Evaluación del Costo del Ciclo de Vida en Transformadores

1. Introducción

Como ya sabemos, los transformadores, tanto de potencia como de distribución, son elementos principales en los Sistemas Eléctricos de Potencia.

El desempeño de los transformadores tiene efectos significativos en el estado operativo de la red a la que pertenecen, en relación a la confiabilidad y eficiencia global del sistema.

Todo esto tendrá un notable impacto en los costos, por lo que la concepción, especificación, selección y adquisición de un transformador, serán tareas clave en el logro de los objetivos de la Gestión de Activos de la organización.

Un concepto principal, a tener en cuenta en el proceso de adquisición de un transformador, será el de considerar los costos a lo largo de todo su ciclo de vida, en vez de solamente ponderar el costo inicial del mismo.

En esta metodología de análisis y selección, se combinan criterios técnicos y económicos, siendo fundamental, entre éstos, la evaluación de los costos a la hora de maximizar el valor de uso del transformador, desde el punto de vista de los objetivos financieros en la Gestión de Activos.

Del análisis del Costo del Ciclo de Vida (CCV), se puede obtener, como una primera conclusión, que no necesariamente el trasformador con el precio más bajo de adquisición resulta ser el más económico, a lo largo de su vida útil.

Un objetivo principal de la aplicación del modelo CCV, además de determinar el transformador más económico, será la de apuntalar la Gestión de Activos de la organización, en el sentido de favorecer el balance, en todo momento, entre los costos, los riesgos y el desempeño de la máquina, a lo largo de todo el ciclo de vida.

En el presente trabajo, haremos una descripción conceptual, sin entrar de lleno en los aspectos cuantitativos, de los costos asociados al modelo CCV de un transformador de potencia o distribución.

Dejaremos para otros artículos ahondar en los distintos aspectos y detalles de este modelo de evaluación de costos, el cual resulta fundamental en la gestión integral del ciclo de vida del transformador.

NOVA MIRON
SERVICIOS & TRANSFORMADORES

2. Modelo de los costos del ciclo de vida

El Costo del Ciclo de Vida (CCV) de un transformador es una técnica utilizada para estimar el costo total de la máquina, ya sea a lo largo de todo el ciclo, o bien en diferentes etapas del mismo.

La formalización de este método se puede estructurar en base a considerar que el ciclo de vida de un activo puede dividirse en 6 fases de costos, a saber:

1. Concepción, Definición y Especificación.
2. Diseño y Desarrollo.
3. Fabricación.
4. Transporte, Montaje e Instalación.
5. Operación y Mantenimiento.
6. Renovación/Disposición.

A su vez, teniendo en cuenta esta división del ciclo de vida del activo, se pueden asociar a éstos, 3 grandes categorías de costos. Tendremos:

1. Inversión.
2. Costos de Operación y Mantenimiento.
3. Costos de Disposición/Reciclado.

En tal sentido, podemos establecer que el análisis del Costo del Ciclo de Vida de un transformador es el método, correspondiente al proceso del análisis financiero, cuyo objetivo es el de determinar el costo total de adquisición, el costo de propiedad y el costo de renovación/disposición de este activo.
De lo antedicho, consideramos:

1. <u>Costo total de adquisición</u>

   Comprende a los costos asociados a la etapa de Pre Puesta en Servicio del transformador, agrupando en este concepto a la Concepción, Definición, Especificación, Diseño, Desarrollo, Fabricación, Transporte, Montaje e Instalación.
   Se consideran evidentes y de fácil evaluación en el cálculo.

2. <u>Costo de propiedad</u>

   Representa el componente de mayor peso en el CCV, agrupando a la Operación y Mantenimiento y en algunas ocasiones se incorporan en este ítem los costos derivados de la Instalación.
   Por lo general no son evidentes y se caracterizan por ser de difícil estimación y/o cálculo.

3. <u>Costo de renovación/disposición</u>

   En este ítem se incorporan los costos asociados a la etapa de Fin de la Vida del transformador, es decir los derivados de la Renovación y/o Disposición del mismo.
   Suelen representar una proporción importante en el total del CCV.

Es importante tener en cuenta que los resultados derivados de este análisis, nos permitirá obtener un conjunto de información para la toma de decisiones en la Gestión de Activos y Mantenimiento.
En tal sentido, tendremos:

- Optimizar el diseño del transformador, a través de la evaluación de alternativas y estudios de compromiso, por parte del fabricante del transformador.

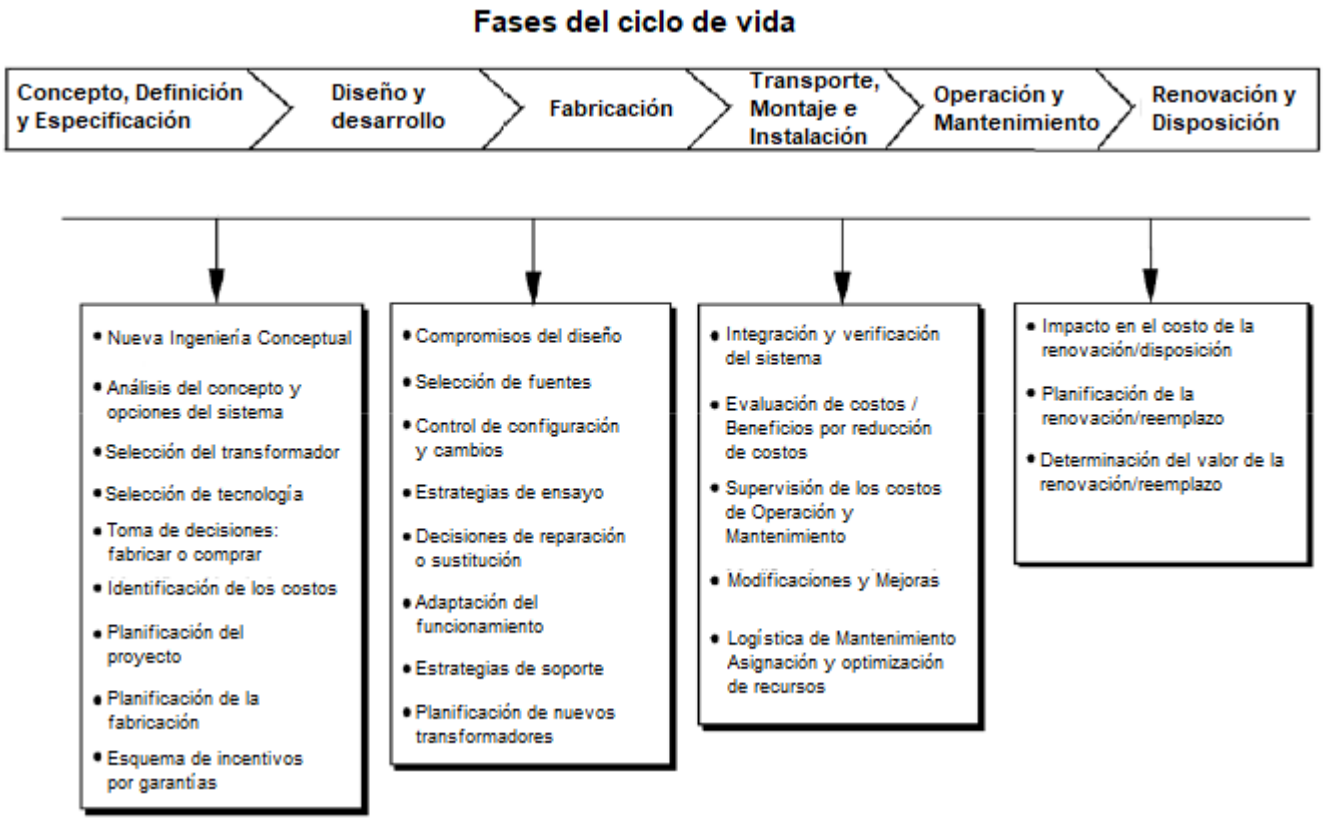
- Obtener información importante para el proceso de toma de decisiones en la fase de especificación, diseño, desarrollo, operación, mantenimiento y disposición del transformador.

- Evaluar distintas tácticas de operación, mantenimiento y disposición, con el fin de optimizar el CCV.

- Aplicar el CCV para determinar los costos asociados con una función específica de la Gestión de Activos.

En la figura N° 1 se destacan las distintas etapas del ciclo de vida del transformador, junto a consideraciones significativas a tener en cuenta en el análisis del CCV.

Figura N° 1



Es importante señalar que, como cualquier otro modelo, el CCV es una representación simplificada y acotada de la realidad.

Para aproximar el modelo CCV a la realidad que representa, se deberá, en principio, cumplir con las siguientes condiciones:

- Representación lo más completa posible de las características del transformador. Se debe incluir en el modelo, el contexto ambiental y el operativo previsto, así como las características y logística del mantenimiento a aplicar y los distintos estados de operación.

- El modelo debe ser lo más completo posible, incorporando todos los componentes relevantes en el análisis de los costos.

- Debe ser simple, entendible y permitir su uso oportuno en el proceso de decisiones de la Gestión de Activos y de Mantenimiento.

- La simplicidad del modelo refiere a la conformación de una estructura contable, basada en formulaciones matemáticas, que permita estimar el costo asociado a cada componente del CCV.

- Debe favorecer los procesos de actualización y modificación del modelo, de forma tal de aproximar su representación a la realidad.

- Debe estar diseñado con el fin que permita una evaluación de componentes del CCV, en forma independiente de otros componentes.

3. Aporte en las decisiones de la Gestión de Activos y Mantenimiento

Complementando lo indicado en el ítem 2, podemos listar, a continuación, un conjunto de aportes derivados del método CCV que permiten sustentar, con fundamentos, la toma de decisiones en la Gestión de Activos en general y en la Gestión de Mantenimiento, en particular.

Es decir:

- Valorar la factibilidad económica y financiera de los proyectos.

- Evaluar y comparar los distintos enfoque alternativos en la fase de diseño.

- Identificar claramente los componentes del costo total.

- Promover, en base al ítem previo, la implementación de mejoras en los costos.

- Evaluar y comparar las distintas tácticas alternativas para la operación, ensayos, inspecciones, mantenimiento del transformador.

- Evaluar y comparar los diferentes enfoques para implementar los procesos de la etapa de Fin de la Vida del transformador (reemplazo, reacondicionado, extensión de la vida, disposición final).

- Valorar con fundamentos, los criterios de garantía del transformador.

- Asignar correctamente los recursos disponibles, entre las distintas prioridades de desarrollo o mejora en el proceso de fabricación del transformador.

- Planificar adecuadamente la financiación del transformador en el largo plazo.

Además, es oportuno resaltar los riesgos e incertidumbres asociados a este método de evaluación y cálculo de costos.

Como ya hemos comentado, el método CCV representa una estimación aproximada de la realidad, es decir, de una apreciación de los costos de adquisición, propiedad y renovación/disposición.

La precisión en los resultados obtenidos dependerá de la disponibilidad y utilización de toda la información relevante del ciclo, así como de las hipótesis introducidas en el establecimiento del modelo.

También influirá, en los riesgos e incertidumbres, la precisión y disponibilidad de los datos utilizados en el proceso de cálculo.

A continuación, podemos enumerar un conjunto de factores a tener en cuenta, al momento de desarrollar el modelo del CCV del transformador y que poseen una influencia directa en los riesgos e incertidumbres obtenidos en los resultados:

- Ausencia de información relevante al inicio del proyecto del ciclo de vida del transformador.

- Uso de estimaciones muy optimistas en el desarrollo del modelo CCV.

- Tasa de inflación no realista o imprevista.

- Ausencia de previsión y/o estimación de la mano de obra involucrada en el proyecto.

- Ausencia de previsión y/o estimación de los costos de materiales y gastos generales.

- Circunstancias políticas (ej. cambios legislativos no previstos).

- Indisponibilidad no tenida en cuenta, como consecuencia de fallas en la instalación en donde estará operando el transformador.

- Acciones imprevisibles (comportamiento humano, eventos de la naturaleza, etc.).

- No ejercer el uso de los últimos datos registrados en el sistema.

- Incorrecta y/o inadecuada trazabilidad de los datos del sistema.

Los anteriores son algunos de los factores a considerar en el conformado del modelo CCV y que sus efectos pueden derivar en la obtención de conclusiones erróneas, llevando así a la toma de decisiones no adecuadas en la Gestión del Ciclo de Vida del transformador.

Tener en cuenta que toda decisión efectuada en las fases de diseño y fabricación del transformador tendrá consecuencias directas sobre el desempeño del mismo, así como de la confiabilidad, mantenibilidad y logística de mantenimiento.

Todo lo anterior llevará a tener un impacto significativo en los costos de adquisición, propiedad y renovación/disposición.

4. Componentes del costo del ciclo de vida

Antes de proceder a detallar los componentes del CCV, debemos aclarar que la aplicación de este método requiere de una comprensión detallada del ciclo de vida del transformador, junto a las actividades a implementar en cada una de sus etapas.

Lo anterior también exige conocer las distintas relaciones entre actividades del ciclo, con el fin de asegurar un correcto desempeño operativo del transformador, así como los aspectos de seguridad, mantenibilidad y otras características del mismo y que en definitiva aportan a los costos del ciclo de vida.

En base a lo visto en el ítem 2, los costos totales, desarrollados en las 6 fases del ciclo de vida de un transformador, se pueden expresar a través de:

$$\mathrm{CCV} = \mathrm{Cad} + \mathrm{Cpr} + \mathrm{Crd}$$

Siendo:

CCV = Costo del Ciclo de Vida del transformador ($).
Cad = Costo de adquisición ($).
Cpr = Costo de propiedad ($).
Crd = Costo de renovación y/o disposición ($).

La expresión anterior la podemos extender, atendiendo a los componentes de cada término:

$$\mathrm{CCV} = \mathrm{Cce} + \mathrm{Cdd} + \mathrm{Cf} + \mathrm{Ctm} + \mathrm{Com} + \mathrm{Crd}$$

En donde:

Cce = Costo de las fases de concepción, definición y especificación del transformador ($).
Cdd = Costo de las fases de diseño y desarrollo del proyecto del transformador ($).
Cf = Costo de la fase de fabricación del transformador ($).
Ctm = Costo de las fases de transporte, montaje e instalación del transformador ($).
Com = Costos de las fases de operación y mantenimiento del transformador ($).
Crd = Costo de las fases de renovación y disposición del transformador ($).

Podemos decir que, el <u>transformador óptimo</u>, en un conjunto de alternativas dado, será aquel que minimiza la función CCV.

Con el fin de dar una aproximación al desarrollo y aplicación del modelo CCV, vamos a especificar el costo de mayor peso en la evaluación a lo largo de todo el ciclo de vida del transformador, el cual corresponde al <u>costo de propiedad</u>.

Dejaremos para otro artículo la descripción en detalle de los otros costos del modelo, en especial el asociado a las regulaciones y restricciones ambientales.

Retomando, tendremos que el costo de propiedad, en esta versión simplificada del modelo, se puede asignar al costo de operación y mantenimiento del transformador.

Dentro de este costo, las componentes que vamos a describir con mayor detalle son las que refieren a los costos derivados de las pérdidas totales. Es decir:

$$\mathrm{Cpt} = \mathrm{Cpv} + \mathrm{Cpc}$$

Siendo:

Cpt = Costo por pérdidas totales del transformador ($).
Cpv = Costo por pérdidas en vacío del transformador ($).
Cpc = Costo por pérdidas en carga del transformador ($).

Además:

$$\mathrm{Cpt} = \mathrm{a\ P0} + \mathrm{b\ Pc}$$

P0 = Pérdidas en vacío del transformador, certificada por el fabricante (W).
Pc = Pérdidas en carga del transformador, certificada por el fabricante (W).
a = Costo específico equivalente de las pérdidas en vacío ($/W).
b = Costo específico equivalente de las pérdidas en carga ($/W).

$$\mathrm{a} = \frac{\mathrm{k + Cel\ Fdt\ ha}}{\mathrm{Frc}}$$

$$\mathrm{b} = \frac{\mathrm{k + Cel\ Fpc\ ha}}{\mathrm{Frc}}$$

k = Costo específico anual de inversión en el SEP (generación + transmisión + distribución) ($/W).
Cel = Costo del suministro eléctrico ($/kWh).
Fdt = Factor de disponibilidad del transformador = proporción de tiempo en el que se estima que el transformador estará energizado en el año.
Fpc = Factor de pérdida de carga = carga media sobre el transformador, a lo largo de su vida esperada. Se representa en porcentual de la potencia nominal del transformador.
Frc = Factor de recuperación del capital. El cual se calcula con la siguiente expresión:

$$\mathrm{Frc} = \frac{\mathrm{i}\,(1+\mathrm{i})^{\mathrm{tuv}}}{(1+\mathrm{i})^{\mathrm{tuv}} - 1}$$

i = tasa de interés.

tuv = vida útil del transformador (años).

Para finalizar esta introducción conceptual a los componentes del CCV, a continuación listamos los pasos a seguir para conformar la efectiva modelización:

- Desarrollar la estructura de desglose de los costos.
- Desarrollar la estructura de desglose del transformador.
- Establecer una selección de categorías de los costos.
- Establecer una selección de los elementos de los costos.
- Proceder a la estimación de los costos.
- Incorporar en el modelo las obligaciones de seguridad y de medio ambiente.
- Incorporar en el modelo las incertidumbres y los riesgos en la gestión del ciclo de vida del transformador.
- Incorporar un análisis de sensibilidad, con el fin de detectar los componentes de mayor impacto.
- Presentación de los resultados.

5. Relación del CCV con la confiabilidad del transformador

En este ítem vamos a realizar una breve descripción de los fundamentos de la relación entre el CCV y la confiabilidad del transformador.

Dejaremos para un artículo posterior, un detalle de los aspectos significativos de esta relación.

La confiabilidad de un transformador es un concepto de Operación y Mantenimiento que se utiliza fundamentalmente para describir la disponibilidad operativa de la máquina, así como los factores de influencia.

Los factores de influencia refieren a la fiabilidad, mantenibilidad y logística del mantenimiento del transformador, a lo largo de toda la etapa de Vida Esperada del ciclo.

La forma en cómo se relacionan estos parámetros con el CCV está íntimamente ligada con el desempeño del transformador.

Es decir, por ejemplo podemos establecer que a un mayor costo inicial del transformador (mayor costo de adquisición), resultará en una mejora efectiva de la fiabilidad y mantenibilidad de la misma, ya que aumentará el valor en las etapas de Pre Puesta en Servicio del ciclo (mayor calidad de los materiales, mejor proceso de fabricación, etc.).

Lo anterior, llevará a un consecuente aumento de la disponibilidad del transformador, con menores costos asociados en las fases de Operación y Mantenimiento.

Los costos asignables a la confiabilidad operativa del transformador, pueden clasificarse de la siguiente forma:

a) Costos relativos a la confiabilidad

- Costo de restablecimiento del sistema. Se incluye en este ítem el costo de Mantenimiento Correctivo del transformador.

- Costo del Mantenimiento Preventivo.

- Costo de inversión del soporte logístico.

- Costo de las consecuencias. Esta componente se encuentra asociada al daño ocasionado en la imagen o reputación de la organización por la falta de disponibilidad del transformador. También incluye la pérdida por ingresos, falta de provisión de servicios, etc.

b) Costos de garantía

Representa los gastos asociados a la corrección de las fallas del transformador, en especial en las primeras fases de operación.
Estos costos poseen una dependencia con la fiabilidad, mantenibilidad y la logística de mantenimiento del transformador.
La garantía se aplica por un período de tiempo limitado y con un conjunto de condiciones asociadas, en donde raramente se incorpora la protección contra los costos incurridos por el dueño del transformador, ante la indisponibilidad del mismo.

c) Costos de responsabilidad

Este costo contempla el caso en que el proveedor del transformador deje de cumplir con las obligaciones legales, representando así una compensación por incumplimiento.
En forma general y desde el punto de vista de la Gestión de Activos, este costo adquiere especial relevancia cuando se trata de activos que poseen una alta capacidad de daño a las personas y/o al medio ambiente.

6. Conclusiones

- El objetivo principal del método CCV es el de determinar el transformador económicamente óptimo, entre un conjunto de alternativas para una dada aplicación, que si bien puede tener asignado un costo de adquisición mayor que las alternativas, puede resultar significativamente más económico al considerar todo el ciclo de vida.

- El cálculo del CCV resulta muy efectivo en su aplicación en la etapa inicial de la fase de especificación/diseño del transformador, ya que permite optimizarlos.

- El CCV es deseable que se integre plenamente en los procesos inherentes de la etapa de especificación/diseño del transformador, de forma tal de optimizar las características de funcionamiento de la máquina, así como de los costos asociados.

- El CCV también permite la actualización de los valores obtenidos en etapas previas y aplicarse en las etapas posteriores del ciclo de vida del transformador, con el objetivo de identificar riesgos en la gestión.

- El área de Gestión de Mantenimiento se puede beneficiar ampliamente con el análisis CCV, ya que esta técnica permite establecer un presupuesto de mantenimiento óptimo y mejorado, a lo largo de la etapa de Vida Esperada del transformador.

- Otro beneficio inmediato es el de proveer al fabricante de los medios técnicos que permitan la mejora y optimización en el diseño y fabricación del transformador.

- La confiabilidad operativa del transformador se encuentra estrechamente ligada con el modelo CCV. Por tal motivo, los aspectos inherentes a la confiabilidad deberán integrarse en el proceso de diseño, especificación, fabricación y análisis del CCV, con el fin de alcanzar la optimización de todas estas fases del ciclo.

NOVA MIRON
SERVICIOS & TRANSFORMADORES

- Las garantías pueden completarse o cambiarse por los denominados “contratos de servicio”. En estos contratos, el fabricante del transformador se compromete a realizar todo el mantenimiento correctivo y preventivo, durante un período de tiempo establecido, o bien hasta el Fin de la Vida de la máquina.

- De lo anterior, se desprende que de esta forma se motiva al fabricante a entregar un transformador con un nivel óptimo de fiabilidad y mantenibilidad, si bien a un costo mayor de adquisición, pero con un resultado menor en el CCV.

- Ante un modelo CCV ya existente, siempre será conveniente validarlo antes de su aplicación en el análisis de los costos del transformador (procesos de actualización y mejora). A tal fin, se recomienda utilizar parámetros referenciales de casos conocidos, en conjunción con los datos del contexto operativo y ambiental del transformador, de forma tal de avalar el grado en que el modelo representa la realidad.

- Con el objetivo de favorecer el seguimiento y la toma de decisiones en la Gestión de Activos, la información de los costos deberá registrarse siguiendo el lineamiento establecido en la estructura de desglose, definida en el modelo CCV.

- El Análisis de Sensibilidad refiere a la identificación de los componentes significativos de los costos, que promuevan un impacto apreciable en el valor final del CCV. Se basa en la variación de los datos del modelo y la comparación con la variación final del resultado.

Ingenieria Nova Mirón S.A.