

Gestión de Activos, Condición y Riesgos – un caso de estudio

EEA Conference & Exhibition 2013, 19-21 de junio, Auckland

Paul Blackmore *¹, Dave Brannigan ², Matthew Coffin¹

¹ EA Technology

² ORION New Zealand Limited

* Autor Expositor

Planear el reemplazo o la renovación de los activos en las redes es una tarea complicada por su incertidumbre y en muchos casos por la pobre relación entre la edad del activo o equipo, su condición y riesgos. Conforme con que las redes eléctricas envejecen durante el tiempo, se espera que el reemplazo de activos aumente la cual nuevas herramientas son necesarias para evaluar adecuadamente y optimizar la sustitución y renovación de activos relacionados con los gastos. En este documento técnico, presentamos un caso de estudio que describe el desarrollo y la aplicación integral sobre la condición de activos y el modelado de procesos riesgos, aplicado a la población de interruptores, transformadores de potencia y esquemas de protección secundaria una red de distribución. Se discute el desarrollo de indicadores de salud de los activos, incluyendo problemas prácticos tales como requisitos de información y el uso de los datos existentes y los procesos de gestión de riesgo. Mostramos cómo se han utilizado para cuantificar y estimar índices de fallas y riesgos en activos. Se presenta un caso de estudio que demuestra cómo se pueden utilizar las estimaciones de riesgo para priorizar proyectos de sustitución de activos y ayudar en el desarrollo de casos de negocios de inversión.

INTRODUCCIÓN

Las redes de electricidad de Nueva Zelanda se caracterizan típicamente por un modesto crecimiento de carga, junto con un perfil de edad de activos que incluye una proporción importante de los activos a la mitad de su vida útil. Estas características implican que una proporción significativa de futuras inversiones o Gastos de Capital (GC), serán llevada por la necesidad de renovación o sustitución de activos. Las decisiones de renovación de activos pueden ser difíciles de tomar, justificar y comunicar, ya que la toma de decisiones es básicamente un concepto menor de responsabilidad futura y riesgo, en lugar de los beneficios tangibles de proporcionar nuevas capacidades.

Es bien sabido que para muchos activos eléctricos industriales, la edad por sí sola es un pobre indicador de riesgo. Prueba de ello puede verse en la distribución de perfiles de edad de los activos donde la mayoría de las empresas eléctricas que muestran muchos activos que siguen en servicio más allá de su vida útil. Mientras que es posible definir una vida promedio del activo con cierta precisión, la vida útil de un activo en particular, puede variar sustancialmente debido a factores tales como su calidad inicial, ambiente de operación y las condiciones de operación. Para compensar las desventajas de usar la edad como único factor determinante para planear programas de reemplazo a futuro, muchas empresas eléctricas están empleando ahora el concepto de índices de salud como una medición más precisa de la posición de cada activo dentro de su ciclo de vida.

Mientras que se desarrolla un índice de salud o condición que proporcione una medida más útil de la condición de activos que la edad misma, identificar el momento óptimo para el reemplazo, requiere conocimiento de la probabilidad esperada y las consecuencias de fallas de cada activo. Por ejemplo, un activo con bajas consecuencias de falla, puede permitirse permanecer en servicio en muy mal estado, mientras que un activo con grandes consecuencias debe ser reemplazado en niveles significativamente más bajos de deterioro. Este equilibrio de la condición de activos, probabilidad de falla y sus consecuencias, lleva a la toma de decisiones basada en riesgo en lugar de la condición por sí sola y puede llevar a mejoras significativas en la eficacia de toma de decisiones de reemplazo de activos [1]. La importancia del manejo tanto de la condición como del riesgo, se reconoce en el estándar BSI PAS 55 [2] gestión optimizada de activos físicos, que requiere la consideración de ambas dimensiones en las actividades de gestión de activos.

En el 2010, ORION Networks identificó una potencial creciente con la necesidad de reemplazo de activos en Gastos de Capital (GC) y con esto el rigor de dar mayor importancia al desarrollo de los planes de reemplazo de activos. Esta necesidad dió lugar a la aplicación de la metodología de gestión de riesgo basado en condición (CBRM) de EA Technology. En este artículo discutimos la implementación del CBRM en ORION y cómo esto puede usarse para informar decisiones sobre la renovación y reemplazo de activos.

INTRODUCCIÓN AL CBRM

Condición Basada en la Gestión de Riesgo (CBRM) es una metodología desarrollada para ayudar a los gerentes de infraestructura de activos o mantenimiento en la planeación de programas de reemplazo y rehabilitación de activos. Detalles de la metodología y el modelado de procesos, pueden encontrarse en trabajos previamente publicados [3] [4] [5] [6]. CBRM es un proceso que incorpora información de una variedad de fuentes, incluyendo los atributos de los activos, historial, características específicas o rendimiento, entorno ambiental y condición observada para dar una evaluación cuantificada del estado de salud de los activos, probabilidad de falla y la tasa de deterioro. Mediante la incorporación de una evaluación de las consecuencias de la falla es posible modelar la relación entre la condición de activos y riesgos, y utilizar esta información para desarrollar planes de renovación de activos basados en el riesgo. El proceso de CBRM puede ser definido por una serie de pasos secuenciales:

1. **Definir condición del activo.** Obtener 'índices de salud' de activos individuales y construya perfiles de índices de salud para grupos de activos. Los índices de salud son determinados en una escala del 0-10, donde 0 indica las mejores condiciones y 10 el peor final de vida.
2. **Relacionar su condición actual al rendimiento.** Calibrar el índice de salud contra la probabilidad relativa de falla (PRF). Igualar el perfil de índice de salud con la actual tasa de falla para determinar la relación del índice de salud /PRF
3. **Estimar la condición futura y rendimiento.** Utilizar el conocimiento de los procesos de degradación ("envejecer") para los índices de salud, las tasas de envejecimiento dependen del índice de salud inicial y las condiciones de operación. Calcular futuras tasas de falla desde los perfiles de índice de salud envejecidos y la relación índice de salud/PRF previamente definidos.
4. **Evaluar potenciales de intervenciones en términos de PRF y tasas de falla.** El factor en el efecto potencial de un reemplazo, remodelación o cambios en los regímenes de mantenimiento, modifica los perfiles de índice de salud a futuro y recalcula las tasas de falla a futuro.
5. **Definir y evaluar consecuencias de falla (CDF).** Construir y alimentar un marco coherente para evaluar las consecuencias en categorías significativas, seguridad, rendimiento de red, ambiental y financiero.
6. **Construir un modelo de riesgo.** La combinación entre el PRF y CDF en grupos de activos para cuantificar el riesgo. Calcular el riesgo total y el riesgo dentro de cada categoría relacionada con cantidades tangibles, dinero, minutos perdidos por usuario, frecuencia de muertes o lesiones graves.
7. **Evaluar intervenciones potenciales en términos de riesgo.** Evaluar el efecto de sustitución, renovación o cambios en los regímenes de mantenimiento, recalculando PRF y CDF y cuantificar las reducciones de riesgos.
8. **Revisar y clasificar la información y procesar.** Aprender de la aplicación del proceso, identificar oportunidades para mejorar la información de los activos y clasificar los modelos y algoritmos. Definir y construir progresivamente un marco de información de los activos mejorado.

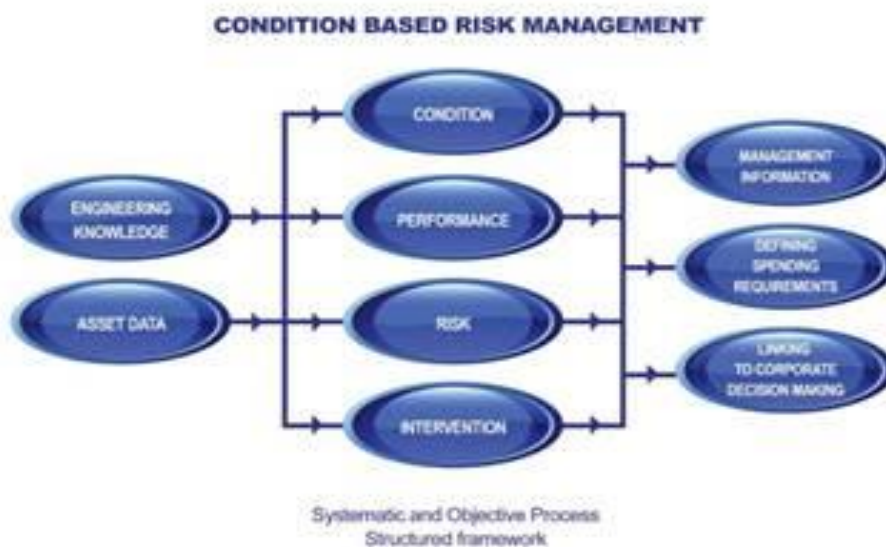


Figura 1 . Esquema mostrando el proceso general de Condición Basada en la Gestión de Riesgo (CBRM)

ALCANCE DEL PROYECTO ORION CON CBRM

El proyecto CBRM de ORION Networks, Nueva Zelanda, fue implementado en dos etapas, en primer lugar un proceso para demostrar y evaluar el enfoque, seguida por una segunda etapa para completar su implementación. Durante la primera etapa del proyecto CBRM, se produjeron modelos para dos tipos muy diferentes de activos, siendo éstos interruptores de 11 kV y líneas de distribución de 11kV. Se eligieron estas clases de activos, en primer lugar por considerarse la clase de activos con mayor incertidumbre con respecto a futuros requisitos de reemplazo de activos y en segundo lugar para demostrar la aplicación del CBRM tanto a un valor alto, activos de bajo volumen en subestación y de bajo valor, activos de alto volumen del tipo distribución. Tras la conclusión exitosa del proceso del proyecto, modelos adicionales fueron desarrollados para las restantes clases de activos. Estos incluyeron la zona de transformadores de la subestación, interruptores de 33 y 66 kV, líneas aéreas y subterráneas de BT, cables de 11kV, 33kV y 66 kV, transformadores de distribución y tablero de distribución.

Antes de la implementación de CBRM, ORION Networks había desarrollado una puntuación semi-cuantitativa basada en un sistema de priorización de la condición. Este trabajo fue un valioso punto de partida para el desarrollo de los modelos del CBRM, ya que muchas consideraciones previas se habían dado a los factores que influyen en la condición y riesgo de los activos. El trabajo anterior también aseguró que gran parte de los datos necesarios para construir modelos del CBRM estaban disponibles y eran de buena calidad.

DESARROLLO DE ÍNDICES DE SALUD EN LOS ACTIVOS

El primer paso en la metodología CBRM es desarrollar un índice de salud para cada activo, representando su condición en relación con la población general. Los índices de salud generalmente se construyen utilizando las siguientes variables clave:

1. **Edad:** La edad real calendario para cada activo.
2. **Vida nominal:** Esto se calcula para cada combinación de marca y el modelo, comenzando con valores industriales censados (ej. evaluación de la vida del activo) y modificando éstos, basados en la experiencia operacional local. La vida nominal representa la vida promedio de servicio por cada tipo de activo, tomando en consideración las condiciones locales de operación.
3. **Ubicación:** Un factor para identificar los activos que están instalados en un ambiente de operación que puede ampliar o reducir la vida nominal. Por ejemplo, la instalación de equipos dentro de un edificio puede extender su vida, mientras que la instalación en un entorno expuesto, puede reducir su vida.
4. **Observación de la condición de activos:** Observaciones físicas que proporcionan la evidencia de la condición real del activo. Esto puede incluir información cuantitativa del monitoreo de condición como la DGA para transformadores o puntuación subjetiva basada en la evaluación de la condición. También son considerados los defectos y antecedentes de rendimiento de los activos.

El desarrollo progresivo del índice de salud utilizando los parámetros antes mencionados, se ilustra en la

Figura 2.

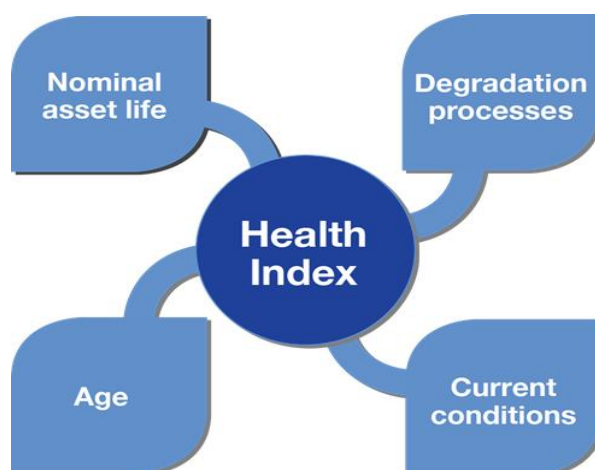


Figura 2. Estructura típica de un índice de salud con CBRM

Ejemplos de los parámetros que se utilizaron para desarrollar índices de salud en transformadores de potencia, se muestran en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Parámetros de entrada del índice de salud

<i>Factor</i>	<i>Descripción</i>
Vida promedio	Vida esperada de un activo en un ambiente y uso promedio.
Factor de confiabilidad	Factor de modificación de vida basado en conocidas y deficiencias en el diseño, o su construcción.
Factor de servicio	Derivado de su uso máximo (demanda máxima/clasificación de datos de placa).
Factor de ubicación	Derivado de la clasificación de corrosión NIWA
Factor de condición	Análisis de diagnósticos de monitoreo y aceite. Historial de mantenimiento y de defectos. Clasificación subjetiva de la condición externa.

En este proyecto, se realizó una innovación al CBRM, incrementando el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para obtener parámetros de riesgo e índice de salud. Como ejemplo, el modelado de datos del grado de corrosión se obtuvo a través de un formato compatible SIG a partir de la organización de investigación del medio ambiente NIWA de Nueva Zelanda. Esto permitió asignar un grado de corrosión ambiental de cada activo basado en su localización en el SIG y cruzando referencia de los dos conjuntos de datos. La información del mapeo de corrosión proporcionada por NIWA puede verse en la **Figura 3** abajo (izquierda).

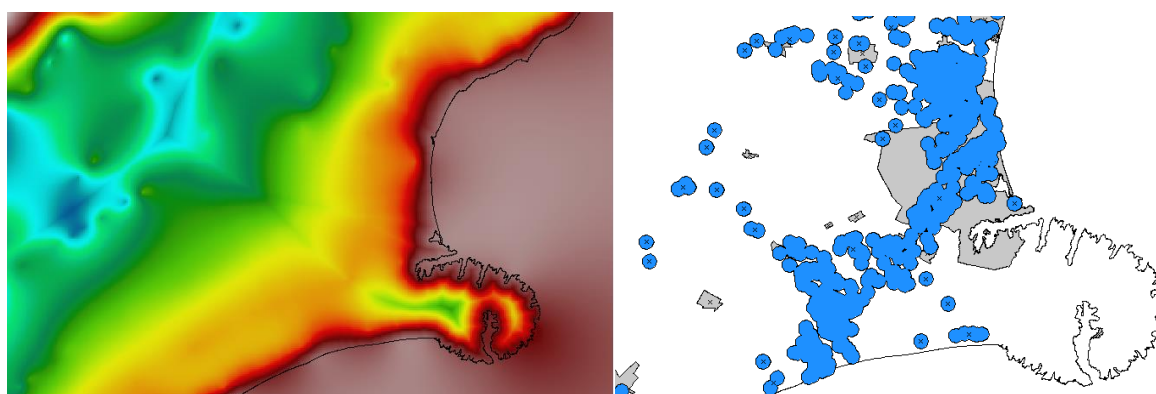


Figura 3. Severidad de corrosión ambiental (izquierda) y el nivel freático (derecha)

Otro ejemplo del uso del SIG para proporcionar información del factor de ubicación del activo fue el uso de datos del nivel freático para identificar las áreas donde los cables subterráneos se sumergen con frecuencia debido a un elevado nivel de la freática. La información del nivel freático fue suministrada por las oficinas del ambiente, Environment Canterbury (ECAN) en forma de mediciones de prueba. Estas fueron amortiguadas usando el Sistema de Información Geográfica (SIG) para generar un mapa estimando las zonas de alto nivel freático y en cuanto a la corrosión, esta información mapeada fue cruzada con los datos de localización de los activos. El mapa derivado del manto freático se puede observar en la **Figura 3** (derecha).

Una característica muy importante de la metodología CBRM, es la capacidad de utilizar información de la degradación para modelar la tasa de deterioro a nivel individual del activo y usar esto para hacer proyecciones a futuro de la salud del activo. Esto es importante para la gestión de activos en la toma de decisiones, lo cual permite modelar la efectividad de diferentes programas de inversión futura.

Se muestra un ejemplo de los datos de salida de los cálculos del índice de salud de los transformadores de potencia de ORION Networks en el 2011, se muestran, tanto para el actual período (año 0) como diez años a futuro (10 años) en la **Figura 4**. El perfil del año 0 muestra que la mayoría de los transformadores tienen un índice general de buena salud (menos de 6,) pero con unas cuantas muestras de los índices de salud altos (más de 6). Comparando los índices de salud contra los planes de reemplazo existentes, mostraron una buena relación con todos los transformadores con altos índices de salud, siendo programados para su reemplazo.

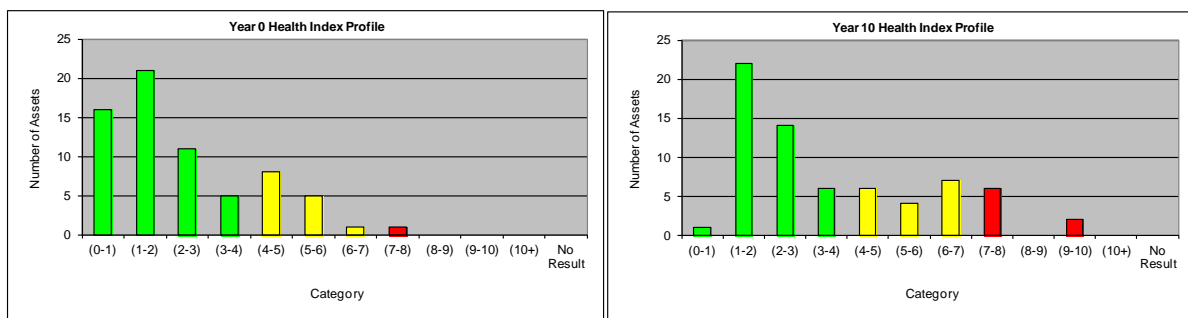


Figura 4. Índice de perfiles de salud para la población de transformadores de potencia de Orion a partir del 2011 (izquierda) y el pronóstico para 2021(derecha)

Figura 4 (derecha) muestra el perfil de índice de salud calculada para la previsión de población de transformadores a 10 años a futuro, bajo un escenario de 'hacer nada' donde no se reemplazan transformadores. Como era de esperar, se predice que la salud general de la población se degradará notablemente. El perfil de índice de salud año 10 puede utilizarse para proporcionar un indicador de los niveles de reemplazo de activos necesarios durante un periodo en los próximos 10 años.

CÁLCULO DE LAS CONSECUENCIAS DE FALLAS

Las consecuencias de falla para cada activo se calculan como un valor monetario en la categoría de rendimiento de la red, seguridad, costo directo y consecuencias ambientales. Consecuencias de una falla en activos individuales, son calculadas para determinar, en primer lugar, las consecuencias promedio para cada categoría de consecuencias y después modificar éstos por factores de criticidad que escalen o reduzcan las consecuencias basadas en la información específica de un activo sobre el contexto operacional. Una descripción detallada del método utilizado para calcular las consecuencias de la falla, puede encontrarse en [3] [4]. Una característica innovadora de este proyecto fue utilizar el SIG para determinar los factores de criticidad. Por ejemplo, la información del Sistema de Información Geográfica (SIG) fue utilizada para determinar si un activo se encuentra en una zona urbana o rural, esta información es basada en la oficina de estadísticas de censo la cual se utilizó para determinar las consecuencias potenciales de seguridad y fallas de activos debido a la alta densidad de su población. Como otro ejemplo de información SIG, fue utilizada para identificar cables subterráneos situados en carreteras de alta densidad y esta información se utilizó para aumentar la duración promedio de interrupción prevista y costos de reparación debido a la necesidad de gestionar las cuestiones de tráfico.

EXTENDIENDO EL CBRM A SISTEMAS SECUNDARIOS DE ACTIVOS

Así como muchas empresas de distribución, ORION tiene una población envejecida de equipos electromecánicos y una primera generación de relés de protección de estado sólido. Ciertos tipos de equipos de estado sólido están presentando un aumento en la falta de confiabilidad mientras que el envejecimiento para el tipo electromecánico también muestra algunos problemas de fiabilidad y son difíciles de soportar. La correcta operación de los relés de protección es de suma importancia tanto para la seguridad pública como para el desempeño de la red, por lo que ORION está implementando programas de actualización para abordar los temas de envejecimiento de relés. Para apoyar la optimización de los programas de actualización de protección previstos, una nueva forma de modelo CBRM fue desarrollada para atender las características únicas asociadas con la evaluación del riesgo asociado al envejecimiento de relés. En el desarrollo de este modelo para los relés de protección, se categorizaron ampliamente en tres generaciones de tecnología:

1. Tipo electromecánico, consta principalmente de mecanismos mecánicos y electromagnéticos para proporcionar funcionalidad al relé.
2. Primera generación del tipo electrónico que replican la funcionalidad de relés electromecánicos usando circuitos electrónicos y algunos microprocesadores digitales.
3. Tipo de autodiagnóstico digitales que implementan la funcionalidad utilizando microprocesadores digitales e incluyen capacidades integrales de auto-prueba.

La experiencia ha demostrado que puede haber grandes diferencias en los índices de falla y relaciones falla/edad, relaciones para varias generaciones de activos de protección [7].

Los relés electromecánicos han demostrado proporcionar una larga vida y un servicio confiable, con una vida útil limitada por el deterioro de los materiales, los cambios en las características de los imanes permanentes o por la penetración de polvo o suciedad. En cambio se han encontrado ciertos tipos de relés electrónicos de primera generación que tienen una vida relativamente corta con un envejecimiento significativo relacionado generalmente con el deterioro de los pequeños componentes electrónicos tales como condensadores electrolíticos. La generación actual de relés digitales de auto-prueba, relativamente nuevos y con menos historial de funcionamiento da un buen servicio. La disponibilidad de sistemas utilizando la actual generación del tipo microprocesador, está significativamente mejorada por la capacidad de auto-monitoreo, lo cual puede alertar al operador de la pérdida de funcionalidad del sistema y tener la capacidad ser restaurado rápidamente.

Una característica clave del modelo de protección del CBRM, fue la introducción del modelado para evaluar el efecto en la confiabilidad del sistema, variando los intervalos de inspección o mantenimiento. Utilizando este modelado, es posible demostrar la mejora en la confiabilidad y los beneficios en la reducción de riesgos asociados con la actualización de los relés de tipo antiguos y relés modernos del tipo microprocesador de auto-prueba.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Los modelados CBRM se han desarrollado para un conjunto integral de activos de la red permitiendo una evaluación detallada de la condición y riesgo de los activos. Los acontecimientos del terremoto de Christ Church han complicado, sin embargo, sustancialmente este análisis debido a los daños causados a los activos por el terremoto, pérdida en la seguridad de la red y cambios sustanciales en la criticidad de los activos debido a cambios en la carga de la red. ORION y EA Technology actualmente están revisando los modelos CBRM para proporcionar una visión post-terremoto del riesgo en la red.

Aunque no se muestran con anteriormente, los modelados del CBRM, tienen la capacidad para calcular perfiles de índice de salud que incluyen planes de inversión futura. De esta forma es posible evaluar el efecto de las inversiones programadas en salud y riesgo del activo. Se muestra un ejemplo de la emisión de este análisis en la **Figura 5** y **Tabla 2** de abajo. La **Figura 5** muestra el índice de salud en el año actual y un pronóstico de 10 años hacia el futuro con 1,5% de la población de activos con el más alto índice de salud, siendo reemplazados cada año. Puede verse que el programa de sustitución se dirige a los activos con más alto índice de salud y mantiene un perfil de índice de salud consistente con la del año 0.

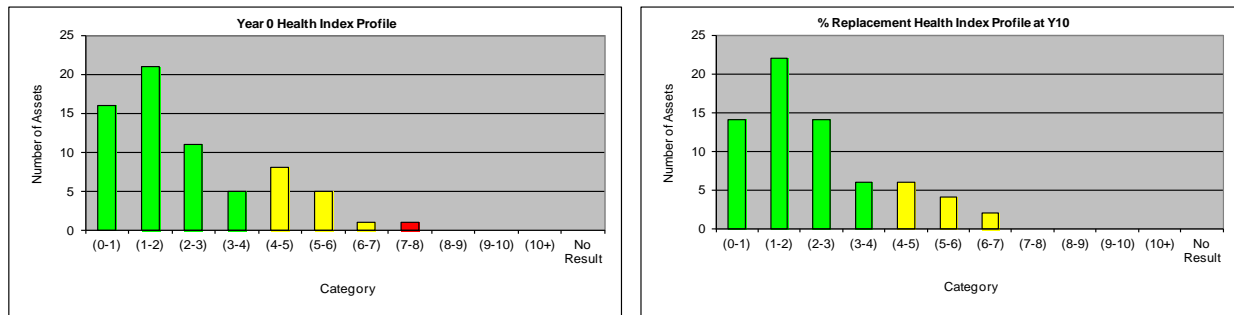


Figura 5 Perfiles de Índice de salud para Transformadores de Potencia para hacerles nada y un escenario de sustitución.

Los cálculos mostrando el riesgo anual asociado a cada escenario se muestran en la **Tabla** abajo. Se puede observar que el 1.5 del programa de sustitución mantiene riesgos a un nivel aproximadamente constante, mientras que la opción de no-inversión sugiere un incremento sustancial. Cabe señalar que los valores de riesgos financieros presentados son conservadoramente bajos y en esta etapa pueden usarse para comparar las opciones de inversión. Esto es debido, principalmente a la presencia de seguridad N-1, que reduce sustancialmente las consecuencias del desempeño de la red por falla de los activos.

Tabla 2. Valores calculados de riesgos anuales para transformadores de potencia en SE de zona

<i>Escenario</i>	<i>Riesgo de rendimiento neto (\$)</i>	<i>Riesgo de seguridad (\$)</i>	<i>Riesgo financiero (\$)</i>	<i>Riesgo ambiental (\$)</i>	<i>Riesgo total (\$)</i>
Perfil de riesgo año 0	207.902	7.901	74.580	4.323	294.705
Perfil de riesgo año 10	318.903	12.728	108.463	7.217	447.310
Año 10, sustitución del 1.5%	225.160	7.493	66.255	4.284	303.193

Una comparación entre el riesgo calculado para el año 0 y el año 10 para todas las clases de activos modelados se muestra en la **Error! Reference source not found.6** abajo:

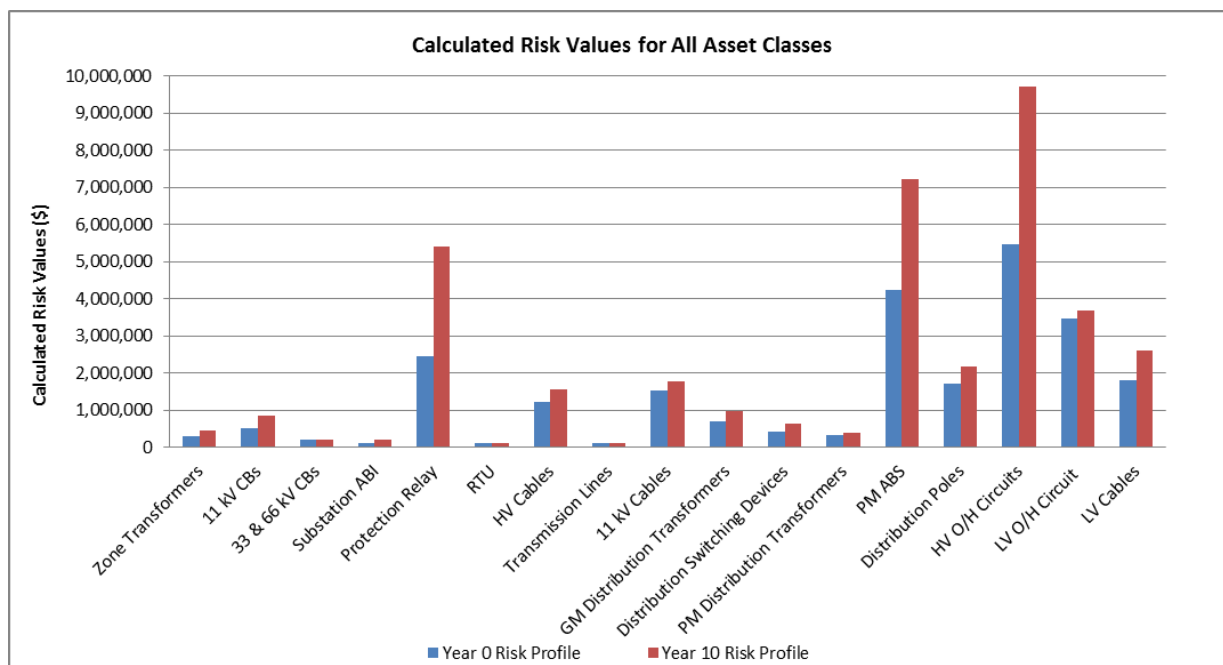


Figura 6 . Riesgo anual calculado para el año 0 y el año 10 en todas las clases de activos modeladas en la red.

La comparación del riesgo para todas las clases de activos que se muestra en la “Error! Reference source not found. es informativo, ya que muestran en primer lugar las clases de activos que representan el mayor riesgo y en segundo lugar, aquellos que mostrarán mayores incrementos de riesgo sobre el periodo de planificación de 10 años. Es notable, que los activos de 11kV y esquemas de protección plantean la mayor oportunidad para la gestión de riesgos.

CONCLUSIONES

Los modelos del CBRM que pueden hacer pronósticos de la condición y riesgo de los activos, fueron diseñados para un conjunto integral de diferentes clases de activos. La aplicación de estos modelos ha sido, sin embargo, obstaculizado por los acontecimientos del terremoto de Christ Church, que ha dado lugar a grandes cambios en la base de activos de ORION. El trabajo está por terminar para actualizar estos modelos con datos post-terremoto, para que estos modelos CBRM provean una herramienta para que ORION gestione el riesgo de la red.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Regulator, Australian Energy, Energex regulatory determination, Melbourne: Australian Energy Regulator, 2007.
- [2] British Standards, PAS 55-1:2008 Part 1, Specification for the optimized management of physical assets, London: British Standards, 2008.
- [3] D. Hughes, "Condition Based Risk Management (CBRM) - Enabling asset condition information to be central to corporate decision making.," in *18th International Conference on Electricity Distribution*, Turin, 2005.
- [4] D. Hughes and P. Barnfather, "Condition Based Risk Management (CBRM) - Bringing excellence in asset management into the boardroom.," in *20th International Conference on Electricity Distribution*, Prague, 2009.
- [5] D. Hughes, P. Barnfather and T. Pears, "Quantifying risk to optimise investment, a realistic prospect?," in *CIREC Workshop*, Lyon, 2012.
- [6] D. Hughes, T. Pears and P. Barnfather, "CBRM a process to link engineering knowledge to investment planning," in *19th International Conference on Electricity Distribution*, Vienna, 2007.
- [7] J. Kumm, M. S. Weber, E. O. Schweitzer and H. Daqing, "Philosophies for testing protective relays," in *48th Annual Georgia Tech Protective Relaying Conference*, Atlanta, 1994.