	420,358
GD	3,000	140,000	143,042	383,007	390,520	1,864,000
MB	2,600	118,220	120,000	423,018	595,182	1,469,991
MD	10,000	110,000	114,406	311,260	801,100	868,044
SC	1,471	202,500	217,720	522,124	591,522	1,199,858
SE	1,820	116,943	118,220	263,208	318,220	964,000

Tabla 23: Tabla de probabilidad de falla por familia y tiempo

	GB	GD	MB	MD	SC	SE
Ene	0.21	0.14	0.02	0.04	0.06	0.02
Feb	0.03	0.22	0.03	0.27	0.05	0.10
Mar	0.11	0.20	0.05	0.15	0.10	0.28
Abr	0.29	0.14	0.07	-	0.06	0.17
May	0.17	0.20	0.02	0.03	0.05	0.11
Jun	0.04	0.29	0.08	0.05	0.10	0.08
Jul	0.13	0.17	0.05	0.03	0.05	0.08
Ago	0.16	0.11	0.08	0.04	0.09	0.06
Sep	0.24	0.07	0.04	0.07	0.09	0.10
Oct	0.03	0.22	0.07	0.08	0.12	0.08
Nov	0.11	0.18	-	0.53	0.07	0.06
Dic	0.16	0.50	-	-	0.19	0.05

XII. Bibliografía.

Asociación Americana de Transporte Aéreo (1993). *Airline/Manufacturer maintenance program development: MSG-3 Revision 2, Maintenance Steering Group*.

Blanchard, S., Benjamin, *Logistics Engineering and Management*, Pearson Prentice Hall, 6th Edition, 2003

Bitran, G., Mondschein, S. *Managing the tug-of-war between supply and demand in the service industries*, European Management Journal, 15:524-535, 1997

Bukowski, J, Goble, M. *Defining mean time to failure in a particular failure state for multifailure state systems*, IEEE Transaction on Reliability, Vol 50, No. 2, pp. 221-228.

Carrol, W. J., Grimes, R.C. *Evolutionary change in product management: Experiences in the car rental industry*, Interfaces, 25:84-104, 1995

Chiang, L., Russell, E., Braatz, R. *Fault detection and diagnosis in industrial systems*. London, GB, Springer-Verlag Ltd. Pp. 3-31.

Cook, T. *Sabre soar*, ORMS Today, June 1998.

Vanier, D. J. *Why industry needs asset management tools*, Journal of computing in civil engineering, 2001.

Gerarghty, M. K., Johnson, E. *Revenue Management saves National car rental*, Interfaces, 27:107-127, 1997

IEC 60050-191. *Electrotechnical vocabulary. Dependability and quality of service*. International Electrotechnical Commission, 1996

IEC 61025. *Fault tree analysis (FTA)*, International Electrotechnical Commission, 1990

Kelly Anthony. *Maintenance organization and systems*, Butterworth Heinemann, 1997

Jardine, A. *The evolution of reliability: How RCM developed as a viable maintenance approach*, The Reliability Handbook, Vol. 23, Issue 6, pp. 9-20.r

Jardine, A.y Albert H.C. Tsang. *Maintenance, Replacement, and Reliability; Theory and Applications*, CRC / Taylor & Francis, 2006.

Johnstone, J., Ward, G. *How to manage maintenance*. American Management Association, USA, Education for Management Inc. 1981

Kerr, G. *Knowledge based manufacturing management: Applications of artificial intelligence to the effective management of manufacturing companies*. Singapore, Addison-Wesley Publishing Company Inc. 1991

- Kobbacy, K., Fawzi, B., Percy, D., Ascher, H. *A full history proportional hazards model for preventive maintenance scheduling*. Quality and Reliability Engineering International, Vol. 13, pp. 187-198, 1997
- Lewin, D. *Predictive maintenance using PCA*. Control Engineering Practice, Vol. 3, No. 3, pp. 415-421, 1995
- Middleton, L., Stevens, B. *Take a stock of your operation: Measuring and Benchmarking your plant's reliability*. The Reliability Handbook, Vol. 23, Issue 6, pp. 9-20, 1999
- Miyoshi, A. *Preventive maintenance in: Nakajima, S. TPM development program implementing total productive maintenance*, Cambridge, MA, USA, Productivity Press Inc, pp. 219-286, 1989
- Moubray, J. *Reliability Centered Maintenance, 2nd edition*, New York, NY, USA, 1997
- NASA, *Reliability Centered guide for facilities and collateral equipment*, National Aeronautics and Space Administration, USA, 1996
- Pritsker, A., O'Reilly, J., *Simulation with Visual Slam and Awesim*, John Wiley & Sons, New York, NY, USA, 1999
- Pascual, R. J. *El arte de mantener*, apuntes de los cursos ME57A "Mantenimiento de Maquinaria", ME707 "Tópicos avanzados en Gestión de Mantenimiento" y MI55C "Gestión de mantenimiento en minería", 2006.
- SAE JA 1011, *Evaluation criteria for Reliability Centered Maintenance processes*. International Society of Automotive Engineers, 1999
- Sharp, A., McDermott, P., *Workflow modeling: Tools for process improvement and application development*, Norwood, MA, USA, 2001
- Shirose, K., Goto, F., *Eliminating the six big losses*, Cambridge, MA, USA, Productivity Press Inc, pp. 219-286, 1989
- Foxon, T. *A Road map to success in capacity management*, 2003
- Turban, E., Aronson, J., *Decision support systems and intelligent systems*, Upper Saddle River, NJ, USA, Prentice Hall Inc., 1998
- Turner, S., *Choosing maintenance analysis techniques: Understanding the differences between cost minimization algorithms and the RCM concepts*, Australia, 1978
- Vatn, J., *Maintenance optimization from a decision theoretical point of view*. Reliability Engineering and System Safety, No. 51, pp. 241-257, 1997
- Weatherford, L., Bodily, S. *A taxonomy and research overview of perishable asset revenue management: Yield management, overbooking and pricing*. Oper. Res. No. 40, pp. 831-834, 1992
- Wireman, T. *Developing performance indicator for managing maintenance*, New York, NY, USA, MIT Press, 1998

Wiseman, M. *Optimizing condition based maintenance: getting most out your equipment before repair time*. The Reliability Handbook, Vol. 23, Issue 6, pp. 57-68, 1999