



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Evaluación financiera de la adquisición de equipos de mediana potencia en transmisión y distribución en el sector eléctrico colombiano

Johan Sebastian Higueta Higueta

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Minas, Departamento de Ciencias de la Computación y la Decisión
Medellín, Colombia

2018

Evaluación financiera de la adquisición de equipos de mediana potencia en transmisión y distribución en el sector eléctrico colombiano

Johan Sebastian Higueta Higueta

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ingeniería – Sistemas Energéticos

Director (a):

Ph.D., Juan David Velásquez Henao

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Minas, Departamento de Ciencias de la Computación y la Decisión

Medellín, Colombia

2018

A mis abuelos, Carmen y Andrés

Agradecimientos

Al profesor Juan David Velásquez Henao, por su acompañamiento y asesoría en el desarrollo del trabajo.

A mis compañeros por el apoyo y por compartir de sus conceptos e información para el entendimiento y desarrollo del tema propuesto.

Resumen

El negocio de transmisión y distribución de electricidad demandan de grandes inversiones, entre ellas, la adquisición de activos para la expansión y reposición de la infraestructura, la cual se debe evaluar y realizar según los términos definidos en la metodología para la remuneración de la actividad. Por tanto, en adelante se presenta una revisión de la Resolución CREG 015 de 2018, la cual permite determinar los aspectos y variables macroeconómicas que deben ser tenidos en cuenta en el análisis financiero (tradicional o de opciones reales) para la toma de decisiones durante la adquisición de activos y la intervención de la infraestructura de distribución y transmisión propia del STR. Así mismo, se presenta de manera general, el concepto de opciones reales y los tipos que se considera apoyan de la evaluación de las inversiones de transmisión y distribución según sus características de irreversibilidad y costos hundidos. Finalmente, tomando las disposiciones y variables identificadas en la resolución y el mercado, se realiza el análisis financiero para la adquisición de un transformador de mediana potencia, como un caso de aplicación, utilizando el VPN y conceptos de opciones reales.

Palabras clave: opciones reales, VPN, inversión, transmisión y distribución

Abstract

Electricity transmission and distribution business need a big investments, one of those is the acquisition of assets to expansion and replacement of infraestructure, evaluated and carried out according to methodology for remuneration of the activity. Therefore, a revision of CREG regulation is presented, which allows to establish the key aspects and macroeconomic variables that are require to financial analysis (traditional or real option) for decision making during the adquisicion of assets and intervention of de distribution and transmission infraestructure. Moreover, the concept of real options and the types options that are considered support the evaluation of transmission and distribution investments according of their characteristics of irreversibility and sunk costs. Finally, taking the dispositions and variables identified in the regulation and the market, a financial analysis is performed for the acquisition of a medium power transformer, as an application case, using the NPV and real options concepts.

Keywords: real options, NPV, investments, transmission and distribution

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Abstract	X
Lista de figuras	XII
Lista de tablas	XIII
Lista de Símbolos y abreviaturas	XIV
Introducción	1
1. Remuneración de las inversiones en el negocio de transmisión y distribución de energía en Colombia	5
1.1 Mercado eléctrico colombiano	5
1.2 Esquema de remuneración	6
2. Metodologías para la evaluación de inversiones	10
2.1 Metodologías tradicionales para la evaluación de inversiones	10
2.2 Método de opciones reales en la evaluación de adquisición de activos.....	11
2.2.1 Métodos para la evaluación de opciones reales.....	14
2.2.2 Volatilidad	15
2.2.3 Pasos para la evaluación de adquisición de activos	17
3. Adquisición de transformadores de mediana potencia	19
4. Conclusiones y recomendaciones	31
4.1 Conclusiones.....	31
4.2 Recomendaciones.....	32
Bibliografía	35

Lista de figuras

	Pág.
Figura 2.1: Volatilidad y comportamiento en un árbol binomial, modificado [18].....	15
Figura 3.1: Flujo de caja libre – Cálculo VPN	21
Figura 3.2: Distribución de probabilidad de la TRM	23
Figura 3.3: Distribución de probabilidad del VPN	27

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1: Evolución de la tasa de retorno [8, 12].....	7
Tabla 1-2: Vida útil reconocida para los activos por nivel de tensión [12]	8
Tabla 2-1: Clasificación de las opciones reales, considerando lo presentado en [2].....	13
Tabla 2-2: Variables que requeridas para evaluar una opción financiera / opción real [15][17].....	14
Tabla 3-1: Resultado análisis de la inversión por VPN	22
Tabla 3-2: Datos históricos y volatilidad de la TRM	23
Tabla 3-3: Valor de un transformador de 7.5 MVA 44/13.2 kV	24
Tabla 3-4: Datos históricos y volatilidad del IPP	24
Tabla 3-5: Escenarios VPN – Alternativa 1 para la adquisición de transformador.....	25
Tabla 3-6: Escenarios VPN – Alternativa 2 para la adquisición de transformador.....	26
Tabla 3-7: Análisis opción diferir 1 año, alternativa 1 y 2	28
Tabla 3-8: Análisis opción diferir 2 años, alternativa 1 y 2	28
Tabla 3-9: Análisis opción diferir 3 años, alternativa 1 y 2	29
Tabla 3-10: Análisis opción diferir 4 años, alternativa 2	29

Lista de Símbolos y abreviaturas

Abreviaturas

Abreviatura	Término
<i>CAPEX</i>	Costos de Capital
<i>OPEX</i>	Costos Operacionales
<i>Ley 142</i>	Ley de Servicios Públicos Domiciliarios
<i>Ley 143</i>	Régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad
<i>STN</i>	Sistema de Transmisión Nacional
<i>STR</i>	Sistema de Transmisión Regional
<i>SDL</i>	Sistema de Distribución Local
<i>CREG</i>	Comisión de Regulación de Energía y Gas
<i>SSPD</i>	Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios
<i>IPP</i>	Índice de precios del productor
<i>AOM</i>	Administración, Operación y Mantenimiento
<i>TCO</i>	Total Cost of Ownership
<i>VPN</i>	Valor Presente Neto
<i>TIR</i>	Tasa Interna de Retorno
<i>WACC</i>	Weighted Average Cost of Capital
<i>NT</i>	Nivel de tensión

Introducción

El sector eléctrico colombiano está enmarcado dentro de un mercado mayorista competitivo, el cual se logró con la reforma eléctrica implantada con las Leyes 142 y 143 de 1994, con el fin de lograr la eficiencia en la prestación del servicio de electricidad y la libre entrada a los agentes interesados en prestarlo [1]. En este mercado participan diferentes agentes, que tienen a cargo el desarrollo de las actividades de los negocios de generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía. De manera puntual, se encuentra que la transmisión y distribución son monopolios naturales, cuyas actividades están reguladas por el gobierno a través de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), entidad que regula el uso de las redes de transporte, para garantizar el libre acceso de los agentes y además, establece las reglas para la remuneración de actividades e inversiones durante cada periodo tarifario [1]. Frente a ello, las empresas prestadoras de servicios u operadores de red (OR) deben vigilar sus inversiones y determinar la viabilidad de realizar las mismas, considerando las señales dadas por la CREG en cuanto la obtención de niveles de gastos eficientes y una reposición adecuada de la infraestructura.

En transmisión y Distribución, las nuevas inversiones se definen a partir de las condiciones de operación de sus activos y los planes de expansión de sus redes e instalaciones generales, por lo tanto, es en ese momento en cual los diferentes inversionistas enfrentan un alto costo en sus procesos de adquisición de equipos, lo cual representa un problema mayor por el valor de las inversiones y la imposibilidad de revertirlas una vez se han

ejecutado. Adicionalmente, en las instancias de decisión, se identifica que las inversiones se ven afectadas por otros aspectos, tales como las alternativas tecnológicas que ofrece el medio [2], la imposibilidad de hacer pilotos, economías de escala asociadas, baja adaptabilidad, uso de capital intensivo, opción de diferir la inversión y la exposición a importantes y elevadas incertidumbres de largo plazo que afectan el desempeño de las mismas y que, definen su factibilidad técnico-económica [3][4]. De esa manera, la evaluación de inversiones estratégicas y con las características mencionadas, demanda de la utilización de nuevas metodologías para determinar las decisiones que deben ser tomadas en la adquisición y reemplazo de equipos, dado que no es posible aplicar de manera directa los métodos tradicionales de evaluación financiera de inversiones de la ingeniería económica, por limitaciones propias que conllevan a una solución alejada respecto a lo requerido.

Actualmente y en la práctica real, se identifica que los inversionistas tienen un uso arraigado del método valor presente neto (VPN) o flujo de caja descontado (FCD) para la evaluación de sus inversiones, el cual, últimamente ha sido utilizado de manera complementaria con el conocido costo total de propiedad (TCO), con el objetivo de considerar dentro de la evaluación financiera el capex, el opex y la cuantificación económica de aspectos técnicos que representan una diferenciación entre las opciones de solución, configurándose dicho conjunto como el factor de decisión cuando se tienen diferentes alternativas de inversión. No obstante, el VPN ha mostrado ser deficiente en diferentes aspectos [5], entre ellos se encuentra que el método no valora la flexibilidad estratégica de una alternativa de inversión, la cual permite un manejo activo del riesgo y enfrentar eficientemente las incertidumbres presentes en los mercados eléctricos [3].

De acuerdo con la literatura moderna sobre la evaluación de inversiones, se reconoce el análisis de opciones reales como una herramienta avanzada para la evaluación de proyectos de inversión irreversibles que no se limita a determinar el momento óptimo para invertir [3], sino que plantea flexibilidad de gestión en la toma de decisiones a medida que se superan las incertidumbres con la información que se va recopilando [6], aportando con ello oportunidad en las diferentes decisiones de inversión [5], además de permitir adaptaciones de la inversión frente a sucesos inesperados.

Cuando se trata de la aplicación de nuevos modelos para el análisis de inversiones en el sector eléctrico y de manera concreta, en la transmisión y distribución de electricidad, se encuentra escaso desarrollo de metodologías para la evaluación de inversiones y por consiguiente, refleja la necesidad de disponer de metodologías como el análisis de opciones reales, que permitan evaluar y cuantificar las incertidumbres que exhiben las variables existentes en los mercados eléctricos y que impactan el desempeño de las inversiones de dichos negocios [2]. En ese sentido, a partir de algunos análisis se ha identificado el gran potencial que tiene la aplicación de las opciones reales en sistemas de transporte, destacándose el uso del método de Monte Carlo y el modelo del árbol binomial como métodos de evaluación de opciones en el análisis de inversiones en dicho sector [2].

Este trabajo comprenderá el desarrollo de tres capítulos. En el Capítulo 1 se analizará la remuneración en el negocio de transmisión y distribución de energía en Colombia, desde el punto de vista del inversionista. El Capítulo 2 presentará la aproximación metodológica para la evaluación de inversiones bajo opciones reales, considerando el riesgo de incertidumbre y, por último, el Capítulo 3 estará dedicado a un caso de aplicación en el sector eléctrico colombiano. Cada uno de los capítulos se desarrollará para cubrir los objetivos propuestos:

1. Discutir el esquema de la remuneración de las inversiones en el negocio de transmisión y distribución energía en Colombia, para la identificación de las variables que intervienen en la valoración de las inversiones.
2. Presentar una aproximación metodológica para la evaluación de inversiones bajo riesgos de incertidumbre, en el negocio de transmisión y distribución de energía en Colombia, a partir de los resultados obtenidos en el objetivo específico 1.
3. Desarrollar un caso de aplicación de la metodología en el sector eléctrico colombiano.

1. Remuneración de las inversiones en el negocio de transmisión y distribución de energía en Colombia

1.1 Mercado eléctrico colombiano

Con la promulgación de las Leyes 142 y 143 de 1994 quedó implantada la reforma eléctrica que separó las actividades requeridas para la prestación del servicio de electricidad, así como las disposiciones que regulan el sector eléctrico colombiano dentro de un mercado mayorista competitivo, con el fin de lograr la eficiencia técnica y económica en la prestación del servicio y la libre participación a los agentes interesados en prestarlo [1], por medio del desarrollo de las actividades propias de los negocios de generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía.

De manera puntual, la transmisión y distribución consisten en el transporte de energía eléctrica a través de una infraestructura agrupada en líneas, subestaciones y módulos de conexión, que según el nivel de tensión de operación son clasificados como parte del STN, STR o SDL. Además, por sus características de funcionamiento y la disposición de la infraestructura en cuanto a su acceso, son monopolios naturales, cuyas actividades están reguladas y controladas por el gobierno a través de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) y la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD).

En consecuencia, dadas las características de monopolio natural de la transmisión y distribución de electricidad, la CREG como autoridad regulatoria del sector energético colombiano, establece las reglas que regulan el uso de las redes e instalaciones eléctricas requeridas para el transporte de la electricidad, buscando con ello, garantizar el libre acceso de los diferentes agentes y asegurar la prestación del servicio en condiciones

adecuadas de calidad, oportunidad y costos [1]. Por tanto, es por medio de las disposiciones regulatorias o resoluciones que la CREG establece las reglas para la remuneración de estas actividades y las inversiones que los agentes requieren llevar a cabo durante un periodo tarifario [1], garantizando que *“Los cargos asociados con el acceso y uso de las redes del sistema interconectado nacional cubrirán, en condiciones óptimas de gestión, los costos de inversión de las redes de interconexión, transmisión y distribución, según los diferentes niveles de tensión, incluido el costo de oportunidad de capital, de administración, operación y mantenimiento”* de acuerdo con lo establecido en el Artículo 39 de la Ley 143 [7].

1.2 Esquema de remuneración

De acuerdo con las facultades conferidas en el Artículo 10 del Decreto 2119 de 1992 [1], la CREG de manera continua está vigilando y evaluando el desempeño de las actividades realizadas por todos los agentes que participan en el Mercado Eléctrico Colombiano. Como consecuencia de ello y dada la caducidad del periodo tarifario 2010-2015, la Comisión adelantó en los últimos 3 años una revisión de la metodología para la remuneración de los negocios de transmisión y distribución y como resultado de ello, en la Resolución 015 de 2018 – la cual regula la remuneración de las inversiones en transmisión y distribución a cargo de los OR – incluyó cambios estructurales en la metodología, con los cuales busca que los agentes fortalezcan las acciones orientadas a la reposición de la infraestructura existente, la utilización de nuevas tecnologías, el mejoramiento de la confiabilidad, la calidad del servicio y la reducción de las pérdidas. Lo anterior, sin descuidar la estabilidad y la adecuada remuneración de las inversiones realizadas, al valorar la coherencia que esta debe tener con la inversión, la tasa de remuneración, los gastos de AOM y en general, con la definición de costos y gastos eficientes [8].

El cambio de mayor impacto en la remuneración de las inversiones viene dado por el paso de un modelo de costo de reposición a nuevo (VNR) a uno de costo de reposición depreciado (CRD), acompañado de la aplicación homogénea del instrumento regulatorio en los 4 niveles de tensión, de acuerdo con un modelo de ingreso máximo [8, 9], bajo los

cuales se reconoce una rentabilidad y la recuperación de capital sobre la base regulatoria de activos [8]. En ese sentido, las empresas deben definir las inversiones a realizar durante cada año del periodo tarifario, considerando las mejores alternativas de inversión, por medio de plan de inversión de mediano plazo, que según la CREG tiene por objetivo la adquisición y puesta en operación de activos para la expansión del sistema, la reposición de la infraestructura existente, mejoras en la calidad del servicio, reducción de pérdidas de energía e incorporación de nuevas tecnologías [8].

Ahora bien, con la revisión y actualización de la metodología de remuneración llega la actualización de otras variables y aspectos como la tasa de retorno y los valores de reconocimiento, que impactan la evaluación de las inversiones. De ahí que las empresas prestadoras de servicios u operadores de red (OR) deben vigilar sus inversiones y determinar la viabilidad de realizar las mismas, considerando las señales dadas por la CREG en cuanto la obtención de niveles de gastos eficientes y una reposición adecuada de la infraestructura, a partir del entendimiento de las variables que deben ser consideradas según lo dispuesto en las regulaciones expedidas para el desarrollo de las inversiones, así como de los riesgos de incertidumbre que se pueden materializar en la adquisición de los activos. Por consiguiente, de la revisión del esquema de remuneración, se identifica que las empresas deben considerar en la valoración de sus inversiones las siguientes disposiciones y variables, con el objetivo de que exista coherencia entre las alternativas de inversión y los valores de reconocimiento vigentes:

- La tasa de retorno corresponde al WACC calculado de acuerdo con lo definido en la Metodología CREG 095 de 2015, siendo de 12.4% para el año 2018 y 11.8% para los 4 años restantes del periodo regulatorio 2018-2022 [9, 10], es decir, que los valores se conservarán durante todo el periodo tarifario para el cálculo de los cargos requeridos en las dichas actividades [11]. No obstante, es importante vigilar los cambios que para esta se puedan dar en los próximos periodos regulatorios, por actualizaciones de la metodología para la remuneración de las inversiones.

Tabla 1-1: Evolución de la tasa de retorno [8, 12]

	CREG 099-1997	CREG 082-2002	CREG 097-2008	CREG 095-2018
Tasa de retorno	9 %	14.06 – 16.06 %	13 – 13.9 %	12.4 – 11.8 %

- La tasa libre de riesgo promedio considera por la CREG para el cálculo de la tasa de retorno es igual a 2.3262% [10].
- Los costos y gastos están referidos al momento de aprobación de la resolución, actualizados al mes de diciembre del año anterior al del cálculo, por lo tanto, deben ser indexados con el IPP, según el año de análisis [8]. Los valores de reconocimiento son indispensables para realizar las comparaciones con las diferentes alternativas de inversión, pues son los valores máximos sobre los cuales se reconoce una rentabilidad sobre las inversiones y la recuperación de capital de dispuesto para las mismas.
- La resolución propone una depreciación regulatoria lineal para todos los activos, a partir de la vida útil reconocida [8], según los niveles de tensión (Ver **Tabla 1-2**).

Tabla 1-2: Vida útil reconocida para los activos por nivel de tensión [12]

Descripción del activo	VU _{NT1}	VU _{NT2}	VU _{NT3}	VU _{NT4}
Transformadores de potencia	-	-	35	35
Compensaciones	-	35	35	35
Bahías y celdas	-	35	35	35
Equipos de control y comunicaciones	-	10	10	10
Equipos de subestación	-	35	35	35
Líneas aéreas	-	45	45	45
Líneas subterráneas	-	45	45	45
Transformadores de distribución	25	-	-	-
Redes de distribución	35	-	-	-

- En las revisiones tarifarias y a partir de la información aportada por las empresas, la CREG ha encontrado que el valor de los activos está relacionado y depende de factores macroeconómicos como la tasa de cambio, el precio de los materiales y de los productos básicos utilizados como el aluminio y el acero, de las políticas de compras de las empresas, entre otros. Por tanto, las empresas deben considerar el manejo de externalidades, además de las mencionadas, aquellas de carácter tecnológico y ambiental [8].
- Las inversiones en tecnología deben considerar el criterio de adaptabilidad establecido en la Ley 143 de 1994, por lo tanto, estas inversiones deben aportar una mayor calidad y eficiencia en la prestación del servicio, con un menor costo económico [8].

- El plan de inversión debe elaborarse incluyendo la identificación y valoración de los beneficios esperados y los costos asociados, teniendo presente que los proyectos deben garantizar una relación beneficio – costo mayor a uno, además de garantizar costos eficientes para la prestación del servicio en el mediano y largo plazo [8].
- Las empresas podrán incorporar nuevas tecnologías a partir de la presentación de proyectos de inversión que no superen el 10% del total del plan de inversiones. Para ello debe evaluar los costos y beneficios estimados, puesto que con la implementación de éstas se busca mejorar las condiciones de la infraestructura en aspectos como reducción de costos de operación y mantenimiento, optimizar la operación del sistema, reducción de pérdidas, entre otros [8].
- La remuneración para el periodo 2018-2022 estará regida por un modelo regulatorio de ingreso máximo, condición que reduce la incertidumbre frente al comportamiento de la demanda.

Considerando las disposiciones regulatorias y las condiciones del mercado, los inversionistas requieren de metodología que les permita integrar cada una de ellas y por consiguiente, poder llevar a cabo evaluaciones financieras para analizar diferentes alternativas de inversión, considerando aspectos técnico-económicos, para garantizar la recuperación de los costos de inversión y sus gastos de administración, operación y mantenimiento asociados, incluyendo la implementación de nuevas tecnologías y las incertidumbres asociadas.

2. Metodologías para la evaluación de inversiones

2.1 Metodologías tradicionales para la evaluación de inversiones

Los proyectos de inversión de capital se ejecutarán siempre que estos garanticen una rentabilidad, la recuperación del capital y por consiguiente, un ajuste a los resultados esperados o expectativas del inversionista. En consecuencia, para determinar si las inversiones generan valor para los organizaciones o cualquier otra figura que las ejecute, es necesario adelantar análisis financieros que den cuenta de la conveniencia a partir de la consideración de factores como la cantidad de dinero disponible, procedencia y costo de los recursos, la tasa de retorno, los riesgos que corre el proyecto en relación con otras alternativas de inversión, el propósito del proyecto (ejecución obligatoria u optativa), tipo de organización que ejecuta el proyecto (pública o privada) y la repercusión de cada una de las características mencionadas en el valor de las tasas de rentabilidad, puesto que son más bajas cuando se trata de proyectos públicos o gubernamentales [13] y en aquellos cuyas decisiones de alguna manera están reguladas, como en el caso de las empresas prestadoras de servicios públicos.

Entre las metodologías clásicas utilizadas para realizar las evaluaciones financieras, se encuentra la tasa interna de retorno (TIR), el método del valor anual y el valor presente neto (VPN), todos basados en el flujo de caja descontado (FCD). Entre ellos se identifica que, el VPN es un método que se ha utilizado de manera ampliada y complementaria, de un lado para realizar el análisis de alternativas y escenarios a partir del comportamiento pronosticado de algunas variables macroeconómicas y por el otro, utilizando el conocido costo total de propiedad (TCO) o el enfoque TOTEX [8], para considerar dentro de la

evaluación financiera el CAPEX, el OPEX y la cuantificación económica de aspectos técnicos que permite diferenciar las alternativas de solución y analizar los costos totales de la inversión con el objetivo de lograr eficiencias [8].

No obstante, dada la facilidad para la implementación de la TIR, el VPN y el FCD en la evaluación de inversiones - cuando se tienen condiciones establecidas e incertidumbre escasa o nula - se encuentra que el método a su vez es un criterio rígido, donde los planes de inversión no se modifican y por tanto, dada la irreversibilidad y la incertidumbre a las cuales se ven sometidas muchas de las inversiones, este no permite evaluar en el momento del análisis los cambios futuros en el entorno de las inversiones y el ambiente económico, es decir, no es posible valorar la flexibilidad estratégica de una alternativa de inversión, una vez se logra un manejo activo del riesgo y de las incertidumbres presentes [3,14,15,16]. De esa manera, bajo el análisis del VPN la estrategia óptima más frecuente es desplazar la inversión para su reconsideración dentro de un periodo de tiempo, al final del cual se espera tener nueva información para hacer una mejor evaluación del proyecto [2]. Adicional a lo mencionado, también podría agregarse lo siguiente respecto a las limitaciones del VPN para la evaluación de inversiones [15]:

- Se centra en la toma de decisiones de inversión táctica en lugar de objetivos estratégicos a largo plazo, desconociendo que muchos proyectos de inversión estratégica tardan un tiempo en volverse completamente operativos.
- No tiene en cuenta los beneficios cualitativos que frecuentemente caracterizan los proyectos de inversión estratégica y la criticidad de algunas inversiones.
- Ignora las oportunidades futuras y considera las decisiones de inversión como del tipo ahora o nunca. De esa manera, no se hace posible considerar la flexibilidad para modificar las decisiones mientras se obtiene nueva información.

2.2 Método de opciones reales en la evaluación de adquisición de activos

Los proyectos llevados a cabo para la expansión o reposición de la infraestructura de transmisión y distribución de energía son de gran envergadura e impacto, es decir,

demanda de grandes inversiones, así como de análisis técnicos, financieros y logísticos para seleccionar la alternativa que suple los requerimientos de demanda y calidad del servicio prestado, sin perder de vista las disposiciones regulatorias que establecen ciertos límites o restricciones para adelantar las evaluaciones, como se ha mencionado en el Capítulo 1. Además, este tipo de inversiones se caracterizan por ser irreversibles y depender de variables del mercado que se ven afectadas por incertidumbres, razón por la cual, las empresas requieren de metodologías y herramientas matemáticas para evaluar sus inversiones bajo una visión estratégica que considera el planeamiento de la infraestructura, el comportamiento del mercado y las actualizaciones o tendencias tecnológicas. Esto con el objetivo de lograr la prestación de sus servicios dentro de un margen de ingresos máximos regulados o de costos mínimos que garantice eficiencias en la expansión y reposición de la infraestructura en el momento de la adquisición de los activos, a la vez que se logran niveles adecuados de calidad, seguridad y confiabilidad del servicio.

En consecuencia, se identifica que recurriendo a un análisis de opciones reales se pueden realizar valoraciones que permiten identificar beneficios y tomar decisiones estratégicas que agregan valor para el inversionista, puesto que permite determinar los cambios dados por la incertidumbre en el comportamiento de las variables macroeconómicas, así como por las características y las tendencias tecnológicas de los bienes que ofrece el mercado en el momento de su adquisición. Por tanto, la evaluación mediante opciones reales permite considerar la existencia de la flexibilidad u opcionalidad en la toma de decisiones, esto mediante de diferentes formas de análisis que puede adelantarse sobre el proyecto o la estrategia, entre ellas, la posibilidad de ampliación o crecimiento, reducción, aplazamiento, corrección y abandono de una iniciativa de inversión [6] [14]. En la **Tabla 2-1** se presenta una clasificación de algunas de las opciones reales más comunes y una breve descripción, lo que permite dimensionar un poco más el alcance que éstas tienen en la evaluación de estratégica de inversiones.

Dicho lo anterior, en el caso puntual del negocio de transmisión y distribución, se encuentra potencial aplicación, en la valoración de los proyectos y la adquisición de activos en las opciones de diferir, cambio y aprendizaje, ya que estas ayudan a determinar el momento óptimo para llevar a cabo la expansión, la reposición de la infraestructura y por

consiguiente, la adquisición de los activos. Esto dada la irreversibilidad de las inversiones y la incertidumbre que se da producto de la variación o comportamiento de variables como la proyección de la capacidad instalada, la TRM, el IPP, cambios regulatorios y el uso de nuevas tecnologías.

Tabla 2-1: Clasificación de las opciones reales, considerando lo presentado en [2]

Clase de opción	Descripción
<i>Opción de diferir</i>	En la evaluación financiera de la adquisición de activos brinda la posibilidad de aplazar la inversión requerida por un periodo determinado mientras se determina el impacto que tiene en los ingresos, como consecuencia de los ingresos que dejan de percibirse por el aplazamiento. Además, su aplicación permite obtener más información antes de realizar la inversión, durante el tiempo en que la misma se pospone.
<i>Opción de cambio (salida o entrada)</i>	La decisión de adquirir activos siempre está sujeta al comportamiento o cambio del precio, la demanda e incluso la regulación, por lo tanto, la aplicación de esta opción permite hacer una evaluación del cambio de activos o de un conjunto de activos cuando se considera completamente la infraestructura, para determinar la alternativa que mejor se ajusta las nuevas condiciones.
<i>Opción de Flexibilidad (expandir, contraer, cerrar y reabrir)</i>	Aunque el negocio de transmisión y distribución es regulado y tiene definidos unos ingresos máximos según el activo que se utiliza para la expansión y reposición, es necesario determinar entre las alternativas que ofrece el mercado, cual es la que ofrece mejores rendimientos y en ese sentido, por medio de la opción de flexibilidad se puede establecer cuál de los activos puede ser implementado a mayor o menor escala.
<i>Opción de aprendizaje</i>	En general, permite al inversionista aprender sobre la inversión inicial y avanzar en la misma en una segunda etapa. En Transmisión y distribución es útil en la evaluación del impacto o beneficio financiero que puede presentar el uso y asimilación de nuevas tecnologías, por medio del dimensionamiento del costo que tiene la captura de nuevo conocimiento y la reducción de incertidumbre en cuanto a los ingresos y egresos (flujo de caja) que puede generar el activo de interés.

2.2.1 Métodos para la evaluación de opciones reales

En análisis de opciones reales es considerado como una extensión de la teoría de opciones financieras aplicada a la valoración de activos físicos o reales, donde las variables a tener en cuenta en la valoración de las inversiones son las indicadas en la **Tabla 2-2**. En el caso de la evaluación de la adquisición de activos, las variables están directamente relacionadas, con el valor de inicial de la inversión, el FCD de los ingresos (rentabilidad y recuperación del capital) y egresos (costos de AOM, pruebas y ensayos de rutina), así como con las restricciones definidas por la regulación (tasa de retorno, tasa libre de riesgo, vida útil) y la volatilidad de las variables macroeconómicas que deben ser consideradas según las materias primas utilizadas (cobre, aluminio, aceite dieléctrico) o los factores definidos para actualizar el precio (TRM) y el flujo de caja.

Una vez identificadas el costo de inversión, los rubros o aspectos que generan el flujo de cajas y las variables que impactan la inversión, la valoración de la misma puede realizarse utilizando métodos como el de Black and Scholes, el método binomial y simulaciones de Montecarlo. Según los recursos disponibles se adelantará una evaluación por medio del método binomial, en el cual se considere el comportamiento y la variación de los factores que tienen incidencia en la decisión para la adquisición de los activos que son requeridos en transmisión y distribución de la electricidad.

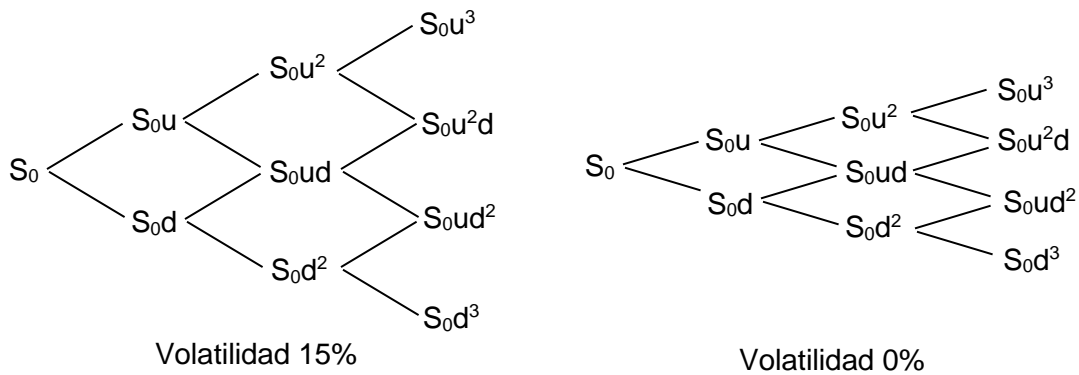
Tabla 2-2: Variables que requeridas para evaluar una opción financiera / opción real
[15][17]

Variable	Opción financiera	Opción real
S	Valor de activo financiero	Valor presente de los flujos de caja del proyecto
X	Precio de ejercicio	Inversión requerida
t	Tiempo de vencimiento	Tiempo que puede transcurrir hasta tomar la decisión de inversión
r	Tasa de interés libre de riesgo	Valor del dinero en el tiempo
σ	Volatilidad de los rendimientos de activo financiero	Volatilidad de los retornos de proyecto

2.2.2 Volatilidad

La volatilidad es conocida como la velocidad con la cual cambian los precios (valor de la inversión) y el valor presente de los flujos de caja del proyecto. Por tanto, permite conocer la dirección de los precios y de los flujos de caja de un proyecto, además es un indicador del éxito que tienen las opciones en el caso de análisis, puesto que una baja volatilidad reduce su oportunidad de existencia y, por consiguiente, el interés y los incentivos para acudir al análisis de ellas.

Figura 2.1: Volatilidad y comportamiento en un árbol binomial, modificado [18]



La volatilidad puede ser estimada por medio de varias aproximaciones, entre ellas está la volatilidad histórica, la volatilidad implícita, la volatilidad futura y siendo más cercana a la realidad, según Lamothe, la estimación de la volatilidad en el caso de las opciones reales, pero que demanda de observaciones históricas del valor del proyecto [19], lo cual no siempre es posible ya que puede corresponder a nuevas iniciativas y no se cuenta con datos históricos. Finalmente, la selección del método de estimación depende de la información disponible para el caso de estudio, considerando las limitaciones, se identifica que en el análisis de inversiones en transmisión y distribución es conveniente realizar la estimación de la volatilidad a partir de series históricas de las variables que afectan el valor inicial de la inversión y el FCD del proyecto, esto sin desconocer que alguna de las aproximaciones antes mencionadas puede brindar mayor precisión.

Volatilidad histórica

La volatilidad histórica es una de las aproximaciones utilizadas para estimar la volatilidad del valor inicial de la inversión y del FCD a partir del análisis del comportamiento que han

tenido en el pasado, por tanto, es calculada considerando series históricas de precios u otras variables macroeconómicas que generan una variación en ellos [19]. Puntualmente, en el análisis financiero para la adquisición de activos en transmisión y distribución, se identifica que entre las variables que impactan el valor de compra y el flujo de ingresos están el IPP, la TRM, \$/kWh y variación de la demanda, según los factores asociados con el desempeño del activo considerado en el análisis.

El cálculo de la volatilidad bajo este criterio se realiza a partir del rendimiento periódico de los precios y de los flujos de caja, que según la disponibilidad de la información, son producto del valor de cierre diario, semanal, mensual o anual de la serie histórica de las variables que inciden sobre el comportamiento de la inversión (Ver Ecuaciones (2.1) $r_t = \ln(S_t/S_{t-1})$ ).

$r_t = \ln(S_t/S_{t-1})$ ), (2.2) y (2.3) $\bar{r} = \sum_{t=1}^n \frac{r_t}{n}$ ).

$$r_t = \ln(S_t/S_{t-1}) \quad 2.1$$

r_t = rendimiento del subyacente de t-1 a t

S_t = precio de cierre en la fecha o periodo t

S_{t-1} = precio de cierre en la fecha o periodo t-1

$$\bar{r} = \sum_{t=1}^n \frac{r_t}{n} \quad 2.2$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n (r_t - \bar{r})^2 \quad 2.3$$

2.2.3 Pasos para la evaluación de adquisición de activos

A continuación, se presentan los pasos a tener en cuenta en la evaluación de adquisición de activos, considerando la aplicación de opciones reales y arboles de decisión construidos a partir de valores que puede tener la inversión inicial y el FCD:

- **Paso 1:**

Establecer el tipo de activo y las características de adquisición correspondientes, según las condiciones del mercado en cuanto a la oferta, el precio, la moneda en que se cierra la transacción, modo de producción, entre otros, que impactan el valor ofertado por el fabricante o proveedor (valor de inversión inicial para el OR).

- **Paso 2:**

Determinar si las alternativas técnicas obedecen o implica la evaluación de nuevas tecnologías, o si lo requerido es la evaluación de alternativas que implica la consideración de cambios sustanciales que son demandados por actualizaciones regulatorias o del mercado.

- **Paso 3:**

Establecer los valores de inversión, así como los factores que se configuran en ingresos, egresos y la recuperación de la inversión.

- **Paso 4:**

Establecer las variables que cambian en el tiempo, es decir, tienen asociada una volatilidad y por consiguiente, generan incertidumbre sobre el valor de adquisición y el flujo de caja del proyecto.

- **Paso 5:**

Definir la clase de opción que se requiere y permite la mejor valoración de la inversión bajo análisis. Por lo general, en el caso de inversiones para la adquisición de equipos en transmisión y distribución, éstas pueden ser opción de diferir/aprender, opción de cambio y opción de aprendizaje. Dadas las características de irreversibilidad y de costos hundidos de las inversiones, no es posible pensar en opciones como la de abandonar.

- **Paso 6:**

Calcular el valor presente de la inversión, a partir del valor de inversión requerida y el flujo de caja descontado. El valor resultante será el parámetro de comparación y a partir del cual se determina cómo puede cambiar el beneficio generado por la

inversión en el tiempo según el comportamiento de las variables identificadas en el paso 4.

▪ **Paso 7:**

Calcular la volatilidad de la variable o de las variables que se establecieron en el paso 4.

▪ **Paso 8:**

Establecer el periodo de análisis de la opción o tiempo en el cual se estima se dará espera para ejecutar la inversión.

▪ **Paso 9:**

Cuando se está valorando el reemplazo o adquisición de nuevas tecnologías, se debe establecer el costo que requiere aprender de esta o el valor que agrega en ingresos por la explotación del activo.

▪ **Paso 10:**

Seleccionar el método de valoración de las opciones: Binomial, Black and Scholes, Simulación de Montecarlo. Esto dependerá de las herramientas de cálculo con las cuales se cuenta y el nivel precisión que se busca.

▪ **Paso 11:**

Evaluar los escenarios que se pueden presentar para el VPN, considerando el cambio de variables macroeconómicas que tienen incidencia sobre el valor de la inversión y del FCD, según lo identificado en el paso 4.

▪ **Paso 12:**

Calcular el VPN considerando opciones reales y determinar el valor de opción. Este se logra al realizar la comparación con el VPN básico del proyecto, con el objetivo de establecer el valor que agrega para el inversionista y que le permite tomar la decisión más conveniente a partir de un análisis estratégico.

3. Adquisición de transformadores de mediana potencia

En consecuencia, con las características de los proyectos y de la infraestructura de transmisión y distribución de electricidad, se encuentra que las inversiones de mayor impacto y envergadura, son aquellas que son destinadas para la adquisición de los equipos de mayor especificidad, como lo son los transformadores eléctricos, los equipos de protección y maniobra y las obras civiles asociadas que pueden variar según las características de los equipos. Esto sin desconocer la importancia de otros elementos que la constituye, pero dada su estandarización y cabida en adquisiciones propias de las economías de escala, permiten visualizar de manera más fácil los beneficios cuando se consideran aspectos como los ahorros que se tiene frente a los valores históricos de compra y los valores de reconocimiento.

A continuación, se presenta el desarrollo de los pasos propuestos en el capítulo 2, estos aplicados a la valoración de adquisición de un transformador de mediana potencia:

Paso 1:

Los transformadores de mediana potencia son activos de gran robustez y por tanto, de características técnicas de gran especificidad, lo cual conlleva a tener pocos proveedores que pueden acreditar experiencia en su fabricación. Por lo tanto, dado el origen internacional de los fabricantes y los tiempos mínimos de fabricación (6 meses) y transporte (1 mes), se deben configurar acuerdos comerciales para varios años, cuyas ofertas y transacciones generalmente son dadas en monedas internacionales (dólar o euro), que demanda de la definición de reajuste de precios durante la vigencia del contrato y de la vigilancia continua del cambio de moneda, puesto que esta condición da lugar a variaciones en valor de la inversión inicial.

Además, la evaluación de las inversiones de mediano plazo, deben considerar los posibles impactos que genera el modelo regulatorio y de la remuneración (recuperación de capital e ingresos) definida para el activo, ya que este se revisa y se actualizada para cada quinquenio. En la actualidad, se tiene cambios recientes y discutidos en el capítulo 1, entre ellos de tener en cuenta para los cálculos la tasa de retorno, la vida útil reconocida, el modelo de depreciación y el modelo regulatorio de ingreso máximo.

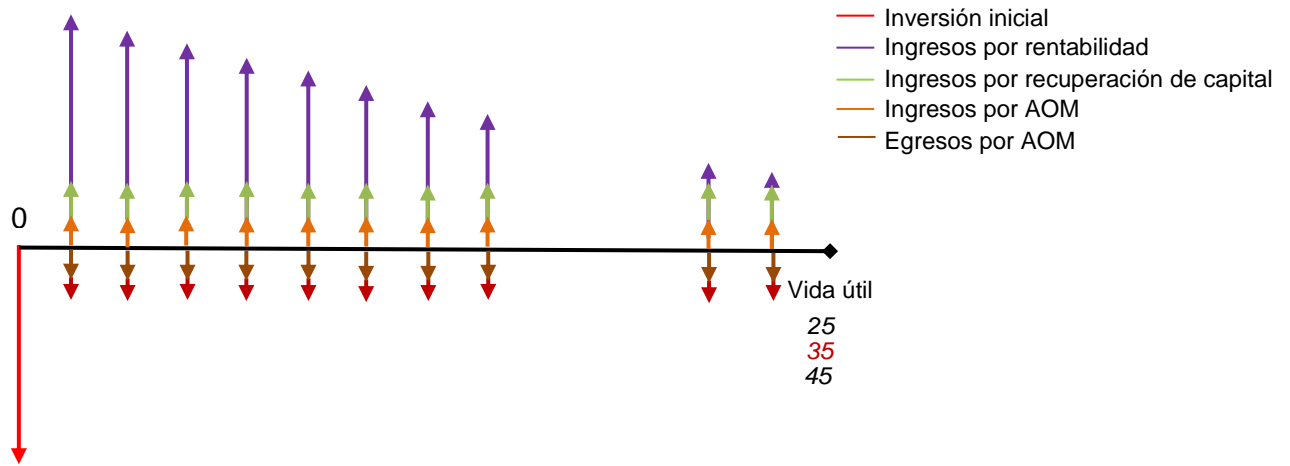
Paso 2:

Los transformadores eléctricos son equipos de gran estabilidad tecnológica, no obstante, recientemente se han identificado oportunidades en el cambio del líquido refrigerante y en los materiales utilizados para la fabricación de las partes activas, cuya implementación demanda de la obtención de conocimiento y experiencia para realizar la operación y mantenimiento. Por consiguiente, las alternativas identificadas en el mercado pueden ser evaluadas considerándolas como nuevas tecnologías ya que algunos OR consideran que optar por el aceite vegetal conlleva a mayor riesgo por la falta de experiencia y conocimiento, lo que podría implicar sobrecostos, reprocesos o pérdida de la inversión [20]; o como alternativas que deben ser valoradas teniendo en cuenta los cambios regulatorios discutidos en el capítulo 1, entre ellos es de tener en cuenta que la tasa de retorno es del 11.8 % - 12.4 %, la vida útil reconocida es de 35 años, que la recuperación de la inversión se da de acuerdo con un modelo de depreciación lineal y que el modelo regulatorio cambio a uno de ingreso máximo.

Paso 3:

Los valores de inversión requeridos para la adquisición de un transformador de 7.5 MVA 44/13.2 kV refrigerado en aceite dieléctrico mineral (Alternativa 1) o vegetal (Alternativa 2), están determinados por los valores de compra según las ofertas presentadas para cada alternativa por los fabricantes (Ver **Tabla 3-1**). Además, los factores que permiten construir el flujo de caja asociado a la adquisición del activo son los ingresos por recuperación de capital, ingresos por rentabilidad, costos de AOM, egresos de AOM, entre otros. (Ver **Figura 3.1**).

Figura 3.1: Flujo de caja libre – Cálculo VPN



Paso 4:

Para evaluar la incertidumbre que puede tener asociada la inversión, se encuentra que el análisis financiero que se realiza en la adquisición de transformadores está sujeto a factores que tienen una importante incidencia en el valor de compra y los flujos de caja, cuyo impacto se puede analizar teniendo en cuenta el concepto de opciones reales y árboles de decisión:

- La TRM: variable que genera un cambio en el valor de compra, cuando se considera el costo total de la unidad requerida.
- El IPP: variable que genera una variación sobre los ingresos (rentabilidad + recuperación de capital). Según lo dispuesto por la CREG con el IPP se actualización los valores de reconocimiento.
- Costo del aluminio o del cobre: su variación genera cambios en el costo de los devanados, según sea el material de fabricación.
- Costo del petróleo o del aceite crudo de soya: su comportamiento genera una variación en el costo del aceite dieléctrico mineral o del aceite dieléctrico vegetal, según sea la materia prima del líquido refrigerante utilizado.
- Costo del acero: incide en el costo que puede llegar a tener el núcleo y el tanque.

Paso 5:

De acuerdo con lo descrito en el Paso 2, entre las opciones que puede aplicarse para valoración de la inversión, en el análisis financiero de adquisición del transformador de mediana potencia y como caso de evaluación, se considerará una opción diferir, que permita establecer hasta que año es posible aplazar la inversión, sin que haya detrimento de la rentabilidad o del beneficio que genera para el inversionista.

Paso 6:

Considerando la inversión como el costo total de la unidad requerida, un transformador de 7.5 MVA 44/13.2 kV refrigerado en aceite dieléctrico mineral (Alternativa 1) o vegetal (Alternativa 2), así como el valor remunerado según la resolución CREG 015 de 2018 para ese tipo de activo, se tiene el siguiente resultado del cálculo del VPN:

Tabla 3-1: Resultado análisis de la inversión por VPN

Inversión Alternativa 1	\$550,000,000
Inversión Alternativa 2	\$595,000,000
FCD de los ingresos	\$723,627,207
VPN Alternativa 1	\$173,627,207
VPN Alternativa 2	\$128,627,207

De acuerdo con los resultados del cálculo del VPN, las dos alternativas son viables de llevar a cabo, puesto que ambas representan un beneficio para el inversionista, en un escenario estable y sin considerar variaciones que incidan sobre la decisión.

Paso 7:

Considerando el costo total de la unidad requerida, a continuación, se presenta los valores históricos de la TRM y el IPP, así como la información que puede ser derivada de los mismos para el análisis financiero, entre ellos la volatilidad de la TRM e IPP, y la distribución de probabilidad de TRM, a partir de la cual se establecen los posibles valores

de compra que pueden presentarse en la adquisición del transformador de 7.5 MVA 44/13.2 kV.

Tabla 3-2: Datos históricos y volatilidad de la TRM

Año	TRM	Rendimiento	Ln
1999	1758.58		
2000	2087.42	19%	17.14%
2001	2299.77	10%	9.69%
2002	2507.96	9%	8.67%
2003	2877.50	15%	13.75%
2004	2626.22	-9%	-9.14%
2005	2320.77	-12%	-12.36%
2006	2357.98	2%	1.59%
2007	2078.35	-12%	-12.62%
2008	1966.26	-5%	-5.54%
2009	2156.29	10%	9.23%
2010	1897.89	-12%	-12.76%
2011	1848.17	-3%	-2.65%
2012	1798.23	-3%	-2.74%
2013	1868.90	4%	3.85%
2014	2000.68	7%	6.81%
2015	2746.47	37%	31.68%
2016	3053.42	11%	10.59%
2017	2951.15	-3%	-3.41%
2018	2860.05	-3%	-3.14%
Volatilidad			11.59%

Figura 3.2: Distribución de probabilidad de la TRM

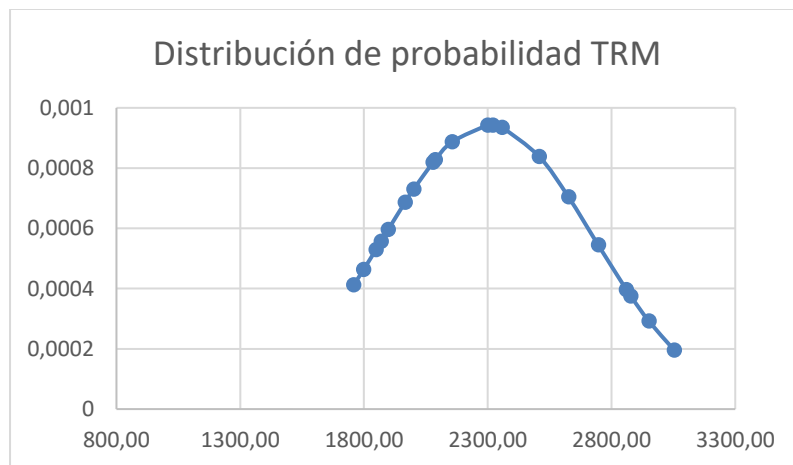


Tabla 3-3: Valor de un transformador de 7.5 MVA 44/13.2 kV

Valor del equipo en pesos	TRM	Valor del equipo en dólares
Alternativa 1		
\$772,375,467	\$3,234	
\$752,159,515	\$3,150	
\$701,619,636	\$2,938	
\$651,079,758	\$2,726	
\$600,539,879	\$2,515	
\$550,000,000	\$2,303	US\$238,808.27
\$499,460,121	\$2,091	
\$448,920,242	\$1,880	
\$398,380,364	\$1,668	
\$347,840,485	\$1,457	
\$327,624,533	\$1,372	
Alternativa 2		
\$835,569,823	\$3,234	
\$813,699,839	\$3,150	
\$759,024,879	\$2,938	
\$704,349,920	\$2,726	
\$649,674,960	\$2,515	
\$595,000,000	\$2,303	US\$258,347.12
\$540,325,040	\$2,091	
\$485,650,080	\$1,880	
\$430,975,121	\$1,668	
\$376,300,161	\$1,457	
\$354,430,177	\$1,372	

Tabla 3-4: Datos históricos y volatilidad del IPP

Año	IPP	Rendimiento	Ln
2007	101.27		
2008	110.38	9.00%	8.61%
2009	107.97	-2.18%	-2.21%
2010	112.69	4.37%	4.28%
2011	118.9	5.51%	5.36%
2012	115.39	-2.95%	-3.00%
2013	114.32	-0.93%	-0.93%
2014	122.09	6.80%	6.58%
2015	133.77	9.57%	9.14%
2016	135.94	1.62%	1.61%
		Volatilidad	4.60%

Paso 11:

Tomando como punto de análisis el valor de compra y los posibles valores que puede alcanzar según la variación de la TRM, considerando datos históricos (Ver **Tabla 3-2**) y la distribución de probabilidad construida a partir de estos (Ver

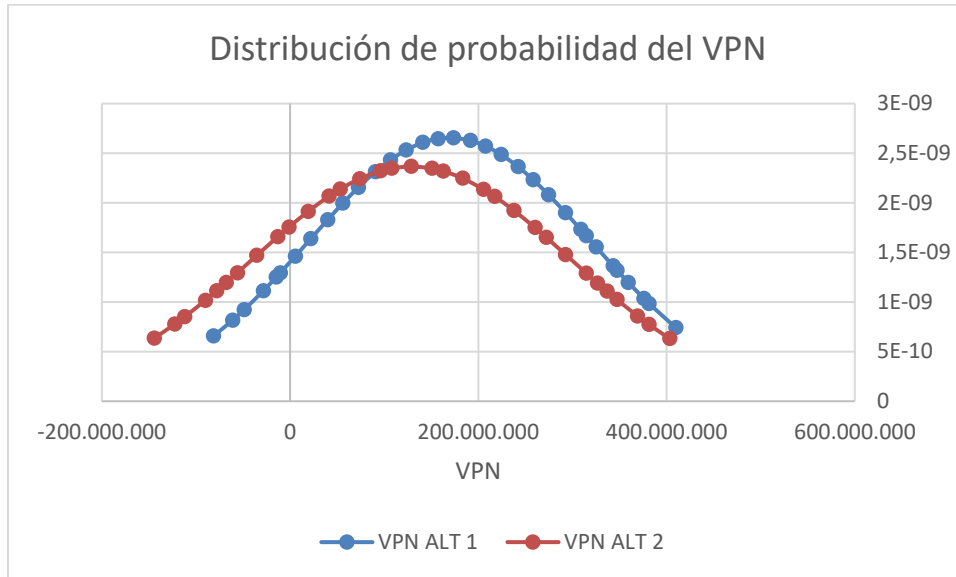
Figura 3.2), se encuentra a partir del árbol de de decisión de la **Tabla 3-5** y **Tabla 3-6**, los valores límites que puede tomar el valor de la inversión para cada alternativa de inversión frente a ingresos conservadores, a la alza y a la baja según la volatilidad del IPP. De los árboles y de la distribución de probabilidad del VPN (Ver **Figura 3.3**) se puede deducir que la alternativa 1 es la presenta una mayor probabilidad (38.2%) de obtener un VPN que garantiza la obtención de un valor de VPN que garantiza la recuperación de la inversión u obtener el VPN promedio, frente al 27.7% de probabilidad de la alternativa 2.

Tabla 3-5: Escenarios VPN – Alternativa 1 para la adquisición de transformador

	Inversión ALT 1	FCD	VPN
5	772,375,466.77	757,691,532.25	-14,683,934.52
		723,627,207.69	-48,748,259.08
		691,094,348.33	-81,281,118.44
4	752,159,515.25	757,691,532.25	5,532,017.00
		723,627,207.69	-28,532,307.55
		691,094,348.33	-61,065,166.92
3	701,619,636.43	757,691,532.25	56,071,895.81
		723,627,207.69	22,007,571.26
		691,094,348.33	-10,525,288.11
2	651,079,757.62	757,691,532.25	106,611,774.62
		723,627,207.69	72,547,450.07
		691,094,348.33	40,014,590.71
1	600,539,878.81	757,691,532.25	157,151,653.43
		723,627,207.69	123,087,328.88
		691,094,348.33	90,554,469.52
	550,000,000.00	757,691,532.25	207,691,532.25
		723,627,207.69	173,627,207.69
		691,094,348.33	141,094,348.33
1	499,460,121.19	757,691,532.25	258,231,411.06
		723,627,207.69	224,167,086.50
		691,094,348.33	191,634,227.14
2	448,920,242.38	757,691,532.25	308,771,289.87
		723,627,207.69	274,706,965.31
		691,094,348.33	242,174,105.95
3	398,380,363.57	757,691,532.25	359,311,168.68
		723,627,207.69	325,246,844.13
		691,094,348.33	292,713,984.76
4	347,840,484.75	757,691,532.25	409,851,047.49
		723,627,207.69	375,786,722.94
		691,094,348.33	343,253,863.57
5	376,300,160.78	757,691,532.25	381,391,371.47
		723,627,207.69	347,327,046.91
		691,094,348.33	314,794,187.55

Tabla 3-6: Escenarios VPN – Alternativa 2 para la adquisición de transformador

	Inversión ALT 2	FCD	VPN
		757,691,532.25	-77,878,290.90
5	835,569,823.14	723,627,207.69	-111,942,615.45
		691,094,348.33	-144,475,474.81
		757,691,532.25	-56,008,306.97
4	813,699,839.22	723,627,207.69	-90,072,631.53
		691,094,348.33	-122,605,490.89
		757,691,532.25	-1,333,347.17
3	759,024,879.41	723,627,207.69	-35,397,671.72
		691,094,348.33	-67,930,531.09
		757,691,532.25	53,341,612.64
2	704,349,919.61	723,627,207.69	19,277,288.08
		691,094,348.33	-13,255,571.28
		757,691,532.25	108,016,572.44
1	649,674,959.80	723,627,207.69	73,952,247.89
		691,094,348.33	41,419,388.52
		757,691,532.25	162,691,532.25
	595,000,000.00	723,627,207.69	128,627,207.69
		691,094,348.33	96,094,348.33
		757,691,532.25	217,366,492.05
1	540,325,040.20	723,627,207.69	183,302,167.50
		691,094,348.33	150,769,308.13
		757,691,532.25	272,041,451.86
2	485,650,080.39	723,627,207.69	237,977,127.30
		691,094,348.33	205,444,267.94
		757,691,532.25	326,716,411.66
3	430,975,120.59	723,627,207.69	292,652,087.11
		691,094,348.33	260,119,227.74
		757,691,532.25	381,391,371.47
4	376,300,160.78	723,627,207.69	347,327,046.91
		691,094,348.33	314,794,187.55
		757,691,532.25	403,261,355.39
5	354,430,176.86	723,627,207.69	369,197,030.83
		691,094,348.33	336,664,171.47

Figura 3.3: Distribución de probabilidad del VPN**Paso 12:**

De otro lado, realizando un análisis de la opción real diferir, teniendo en cuenta la variación que genera el IPP sobre los ingresos y conservando el valor inicial de la inversión, se tiene lo siguiente para las dos alternativas de inversión:

- La alternativa 1 puede ser aplazada a lo sumo por 2 años, como puede verse en la **Tabla 3-8** y **Tabla 3-9**, puesto que cuando se difiere la inversión hasta el año 3 el VPN resultante es menor que VPN inicial, lo cual indica que no es recomendable ya que reduce valor para el inversionista.
- La alternativa 2 puede ser aplazada máximo hasta el año 3, según los resultados obtenidos (Ver **Tabla 3-9** y **Tabla 3-10**). Aplazarlo hasta el año 4 implica una pérdida de valor para el inversionista, según el valor de la opción hallado.

De los resultados obtenidos se encuentra que, los árboles de decisión y las opciones reales en conjunto con la metodología propuesta se configuran en una herramienta que permite evaluar bajo un panorama más amplio las inversiones requeridas para la adquisición de equipos en T&D y definir los posibles escenarios que influyen en la toma de decisiones del

inversionista, puesto que, además de los métodos de cálculo, establece los factores y aspectos clave que deben ser considerados según las características del negocio, lo que permite evaluar el impacto que tiene la variabilidad e incertidumbre generada por los consumos, costos, precios, tarifas, entre otros aspectos, cuyos valores se van configurando según las características de los bienes, las condiciones del mercado y del marco regulatorio al momento de realizar una inversión, que se espera sea acertada, competitiva y segura en el tiempo.

Tabla 3-7: Análisis opción diferir 1 año, alternativa 1 y 2

Alternativa 1		Alternativa 2	
Año 0	Año 1	Año 0	Año 1
	207,691,532		162,691,532
186,130,457		142,153,450	
	141,094,348		96,094,348
VPN Básico	173,627,207	VPN Básico	128,627,207
VPN Actualizado	186,130,457	VPN Actualizado	142,153,450
Valor opción diferir	12,503,249	Valor opción diferir	13,526,242

Tabla 3-8: Análisis opción diferir 2 años, alternativa 1 y 2

Alternativa 1			Alternativa 2		
Año 0	Año 1	Año 2	Año 0	Año 1	Año 2
		243,359,415			198,359,415
	201,535,736			161,285,289	
181,541,568		173,627,208	142,206,142		128,627,208
	140,581,919			100,331,471	
		110,024,102			65,024,102
VPN Básico	173,627,208		VPN Básico	128,627,208	
VPN Actualizado	181,541,568		VPN Actualizado	142,206,142	
Valor opción diferir	7,914,360		Valor opción diferir	13,578,934	

Tabla 3-9: Análisis opción diferir 3 años, alternativa 1 y 2

Alternativa 1				Alternativa 2			
Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
			280,706,342				235,706,342
		234,181,164				193,930,717	
	194,693,738		207,691,532		158,691,549		162,691,532
161,233,469		170,357,982		129,031,154		130,107,535	
	138,905,075		141,094,348		102,902,886		96,094,348
		112,144,529				71,894,082	
			80,350,714				35,350,714
VPN Básico		173,627,208		VPN Básico		128,627,208	
VPN actualizado		161,233,469		VPN actualizado		129,031,154	
Valor opción diferir		-12,393,738		Valor opción diferir		403,946	

Tabla 3-10: Análisis opción diferir 4 años, alternativa 2

Alternativa 2				
Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
				274,811,354
			228,112,910	
		188,570,642		198,359,415
	155,148,852		161,285,289	
126,956,453		130,155,761		128,627,208
	104,087,655		100,331,471	
		76,875,247		65,024,102
			44,735,181	
				7,011,383
VPN Básico		128,627,208		
VPN actualizado		126,956,453		
Valor opción diferir		-1,670,755		

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

El análisis financiero de la adquisición de activos, en general, se centra en la evaluación y determinación del valor que agrega (ingresos, rentabilidad, recuperación la inversión) por medio del VPN, por lo tanto, la metodología presentada se configura en una herramienta que no solo determina los métodos de valoración (opciones reales y árboles de decisión) sino que establece los factores clave que deben ser integrados como instrumentos para dar manejo a la variabilidad e incertidumbre de los consumos, costos, precios, tarifas, entre otros, dentro de los análisis de diseño de ingeniería y la adquisición de los activos, puesto que soportan la toma de decisiones acertadas y permite determinar hasta que momento es oportuno llevar a cabo las inversiones requeridas para la expansión y reposición de la infraestructura de transmisión y distribución, según las disposiciones regulatorias, las condiciones del mercado y el desempeño técnico de los bienes, todo lo que al final, que deben ser vigilado y gestionado de manera continua, para asegurar que las inversiones serán acertadas y competitivas.

Según las características de los bienes y del mercado, el valor de las inversiones en la adquisición de los activos depende directamente del comportamiento de variables macroeconómicas y de las materias primas con las cuales se fabrican sus partes constitutivas. En transmisión y distribución son de importancia variables como la TRM, el IPP y según el activo de interés, el costo de materias primas como el aluminio, el cobre, el aceite de origen mineral o vegetal, el acero, entre otros. No obstante, en el momento de la compra y según las ofertadas de los fabricantes, es requerido adelantar comparaciones entre el valor actualizado de adquisición según la TRM y el valor de reconocimiento correspondiente al año de análisis, para garantizar su viabilidad.

Es de gran importancia conocer el contexto de la actividad económica dentro del cual se realiza el análisis financiero, en el caso de la transmisión y distribución en el sector eléctrico colombiano, se encuentra que la actividad está regulada y producto de ello, se encuentran definidos por el ente regulador aspectos como el esquema de ingresos, los valores máximos reconocidos, las tasas de interés, la vida útil, entre otros. Cada uno de los aspectos y variables son fuente de incertidumbre en la valoración y toma de decisiones, puesto que pueden generar variaciones como consecuencia de actualizaciones regulatorias, por las transiciones entre periodos regulatorios o por los valores que pueden alcanzar variables como el IPP según el año de análisis, puesto que es del factor definido para la actualización de los valores de reconocimiento para las inversiones que se realizan.

Dada las características de las inversiones en transmisión y distribución, y a pesar de su irreversibilidad y costos hundidos, puede encontrarse que éstas generan valor para las compañías, razón por la cual, más que rescatar el valor de una inversión que a luz de VPN no es conveniente, es la de determinar cuánto más valor agregan o hasta cuándo pueden ser aplazadas las inversiones, dentro de una evaluación estratégica para el dueño del proyecto.

Las inversiones que contemplan cambios tecnológicos o la adopción de nuevas tecnologías generan gran incertidumbre para los inversionistas, dado el desconocimiento del impacto que su implementación genera, quizás acrecentado por la no aplicación de herramientas que permiten valorarlos y establecer el mejor escenario de inversión, así como el valor agregado que puede generar para las empresas, esto a pesar de un mayor valor de inversión.

4.2 Recomendaciones

Existen factores de incertidumbre que dependen del desempeño de los equipos, esto quiere decir, que una evaluación de opciones reales puede ser realizada considerando variables como la confiabilidad, disponibilidad de los activos y la criticidad, las cuales

generan variaciones sobre los ingresos y egresos generados como producto del desempeño adecuado del activo. Esto es importante dado que en el mercado existen varias alternativas, unas con mejor desempeño que otras y que impactan de manera directa la perdurabilidad de los activos, la rentabilidad que generan y la necesidad de implementar nuevas inversiones.

Bibliografía

- [1] Unidad de Planeación Minero - Energética (UPME), "Una Visión del Mercado Eléctrico Colombiano," pp. 1–110, 2004.
- [2] R. M. Pringles, "Opciones Reales en la Evaluación de Inversiones en Mercados Eléctricos Competitivos – Estado del Arte," *Cigré*, no. April, pp. 1–8, 2007.
- [3] P. Vasquez *et al.*, "Análisis de incertidumbres en el desempeño de inversiones en la red de transporte a través simulación estocástica," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 18, no. 3, pp. 1–8, 2011.
- [4] S. López, G. Member, A. Aguilera, and G. Blanco, "Transmission Expansion Planning Under Uncertainty : An Approach based on Real Option and Game Theory Against Nature," *Cigré*, vol. 11, no. 1, pp. 566–571, 2009.
- [5] B. Ramanathan and S. Varadan, "Analysis of transmission investments using real options," *2006 IEEE PES Power Syst. Conf. Expo.*, pp. 266–273, 2006.
- [6] R. Pringles, F. Olsina, and F. Garcés, "Designing regulatory frameworks for merchant transmission investments by real options analysis," *Energy Policy*, vol. 67, pp. 272–280, 2014.
- [7] Congreso de Colombia, "Ley 143 de 1994, Régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional," vol. 1994, no. 41, pp. 1–65, 1994.
- [8] Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), "Documento 099 - 2014. Metodología de remuneración de la actividad de distribución de energía eléctrica para el periodo tarifario 2015 -2019," 2014.
- [9] Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), "D-010-18 DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.pdf." p. 180, 2018.
- [10] Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), "D-011-18 TASA DE RETORNO PARA LA ACTIVIDAD DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.pdf." p. 12, 2018.

- [11] Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), “Resolution 095 - 2015.” p. 11, 2015.
- [12] Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), “Resolución 015-2018 metodología para la remuneración de la actividad de distribución de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional,” 2018.
- [13] M. R. Patiño Lemos and E. Pérez Schile, *Ingeniería Económica*, Primera. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana, 2011.
- [14] F. Álvarez, *Implementación de nuevas tecnologías: valuación, variables, riesgos y escenarios tecnológicos*, Primera Ed. 2015.
- [15] A. Pivoriené, “Real Options and Discounted Cash Flow Analysis to Assess Strategic Investment Projects,” *Econ. Bus.*, vol. 30, no. 1, pp. 91–101, 2017.
- [16] F. Antonio, P. L. Sarabia, and F. Venegas-, “Valuación financiera de proyectos de inversión en nuevas tecnologías con opciones reales,” *Contaduría y Adm.*, vol. 57, no. 3, pp. 115–145, 2012.
- [17] J. Mascareñas, “Opciones reales: Introducción,” in *Opciones reales y valoración de activos: Cómo medir la flexibilidad operativa de una empresa*, 2004, p. 238.
- [18] J. Mun, *Real Options Analysis. Tools and Techniques for Valuing Strategic Investments and Decisions*. 2002.
- [19] P. Lamothe Fernández, “La determinación de la volatilidad de las opciones reales,” in *Opciones reales y valoración de activos: Cómo medir la flexibilidad operativa de una empresa*, 2004, p. 238.
- [20] Empresas Públicas de Medellín - EPM, “Concepto técnico : Uso de transformadores sumergidos en aceite dieléctrico mineral y vegetal,” 2017.