



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL

GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO PARA EL MANTENIMIENTO, BASADO EN LA CREACIÓN DE UN SISTEMA EXPERTO.

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN GESTION Y DIRECCION
DE EMPRESAS.

RUBÉN LÓPEZ ARQUEROS

PRODESOR GUÍA:
LUIS ZAVIEZO SCHWARTZMAN

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
IVÁN BRAGA CALDERÓN
JUAN PABLO ZANLUNGO MATSUHIRO

SANTIAGO DE CHILE
2014

1. Resumen

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL

GRADO DE: Magister en gestión y dirección de empresas.

POR: Rubén López Arqueros.

FECHA: Septiembre 2014

PROFESOR GUÍA: LUIS ZAVIEZO SCHWARTZMAN

GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO PARA EL MANTENIMIENTO, BASADO EN LA CREACIÓN DE UN SISTEMA EXPERTO.

El presente trabajo de titulación se ha desarrollado conforme al contexto actual de la División Chuquicamata de Codelco, y orientado a la Gerencia de Mantenimiento y Servicios. En estos momentos la División posee un sistema de mantenimiento mixto, desarrollado en gran parte con personal propio y diferentes empresas contratistas, ambos despliegan todo el conocimiento y habilidades en la ejecución del mantenimiento de procesos metalúrgicos. Debido a que la división requiere realizar ajustes para optimizar el recurso propio y de servicios de terceros, principalmente a la necesidad de adaptarse al nuevo nivel productivo de acuerdo a varios factores, entre ellos, a la disminución de la ley del mineral, necesidad de eliminar líneas o procesos productivos por esta misma razón, así como también, al alto promedio de edad de los trabajadores propios de la empresa, con alto grado de conocimiento en el desarrollo de actividades de mantenimiento de procesos metalúrgicos. Esto hace necesario, resguardar el know - how de los trabajadores expertos de la Gerencia Mantenimiento y Servicios. Para cautelar el conocimiento experto del personal de la Gerencia, se han desarrollado varias alternativas, tales como: contratación de personal nuevo a través de programas de aprendices, generación de procedimiento, capacitaciones, etc. En este trabajo de titulación se desarrollara una metodología para recoger ese conocimiento experto y crear una plataforma tecnológica, que nos permita la interacción con el personal nuevo y resguardar e incorporar esa experticia para futuras generaciones logrando con ello reducir el tiempo de entrenamiento en las actividades focos de las diferentes áreas de la Gerencia.

Para este trabajo se selecciono una de las áreas foco, donde los trabajadores en esa áreas posee una edad promedio sobre 57 años, además unido a que el 70% de los integrantes de esa área podrían acogerse a retiro o jubilación, lo que hace necesario generar un sistema para captar el conocimiento utilizado en el desarrollo de las actividades focos o relevantes que realiza el personal especializado o experto del área antes mencionada y que son pilares para la continuidad de marcha de los procesos productivos y el desarrollo futuro de la División.

Con el desarrollo de este trabajo, se elaborara una metodología que permitirá construir un Sistema Experto basado en reglas, para poder gestionar y registrar el conocimiento que actualmente posee el personal que desarrolla las actividades de mantenimiento e inspección, que se encuentran en el Core Business de la Gerencia. Asimismo, conforme al análisis anterior, se creara una metodología para las actividades realizadas por el taller de Alta Tensión, permitiendo con ello comprobar el correcto desarrollo y elaboración del procedimiento. La elaboración y práctica de esta metodología, a través, de la construcción de un procedimiento orientado a la creación de un Sistema Experto nos permitirá desarrollar en forma posterior un sistema similar a las distintas áreas de la Gerencia.

2. Dedicatoria

El presente trabajo está dedicado para mi familia, en especial para mi señora compañera Virginia, mis dos hijos Sebastián y Benjamín. Quienes me han apoyado en todo momento para poder obtener este importante logro.

3. Agradecimientos

Mis agradecimientos son para mi familia y Jaime, quienes me han apoyado como también brindado las facilidades para cumplir con este desafío.

4. **Tabla de contenido**

5 Índice de tablas	vii
6 Índice de ilustraciones	viii
7 Introducción	ix
8 Desarrollo de la tesis	xi
8.1. Pasos básicos a desarrollar	xi
8.2. Selección de área de estudio	xvii
8.2.1. Selección de área de análisis	xvii
8.3. Objetivos	xix
8.4. Metodología	xx
8.5. SE basados en reglas	xxiii
8.6. Desarrollo de pasos en la construcción de un SE	xxv
8.6.1. Selección de actividades críticas	xxv
8.6.2. Elección del personal a encuestar	xxviii
8.6.3. Análisis de los cuestionarios llenados por los expertos	xxix
8.6.4. Construcción de la base del conocimiento y definición de reglas expertas	xxix
8.7. Resultados generados	xxxii
8.8. Resultados esperados	xxxiii
8.9. Evaluación económica del sistema SEAL	xxxvii
8.10. Evaluación económica del SE del taller de Alta Tensión	xxxviii
8.11. Comentarios, Discusiones y Conclusiones	xxxix
8.12. Condiciones de aplicación del método	xl
8.13. Barreras organizacionales en el área	xl
8.14. Consideraciones al implementar de la solución tecnológica	xli
9. Bibliografía	xliii
10. Anexo y apéndices	xliv

5. Índice de tablas

Tabla 1. Comparación de costos aplicando el Sistema Experto SEAL	xxxvii
Tabla 2. Comparación de costos aplicando el futuro Sistema Experto para el taller de Alta Tensión	xxxviii

6. Índice de ilustraciones

Figura 1. Evaluación del negocio de la SMI	xiii
Figura 2. Caso de negocio del área Talleres mecánico	xiv
Figura 3. Caso de negocio del área Mantenimiento mecánico	xv
Figura 4. Organigrama de Servicios Automatización Electrónica y Eléctrica ..	xvi
Figura 5. Diagrama de estrategia de focalización en el ámbito eléctrico	xviii
Figura 6. Utilización de computadores portátiles industriales en actividades de inspección	xx
Figura 7. Diagrama esquemático de un sistema experto	xxiv
Figura 8. Extracto de encuesta aplicada a expertos	xxvii
Figura 9. Grafico de edades de los expertos en SEP	xxviii
Figura 10. Grafico de experiencia laboral de mantenedores en SEP	xxix
Figura 11. Modelo de negocio SMI y áreas necesarias para la focalización ..	xxx
Figura 12. Imagen de construcción de procedimiento para desarrollar un Sistema Experto	xxxii
Figura 13. Ejemplo de foto termográfica con falla en fusible de media tensión	xxxiii
Figura 14. Pantalla principal del sistema Experto Análisis Preventivo	xxxv
Figura 15. Pantalla de selección de equipos y subsistemas	xxxvi
Figura 16. Pantalla de graficas de tendencias	xxxvi

7. Introducción

En la actualidad la División Chuquicamata está pasando por un proceso de optimización de sus dotaciones por los proyectos estructurales y la disminución de sus niveles productivos debido al envejecimiento del yacimiento y baja ley del mineral, producto de esto se debe procesar más material con menos recuperación, además unido a esto, el personal propio posee una edad promedio de 57 años encontrándose en edad de poder optar a una plan de retiro anticipado voluntario o jubilación y con ello gran parte de las labores desarrolladas por los trabajadores de la división no podrán ser desarrolladas por personal nuevo o poco especializado. La Gerencia de Mantenimiento y Servicios no es ajena a esta realidad actual de la División, dado que esta Gerencia cuenta con un sistema mixto de mantenimiento, donde las actividades de mayor especialización las realiza personal propio y por este motivo gran parte del conocimiento experto lo posee este personal, pero en estos momentos la Gerencia no cuenta con una metodología o sistema que permita resguardar el conocimiento experto para que pueda ser utilizado por otro integrante de la organización, esto genera un gran riesgo para la organización debido al promedio de edad del personal.

Por lo tanto, existe el riesgo de perder ese conocimiento experto por el retiros del personal altamente especializado y la falta de un mecanismo orientado a generar una transferencia de esa experiencia en labores del mantenimiento como también a la renovación del personal y los tiempos necesarios para generar una transferencia o instrucción de los nuevos integrantes, lo que podría generar serios problemas en el desarrollo de la actividad de mantenimiento y por esta razón, en la continuidad de marcha de los procesos productivos en la División Chuquicamata.

Para desarrollar el estudio lo enfocaremos en una de las áreas de la Superintendencia de Mantenimiento Industrial, esta área será determinada según el riesgo de despoblamiento o envejecimiento del personal propio. Es importante señalar que el área y alguna de las actividades que esta desarrolle deben estar como actividades focos o en el Core Business de la Superintendencia, con estos requisito podemos generar el estudio que nos permitirá desarrollar una metodología para la construcción de un Sistema Experto, con esto se construirá un procedimiento que permita desarrollar en forma posterior Sistemas Expertos similares en otras áreas de la Superintendencia o Gerencia.

Luego de la sección del área en estudio, se analizaran las distintas alternativas existentes en el mercado para generar Sistemas Expertos para la gestión del conocimiento. Independiente del tipo de metodología elegida se seleccionara a un representante sénior del área en estudio, quien será el

encargado de homologar criterios de los diferentes expertos o definir los alcances de las distintas etapas del estudio.

En este trabajo de titulación, se busca realizar una metodología para desarrollar un Sistema Experto, orientado a registrar y mantener el conocimiento especializado en las actividades de Mantenimiento e Inspección de un área de la Superintendencia de Mantenimiento Industrial, de la Gerencia Mantenimiento y Servicios de la División Chuquicamata, en un sistema computacional para poder resguardar y acceder a ese conocimiento. Con ellos se busca reforzar el nivel de competencias que tienen los miembros nuevos de la organización. La idea posterior, es utilizar esta metodología en otras áreas y especialidades de la Superintendencia, que permitan resguardar el conocimiento de la mayor parte de los expertos y especialidades que estén el Core Business de la Gerencia Mantenimiento y Servicios de la División Chuquicamata de Codelco.

8. Desarrollo de la Tesis

En la actualidad la División Chuquicamata está conformada con aproximadamente 6.000 trabajadores propios, de los cuales 600 pertenecen a la Gerencia de Mantenimiento y Servicios, esta Gerencia cuenta con un sistema mixto de mantenimiento, donde las actividades de mayor especialización las realiza personal propio y por este motivo gran parte del conocimiento experto lo posee este personal, pero en estos momentos la Gerencia no cuenta con una metodología o sistema que permita resguardar el conocimiento experto para que pueda ser utilizado por otros integrantes de la organización, esto genera una gran dificultad para la empresa debido al promedio de edad del personal y el riesgo de no contar con el conocimiento experto de estos integrantes en el futuro.

Por lo tanto, existe el riesgo de perder ese conocimiento experto, lo que podría generar serios problemas en el desarrollo de la actividad de mantenimiento y por lo tanto, en la continuidad de marcha de los procesos productivos en la División Chuquicamata.

A continuación se presentan los pasos típicos a desarrollar en este tipo de sistemas, según la experiencia desarrollada en la organización y con ello facilitar el proceso de adaptación, acercamiento o cambio tecnológico que sufrirá el área en estudio.

8.1. Pasos básicos a desarrollar

- **Selección de área de estudio:** Se debe definir qué áreas estarán en el Core business de la Superintendencia y cuál será el área seleccionada, además definir cual será la estrategia de focalización asociada al área y con ello hacerla más competitiva.
- **Identificación de las actividades críticas a registrar:** Determinar las actividades fundamentales o de focalización necesarias para mantener la viabilidad del negocio como por ejemplo: actividades de inspección y el impacto que estas generen al sistema.
- **Nombramiento de un supervisor o coordinador técnico:** Este paso es sumamente importante debido a que este coordinador será el garante en todo el proceso y guiara al consultor en los procesos de Construcción de cuestionarios u otros mecanismos para extraer la información requerida de los expertos, la homologación de criterios y la selección de los expertos del área.
- **Conceptualización:** Diseñar estructuras para organizar el conocimiento del desarrollo de actividades críticas de alto impacto. Además se

diseñan estructuras de toma de decisiones con el conocimiento de los expertos.

- **Diseño de árbol de decisión o reglas expertas:** En esta etapa es de vital importancia la presencia del supervisor o coordinadores técnico, quien ya homologa los diferentes criterios de los expertos en conjunto con el asesor del Sistema Experto, con esta información se creará o diseñará el árbol de decisiones o reglas expertas.
- **Construcción de la solución tecnológica:** Esta fase es de vital importancia puesto que se diseñará una interface atractiva e interactiva con el usuario final, si esto no cumple bien esos objetivos será difícil satisfacer las necesidades de la organización e incluso el proyecto puede correr el riesgo de un fracaso.
- **Implementación:** Implementación de la estructura o sistema diseñada, en esta etapa debemos generar una estructura computacional que nos permita un acceso adecuado al sistema para que cada usuario final pueda interactuar con la solución tecnológica sin dificultades.
- **Prueba:** se realizara pruebas funcionales de la solución tecnológicas, con ello poder identificar problemas con la solución tecnológica para poder corregir antes de la socialización del proyecto.
- **Puesta en marcha del sistema:** En esta etapa se debe realiza la socialización de la solución tecnológica, donde es vital continuar con las estrategias de comunicación e integración con el personal.

8.2. Selección de área de estudio

De las distintas áreas pertenecientes a la Superintendencia de Mantenimiento Industrial, tenemos las siguientes:

- Mantenimiento Talleres Mecánicos (MTM).
- Mantenimiento Mecánico (MM)
- Servicios de Automatización Electrónica y Eléctrica (SAEE).
- Mantenimiento Procesos Industriales (MI Minco-Fure-Gel).

A continuación se presentara una tabla donde se muestra un análisis del negocio de la Superintendencia de Mantenimiento Industrial, comparando la tarifa de la SMI con sus respectivas áreas y el mercado, para luego determinar el nivel de competitividad de cada área y con este criterio definir en cual de estas área se desarrollara el piloto.

Evaluación Negocios SMI

Negocios SMI	Situación Existente 2013			Análisis Mercado		DELTA	Negocio	Negocio
	Dot ter	Tarifas	Ppto Anualizado	Tarifas	Ppto Anualizado			
	2013	US\$	US\$	US\$	US\$			
Correas Transportadores	104	661	19.573.742	758	21.716.700	2.142.958	Competitivo	Foco en act valor
Mant. equipos terreno	20	-	2.678.733	-	1.647.495	-1.031.238	No competitivo	Foco en act valor
Calderas y Compresores	6	-	2.308.876	-	2.133.294	-175.582	No competitivo	Foco en act valor
Aire acondicionado	18	-	1.393.505	-	1.301.052	-92.452	Competitivo	Foco en act valor
Inspección Técnica	18	-	1.702.449	-	1.647.495	-54.954	Competitivo	Foco en act valor
Gestión Control Contratos	0	-	464.874	-	464.874	0	Competitivo	Mant. estrategia
			28.122.179		28.910.910			
Calderería		60	4.462.521	53	3.927.084	-535.438	No competitivo	Foco en act valor
Maestranza		76	6.248.329	85	6.920.333	672.004	Competitivo	Foco en act valor
Fundición de Hierro		82	2.295.306	104	2.916.095	620.789	Competitivo	Sustitución proveedores
Contratos Metal Mecánicos		-	3.747.775	-	3.747.775	0	Competitivo	Mantener externalización
Mant. Vía Ferrea		-	1.131.759	-	1.131.759	0	Competitivo	Mantener externalización
Adm Talleres		-	1.731.304	-	1.731.304	0	Indiferente	Mantiene / Ajuste por egreso
			19.616.994		20.374.349			
Automatización	118	43	17.418.360	86	34.019.846	0	Competitivo	Foco en act valor
UME		484	6.101.363	1.737	21.556.917	6.101.363	Competitivo	Foco en act valor
UMC		272	10.088.488	359	13.002.455	2.913.967	Competitivo	Foco en act valor
			33.608.211		68.579.218			

Figura 1. Evaluación del negocio de la Superintendencia Mantenimiento Industrial.

En el área de MTM, existen tres talleres principales: Maestranza, Fundición de hierro, calderería además una sub - área de contratos metal mecánica. En estas áreas se desarrollo un análisis de cada actividad y cuales realmente estarían en el foco de negocio de la SMI, como también la edad del personal que presta servicios en esos diferentes talleres. Del estudio podemos determinar que aun cuando existen varias actividades que se encuentran en el giro de negocio de la SMI, con el recurso actual se pueden desarrollar las diferentes labores y además está área no posee un riesgo grande de despoblamiento por los efectos del plan de egreso o jubilación del personal. Además muchas de las actividades que se desarrollan en la actualidad deben comenzar a externalizarse dada la baja productividad y competitividad con respecto al mercado.

Plan de Modernización Talleres

C1= $\frac{\text{US\$}}{\text{Lb}}$

Caso de Negocios

- ❑ **Ideas Fuerza** : Agrupar talleres (Calderería – Mant. Industrial)
Control de demanda interna
Dotación interna (Foco en actividades de valor)
- ❑ **Grandes Números** : Reducción de costo Divisional: MUS\$ 1.292 Anual
Internalización actividades: MUS\$535
- ❑ **Responsables** : Rene Galleguillos – Luis Leguas
- ❑ **Hitos Plan de Implantación:**



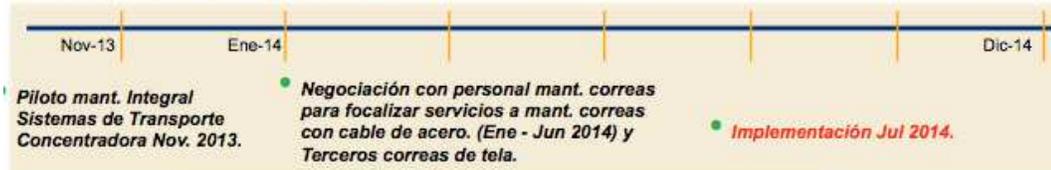
Gasto Gestionable	Unidad	2014	2015	2016	2017	2018
Calderería	US\$	6.441.992	6.119.892	5.813.897	5.523.203	5.247.042
Maestranza	US\$	9.333.203	8.689.212	8.089.656	7.531.470	7.011.799
Fundición Fierro	US\$	3.241.830	3.118.395	3.000.358	2.887.465	2.779.475

Figura 2. Caso de negocio del área Talleres mecánicos.

En lo que respecta a las actividades desarrolladas por el área de MM, existen en el mercado varias empresas que brinda servicios similares a los entregados en esta área, pero donde es competitiva en comparación al mercado es el mantenimiento de sistemas transportadores de cables, puesto que según nuestros análisis aún somos competitivos en comparación con el mercado y además existe un gran Know – How en el mantenimiento de estos sistemas. También existe un recambio del personal propio en esta área, por lo tanto, una transferencia informal del conocimiento para los nuevos integrantes de esa área.

Caso de Negocios

- Ideas Fuerza** : Mantenimiento integral de sistemas de transporte. Dotación interna (Foco en actividades de valor)
- Grandes Números** : Reducción de costo Divisional: KUS\$ 3.858
- Responsables** : Rene Galleguillos – Ruben Pizarro – Oscar Quiroga
- Hitos Plan de Implantación:**



Gasto Gestionable	Unidas Medida	2014	2015	2016	2017	2018
Materiales - Correas	KUS\$	10.208	10.718	7.718	8.104	8.509
Servicio de Terceros	KUS\$	10.330	10.537	7.748	7.903	8.061

Figura 3. Caso de negocio del área Mantenimiento Mecánico.

En el área MI Minco-Fure-Gel, las actividades son desarrolladas principalmente por empresas contratistas y algunos pocos integrantes de Codelco para control/administración de contratos de los servicios de mantenimiento de sistemas transportadores, harneros, estructura, etc. Para las gerencias operativas: Mina-Concentradora (MinCo), Fundición-Refinería (FuRe) y Extracción lixiviación (GEL). Bajo este concepto en estos momentos no existe un riesgo en la pérdida del conocimiento especializado, ni tampoco una pérdida de continuidad de marcha de los procesos productivos, por este motivo no sería necesario en estos momentos generar un Sistema Experto en esta área.

El área de Servicios de Automatización Electrónica y Eléctrica, es la encargada de entregar dos tipos de servicios especializados; los servicios de automatización y control de procesos industriales, como también los servicios de mantenimiento eléctricos transversales, donde se destaca el taller de alta tensión, las actividades que desarrolla este taller son:

- Mantenimiento y reparación a líneas de alta y media tensión.
- Mantenimiento y reparación de subestaciones eléctricas.
- Inspección de líneas de alta y media tensión.
- Lavado de líneas de alta y media tensión.
- Lavado de subestaciones eléctricas de alta y media tensión.

A continuación se presenta un organigrama del área Servicios de Automatización Electrónica y Eléctrica, donde se indica la posición del taller de alta tensión.

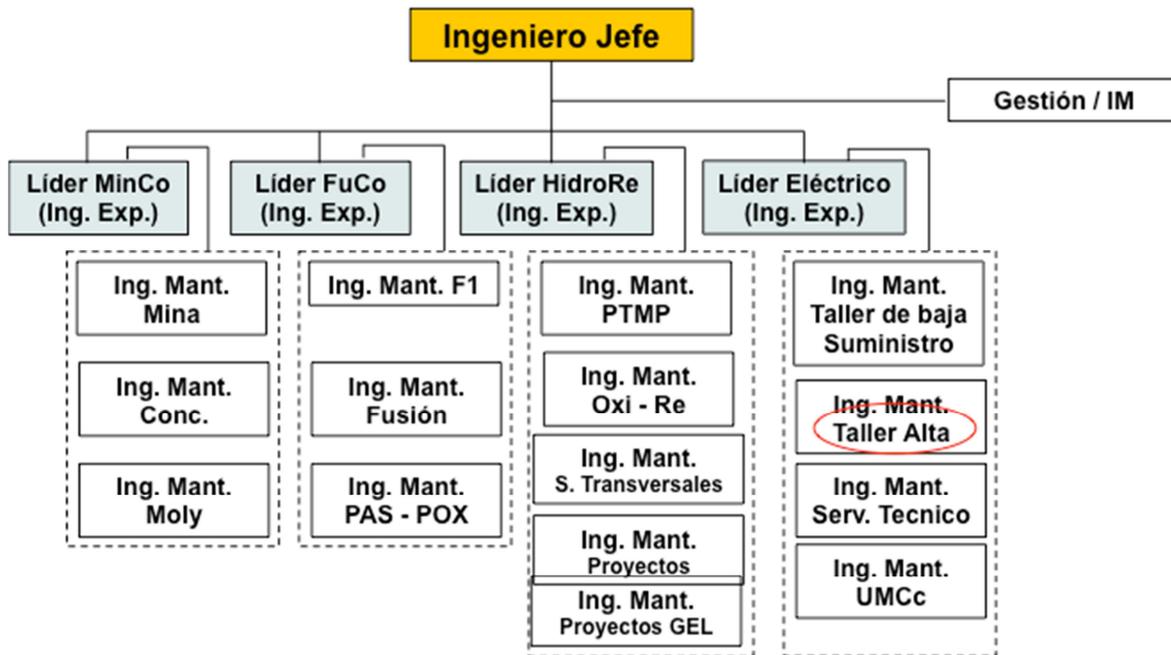


Figura 4. Organigrama de Servicios Automatización Electrónica y Eléctrica.

De todas las área revisadas en la SAEE, el taller de alta tensión es uno de los talleres más críticos y con alto grado de conocimiento donde existen pocos oferentes en el mercado y con un alto costo en la contratación de servicios similares. Por lo tanto, es importante cautelar el expertizaje en el interior de la SMI.

8.2.1 Selección de área de análisis.

Para el presente trabajo de titulación se ha considerado realizar una metodología que permitirá construir un Sistema Experto, en el taller de alta tensión del área Servicios de Automatización Electrónica y Eléctrica perteneciente a la Superintendencia de Mantenimiento Industrial, debido principalmente a que este taller posee una edad promedio sobre 57 años, además unido a que el 70% de los integrantes de esa área podrían acogerse a retiro o jubilación es necesario generar una metodología para generar un Sistema Experto para captar el conocimiento de las actividades relevantes que desarrolla el personal especializado o experto del área antes mencionada.

A continuación se presenta un diagrama esquemático sobre la estrategia de focalización de la unidad de mantenimiento Eléctrico, donde se señala que el taller de alta tensión posee una especialización e importancia alta para la organización y unido esto a la existencia de pocos proveedores de este tipo de servicios en el mercado como también al alto costo de estos de contratación de estos servicios, es vital resguardar el know – how del área para futuras generaciones, evitando perturbaciones en la continuidad de marcha de los procesos productivos y atenuar o eliminar las pérdidas productivas por fallas en el suministro de energía eléctrica en el Sistema Eléctrico Potencia para la División Chuquicamata de Codelco.

Pirámide de Especialización Eléctrica



Figura 5. Diagrama de estrategia de focalización experta en el ámbito eléctrico.

A continuación se presentan los objetivos que persigue el presente trabajo de titulación:

8.3. Objetivos

- Establecer una metodología para desarrollar un Sistema Experto para gestión del conocimiento, en las actividades de inspección y mantenimiento del Sistema Eléctrico de Potencia de la División Chuquicamata.
- Reforzar el nivel de competencias que tienen los miembros nuevos de la organización. Por la utilización del Sistema Experto en las actividades de inspección y mantenimiento en terreno, unido a la utilización de computadores industriales portátiles "**Mobile Workers**", para consultas en tiempo real en terreno.

Para poder cumplir con estos objetivos se establecerá una base de conocimiento que permitirá gestionar en mejor forma los activos del sistema en cuestión y establecer tendencias de fallas u orientaciones a personal nuevo en la resolución de fallas o diagnósticos. Para las actividades de mantenimiento e inspección de torres de alta tensión y subestaciones eléctricas del Sistema Eléctrico de Potencia, con ellos se busca reforzar el nivel de competencias que tienen los miembros nuevos de la organización. Para su posterior aplicación de la metodología en otras áreas de la Gerencia Mantenimiento y Servicios, de la División Chuquicamata de Codelco Chile.

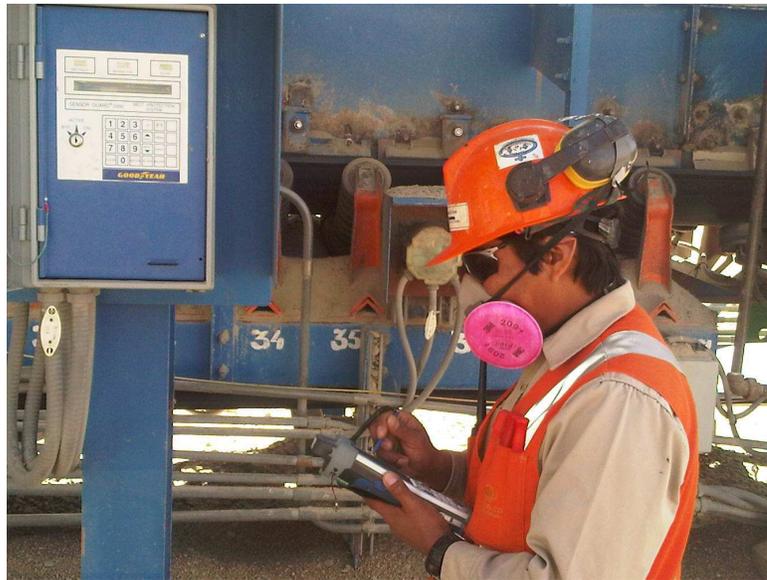


Figura 6. Utilización de computadores portátiles industriales en actividades de inspección.

8.4. Metodología

Para poder realizar una selección de alternativas para solucionar el problema planteado, es necesario revisar las diferentes estrategias que entrega el mercado en la actualidad, una alternativa es continuar con las capacitaciones al personal nuevo o con menores competencias, pero dado el contexto actual donde se debe optimizar el recurso propio es inviable y el personal actual posee brechas que pueden corregirse con capacitación y entrenamiento. Lo que requiere tiempo y habilidades que no necesariamente posee el personal antiguo del área. Otra alternativa es crear procedimientos descriptivos de cada una de las actividades focos, este tipo de alternativas se han utilizado en varias oportunidades y no son muy utilizadas por el personal producto del volumen y dificultades en trasladar esos procedimientos al lugar de ejecución de la tarea.

Para realizar una solución tecnológica se buscaron diferentes alternativas las cuales deben cumplir con la optimización del recurso propio y focalización de las actividades que requiere la SMI, la tecnología de la información actual, permite que las empresas puedan disponer de mejores herramientas para almacenar, procesar, analizar, informar e instruir al personal como también a compartir dicha información entre diferentes áreas, una barrera que se debe derribar es la cultura organización de la empresa que en algunos casos genera fracasos en la implementación de proyectos tecnológicos. No olvidar que el solo hecho de contar con la tecnología o disponer de la misma no es la clave del éxito, se debe generar estrategias para realizar el cambio o la adaptación de la organización a la aplicación de esta tecnología, más adelante indicaremos técnicas que permitirán que la organización acepte la aplicación de

tecnología, en ambientes estructurados puede ser más sencillo la aceptación de nuevas herramientas, puesto que todo está organizado, instruido e informado y se debe ser utilizada. Podemos identificar varios sistemas de la información capaces de satisfacer nuestros requerimientos como ejemplo:

- Sistemas basados en intranets
- Portales de conocimiento
- Gestión de documentos electrónicos
- Groupware
- Workflow
- Herramientas de inteligencia competitiva
- Herramientas de apoyo a la innovación
- Mapas de conocimiento
- Sistemas basados en conocimiento

A continuación describiremos cada uno de los sistemas antes mencionados:

Sistemas basados en intranet: Es un sistema de distribución de información que permite amplio uso en toda la organización. Un uso típico es informar a los usuarios de documentación, reglamento, procedimiento divisionales o corporativa, se pueden distribuir software, etc. Además se puede acceder a bases de datos divisional o corporativa, como también los usuarios pueden publicar la información que requieran comunicar al resto de la organización.

Portales de conocimiento: Por lo general son paginas web en la intranet corporativa con poco contenido que proporciona enlaces a otros sitios. Estas paginas suelen proporcionar enlaces a todos los sitios con información relacionada al tema principal, suelen ser sitios en la intranet corporativa o divisional e incluso en la Internet.

Gestión documental electrónica: Básicamente es un sistema que permite guardar documentos en carpetas para generar una biblioteca virtuales y centralizadas, donde se puede controlar el acceso a cada usuario y también jerarquizar los accesos para tener claridad a que información tendrá acceso cada uno. Esto nos permite mantener los archivos en forma segura y controlada, llevando un exhaustivo control de la información y controlando el acceso a los archivos para generar un control de cambios si se requiere, la búsqueda de documento se realiza por contenido o por índices.

Groupware: Estos grupos nos permiten emplear esta tecnología para comunicar, cooperar, coordinar, resolver problemas, competir o negociar, envió de información relevante a los usuarios automáticamente.

Workflow: Este sistema nos permite la automatización de los procesos de negocio, en forma total o parcial. Nos permite distribuir actividades de trabajo a los usuarios de una empresa en forma segmentada o parcelada, además si se requiere se entrega documentación que guiara al usuario en la ejecución de la actividad, además se puede determinar el nivel de avance de cada usuario utilizando hitos de control a lo largo del desarrollo de la actividad.

Herramientas de inteligencia competitiva: En estos sistemas básicamente son software inteligentes que interactúan en representación de un usuario humano con el objetivo de llevar a cabo tareas laboriosas y rutinarias como por ejemplo búsqueda de información, localización y acceso a información desde diversas fuentes en línea, resolviendo algunos problemas de inconsistencia de la información extraída, filtrando los datos irrelevante o basura, buscando más información heterogéneas y adaptándolas a la necesidad del usuario humano y a sus preferencias.

Herramientas de apoyo a la innovación, Sistemas basados en conocimiento, Mapas de conocimiento: Estos sistemas se basan en la creación de valor en el ámbito del conocimiento como por ejemplo Brainstorming, mapas conceptuales, mapas mentales y aplicaciones de ayuda a la decisión de negocio o actividades. También pueden ser simples páginas web como por ejemplo; paginas amarillas con listados de expertos que contienen la información de que cosa sabe cada uno de ellos en la compañía, en lugar del conocimiento propiamente tal. Otra forma de almacenar o documentar el conocimiento de expertos es en forma de reglas o casos, proporcionando ese conocimiento a novatos o a otros expertos con el fin de profundizar dicho conocimiento.

En base a lo anteriormente expuesto y a la experiencia sostenida en otra áreas de la división se ha optado en generar una metodología que nos permita gestionar el conocimiento experto basado en un sistema experto en función de reglas definidas por los expertos del área en estudio, esto debido principalmente a la buena experiencia desarrollada en el laboratorio de análisis de sistemático de aceites para equipos mineros (SEAL) el cual será explicado más adelante.

En lo que respecta a la metodología a utilizar, existen varios métodos para captar el conocimiento experto de los especialistas, pero básicamente todo debe comenzar por definir qué actividades son fundamentales, críticas o que área desea conservar. El conocimiento que se desea representar y almacenar en la “**Base de Conocimiento**” incluye los hechos y las

relaciones que existen entre estos hechos, que resumen el conocimiento del experto, entre los mecanismos de representación se encuentran:

- Expresiones lógicas.
- Marcos.
- Redes semánticas.
- Reglas.
- Triplas Objeto-Atributo-Valor.

Las reglas son el mecanismo de representación del conocimiento más utilizado en sistemas de automatización y control industrial. Por este motivo, en el presente trabajo de titulación se elaborara un protocolo o procedimiento utilizando reglas condicionales.

Luego de realizar una revisión de esta metodología se consideran los siguientes pasos básicos para desarrollar un sistema experto basados en reglas, que nos permitirá generar una información acorde a la cultura organización de la división y adaptar de esta forma los requerimientos del área en estudio.

En nuestro caso hemos decidido realizar el sistema experto en base a reglas, a continuación definiremos este tipo de sistema.

8.5. SE basados en reglas

Los sistemas expertos basados en reglas utilizan para el proceso de inferencia un conjunto de reglas que constituyen la base de conocimiento del experto. Este conjunto de reglas pueden ser activadas a medida que las condiciones son evaluadas positivamente y su utilización implica la creación de nuevos hechos. Este proceso permitirá a partir de unos hechos iniciales desarrollar un proceso deductivo que concluirá el momento en que no quede ninguna otra regla por utilizar.

Para realizar este tipo de tratamiento es posible hacerlo de dos maneras diferentes, por un lado realizarlo desde las evidencias hasta los objetivos o por otro lado en orden inverso que sería comenzar desde el objetivo hasta llegar al conjunto de evidencias que lo han provocado.

A continuación, se presenta un diagrama esquemático que ilustra el flujo de información, usuarios del sistema y elementos que se utilizan en un sistema experto típico. Que será implementado en la Superintendencia de Mantenimiento Industrial.

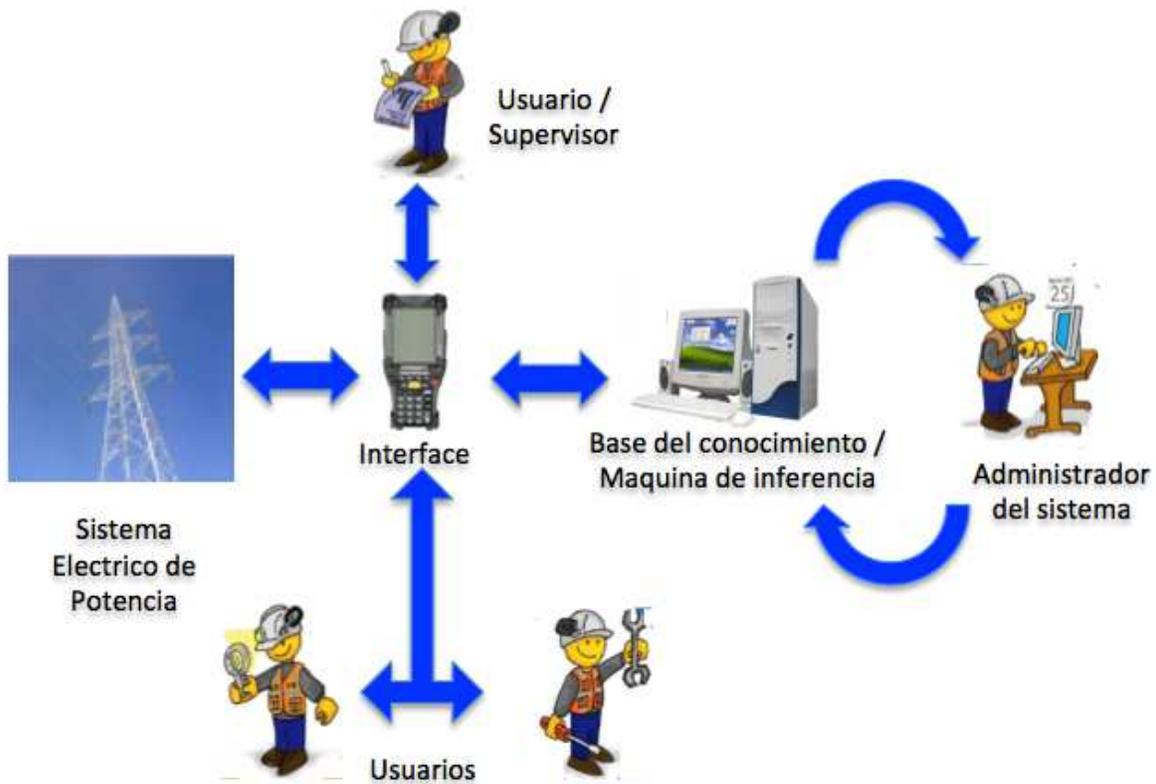


Figura 7. Diagrama esquemático de un sistema experto.

A continuación se generara y describir los pasos realizados en la búsqueda de una solución tecnológica de gestión del conocimiento a través de un Sistema Experto basados en reglas, para el área de Servicios Automatización Electrónica y Eléctrica, específicamente en el taller de Alta Tensión, seleccionada en los puntos anteriores dado el riesgo de despoblamiento y criticidad que en estos momentos tiene ese taller. Es importante mencionar que para efectos de esta tesis se desarrollara solo hasta la construcción de un procedimiento, explicativo de cómo construir un Sistema Experto basados en reglas para las diferentes áreas de la Superintendencia de Mantenimiento Industrial.

8.6. Desarrollo de Pasos en la construcción de un Sistema Experto

8.6.1. Selección de Actividades Críticas

Para realizar la selección de las actividades críticas que serán incorporadas en el Sistema Experto, se realiza el análisis con los supervisores del área guiados o liderados por el supervisor sénior del área en estudio, donde básicamente se realiza una definición de siete actividades críticas a desarrollar, que son:

- 1) Revisión de torres de alta tensión visual.
 - a. Estructura de la torre.
 - b. Revisión de conductores y ferretería.
 - c. Estado de aisladores.
 - d. Estado de accesos.
- 2) Revisión de torres de alta tensión termográfica.
 - a. Revisión de conductores.
 - b. Revisión de uniones.
 - c. Revisión de puentes.
- 3) Análisis termográfico de las torres de alta tensión.
- 4) Revisión de subestaciones Eléctricas visual.
 - a. Revisión del estado de S/E.
 - b. Revisión de conductores y ferretería.
 - c. Revisión del estado de aisladores.
 - d. Revisión del estado de desconectores.
 - e. Revisión del estado de Transformadores.
 - f. Revisión del estado de Transformadores de corriente.
- 5) Revisión de subestaciones Eléctricas Termográfico.
 - a. Revisión de conductores y ferretería.
 - b. Revisión del estado de aisladores.
 - c. Revisión del estado de desconectores.
 - d. Revisión del estado de Transformadores de potencia.
 - e. Revisión del estado de Transformadores de corriente.
- 6) Análisis termográfico de subestaciones eléctricas.

- 7) Análisis aceite de desconectadores y transformadores.
- a. Revisión estado del aceite transformadores de potencia.
 - b. Revisión estado del aceite transformadores de corriente.
 - c. Revisión estado del aceite desconectadores.

Con esta definiciones, se desarrollara un cuestionario diseñado para permitir extraer el conocimiento de los expertos del taller de Alta Tensión en las actividades criticas definidas anteriormente, el objeto de realizar este cuestionario es estructurar los diferentes criterios de evaluación e interpretación de los distintos experto en esa actividades, para posteriormente unificar y estructurar esos criterios e interpretaciones, para posteriormente generar una base del conocimiento en las materias anteriormente indicadas. Dependiendo de la obtención de la información se continuara con otras estrategias orientadas a mejorar la información o complementar ciertos criterios o actividades, puede ser otro cuestionario o entrevistas personales.

A continuación se mostrara una imagen de la encuesta desarrollada:

Cuestionario Sistema Eléctrico de Potencia

Nombre: _____ Fecha: _____

1. En una revisión visual, en que aspecto de la torre de alta tensión usted se fija:

a. Que observa en la estructura de las torres de alta tensión:

i. Inclinação _____

ii. Fundaciones _____

iii. Soporte de la torre _____

iv. Vigas _____

v. Mallas _____

vi. Crucetas _____

b. Que observa al revisar las líneas (conductores) y su ferretería:

i. Conductores de fases _____

Figura 8. Extracto de encuesta aplicada a expertos.

Continuando con la obtención de la información experta los resultados de la aplicación del cuestionario y a la necesidad de profundizar el conocimiento adquirido en cada uno de estos, se deben generar entrevistas personales a algunos de los integrantes del área objetivo. El objetivo de estas entrevistas es aclarar algunos puntos del cuestionario y también profundizar en materias no tratadas en el cuestionario que no fueron consideradas o fueron sugeridas al momento de aplicar dicho cuestionario a los expertos, que podrían tener relevancia para el objetivo del estudio.

8.6.2. Elección del personal a encuestar

Esta etapa del estudio se desarrollara, a un grupo definido de profesionales y técnicos quienes son el segmento experto del área, correspondiente al 50% de la dotación actual. Los criterios de selección del personal son:

- Años de experiencia.
- Nivel de educación.
- Conocimiento del SEP.

En este punto se describen las áreas organizacionales desde donde fueron seleccionadas las personas y las funciones que estas cumplen, en primer lugar se selecciono al Jefe de turno del taller de alta tensión quien posee una experiencia de 25 años en mantención de SEP, en segundo lugar se seleccionaron dos Eléctricos Mayores, el primero de ellos posee 12 años de experiencia y un gran conocimiento del SEP, quien es el posible candidato a reemplazo del Jefe de Turno actual, el segundo Eléctrico Mayor posee 25 años de experiencia en SEP. También se consideró en este segmento a dos supervisores de primera línea quienes actualmente desarrollan las actividades mantenimiento en el SEP, liderando en gran medida las actividades desarrolladas por el personal perteneciente al área.

A continuación se entregara un gráfico donde se visualiza la edad de cada experto que serán parte de la población objetivo, en estudio:

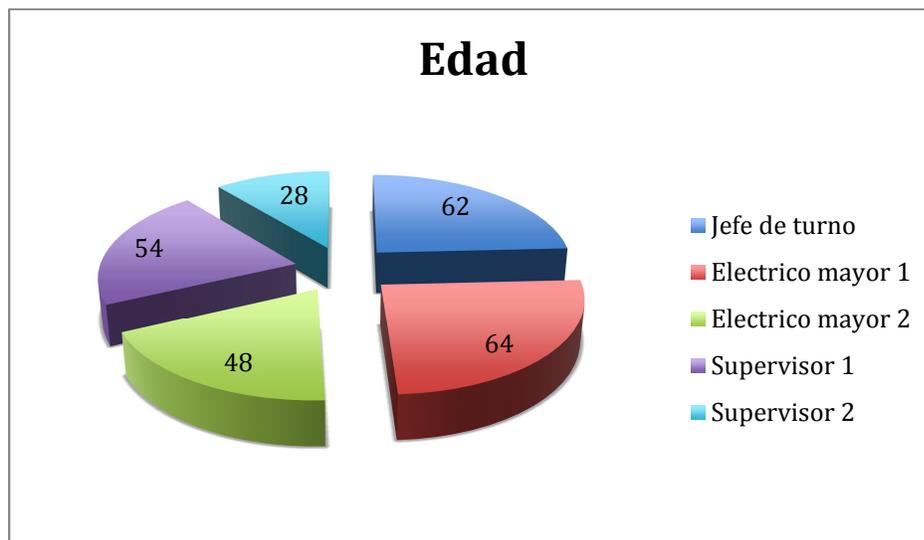


Figura 9. Grafico de edades de los expertos en SEP.

y los años de experiencia que posee cada uno de los expertos:



Figura 10. Gráfico de experiencia laboral de mantenimiento en SEP.

8.6.3. Análisis de los cuestionarios llenados por los expertos del área

Del análisis de los cuestionarios, se desprende que algunos cuestionarios no fueron respondidos a plenitud y tampoco todos los criterios eran homogéneos, por este motivo fue necesario realizar algunas entrevistas personales con el fin de aclarar los diferentes conceptos y con ellos estructurar una base del conocimiento que contenga la diversidad de criterios desde el punto de vista común homogenizando los criterios con las entrevistas, aclarando los puntos divergentes y profundizando algunas actividades. También es importante destacar que en todo el proceso los participantes han estado interactuando en forma activa y se siente parte del desarrollo de la solución tecnológica y con esta forma de interactuar desde un principio en el desarrollo del sistema, ellos sienten ser parte de la solución y no se generan barreras en la utilización posterior del sistema.

8.6.4. Construcción de la base del conocimiento y definición de reglas expertas.

Una vez determinada la homologación de los distintos criterios de los expertos, se ordena la información homologada en una base de datos la cual será llamada cada vez que se requiera construyendo una base de datos del conocimiento a utilizar. Luego, se determina generar en base a reglas orientadas a resolver los diversos cuestionamientos de personal poco especializado o nuevo, generándose un árbol de decisión con una interface que sea fácil de utilizar para dicho personal.

Con esta información se espera que personal poco experimentado o nuevo, posea un canal de información que le permita mejorar o corregir

ciertas deficiencias en la mantención del Sistema Eléctrico de Potencia. Y al agregar tecnología de la información y el uso de computadores portátiles industriales tipo Handheld, le permitirá a los usuarios interactuar en forma directa y en línea con el sistema y con ello solucionar de manera rápida y oportuna algún problema de difícil solución.

La presente tesis entregara una procedimiento que direcciona y permita construir un Sistema Experto basado en reglas de los criterios de los expertos del taller de Alta Tensión, pero este procedimiento será homologado y utilizado para las distintas áreas de la Superintendencia Mantenimiento Industrial, donde interese conservar el conocimiento experto o Know – How de las áreas critica o actividades definidas en el proceso de focalización de los distintos talleres, definidos después de desarrollar el modelo de negocio de la Superintendencia. Dado su relevancia en la continuidad de marcha de los procesos productivos de la división y la competitividad de estas actividades comparada en el mercado.

Modelo de Negocios – SMI (largo plazo)



Figura 11. Modelo de negocio de la SMI y áreas necesarias para la focalización.

Como podemos darnos cuenta en las distintas áreas de SMI, existen varias actividades que se requieren focalizar y conservar para el desarrollo del plan de negocio de la Superintendencia y el futuro desarrollo de la Gerencia y División Chuquicamata. Dado lo anterior, podemos indicar que el procedimiento será de mucha importancia en la conservación del conocimiento a través de una solución tecnológica y en apoyo al desarrollo de esas actividades.

	SERVICIOS AUTOMATIZACION ELECTRONICA Y ELECTRICA	Código : MAN.001.SAE&E
	PROCEDIMIENTO PARA EL DESARROLLO DE UN SISTEMAS EXPERTOS ORIENTADOS A LA GESTION DEL CONOCIMIENTO	Fecha : 18.NOV.2013 Versión N° : 00 Página : 1 de 3

Tabla de contenidos

Sección	Título	Página
1.	Introducción de sistemas experto orientado a la Gestión del Conocimiento de mantenimiento u operación de sistemas expertos.	02
2.	Alcance y metodología desarrollada.	02
3.	Selección de actividades críticas.	03
4.	Como seleccionar al personal foco.	04
5.	Confección de preguntas para el cuestionario.	04
6.	Confección y desarrollo de entrevista personales.	04
7.	Homologación y estandarización de criterios expertos	05

Figura 12. Imagen de construcción de procedimiento para desarrollar un sistema experto.

La construcción del procedimiento es el resultado del desarrollo de la tesis dado que con este elemento se podrá implementar otros Sistemas Expertos en base a esa experiencia (ver anexo N°3). Es importante destacar que el entregable fue definido de esa forma por el tiempo que significa la implementación de la solución tecnológica desarrollada.

8.7. Resultados Generados

En general los resultados obtenidos al desarrollar la metodología son claramente cuantificable, en las diferentes etapas se obtuvieron desafíos donde fue necesario generar estrategias que corrigieran los problemas detectados y con ello continuar en el desarrollo del sistema.

La primera etapa fue la definición del área de estudio donde se desarrollo un análisis de competitividad y riesgo, para determinar cuál sería el area de estudio. Con esta estrategia fue posible seleccionar el area mas critica que se necesitaba conservar por el proceso de focalización de la Superintendencia.

Una vez definida el área fue necesario clarificar las actividades criticas de focalización a desarrollar, como también la selección de un supervisor senior quien debía ser líder y guiar en el proceso que se llevaría a cabo, sin un líder fuerte de estilo motivador, es posible que no se hubiera obtenido los resultados obtenidos en el estudio. Tambien fue clave esta figura al momento de seleccionar a los expertos que serian los participantes de las diversas etapas que se desarrollarían con posterioridad y además con una participación activa en el desarrollo de los cuestionarios para extraer la forma en que desarrollaban los expertos las labores en el Sistema Eléctrico de Potencia.

Uno de los puntos relevantes fue que aun cuando los distintos expertos participaron activamente en la aplicación del cuestionario, existían criterios diferentes al momento de definir el desarrollar de una actividad, por esta razon fue necesario realizar una entrevista técnica donde se terminó de homologar criterios dispares. Y con ello generar un arbol de decisiones con los disferentes criterios de los expertos.

Otro logro importante fue el diseño de la interface con el usuario, donde se buscó una estrategia participativa y con ello se reduce enormemente el rechazo de los miembros del area a la solucion tecnologica, dado que en este caso ellos visualizan al sistema como propio y no un sistema impuesto por alguna persona. Eso contrubuye enormemente a la correcta aplicación de la solucion.

8.8. Resultados Esperados

El resultado que se espera obtener es generar una metodología que permita registrar en un Sistema Experto basado en reglas, las experiencias y conocimiento de los expertos del taller de Alta Tensión. Que permita la utilización de este conocimiento como guía a otros miembros de la organización. Con esto generar una transferencia del conocimiento o parte de este a los integrantes nuevos o con brechas en el conocimiento experto, de las actividades críticas o de focalización del taller de Alta Tensión. Además el mantenedor o inspector contara con la información en el sitio donde se desarrolla la actividad.

Además se espera que la metodología desarrollada permita utilizar este procedimiento, para incorporar nuevas actividades a esta base de conocimiento, de diferentes especialidades y áreas de la Gerencia de Mantenimiento y Servicio.

A modo ilustrativo a continuación se presentara una fotografía termografica, donde se ejemplificara como un usuario normal (mantenedor general), utilizaria esta herramienta para poder determinar una reparación inmediata o la planificación de la actividad correctiva, en un tiempo determinado, y con ello evitar un impacto productivo o perdida de continuidad de marchas de los procesos.

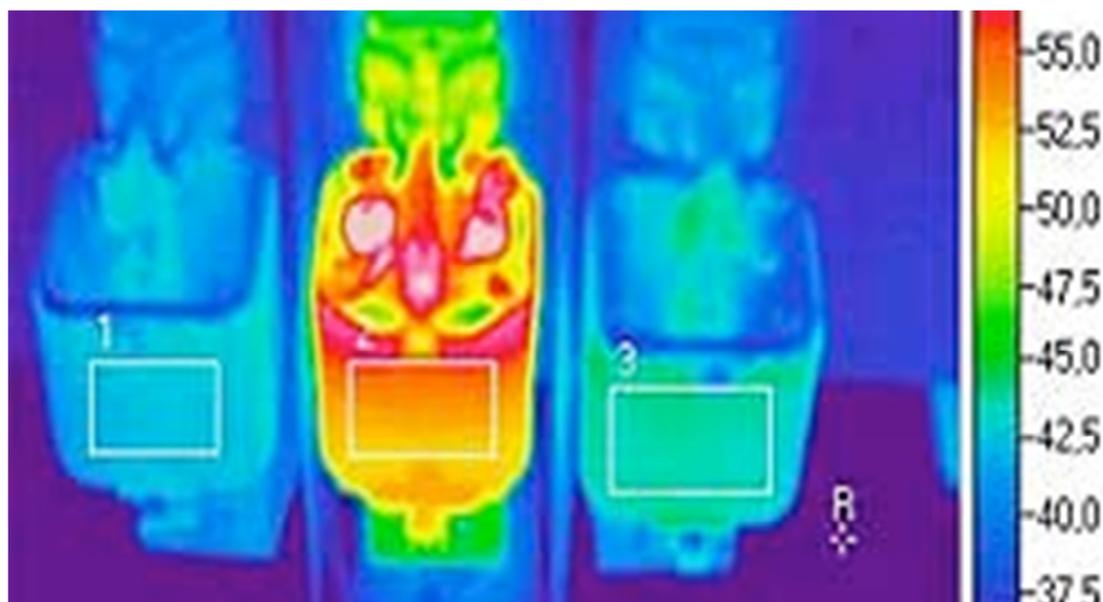


Figura 13. Ejemplo de fotografía termográfica con falla en fusible de media tensión.

Podemos señalar de esta fotografía termográfica, que un experto puede determinar cuánto tiempo se puede esperar para realizar la intervención del sistema o si existe un problema crítico que debe ser intervenido en forma inmediata. Con el Sistema Experto, esta definición la podría realizar en forma fácil para los integrantes nuevos puedan desarrollar este tipo de análisis ingresando los síntomas de la inspección y valores de temperatura observado en terreno con la ayuda de computadores portátiles industriales que está en línea con el servidor que contiene la base del conocimiento "Sistema Experto", nos permitirá determinar la gravedad del evento detectado o la posibilidad de retrasar en un tiempo determinado la intervención.

Para continuar ejemplificando, sobre sistemas expertos en la División Chuquicamata y los beneficios obtenidos, uno de los Sistemas Expertos con mayor antigüedad y uso es el Sistema Experto Análisis Preventivos "SEAP", utilizado hace más de 12 años en Mantenimiento Mina de la División Chuquicamata, los principales motivos por los cuales se desarrolló este sistema fue:

- Egreso de personal experto.
- Reorganización del personal.
- Optimización del recurso propio.

Este sistema fue desarrollado para incorporar la información sensada por los computadores de los diferentes equipos mineros (camiones fuera de carretera CAEX, cargadores frontales, tractores, etc.) y además la incorporación de los análisis de las muestras extraídas de los equipos en el laboratorio de análisis de lubricantes. Con esta información (síntomas de la avería), el sistema experto con el árbol de decisiones genera un diagnóstico y una causa de avería probable, además una solución o acción sugerida al problema detectado. Lo importante de este sistema es que genera curvas de tendencia y alarmas cuando alguna variable se sale de los rangos de control, también ayuda a realizar análisis de tendencias seleccionando fechas de datos y variables a graficar.

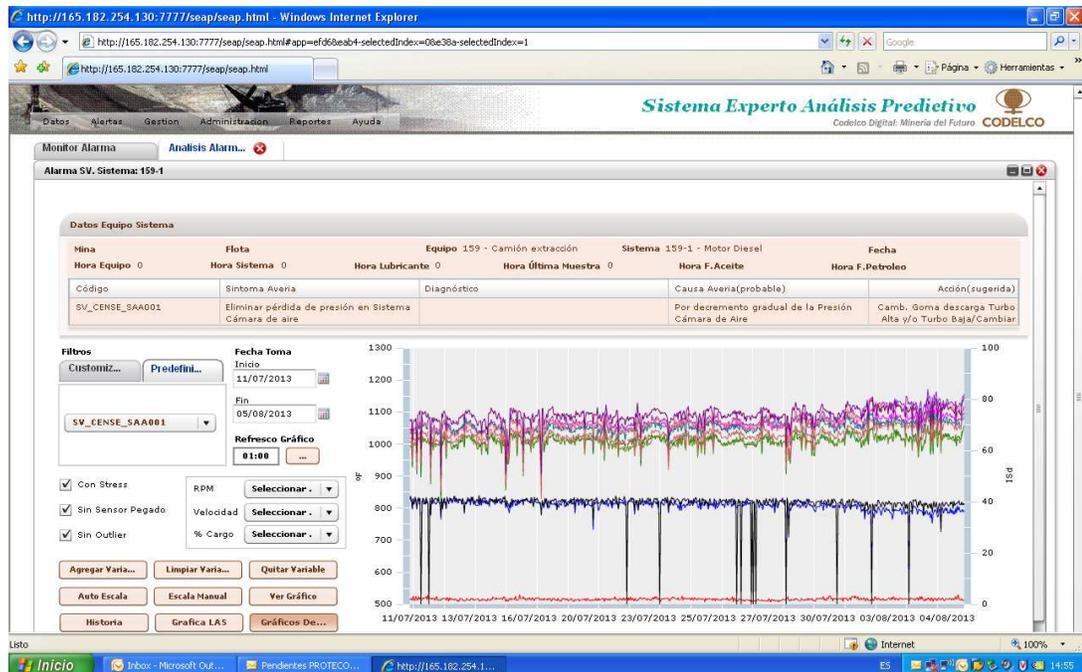


Figura 14. Pantalla principal del Sistema Experto Análisis Preventivos.

Además de lo explicado anteriormente, el sistema permite realizar análisis de subsistemas, se puede seleccionar los equipos por flota, tipo de equipo, equipo de interés, tipo de sistema y subsistema. Por lo tanto, al momento de realizar un análisis se puede determinar con exactitud, la evolución de una falla y una guía para la reparación de la avería, pero lo más importante es un monitoreo permanente y continuo las 24 horas del día de las principales variables críticas de los equipos, Además envió de alarmas vía correo electrónico cuando alguna variable llega a un punto crítico. Cabe señalar que con la implementación de este sistema se ha reducido considerablemente las mantenciones correctivas no planificadas de los diferentes subsistemas, con el correspondiente aumento del mantenimiento sintomático de los equipos y la disminución de costo de reparación por este concepto, recordemos que el mantenimiento sintomático es entre 3 a 6 veces mas económico, que el mantenimiento correctivo no programado.

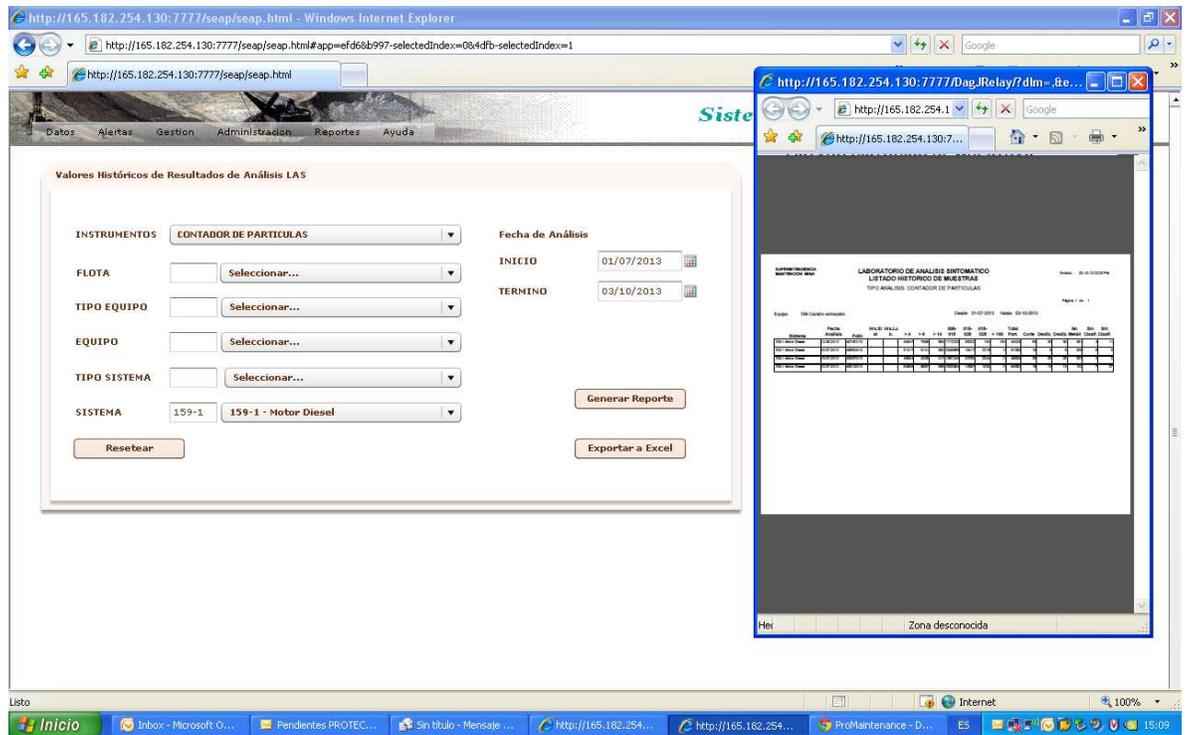


Figura 15. Pantalla de selección de equipo y subsistema.



Figura 18. Pantalla de graficas de tendencias.

Con la información entregada y los beneficios conseguidos al incorporar al sistema SEAP, podemos cuantificar los beneficios económicos de la utilización de este Sistema Experto, consideraremos algunas variables relevantes y contribuyentes al momento de aplicar esta metodología, como lo es la incorporación de computadores que controla los motores diesel y los sistemas de control de los distintos equipos mineros, hemos realizado el siguiente análisis económico:

8.9. Evaluación Económica del sistema SEAL

Análisis Sistema Expertos de Análisis Lubricantes "SEAL".

Condición hace 10 años atrás

Actividad \ años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Costo Mano de Obra		-950.400	-950.400	-950.400	-950.400	-950.400	-950.400	-950.400	-950.400	-950.400	-950.400
Contrato de apoyo en inspección		-295.680	-295.680	-295.680	-295.680	-295.680	-295.680	-295.680	-295.680	-295.680	-295.680
Flujo	0	-1.246.080	-1.246.080	-1.246.080	-1.246.080	-1.246.080	-1.246.080	-1.246.080	-1.246.080	-1.246.080	-1.246.080
Van		-\$ 7.656.622									
I		10%									

Disminución de personal, externalización, sistema experto e incorporación de tecnolo

Actividad \ años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Menores Costos por plan de egreso personal propio.		190080	190080	190080	380160	380160	380160	570240	570240	570240	665280
Costo Mano Obra personal propio.		-665.280	-665.280	-570.240	-570.240	-570.240	-570.240	-380.160	-380.160	-380.160	-285.120
Contrato de apoyo en inspección		-264.000	-264.000	-264.000	-264.000	-264.000	-264.000	-264.000	-264.000	-264.000	-264.000
Incorporación Sistema Experto	-300.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Equipos con tecnología actual + sistema de comunicación	-100.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Actualización Sistema Experto	0	0	0	0	0	100.000	0	0	0	0	0
Flujo	-400.000	-739.200	-739.200	-644.160	-454.080	-354.080	-454.080	-73.920	-73.920	-73.920	116.160
Van		-\$ 3.012.172									
I		10%									

Tabla 1. Comparación de costos aplicando el Sistema Experto SEAL.

Cabe destacar que en esta evaluación solo se consideraron las variables de costos directos de mano de obra para el personal propio y tercero para la situación o el caso base. Además en este análisis se consideró como costo hundido los analizadores, gastos de mantenimiento de los equipos, etc.

Pero para el caso con la solución tecnológica implementada fue necesario centralizar la información procedentes de los distintos computadores de los equipos mineros que abastecen de la información del motor al Sistema Experto (SE). Además dada la incorporación del SE y el correcto funcionamiento y utilización no fue necesario contratar más personal propio o externo con alta especialización. Y se estimó de acuerdo a curvas de tendencia una disminución en mantenimiento correctivo no planificado.

También se consideró mantenimiento y actualización del sistema para mantener la información resguardada y generar mejoramiento continuo del sistema.

Si realizamos una metodología similar aplicada al Sistema Experto en estudio para el taller de Alta Tensión, podremos estimar un beneficio económico aplicado a la incorporación de este Sistema Experto basado en algunos supuesto y beneficios esperados con la incorporación del sistema en el área. Uno de los puntos definidos en el modelo de negocio de la SMI, señala que las actividades del taller de Alta Tensión, deben ser ejecutadas por personal propio por el alto impacto de esta área en la continuidad de marcha de los procesos productivos, los costos de reparación y compensación ante un evento en el SEP. Además en la actualidad en la División Chuquicamata los trabajadores nuevos son contratados en condiciones económicas de mercado que nos hacen ser mas competitivos.

8.10. Evaluación Económica del Sistema Experto del taller Alta Tensión.

Analisis Sistema Experto Taller de Alta Tención

Condición Actual

Actividad \ años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
costo Mano de obra taller alta tensión		-760.320	-760.320	-760.320	-760.320	-760.320	-760.320	-760.320	-760.320	-760.320	-760.320
Contrato de apoyo en inspección		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Flujo	0	-760.320	-760.320	-760.320	-760.320	-760.320	-760.320	-760.320	-760.320	-760.320	-760.320

Van	-\$ 4.671.837
I	10%

Egreso de personal especializado e Incorporación de personal menos especializados y con menores beneficios, con utilizacion Sistema Experto.

Actividad \ años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Disminucion de trabajadores por egreso especial	0	168.960	168.960	337.920	337.920	337.920	422.400	422.400	422.400	422.400	422.400
Dotacion con trabajadores especializados	0	-422.400	-422.400	-253.440	-253.440	-253.440	-168.960	-168.960	-168.960	-168.960	-168.960
Contratacion trabajadores nuevos - especializados	0	-126.720	-126.720	-253.440	-253.440	-253.440	-316.800	-316.800	-316.800	-316.800	-316.800
Incorporacion Sistema Experto	-150.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sistema de comunicación	-10.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Actualizacion Sistema Experto	0	0	0	0	0	40.000	0	0	0	0	0
Flujo	-160.000	-380.160	-380.160	-168.960	-168.960	-128.960	-63.360	-63.360	-63.360	-63.360	-63.360

Van	-\$ 1.291.335
I	10%

Tabla 2. Comparación de costos aplicando el Sistema Experto para el taller Alta Tensión.

Al revisar las distintas variables utilizadas en este análisis económicos se consideró un menor gasto en mano de obra por el desplazamiento del área producto del retiro voluntario que los trabajadores en etapa de jubilación o retiro voluntario, otra variable considerada en este análisis es la incorporación de personal nuevo que tendrá otro tipo de contrato acorde a las actuales condiciones del mercado, que nos permitirá generar menores costos en el desarrollo del proyecto. También es necesario indicar el costo de la implementación y mantenimiento del sistema, como también la actualización del mismo sistema. No se consideró en este caso un ahorro por no contratación de una empresa de servicios externa dado que este tipo de actividades se consideró realizarlas con personal propio.

Del análisis económico podemos determinar claramente que es más conveniente desarrollar el Sistema Experto y con esto resguardar el conocimiento para futuras generaciones, manteniendo la continuidad de marcha de los procesos productivos y el Know – How en el interior de la organización.

8.11. Comentarios, Discusiones y Conclusiones

- En la actualizada para la División Chuquicamata de Codelco se requiere cada vez una optimización del recurso propio como también a la racionalización de los distintos procesos productivos, con estas dos situaciones de borde se pretende situar a esa división en el segundo cuartil de costos. Pero es necesario que el recurso propio que continúe trabajando se sitúe en actividades del Core Business de la empresa.
- Existen barreras de culturales de la organización que deben ser saltadas al momento de implementar una solución tecnológica, pero con una participación activa en el desarrollo de la solución tecnológica es posible sortear ese obstáculo y convertirse en una verdadera herramienta para el desarrollo de las actividades de los diferentes técnicos.
- Fue de suma importancia generar la figura de un supervisor sénior o experto técnicos, sin la ayuda de este personaje, sería muy difícil la selección de las actividades críticas, la homologación de los criterios de los diferentes expertos y el logro de los resultados.
- El incorporar tecnología actual en el ámbito industrial no fue tan complicado como se esperaba, al parecer por el alcance actual de la tecnología y costos reducidos asociados por contar con esa tecnología en forma individual, es por esto que no es para nada difícil encontrar personas de edad con teléfonos inteligentes conectándose con sus familiares en redes sociales como Facebook o chateando gratuitamente por WhatsApp o Line. Viendo videos en YouTube u otras aplicaciones cotidianas hoy en día. Por este motivo creemos que no fue para nada complejo la utilización de computadores industriales portátiles tipo “HandHelp” donde se puede instalar el Sistema Experto.

8.12. Condiciones de aplicación del método

En este punto es de suma importancia definir las condiciones necesarias donde se podrá implementar una de estas soluciones tecnológicas y con ello gestionar de mejor forma los recursos escasos de la Superintendencia:

- Las áreas que se seleccionen, deben estar o definirse como áreas en el Core Business de la Superintendencia Mantenimiento Industrial.
- Las actividades críticas deben ser actividades donde el personal propio sea competitivo con respecto al mercado y con ello se lograría focalizar las distintas áreas con el modelo de negocio desarrollado de la SMI.
- Selección de un líder fuerte que guie a esa organización en el logro de la solución planteada y esperada. Desarrollando una participación activa de él y su equipo de trabajo.

8.13. Barreras organizacionales en el área u organización seleccionada

Es importante en este punto generar un análisis previo de algunas barreras que se deben sortear y de acuerdo a aquello generar estrategias correctivas o mitigadoras para obtener los resultados esperados, además es posible que en el desarrollo de la metodología se detecten barreras no previstas, por este motivo es de suma importancia contar con la presencia de un líder fuerte que apoye en el desarrollo del proyecto y con ello solucionar las dificultades que se presente y que puedan generar un posible fracaso en el desarrollo de la solución tecnológica, algunas de las barreras que se pueden identificar son:

- **Resistencia al cambio:** Es frecuente detectar este tipo de situaciones, pero es importante mostrar a los trabajadores los beneficios que se conseguirán tanto para la Superintendencia como para sí mismo. Con esto es posible ganar un aliado en vez de una persona descontento ante la implementación de la solución.
- **Falta de interés por la aplicación de la solución tecnológica:** Se debe buscar mecanismo motivacionales y al igual que el punto anterior explicar los beneficios de la implementación de la solución.
- **Miedo a la pérdida de empleabilidad o sentirse sustituido:** Este es un punto bastante habitual al implementar una solución tecnológica y que puede significar el fracaso o éxito de la solución según sea visualizado por los trabajadores, es importante señalar a los trabajadores que la implementación es un apoyo en el normal

desarrollo de sus actividades y que con la implementación de esta solución se mejorar enormemente su trabajo. También es importante hacer participe de este desarrollo a la mayoría de los experto para que al sistema lo vean como propio y con ello ganar un aleado.

- **Falta de conocimiento en la aplicación de tecnología actual:** Dependiendo del área u organización seleccionada este punto debe ser clave en el existo o fracaso de la implementación, se requiere generar estrategias de reducción de brechas, para aplicar en forma correcta la solución tecnológica.
- **Falta de habilidad en la aplicación de tecnología actual:** Al igual que el caso anterior es necesario generar un plan de desarrollo de habilidades para la correcta aplicación de la solución tecnológica.
- **Otras:** Es necesario estar atento a la aparición de otras barreras no detectadas o pensadas en las etapas previas, por el mismo motivo se hace sumamente importante contar con un líder fuerte y proactivo para tomar acción en la solución de este tipo de situaciones.

8.14. Consideraciones en la implementación de la solución tecnológica

Algunas consideraciones necesarias al momento de implementar la solución desarrollada, después de sorteras las distintas barreras detectadas y corregidas son:

- **Informar a toda la organización (área o organización seleccionada);** A través del supervisor sénior o técnico experto (líder del proyecto) el objetivo, alcance, beneficios esperados y otros aspecto relevantes del proyecto y como ellos obtendrán regalías al utilizar esta solución tecnológica, también es relévate hacerles sentir con fueron parte fundamental en el desarrollo de esta solución y con el apoyo de equipo se lograra el éxito esperado.
- Generar un periodo de marcha blanca, donde se cuente con expertos de la solución tecnológica que corrijan en forma rápida y oportuna cualquier dificulta o error detectado, y con ello reducir al máximo un posible conflicto o desinterés por errores o dificultades en la puesta en marcha.

- Aun cuando se haya terminado la puesta en marcha del sistema, es importante seguir prestando apoyo en el normal uso de la solución para evitar cualquier dificultad.
- También es fundamental que el equipo asesor de la solución tecnológica realice una revisión o mejoramiento continuo, para ajustar o actualizar los criterios expertos. Es sumamente importante este punto, puesto que por el desarrollo de la tecnología es posible incorporar actividades que antes no se podían medir o eliminar otras que ya no son relevantes, etc.

9. Bibliografía

- “Sistemas Expertos aplicaciones de la inteligencia artificial en la actividad empresarial”, Paul Harnen David King, 1988, editorial Díaz de Santo, Madrid.
- Ingeniería de Sistemas Expertos, García Martínez, R. y Britos, P. 2004, Editorial Nueva Librería.
- “Gestión del conocimiento”, Anselmo del Moral Bueno, Juan Pazos Sierra, Ediciones Paraninfo S.A. Calle Velázquez no. 31, 3o. Derecha, 28001 Madrid
- “Introducción a la Gestión del Conocimiento”, Lic. Daniel Piorun (Prof. MBA-UBA).
- Working Knowledge, Davenport, Thomas H, published by the Harvard Business School Press in hardcover, 1998, in paperback, 2000.
- Sistemas Expertos. Principios y Programación”, Joseph Giarratano, Gary Riley.

10. Anexo y apéndices

Anexo A. Definición de Sistemas Expertos (**Fuente:** wikipedia.org)

Es una aplicación informática capaz de solucionar un conjunto de problemas que exigen un gran conocimiento sobre un determinado tema. Principalmente existen tres tipos de sistemas expertos, estos son:

SE basados en reglas:

Los sistemas expertos basados en reglas utilizan para el proceso de inferencia un conjunto de reglas que constituyen la base de conocimiento del experto. Este conjunto de reglas pueden ser activadas a medida que las condiciones son evaluadas positivamente y su utilización implica la creación de nuevos hechos. Este proceso permitirá a partir de unos hechos iniciales desarrollar un proceso deductivo que concluirá el momento en que no quede ninguna otra regla por utilizar.

Para realizar este tipo de tratamiento es posible hacerlo de dos maneras diferentes, por un lado realizarlo desde las evidencias hasta los objetivos o por otro lado en orden inverso que sería comenzar desde el objetivo hasta llegar al conjunto de evidencias que lo han provocado.

SE basados en redes bayesianas:

Este otro tipo de sistema experto basa su funcionamiento como su nombre propio indica en las redes bayesianas. Así pues se trata de un modelo probabilístico que relaciona un conjunto de variables aleatorias mediante un grafo dirigido. El motor de inferencia que utiliza para procesar las evidencias se basa en la teoría de probabilidades y más concretamente con el Teorema de Bayes. Este método es especialmente una herramienta extremadamente útil en la estimación de probabilidades ante nuevas evidencias.

SE basados en casos:

Este último tipo de sistema experto será el que procederemos a explicar en este trabajo y analizaremos con más detalle en los siguientes apartados. Es importante este primer capítulo del trabajo para hacer ver el contexto en que se encuentra este tipo de sistema experto y poder entender con mayor profundidad el modo con el que trabaja.

A grandes rasgos, este tipo de sistemas basa su funcionamiento en experiencias anteriormente vividas, ya sea por el propio sistema o bien por la persona experta, y a partir de este conocimiento de vivencias realizar una asociación con estas experiencias para extraer una solución de esto. Como podemos ver de los tres métodos existentes, este es el que más se asemeja al modo de pensar que tenemos los seres humanos. Si nos ponemos a pensar en los niños pequeños, el tipo de razonamiento que utilizan es el basado en las experiencias que le proporciona su trato con el medio. Un ejemplo relacionado con esto sería cuando un niño está en la cocina y toca una olla que está en el fuego y se quema, este habrá adquirido una nueva experiencia. Si otro día ve una olla en el fuego ya no la tocará porque tendrá esa experiencia. Aun así podría tener la experiencia de ver a su madre coger esa olla con los paños de cocina. De todo ese conjunto de experiencias, el niño, la siguiente vez que quisiese tocar una olla sabría que si lo quiere hacer tendría que hacerlo con paños para no quemarse. Este es un claro ejemplo del funcionamiento del razonamiento basado en casos. Podemos ver como el niño pequeño a través de vivencias anteriores, tanto si son errores como acierto, adquiere experiencias que utilizará cuando tenga que enfrentarse a una nueva situación y que constituirán su nueva base de razonamiento. Esto es una pequeña introducción del funcionamiento.

Anexo B. Cuestionario a aplicar a Expertos en mantenimiento Sistema Eléctrico de Potencia.

Cuestionario Sistema Eléctrico de Potencia

Nombre: _____ Fecha: _____

1. En una revisión visual, en que aspecto de la torre de alta tensión usted se fija:

a. Que observa en la estructura de las torres de alta tensión:

i. Inclinación _____

ii. Fundaciones _____

iii. Soporte de la torre _____

iv. Vigas _____

v. Mallas _____

vi. Crucetas _____

b. Que observa al revisar las líneas (conductores) y su ferretería:

i. Conductores de fases _____

ii. Prensas anclaje _____

iii. Prensas suspensión _____

iv. Puentes _____

v. Conductores de guardia _____

c. En relación a los Aisladores:

i. Porcelana _____

ii. Vidrio _____

d. Estado del camino:

i. Acceso _____

ii. Franja de seguridad _____

2. En una inspección termográfica, cuales son los principales aspectos que usted observa:

a. Que observa al revisar las líneas (conductores) _____

b. Que observa en las uniones _____

c. Que observa en los puentes _____

3. En relación al análisis de las imágenes termograficas, cuales son los aspectos mas relevantes a considerar:

4. En la revisión visual, usted que revisa en una subestaciones Eléctricas.

a. Que observa en una S/E.

- i. Cimientos _____

- ii. Suelo _____

b. Que observa al revisar los conductores y ferretería.

- i. Conductores de fases _____

- ii. Prensas anclaje _____

- iii. Prensas suspensión _____

- iv. Puentes _____

c. Que observa al revisar del estado de aisladores.

i. Porcelana _____

ii. Vidrio _____

d. Que observa al revisar el estado de desconectores.

i. Fugas _____

ii. Relojes indicadores _____

e. Que observa al revisar en los transformadores de potencia.

i. Fugas _____

ii. Relojes indicadores _____

f. Que observa al revisar en los transformadores de corriente.

i. Fugas _____

ii. Relojes indicadores _____

5. Que observa usted al realizar una termografía en una subestaciones Eléctricas.

a. Revisión de conductores y ferretería.

b. Que observa al revisar las líneas (conductores) _____

c. Que observa en las uniones _____

d. Que observa en las estado de los desconectores _____

e. Que observa en las estado de Transformadores de potencia _____

f. Que observa en las estado de Transformadores de corriente _____

6. Análisis termográfico subestaciones eléctricas.

7. Análisis aceite

a. Revisión estado del aceite transformadores de potencia.

b. Revisión estado del aceite transformadores de corriente.

Anexo C. PROCEDIMIENTO PARA EL DESARROLLO DE UN SISTEMAS EXPERTOS ORIENTADOS A LA GESTION DEL CONOCIMIENTO.

Tabla de contenidos

Sección	Título	Página
1.	Introducción de sistemas experto orientado a la Gestión del Conocimiento de mantenimiento u operación de sistemas expertos.	02
2.	Alcance y metodología desarrollada.	02
3.	Selección de actividades críticas.	03
4.	Como seleccionar al personal foco.	04
5.	Confección de preguntas para el cuestionario.	04
6.	Confección y desarrollo de entrevista personales.	04
7.	Homologación y estandarización de criterios expertos.	05
8.	Como diseñar un árbol de decisión.	05
9.	Como generar una HMI atractiva para el usuario.	06

REVISADO: Guillermo Frez Rivas Ing. Mantenimiento SAE&E-SMI	REVISADO: Guillermo Poblete Barrios Ing. Mantenimiento SAE&E-SMI	APROBADO: Rubén López A. Ingeniero Jefe SAE&E-SMI
---	--	--

1. Introducción de sistemas experto orientado a la Gestión del Conocimiento de mantenimiento u operación de Sistemas Expertos.

El presente procedimiento permitirá desarrollar una metodología para diseñar un Sistema Experto basados en reglas, para las diferentes áreas de la Superintendencia de Mantenimiento Industrial donde se requiera mantener el conocimiento experto y con ellos focalizar a la superintendencia en las actividades que generan valor a la División Chuquicamata.

Para seleccionar las áreas donde se desarrollaran las distintas aplicaciones, estas deben cumplir los siguientes criterios; estas debe poseer un riesgo de despoblamiento o envejecimiento de la dotación y además las actividades que desarrolla estas área deben estar en la focalización de las Superintendencia. Con esto se podrá desarrollar un sistema experto para captar el conocimiento de las actividades relevantes que desarrolla el personal especializado o experto del área seleccionada. Para poder utilizar ese conocimiento adquirido en guiar a personal nuevo o poco especializado del área en cuestión.

2. Alcance y metodología desarrollada.

El presente procedimiento establece los alcances y metodología necesaria para desarrollar un Sistema Experto en el ámbito del conocimiento técnico de las áreas de la Superintendencia de Mantenimiento Industrial (SMI). La metodología que se desarrollara se basados en reglas expertas, que serán generadas a partir de entrevistas y cuestionarios realizados a los expertos de las áreas de la SMI, para posteriormente generar un árbol de decisiones con la base del conocimiento obtenida de los expertos.

Problema o decisión a tomar

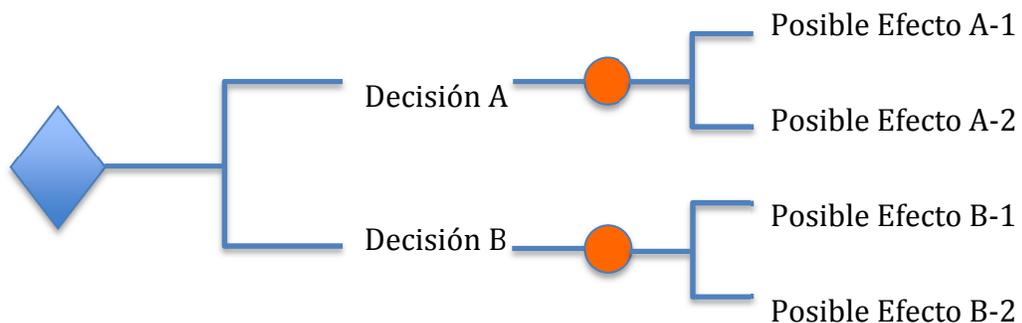


Figura 1. Esquema típico de árbol de decisiones.

3. Selección de actividades críticas.

Una vez que se a determinado el área en la cual se desarrollara el Sistema Experto, se deben seleccionar las actividades que debemos cautelar, para realizar esta selección se debe realizar una comparación con el mercado, la comparación con el mercado se realiza a través de cotizaciones de las actividades para poder determinar los costos de las distintas áreas y la forma de desarrollar las actividades.

A continuación se muestra como ejemplo la selección de actividades que se desarrollaron para el área de mantenimiento eléctrico.



Figura 2. Esquema de focalización del área mantenimiento eléctrico.

En esta comparación se puede apreciar los resultados de la comparación de las distintas actividades que se desarrollan en el área de mantenimiento eléctrico, la comparación de costos nos indica que en las actividades donde son más competitivos están en la cúspide de la pirámide, las actividades son: “Mantenimiento y reparación de Sistema Eléctrico de Potencia (SET)” y “Servicios técnicos, protecciones eléctricas, análisis sintomático, termografía, etc.” Ambas actividades las desarrolla a plena satisfacción y con costos competitivos con el mercado.

A demás una vez definida el área donde se desarrollara el Sistema Experto, es necesario nombrar a un supervisor o coordinador técnico, quien será el encargado de apoyar el desarrollo del sistema experto.

4. Como seleccionar al personal foco.

Luego de seleccionar las actividades foco de cada área donde se requiere generar un Sistema Experto, se importante poder identificar al personal que mejor desarrolla las actividades y mejor conocimiento técnico posee, una posibilidad es identificarlos a través de su jefatura y compañeros debido a que siempre es sabido quien es el que mejor desarrolla las funciones. Otra posibilidad es revisar los registros en las plataformas PRD como el SAP en el caso de Codelco, a través de SAP se puede buscar los avisos y las personas que realizaron la mayor cantidad de intervenciones en esas actividades específicas.

5. Confección de preguntas para el cuestionario.

Esta etapa de una de las más importantes al desarrollar un Sistema Experto, en estas preguntas debemos ser capaces de extraer el conocimiento adquirido por cada experto y además poder estandarizar la información adquirida, las preguntas típicas son:

1. ¿Cómo realiza la actividad ...?
2. ¿Qué variables mide antes de desarrollar la actividad ...?
3. ¿Qué recursos requiere para realizar la actividad ...?
4. ¿Qué observa en el entorno de la actividades ...?
5. ¿Qué variables mide u observa para verificar la correcta ejecución de las actividades ...? , etc.

Una vez realizado el cuestionario y compartido lo el ingeniero o supervisor del area, para sus ajustes finales.

6. Confección y desarrollo de entrevista personales.

Una vez que se han desarrollado las preguntas se debe ordenar según prioridad y dificultad de ejecución de las actividades, algunas de las preguntas serán con alternativas pero la mayoría son preguntas con respuestas abiertas, para que los expertos puedan desplegar e informar todo el conocimiento que utilizan al realizar la actividad técnica. La entrevista al personal debe ser desarrollada en un ambiente cálido y antes de comenzar se debe explicara claramente los objetivos y alcances que se esperan al desarrollar un Sistema Experto en su área y como esto contribuirá al desarrollo de la misma, como también los beneficios que se podrán alcanzar implementando este Sistema, como por nombrar algunos: Reducción de tiempo en diagnósticos de falla, Entrenamiento de las mejores practicas de los expertos, Consultas en líneas de la base del conocimiento por utilización del Handhelp por parte de personal de mantenimiento o inspección de las áreas.

7. Homologación y estandarización de criterios expertos.

En esta etapa del estudio se debe homologar los diferentes criterios entregados por los expertos en la etapa anterior, esta homologación o estandarización debe ser

guiada con el supervisor o coordinador técnicos del área, dado que en algunos casos los expertos tienen diferentes formas de resolver un mismo problema, las variables o puntos de medición varían dependiendo de la experiencia o nivel educacional de los expertos.

Por esto es sumamente relevante que el supervisor o coordinador técnico, pueda unificar los criterios vertidos por los diferentes expertos en los cuestionarios.

8. Como diseñar un árbol de decisión.

Una vez que se ha desarrollado la etapa de homologación y estandarización, se comenzara a generar la base del conocimiento, con la estructura de árbol de decisiones para facilitar la comprensión de los usuarios y la confección de la interface con el usuario. Esta metodología es una buena ayuda para la elección de varias acciones que puede desarrollar el mantenedor o inspector. esta estructura es muy efectiva para estimar cual o cuales son las opciones posibles a desarrollar, además nos permite analizar totalmente las posibles consecuencias de toma de decisiones.

Las partes del árbol de decisiones son:

1. Problema o decisión a tomar.
2. Alternativas de decisión.
3. Eventos, que pueden ocurrir como resultado de una elección.
4. Probabilidad, si es necesario se puede determinar una probabilidad de ocurrencia del evento.
5. Resultado esperados, estos ocurren cuando interactúan entre las alternativas de decisión y los eventos que pueden ocurrir.

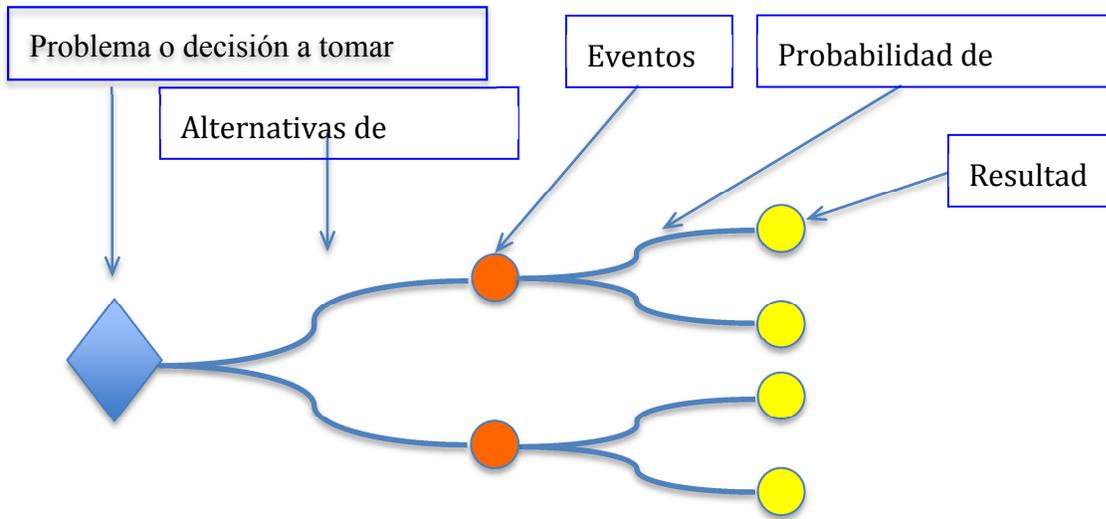


Figura 3. Esquema partes de un árbol de decisiones.

9. Como generar una HMI atractiva para el usuario.

La interface que interactuara con el usuario es decisiva para el éxito con el Sistema Experto, si la HMI no cumple este objetivo es posible que el sistema fracase. Un ejemplo de interface es:

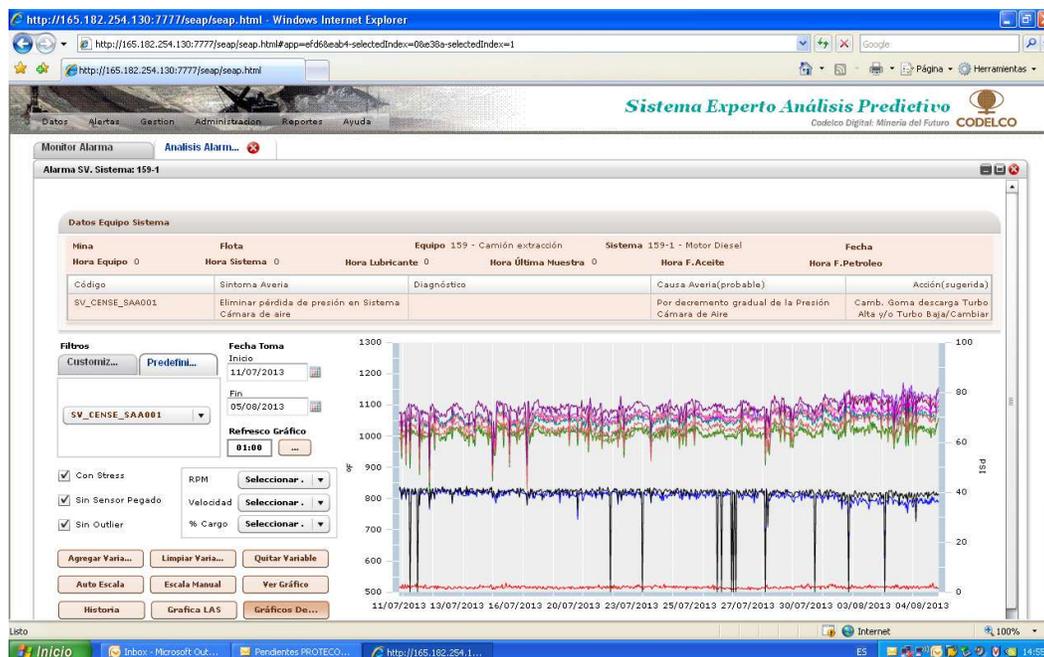


Figura 4. Pantalla principal del Sistema Experto Análisis Preventivos.

En la pantalla es necesario que la información que se muestre debe ser relevante para el mantenedor o inspector, además cuando el usuario necesite interactuar con la base del conocimiento debe realizar pocos pasos para conseguir la información requerida, lo importante es que la interacción con el sistema sea lo mas intuitiva posible para que el usuario no se frustre en la experiencia de búsqueda de la información.

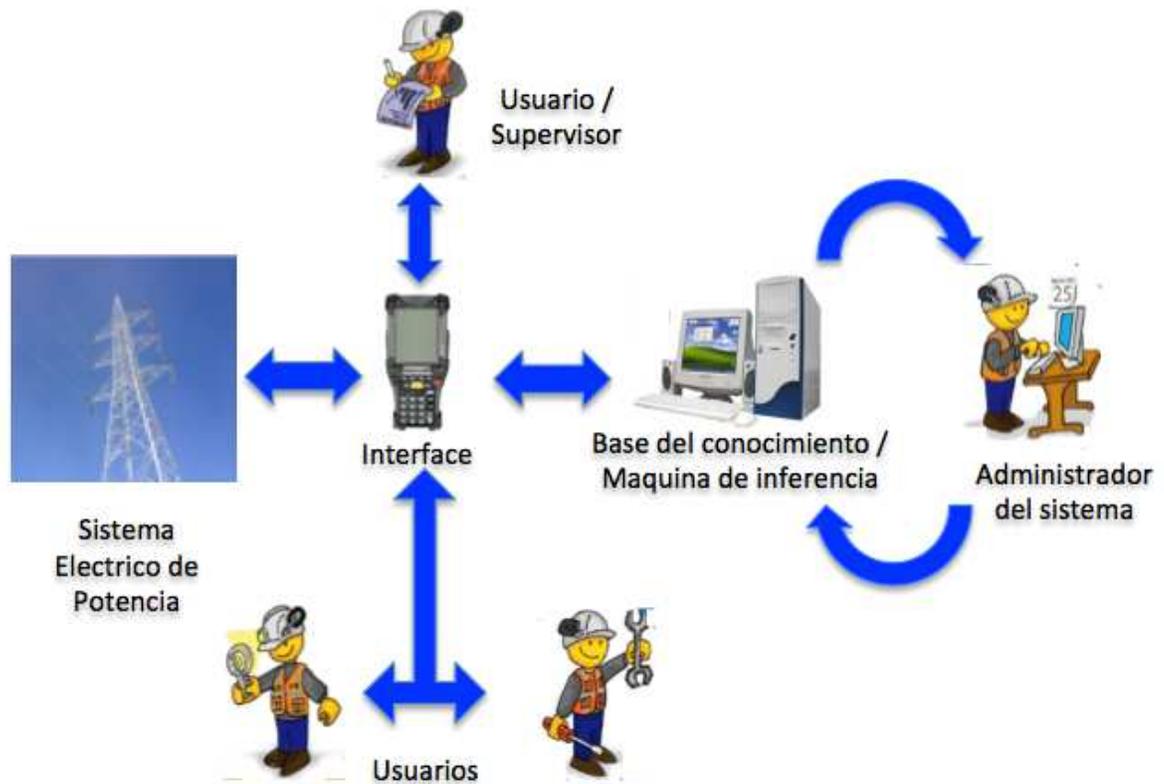


Figura 5. Diagrama esquemático de un sistema experto.