



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA

ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL  
MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM)  
MEDIANTE EL MODELO DE OPCIONES REALES

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA**  
OPTIMIZACIÓN FINANCIERA

PRESENTA:

**Daniel Galván Romero**

TUTOR:

M.I. Jorge Luis Silva Haro



México, D. F., Ciudad Universitaria Junio 2012



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: **Dr. Ortiz Calisto Edgar**  
Secretario: **M.I. Aguilar Juárez Isabel Patricia**  
Vocal: **M.I. Silva Haro Jorge Luis,**  
1<sup>er</sup>. Suplente: **M. C. Sánchez Cerón Jorge Eliecer**  
2<sup>do</sup>. Suplente: **M. C. Del Moral Dávila Manuel**

**Lugar donde se realizó la tesis:**

Universidad nacional autónoma de México

**TUTOR DE TESIS:**

M.I. Jorge Luis Silva Haro

---

**FIRMA**



## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	III
PROBLEMÁTICA .....	IX
JUSTIFICACION.....	X
OBJETIVO PRINCIPAL.....	X
Capítulo I . GESTION DEL MANTENIMINETO .....	1
1.1 ESTRUCTURA GENERAL DEL MANTENIMIENTO .....	1
1.2 MANTENIMIENTO TRADICIONAL EN LA INDUSTRIA.....	2
1.2.1 Tipos de Mantenimiento.....	3
1.3 COSTOS DE MANTENIMIENTO .....	5
1.4 MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL, (TPM).....	6
1.4.1 Estructura del TPM .....	8
1.4.2 Mantenimiento Autónomo .....	10
1.4.3 ¿Cómo Funciona el TPM?.....	11
1.4.4 Indicadores de Confiabilidad del TPM .....	14
1.4.5 Eficiencia Total, OEE (Overall Efficient Equipment).....	18
1.5 RELACIÓN NEGOCIO-COSTO-BENEFICIO.....	19
Capítulo II . EVALUACION DE PROYECTOS.....	25
2.1 METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN .....	25
2.1.1 Plazo de Recuperación, PR (Pay-back) .....	26
2.1.2 Razón Costo – Beneficio.....	27
2.1.3 Rendimiento Contable Promedio o Tasa de Rendimiento Contable .....	27
2.1.4 Tasa Interna de Retorno o Rendimiento (TIR).....	28
2.1.5 Valor Presente Neto, VPN .....	30
2.1.6 Costo Promedio Ponderado de Capital (CPPC ó WACC) .....	32
2.2 ASPECTOS IMPORTANTES PARA LA VALUACIÓN .....	34
2.2.1 Método de Flujos de Efectivo Libres Descontados (FED).....	34
2.2.2 Estados Financieros Proyectados (Proforma) .....	35
2.2.3 Interés Compuesto, Interés Simple .....	35
2.2.4 Interés Nominal, Interés Real.....	37



---

2.2.5 Valor de Perpetuidad .....	37
2.3 OPCIONES REALES (REAL OPTIONS VALUE, ROV).....	38
2.3.1 Valor Presente Neto Extendido .....	40
2.3.2 Opciones Reales y Opciones Financieras. ....	40
2.4 MODELOS DE VALUACIÓN POR OPCIONES REALES.....	48
2.4.1 Método Black & Scholes .....	50
2.4.2 Método Binomial.....	52
2.4.3 Ventajas del Modelo ROV. ....	69
2.4.4 Desventajas del Modelo ROV.....	70
Capítulo III . APLICACIÓN DEL MODELO DE OPCIONES REALES.....	71
3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA EMPRESA .....	71
3.2 COSTOS DE PRODUCCIÓN.....	75
3.3 APLICACIÓN MEDIANTE OPCIONES REALES.....	79
3.3.1 Calculo del Modelo Binomial .....	79
3.3.2 Precio del ejercicio.....	84
3.3.3 Constantes de multiplicación, (u, d) .....	85
3.3.4 Probabilidad Neutral al Riesgo y Tasa libre de Riesgo .....	86
3.3.5 Porcentaje de Expansión (k).....	87
3.3.6 Construcción del Árbol Binomial .....	87
3.4 APLICACIÓN DE LA OPCIÓN DE DIFERIR.....	91
3.5 APLICACIÓN DE LA OPCIÓN DE ABANDONAR.....	93
CONCLUSIONES.....	95
APORTACIONES DE LA TESIS.....	98
OPCIONES DE INVESTIGACIONES POSTERIORES.....	99
BIBLIOGRAFÍA .....	100
ANEXOS .....	104
Índice de Ilustraciones .....	107
Índice de Tablas .....	108



## INTRODUCCIÓN

“Las Finanzas Corporativas se reducen a las decisiones de inversión y financiación que han de adoptar las empresas”.

“Si el valor de un proyecto es mayor que la inversión requerida, entonces el proyecto es financieramente atractivo”.

Bradley Meyers, 2007, *Fundamentos de Finanzas Corporativas*.

La finalidad de toda empresa es crecer, desarrollarse continuar siendo competitivo e innovar, en un mercado globalizado; desde la base con la obtención de la materia prima para la fabricación del producto, hasta el termino cuando el consumidor lo tiene en sus manos y a lo largo de este proceso, la cadena productiva busca adoptar programas administrativos y productivos más eficientes que cumplan con las exigencias de consumidores cada vez mejor informados y con mayores expectativas a la hora de comprar un producto o adquirir un servicio; el mismo consumidor que busca mejor calidad y precio en el producto. Todo esto eleva los parámetros de productividad, calidad, servicio además de poner como objetivo reducir el costo de manufactura. Dentro de las estrategias de la compañía las Finanzas Corporativas juegan un papel sumamente importante, puesto que la gestión de las empresas en términos generales es hoy, mucho más difícil de lo que había sido anteriormente, siendo los factores aledaños a la empresa los que hacen más complicada la Dirección de una compañía.

Tal conexión, entre las finanzas de la empresa y los procesos productivos, supone una relación de optimización de la cadena de suministro global del negocio. Buscando alternativas para minimizar costos, gastos e incrementar los rendimientos marginales derivados de la productividad de cada área, equipo de trabajo, máquina y/o inmueble; obteniendo como resultado mayores utilidades y posicionamiento en el mercado. En este difícil entorno competitivo las Finanzas Corporativas buscan elaborar estrategias para tomar decisiones encaminadas a cumplir con sus principales objetivos: buscar, evaluar y determinar opciones de inversión en proyectos o activos; realizar cambios estratégicos en los volúmenes productivos y en la estructura financiera; y enfocarse hacia mejores decisiones sobre las estrategias de retribución de los fondos aportados por los accionistas.

Sin embargo en la economía real de hoy, es más difícil identificar proyectos con rentabilidad adecuada y riesgo aceptable, en comparación con los recursos con que será financiado dicho proyecto. Las consecuencias de ello, derivan en que las empresas han reducido de forma importante el ritmo de las inversiones sobre el que han venido actuando. Sumado a esto la gestión del activo circulante ha tomado importancia en las operaciones debido a diversos activos cuyo valor corriente aumenta con la inflación, es decir, las empresas buscan protegerse buscando la financiación de sus materias primas (stocks, cuentas de clientes, etc.), como cobertura contra las variaciones en el precio. Éste efecto también es reflejado en el capital de

riesgo (capital de los accionistas), al haber un mayor riesgo o incertidumbre, los accionista exigirán una remuneración de cobertura mayor, lo que dificulta la búsqueda de capital de riesgo.

Por otra parte, los factores internos de las empresas marcan la pauta para el desarrollo, crecimiento y trascendencia del negocio. Si el mercado ha crecido rápidamente y de igual forma sus exigencias; no lo han hecho así, las estructuras de manufactura interna, creando un retraso, encarecimiento del producto y una falta de competitividad contra productos similares.

Así entonces los factores externos no pueden controlarse, pero en cuanto a los factores internos es imperativo buscar un control y mejorar su desempeño. En la búsqueda de un procedimiento competitivo interno que mejorara el rendimiento de la empresa, fue desarrollado un sistema de eficiencia de procesos por Nakajima Sechi en 1984, conocido como Mantenimiento Productivo Total. Es el resultado de estudiar el mantenimiento preventivo tanto en Estados Unidos como en Japón. La filosofía del Mantenimiento Productivo busca que la relación de equipos de manufactura, instalaciones o áreas de proceso y personal laboral funcionen conjuntándose en una relación más fluida, fuerte y dinámica, enfocados al objetivo principal de manufactura: CERO AVERÍAS Y CERO DEFECTOS. Así conformará una estructura operativa más eficaz y de menor costo, haciendo crecer un sistema productivo que a su vez, sea más flexible y se adapte a los cambios que el mercado exige. La filosofía del TPM está enfocada a trabajar en una planta automatizada en donde los robots crean robots y la mano humana es escasa dentro del proceso, buscando llegar a asemejarse en características al recibidor de una casa o zashiki.<sup>1</sup>

*"La automatización y el equipo de tecnología avanzada requiere de conocimientos que están más allá de la competencia del supervisor o trabajador de mantenimiento medios, y para un uso efectivo requieren una organización de mantenimiento apropiada", Nakajima (1984).*

Conforme a lo mencionado anteriormente se ha desarrollado el contenido de esta tesis como sigue:

En el capítulo uno se describen los puntos fundamentales del mantenimiento, su evolución y como ha llegado a formar parte de la estructura del Mantenimiento Productivo Total. Además se agregan 2 analogías para entender el funcionamiento del TPM y parte de sus aportaciones a la empresa, así como la relación costo/beneficio enfocado a los resultados de la empresa.

En el capítulo dos se presentan los métodos de evaluación de proyectos de forma estática. Aunque existen varias metodologías de evaluación, solo se presentan los más utilizados en las empresas y con mayor grado de significancia dentro de la primera parte del capítulo. Posteriormente se resaltan algunos aspectos que hay que tener en cuenta al momento de evaluar. En la tercera parte de este capítulo se describe la metodología de Opciones Reales, con al que será

---

<sup>1</sup> La zashiki, así es nombrada la sala de recibir (recibidor) en Japón, es la habitación en la que los japoneses atienden a sus invitados, y usualmente se mantiene inmaculadamente limpia.



---

evaluado el proyecto desde la perspectiva financiera. Se desarrolla de forma concreta a manera de ser entendible para su aplicación.

En el capítulo tres se desarrolla la evaluación del proyecto TPM mediante el modelo de Opciones Reales, determinando primero las variables principales partiendo de las características de la empresa y su situación en el mercado. Posteriormente se utiliza el método Binomial, obteniendo el valor de los nodos para llegar al Valor de la Opción y el Valor Presente Neto Extendido. Por último de acuerdo a la situación de la empresa y a su estrategia se plantean las opciones de Diferir y Abandonar el proyecto para determinar cuál será la decisión estratégica que más conviene a la empresa.

Finalmente se presentan las conclusiones en las que en términos generales arrojan un camino más hacia una oportunidad de desarrollo e innovación para las empresas, ya sean pequeñas, medianas o grandes. Ésta oportunidad es analizada con una perspectiva fijada en el valor tangible y el intangible, siendo el último en el de mayor peso en la actualidad, por ser un posible generador de altos rendimientos a mediano y largo plazo.

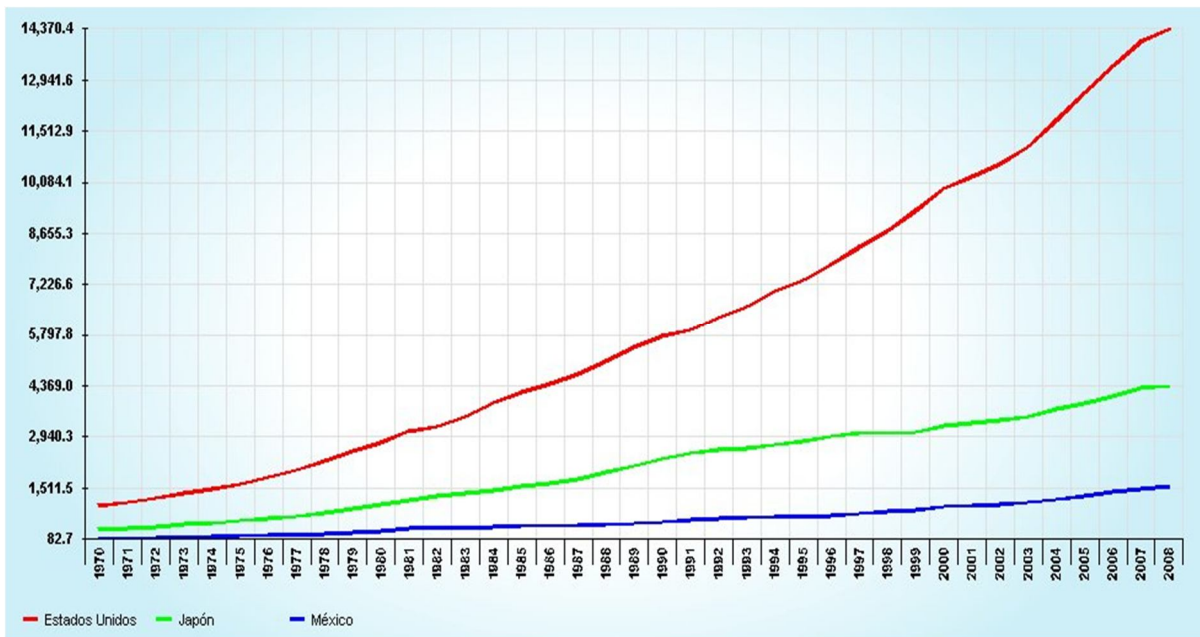




## COMPORTAMIENTO DE LA INDUSTRIA

Desde hace algunas décadas las compañías han crecido enormemente. Sin embargo para continuar en el mercado deben ser flexibles y responder rápidamente a la competencia y a los cambios en el mercado. Comenta Porter: "Deben ser agresivos con en el mercado y tener un corazón de competencia para mantenerse a la cabeza de sus rivales"<sup>2</sup>. Esta visión del negocio ha impulsado el crecimiento de los países. Japón desde 1970 ha ido incrementando su PIB con respecto a México. En 2008 el PIB de México era de US\$1,545.33 miles de millones cuando Japón tenía US\$4,358.3 y Estados Unidos US\$14,370.4 miles de millones, un crecimiento de 2.82 y 9.30 veces el de México, respectivamente.

Ilustración 1. Producto Interno Bruto (1970-2008)



Fuente: INEGI

Históricamente y hasta la fecha en cuanto al crecimiento de la industria, México ha tenido un crecimiento mayor en comparación con ambos países. Mientras que México ha crecido 115.65, Estados Unidos creció un 98.66 y Japón 93.68, es decir que tuvieron un 14.69% y 19.00% menos respectivamente.

<sup>2</sup>What is the strategy?.Harvard Business review. Noviembre- Diciembre 1996

Ilustración 2. Crecimiento de la Producción Industrial (1970-2011)



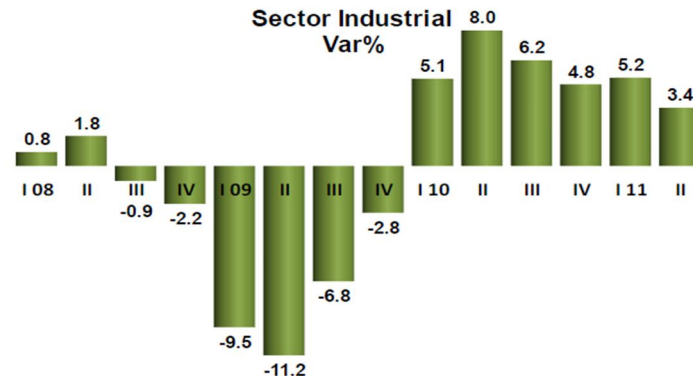
Fuente: INEGI

Sin embargo el crecimiento en la industria Mexicana, no se ve reflejado en el resultado del crecimiento de la economía del país, calidad de los productos o reducción en los precios y costos de manufactura de los mismos. Diversas causas afectan el resultado de la industria, variables exógenas (clima, ecosistema, mercados globales, política, etc), y variables endógenas (materia prima, manufactura, procesos, costos, etc). La economía mexicana es la 11ª más grande del mundo. Además, se ha establecido como un país de renta media alta.<sup>3</sup> Sin embargo, la economía contiene una mezcla de industrias y sistemas agrícolas modernos y antiguos, ambos dominados cada vez más por el sector privado con modelos de producción obsoletos o deficientes. La confederación CONCAMIN entre las 3 coincidencias principales que afectan el crecimiento económico de México menciona: "... no hemos elevado suficientemente la competitividad del agro, la industria, los servicios y la infraestructura, para dotar al aparato productivo de bases sólidas para su expansión..."<sup>4</sup>

<sup>3</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Econom%C3%ADa\\_de\\_M%C3%A9xico](http://es.wikipedia.org/wiki/Econom%C3%ADa_de_M%C3%A9xico). Consulta Noviembre 14, 2011

<sup>4</sup> PULSO INDUSTRIAL, Revista de la Confederación de Cámaras Industriales de los Estados Unidos Mexicanos, CONCAMIN. Julio de 2011. Año 5 No.50. <http://www.concamin.org.mx/revista/pulso.pdf>

Ilustración 3. Comportamiento de la economía Mexicana (2008-2011)



Fuente: CONCAMIN

Del 2008 al 2011 el crecimiento de la industria ha sufrido cambios muy significativos, un decrecimiento de 11.2% en el 2do trimestre del 2009 y un crecimiento de 8% en el 2do trimestre del 2010 y demuestran un intervalo muy amplio e inestable, siendo una variable de riesgo importante en las empresas. Sin embargo, el riesgo sistemático es un riesgo exógeno a las empresas que no puede ser eliminado con la diversificación,<sup>5</sup> lo que implica que una empresa debe buscar mejorar sus procesos internos para mantener una rentabilidad que le permita continuar desarrollándose y ser *competitivo en el mercado*. De acuerdo con la visión de Cadena de Suministros, entre sus principales objetivos se encuentran:

1. Reducir costos de proceso y operativos,
2. Incrementar las ventas y
3. Satisfacer al cliente.

Los objetivos 1 y 3, definen la justificación para realizar esta tesis, analizando la aplicación del Mantenimiento Productivo enfocado en estos 2 objetivos.

En la actualidad las empresas se encuentran obligadas a observar los cambios que se presentan en el mercado: precios, promociones y productos que frecuentemente son imitados rápidamente. Por ello se busca minimizar los gastos, ¿De qué forma?... Más allá de buscar soluciones rápidas y no duraderas, la nueva visión de la empresa, se enfoca en mejorar la calidad, el diseño del producto y procesos internos para lograr una ventaja competitiva (Stahl 1991). Porter (1985), conceptualiza la ventaja competitiva en dos tipos principalmente: costo y diferenciación.

De estos principios se desprende que un negocio debe estar enfocado en crear valor para el consumidor. Para lograrlo la cadena de suministro global del negocio, debe ser analizada y en

<sup>5</sup> Finanzas Modernas y Teorías de Inversión. Capítulo 5. Apuntes de Gestión Financiera. Ortiz 2010



cada caso desarrollar las herramientas administrativas y de gestión que mejoren su infraestructura, funcionamiento y logística, adecuadas o adaptadas al negocio.

## PROBLEMÁTICA

Como puede observarse en el comportamiento de la industria se encuentran factores comunes que retrasan el crecimiento de las empresas como es el caso de las estrategias de trabajo como ha identificado el consejo de CONCAMIN. En muchos de ellos los sistemas de administración productiva y de mantenimiento que continúan utilizando como herramientas de gestión, no son suficientes para continuar creciendo y desarrollándose. Un ejemplo claro de la falta de competencia es el que se vive en la industria en general con la competencia con otros productos como por ejemplo los de fabricación China con precios mucho menores que los de fabricación local o nacional

Una situación clara es la que se continúa viviendo respecto a la curtiduría en el municipio de León Guanajuato que está siendo mermado por los cueros sintéticos y de importación china.<sup>6</sup> Ésta situación en gran parte es por la falta o inadecuada estructura enfocada a la gestión de manufactura que provoca el incremento de los costos, grandes pérdidas e inclusive el cierre del negocio. Las grandes empresas están buscando concentrarse en las actividades que consideran centrales en su negocio, cambiar o mejorar los modelos de desempeño operativo con que cuentan. Deben buscar mayor seguridad en cuanto a la rentabilidad y valor agregado de los proyectos que implementen. El TPM es un proyecto de mejora y desarrollo que se ha enfocado en los beneficios de manufactura y desarrollo de la empresa, pero visto a través de su rentabilidad y valoración como proyecto, se plantean las siguientes preguntas:

¿Cómo afectaría los flujos de efectivo de la empresa la implementación del TPM?

¿Siendo un proyecto para manufactura puede genera valor y rentabilidad para el negocio?

¿El proyecto TPM puede ser una opción para el desarrollo de las PYMES?

El problema que busca resolver se enfoca a la falta de gestión y control sobre las áreas productivas, su desempeño y el impacto que provocan sobre las utilidades de la empresa y su valor, al evaluar un proyecto diseñado para el área productiva visto desde el valor del dinero, con una visión financiera, traduciendo los beneficios a la empresa o negocio, en valores, como : desempeño del personal desde la gerencia hasta el cuerpo operativo, el riesgo en la operación, costo / beneficio, reducción de costos y crecimiento del negocio.

---

<sup>6</sup>El problema se presenta en el eslabón de la cadena cuero-calzado, sobreviven 641 empresas, que funcionan a 40% de su capacidad. Hasta hace un lustro existían en los registros del sector privado cerca de mil 800 tenerías. Los golpes al sector los dan la importación ilegal de pieles, la reducción en el consumo de materia prima de la industria zapatera, por el contrabando de calzado y cortes de China, y las políticas públicas en materia ambiental. El Universal, Septiembre 7 2003.



---

## JUSTIFICACION

El análisis de la aplicación de este sistema de gestión en el área de mantenimiento, tiene una influencia mucho más extensa que solamente mejorar el desempeño del área. Esto debe verse reflejado mediante la valoración por Opciones Reales en los flujos de efectivo o el valor de la empresa. Ayudará a dar una valoración más real en cuanto a los activos tangibles e intangibles, siendo este sistema aportador de ambos activos, de reducir el riesgo no sistémico de la empresa, estandarizar los tiempos de producción haciendo una cadena productiva más fuerte y a la vez flexible. Ahorros en costos y beneficios deberán reflejarse en las utilidades de la empresa con lo que podrán realizarse inversiones en áreas de desarrollo, de producción, enfocar recursos a la creación de nuevos productos y/o tecnologías de proceso e investigación. Dadas las características del proyecto TPM, cuenta con la flexibilidad de adaptarse a los requerimientos del negocio o proceso.

## OBJETIVO PRINCIPAL

El propósito de esta tesis será analizar el sistema TPM desde la perspectiva financiera. Evaluar el sistema de procesos Mantenimiento Productivo Total mediante el modelo análisis financiero de Opciones Reales, para determinar el valor que aporta al negocio, su desarrollo y como una herramienta que apoye el crecimiento económico de la empresa.

### ***Objetivos secundarios.***

1. Mediante el Modelo binomial determinar el valor del proyecto al aplicarse a una empresa empaquetadora de productos de maíz.
2. Evaluar las opciones de implementar el proyecto en el total del área productiva, líneas productivas o solamente en los equipos más críticos para el sistema de producción.
3. Determinar los beneficios del TPM para obtener la relación costo / beneficio del valor del proyecto.





## CAPÍTULO I . GESTION DEL MANTENIMINETO

### 1.1 ESTRUCTURA GENERAL DEL MANTENIMIENTO

El Mantenimiento en una empresa de acuerdo con Porter (1985) es la parte activa de las operaciones de la empresa<sup>7</sup>, teniendo una vital importancia dentro de ésta al igual que otras áreas como: producción, recursos humanos, calidad, ventas, mercadotecnia, finanzas, etc. Sin un adecuado mantenimiento se ve mermado el crecimiento del negocio, reflejado en otras áreas. Hoy en día, la empresa ya no es vista como un edificio con divisiones internas que separan las actividades de cada área, sino como un todo en constante movimiento que forma parte de una cadena productiva, conformada por participantes internos y externos enfocados hacia el objetivo de satisfacer al cliente, entregando productos y servicios de calidad en el menor tiempo y a un bajo costo. Al analizar el comportamiento de la producción y los problemas que se generan en los procesos y sistemas, se llegan a encontrar administraciones deficientes, conflictos entre las diversas áreas administrativas y productivas y en muchas ocasiones cuellos de botella en las líneas productivas. Como resultado aparecen efectos negativos relacionados con las variables que afectan directamente el desempeño de la empresa:

- a) La Eficiencia en el proceso de producción.
- b) Los Costos de Producción.
- c) La Calidad del producto y el Ritmo de Trabajo.
- d) La Confiabilidad de la empresa (cumplimiento de contratos).

Estas variables están relacionadas directamente con las actividades de operaciones. Por ello dentro de las operaciones y los objetivos principales del mantenimiento busca cumplir con:

- ✓ Optimizar la disponibilidad del equipo productivo y Recursos humanos.
- ✓ Disminuir los Costos de mantenimiento.
- ✓ Maximización de la Vida Útil de los activos.

Su estructura organizacional varía de acuerdo a las necesidades y factores de la empresa, como pueden ser: tamaño de la empresa (pequeña, mediana o grande), tipo de producción (bienes y/o servicios) y tipo de proceso productivo (alimentos, cárnicos, metalúrgica, etc.). Se pueden dividir en base a las habilidades y actividades a realizar dentro del área, las más comunes son:

---

<sup>7</sup>El principio de Cadena de Valor y Ventaja Competitiva, se basa en que todas las labores realizadas por una unidad de negocio se pueden clasificaren cinco actividades primarias y de apoyo. Las actividades primarias constituyen: la logística interna, operaciones, logística externa, marketing-ventas y servicio. En este caso, el mantenimiento se considera como parte de las actividades delas operaciones.

Ilustración I-1. Principales áreas de departamento de mantenimiento

Area Mantenimiento General	Area Electrica	Area Mecanica
Revisión y reparación de techos y paredes Carpintería Albañilería Pintura Ventilación Puertas y ventanas Limpieza Jardinería	Localización de fallas Revisión y reparación de motores eléctricos Iluminación Lineas eléctricas Intercomunicación Cajas de conexiones e interruptores generales	Instalacion de maquinaria Mantenimiento general dela maquinaria Localizacion de fallas Reparación de la maquinaria Compresores Plomería Lubricacion Soldadura

La labor del departamento es mantener los equipos en óptimas condiciones de funcionamiento combinando diferentes acciones técnicas y de administración, buscando eliminar fallas. Dentro del contexto de fallas, existen diferentes tipos, no profundizaremos en sus causas puesto que no son la finalidad de esta tesis. Se pueden clasificar en forma general en:

<b>Fallas Tempranas</b>	Ocurren al principio de la vida útil y constituyen un porcentaje pequeño del total de fallas. Pueden ser causadas por problemas de materiales, de diseño o de montaje.
<b>Fallas Adultas</b>	Son las fallas que presentan mayor frecuencia durante la vida útil. Son derivadas de las condiciones de operación y se presentan más lentamente que las anteriores (ejemplo: suciedad en un filtro de aire, cambios de rodamientos de una máquina, piezas de desgaste etc).
<b>Fallas Tardías</b>	Representan una pequeña fracción de las fallas totales, aparecen en forma lenta y ocurren en la etapa final de la vida del equipo.
<b>Fallas Cronicas</b>	Solo aparecen en ciertos momentos en donde posiblemente sean generadas por mala operación, defectos en el diseño de la maquina al trabajar con ciertos materiales o fallas por materiales fuera del rango de calidad aceptable para trabajarlo en los equipos.

## 1.2 MANTENIMIENTO TRADICIONAL EN LA INDUSTRIA.

Su importancia en la industria radica en la función que desempeña al disminuir o minimizar el riesgo de que ocurra una falla, ruptura o quiebre buscando la conservación de los equipos, edificios y activos del negocio. De acuerdo con la Comunidad Latinoamericana de Mantenimiento (PLM 2007), identifica que las consecuencias por la falta de mantenimiento pueden clasificarse en cuatro grupos principales:

- Fallas Ocultas
- De seguridad y Medio Ambiente
- Operacionales
- No operacionales.



Sin embargo la evolución de la organización y las actividades del departamento que realiza se pueden generalizar a través del Sistema de Gestión de Mantenimiento, el cual conforma toda la información de las intervenciones que se realizan antes, durante y después del proceso; integra los diferentes tipos de mantenimiento que se realizan y las herramientas que utiliza para su desarrollo. Parte de ésta metodología es utilizada en la mayor parte de las empresas. En múltiples casos solo utilizan los tres primeros puntos del sistema más su experiencia en el proceso Alsyouf (2009).<sup>8</sup>

Sistema Integral de Gestion de Mantenimiento	Informacion Técnica de Mantenimiento de cada máquina.
	Informacion del Sistema de Mantenimiento Correctivo.
	Informacion del Sistema de M. Preventivo, Predictivo.
	Informacion del Sistema de Paros programados.
	Informacion de Seguimiento, Control y Gestion.
	Otras aplicaciones informaticas.

### 1.2.1 Tipos de Mantenimiento

#### I) Mantenimiento Correctivo.

Cuando se presenta algún tipo de falla durante el proceso o funcionamiento de alguna máquina, se moviliza el equipo de mantenimiento preparado y capacitado para solucionar el problema en el menor tiempo posible con el fin de que la producción continúe. Generalmente no es posible trasladar la máquina o equipo al taller por lo que la reparación se realiza en el mismo lugar. Es utilizado como parámetro de medición en relación a la efectividad del departamento. *Es el indicador principal de la eficiencia del trabajo realizado, al reducirse el número de intervenciones por correctivos se refleja el resultado de aplicar los otros métodos de mantenimiento.* Los requisitos mínimos necesarios para que se reduzcan los tiempos de intervención en los equipos, así como los paros de proceso a causa de este tipo de mantenimiento son:

- Personal de mantenimiento capacitado o especializado con la experiencia en el área.
- Contar con repuestos y materiales de uso más frecuente en el stock de almacén.
- Tener la herramienta necesaria y de la maquinaria crítica o poco común se vuelve un aspecto clave para obtener buenos resultados en cualquier reparación de maquinaria.

<sup>8</sup>Como resultado del análisis de alrededor de 115 respuestas obtenidas de las empresas encuestadas, cuando se les preguntó cuál era el método o políticas de gestión del mantenimiento, se encontró que la mayoría de las empresas, es decir, 81%, no utilizó un método específico para seleccionar su metodología o política de mantenimiento. En su lugar, utilizar el conocimiento y la experiencia acumulada dentro de la empresa.

## II) Mantenimiento Preventivo.

Este tipo de mantenimiento surge de la necesidad de reducir los costos del mantenimiento correctivo y todo lo que éste representa. Pretende disminuir los tiempos de reparación correctiva mediante una rutina de inspecciones periódicas y la renovación de los elementos dañados. Fue creado durante la segunda guerra mundial, el mantenimiento tiene un desarrollo importante debido a las aplicaciones militares, pues en esta evolución el mantenimiento preventivo consiste en la inspección de los aviones antes de cada vuelo y en el cambio de algunos componentes en función del número de horas de funcionamiento. La característica principal de este tipo de Mantenimiento es la de inspeccionar los equipos y detectar las fallas en su fase inicial, y corregirlas en el momento oportuno mediante el engrasado, cambio de piezas, desmontaje, limpieza, etc. Se programan revisiones de los equipos apoyándose en el conocimiento de la máquina, experiencia y las reparaciones históricas obtenidos de las mismas.

### *Ventajas:*

- ✓ Confiabilidad en los equipos al operar en mejores condiciones de seguridad y de funcionamiento.
- ✓ Disminución del tiempo muerto (tiempo de paro de equipos / máquinas).
- ✓ Una reducción del mantenimiento correctivo representa una disminución de costos de producción y un aumento de la disponibilidad, esto posibilita una planificación de los trabajos del departamento de mantenimiento, así como una previsión de los medios necesarios.

### *Desventajas:*

- Representa una inversión inicial en infraestructura y mano de obra.
- Los planes de mantenimiento se debe realizar por técnicos especializados.
- Si no se hace un correcto análisis del nivel de mantenimiento preventivo, se puede sobrecargar el costo de mantenimiento sin mejoras sustanciales en la disponibilidad, en la mayor parte de los casos por el costo de las refacciones recomendadas por el proveedor.
- Trabajos rutinarios. Cuando se prolongan en tiempo ocasionan una falta de motivación en el personal.

## III) Mantenimiento Predictivo.

Se basa la inspección frecuente de las maquinas o equipos para predecir la falla antes de que ésta se produzca. Se utilizan herramientas para su verificación, análisis de vibraciones y ruidos, pero la habilidad del inspector en conjunto con el historial del equipo y la inspección, juegan el papel más importante para la predicción.

#### Ventajas

- ✓ La intervención en el equipo o cambio de un elemento dentro del periodo final de vida útil.
- ✓ Nos obliga a dominar el proceso y a contar con datos técnicos más profundos, comprometiéndose con un método científico de trabajo riguroso y objetivo.

#### Desventajas

- ❖ Contar con personal que sea capaz de interpretar los datos que generan los equipos para llegar a conclusiones acertadas.
- ❖ La aplicación de este sistema se justifica en máquina o instalaciones en donde los paros intempestivos ocasionan grandes pérdidas, y las paradas innecesarias originan grandes costos.

#### IV) Mantenimiento Detectivo.

Consiste en la inspección de las funciones ocultas de los equipos, es decir, revisar funciones, movimientos o lugares que generalmente no se revisan en una inspección o mantenimiento, a intervalos regulares, para ver si han fallado y reacondicionarlas en caso de falla (falla funcional).

#### V) Mantenimiento Mejorativo.

Consiste en la modificación o cambio de las condiciones originales del equipo o instalación, con la finalidad de mejorar el desempeño de equipo o adaptarlo para realizar una función agregada al producto. Con ello mejoran las condiciones y se puede evitar obsolescencia. No es tarea de mantenimiento propiamente dicho, aunque lo hace mantenimiento.

### 1.3 COSTOS DE MANTENIMIENTO

En la manufactura de las empresas de alto nivel existe una firme convicción, afirmando que sus mayores activos son sus máquinas, equipos y procesos, en conjunto con el personal que lo opera y mantiene Willmott (2001). Los costos de mantenimiento pueden componerse de la suma de todos los gastos que se requieren para la aplicación y su desempeño, durante un periodo de tiempo. Podemos clasificarlos en:

**Costos directos.-** son aquellos que se producen como resultado directo de los trabajos de mantenimiento como son:

- Mano de obra utilizada.
- Repuestos, materiales especiales, refacciones o aditamentos específicos.
- Otros gastos generales: energía eléctrica, administración, etc.

Para los gastos de energía eléctrica y otros gastos administrativos al contabilizarse, se puede planificar en base a ello.

El análisis de costos directos puede ampliarse y generalmente se dividen los gastos entre Costo del Mantenimiento Correctivo y Costos del Mantenimiento Preventivo, con la finalidad de establecer el efecto, gastos y efectividad de las actividades de cada una. Como se espera por regla, “con una mayor intervención y mejor aplicación del mantenimiento preventivo, se observará un menor esfuerzo en mantenimiento correctivo”.

**Costos indirectos.-** Los costos que se generan como consecuencia de fallas en los equipos:

- ❖ Costos y/o multas por incumplimiento con los clientes y contratos.
- ❖ Elevar el número de horas extra ordinarias para cumplir con el programa de producción y la entrega.
- ❖ Formación de cuellos de botella en la línea de producción que provoca: una disminución de producción; la sub-utilización de la maquinaria y mano de obra; la acumulación de producto en proceso, congestión de áreas de trabajo, deterioro del producto, desperdicio y mayor inversión en capital de mano de obra y/o materia prima.
- ❖ Mala calidad: la maquinaria sigue funcionando, produciendo artículos de mala calidad, con defectos que en algunos casos no pueden ser reparados.

## 1.4 MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL, (TPM)

Surgió en Japón gracias a los esfuerzos del Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM) como un sistema destinado a lograr la eliminación de las seis grandes pérdidas en los equipos, con la finalidad de hacer factible la producción “Justin Time”, la cual tiene como objetivos primordiales la eliminación gradual y sistemática de desperdicios. También agrega los conceptos antes desarrollados como el Mantenimiento: Preventivo, Planeado, Mejorativo, Predictivo y mantenimiento Correctivo (éste último como un indicador). Pero el que ha resultado de gran importancia para el sistema agregado por los japoneses es el *Mantenimiento Autónomo*, el cual es ejecutado por los propios operarios de producción, buscando la participación activa de todos los empleados, desde los altos cargos hasta los operarios de planta.

**El TPM permite diferenciar una organización en relación a su competencia a través del impacto en la reducción de los costos, la mejora de los tiempos de respuesta, fiabilidad de suministros, el conocimiento que poseen las personas (Know-How)<sup>9</sup>, la calidad de los productos y servicios al cliente, M. SMITH (2004).**

---

<sup>9</sup>KNOW-HOW. es el conocimiento práctico de cómo hacer algo. Know-how es a menudo el conocimiento tácito, lo que significa que es difícil de que se transfiera a otra persona por medio de la escritura o verbalizarlo en forma sintética.

Objetivos principales del TPM son:

- ↗ Reducción de averías en los equipos.
- ↗ Reducción del tiempo de espera y de preparación de los equipos.
- ↗ Utilización eficaz de los equipos existentes.
- ↗ Control de la precisión de las herramientas y equipos.
- ↗ Promoción y conservación de los recursos naturales y economía de energéticos.
- ↗ Formación y entrenamiento del personal.

Metas del TPM:

- I. Desarrollo de las condiciones óptimas en el taller como un sistema conjunto hombre-máquina.
- II. Mejorar la calidad general del lugar de trabajo.

TPM sistema orientado  
a lograr:

**Cero Accidentes**  
**Cero Defectos**  
**Cero Averías**

**Los 5 puntos principales del TPM son:**

1. Conseguir el uso más eficaz del equipo (mejora la efectividad global).
2. Establece un sistema de mantenimiento preventivo y reingeniería para cada equipo.
3. Establecer un sistema de mantenimiento autónomo que se realice por los operarios.
4. Establecer cursos de formación (capacitación) permanente a los trabajadores que aumenten su nivel técnico.
5. Establecer un sistema para que el desarrollo de mantenimiento productivo y la gestión temprana del equipo.

Estas acciones buscan la obtención de productos y servicios de alta calidad, mínimos costos de producción, alta moral en el trabajo y una imagen de empresa excelente. No solo hay participación en las áreas productivas, pues se busca la eficiencia global con la participación de todos los departamentos de la empresa. El objetivo de "cero pérdidas" se logra a través de la promoción de trabajo en grupos pequeños, comprometidos y entrenados para lograr los objetivos personales y de la empresa, a través de la eliminación de las Seis Grandes Pérdidas.<sup>10</sup>

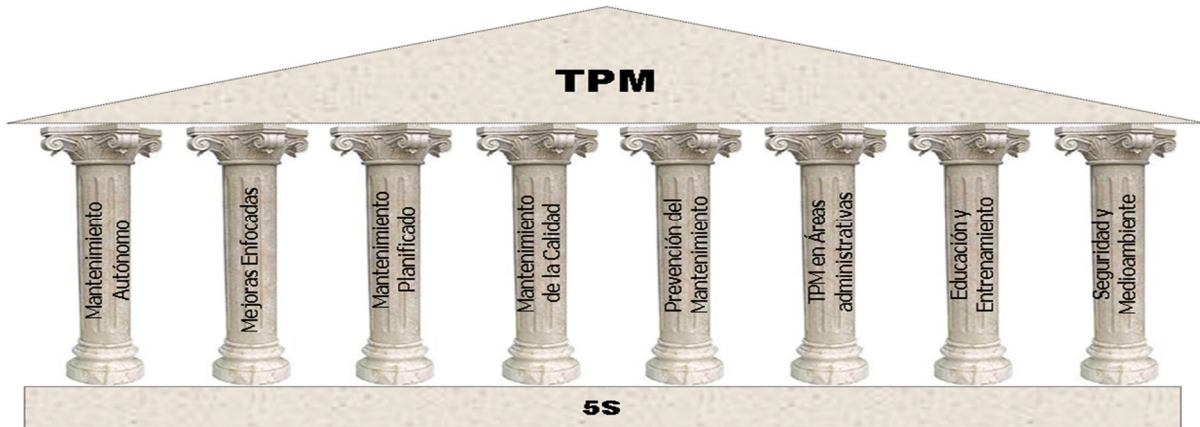
<sup>10</sup> *Seis Grandes Pérdidas*, las pérdidas más importantes que se generan e interfieren con la operación :

- 1) Pérdidas por fallas del equipo.
- 2) Pérdidas por falta de puesta a punto y ajustes de las máquinas
- 3) Pérdidas por tiempos muertos, marchas en vacío, esperas y detenciones menores durante la operación normal.
- 4) Pérdidas por Velocidad de operación reducida,
- 5) Defectos en el proceso de manufactura
- 6) Pérdidas de Arranque.

### 1.4.1 Estructura del TPM

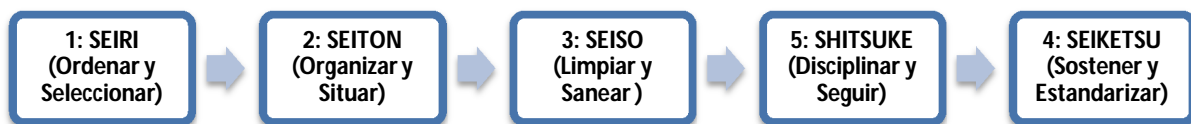
El TPM puede visualizarse como uno un edificio con cimientos (5´s) y 8 pilares sobre los que se apoya la filosofía.

Ilustración I-2. Pilares del Mantenimiento Productivo Total



Fuente: Japan Institute

Ilustración I-3. Filosofía de mejora 5´s (Cimiento del TPM)



**Mantenimiento autónomo o Jishu Hozen.**- Se fundamenta en el conocimiento que el operador tiene para dominar las condiciones del equipo o la maquina con la que labora. Tiene especial trascendencia en la aplicación práctica de las Cinco “S”. Una característica básica del TPM es que son los propios operarios de producción quienes llevan a término el mantenimiento autónomo, también denominado mantenimiento de primer nivel. Algunas de las tareas fundamentales son: limpieza, inspección, lubricación, aprietes y ajustes.

**Mejoras enfocadas o Kobetsu Kaisen.**- Son actividades que buscan encontrar formas y actividades más eficientes. Se desarrollan con la intervención de las diferentes áreas comprometidas en el proceso productivo, con el objeto de maximizar la Efectividad Global de Equipos, procesos y plantas.

**Mantenimiento planificado o progresivo.**- El objetivo es el de eliminar los problemas en las maquinas a través de acciones de mejoras, prevención y predicción. Implica generar un programa de mantenimiento por parte del departamento de mantenimiento.

**Mantenimiento de calidad o Hinshitsu Hozen.-** Tiene como propósito mejorar la calidad del producto reduciendo la variabilidad, mediante el control de las condiciones de los componentes y condiciones del equipo que tienen un impacto directo en las características de la calidad del producto.

**Prevención del mantenimiento (Reingeniería).-** Son aquellas actividades de mejora que se realizan durante la fase de diseño, construcción y puesta a punto de los equipos, con el objeto de reducir los costos de mantenimiento durante su explotación.

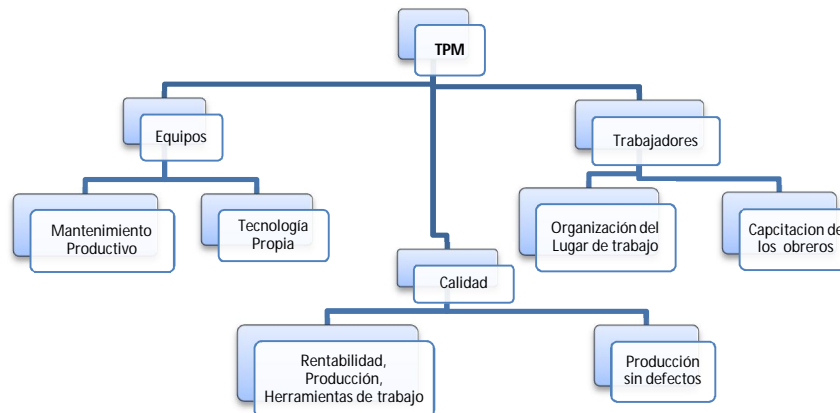
**TPM en áreas administrativas.-** Procura la relación entre las áreas que facilitan y ofrecen el apoyo necesario para que el proceso productivo funcione eficientemente, con menores costos, oportunidad solicitada y con la más alta calidad.

**Educación, entrenamiento y desarrollo de habilidades de operación.-** Las habilidades tienen que ver con la correcta forma de interpretar y actuar de acuerdo a las condiciones que se presentan para el buen funcionamiento de los procesos.

**Gestión de Seguridad, Salud y Medio Ambiente.-** Tiene como propósito crear un sistema de gestión integral de seguridad. Emplea metodologías desarrolladas para los pilares mejoras enfocadas y mantenimiento autónomo. Contribuye significativamente a prevenir riesgos que podrían afectar la integridad de las personas y efectos negativos al medio ambiente.

La experiencia en otras empresas muestra que se requieren alrededor de 3 años para la implementación del TPM y obtener resultados satisfactorios. El costo depende en gran medida de las condiciones iniciales del equipo, experiencia del personal y de la cobertura de las áreas. Para introducir TPM en la industria, la Alta Dirección debe incorporar el TPM dentro de las políticas básicas de la compañía, y concretar las metas. Una vez que las metas han sido establecidas cada empleado debe entender, identificar y desarrollar las actividades en pequeños grupos, que aseguren el cumplimiento de las actividades estableciendo sus propios objetivos basados en las metas globales. Los elementos clave del TPM son:

Ilustración I-4. Elementos clave que soportan el TPM



### 1.4.2 Mantenimiento Autónomo

El Mantenimiento Autónomo (MA) es uno de los pilares principales del TPM, y formar una parte importante en el valor intangible del proyecto. Busca un enfoque lógico: **desarrollar las destrezas del operario para poder prevenir y corregir errores menores en los equipos de producción.** De ésta manera se garantiza una respuesta rápida, ya que el mismo operario tiene capacidad de actuar en cuanto advierte el fallo “in situ”<sup>11</sup>, eliminando la necesidad de tener que avisar el personal de mantenimiento para corregir lo que en ocasiones son pequeños problemas.

Los 7 pasos para implementar el Mantenimiento Autónomo.	<ol style="list-style-type: none"><li>1) <u>Limpieza inicial.</u></li><li>2) <u>Eliminar fuentes de contaminación y áreas inaccesibles.</u></li><li>3) <u>Estándares de limpieza y lubricación.</u></li><li>4) <u>Inspección general.</u></li><li>5) <u>Inspección autónoma.</u></li><li>6) <u>Organización y mantenimiento del lugar de trabajo.</u></li><li>7) <u>Implementa el programa de mantenimiento autónomo completamente.</u></li></ol>	<p><u>Todos deben participar en :</u></p> <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Educación introductoria y entrenamiento.</li><li>✓ Cooperación entre departamentos.</li><li>✓ Actividades de grupo.</li></ul>
---	---	---

La producción eficiente depende principalmente de 2 áreas y sus actividades:

#### 1. Actividades de producción (operarios).

- a. *Contempla la prevención del deterioro.*- Operar el equipo correctamente, mantener las condiciones básicas del equipo, hacer los ajustes básicos adecuados, anotar datos referentes a descomposturas y malos funcionamientos, colaborar con mantenimiento en el estudio de mejoras.
- b. *Medición del deterioro.*- Hacer inspecciones diarias o periódicas.
- c. *Restauración del equipo.*- Hacer reparaciones menores, reportes de descomposturas y mal funcionamiento; asistir en reparar las descomposturas mayores.

#### 2. Actividades del departamento de mantenimiento.

- a. *Mejorar la confiabilidad del equipo.*
- b. *Guiar y asistir a los operadores con mantenimiento autónomo.*
- c. *Otras actividades.*- Investigar y desarrollar tecnología de mantenimiento, seleccionar los estándares de mantenimiento, conservar los reportes de mantenimiento, etc.

Para iniciar con las actividades dentro del mantenimiento autónomo se establecen las 3 principales condiciones: limpieza, lubricación y fijación.

<sup>11</sup>Es una frase en latina que se traduce “en posición”. En general significa que debe ser examinado en el lugar donde se encuentra.



## LIMPIEZA

Además de las actividades comunes se busca:

- 1) Eliminar los efectos que producen resistencia como fricción, desgaste, trabas, bloqueos y fallas eléctricas.
- 2) Limpiar e inspeccionar, al tocar y ver cada parte del equipo detectan defectos ocultos y anomalías como vibración, calentamiento y ruido.
- 3) La importancia de las condiciones básicas y qué hacer para mantenerlas.
- 4) Los puntos importantes de limpieza y piezas clave para un buen funcionamiento.

## LUBRICACIÓN

Se ha establecido como uno de los puntos de mayor importancia dentro del mantenimiento al observar que los lubricantes en las partes mecánicas de equipos o máquinas, reducen el rozamiento, calor, desgaste y prolongan la vida útil y su tiempo de operación. *Estadísticamente si se mantiene un máquina bien lubricada, sin incurrir en excesos, el mantenimiento que requerirá será menor y más espaciado.* En este punto se establecen para el operador:

- ↗ Tipos de lubricantes que debe utilizar para cada función de la máquina.
- ↗ Programar los periodos de lubricación que requiere el equipo y el tiempo que lleva la actividad.
- ↗ Identificar los puntos de lubricación de cada equipo.
- ↗ Cantidad de lubricante que requiere cada equipo
- ↗ Herramientas que se requieren para la lubricación.

## FIJACIÓN

Con esta actividad nos referimos al reapriete de tuercas y tornillos flojos y otros medios de fijación que pueden causar pérdidas mayores directa o indirectamente, causar daños en las piezas, herramientas y provocar defectos en el producto o provocar accidentes al personal. Esta actividad surge con la conclusión de que cualquier herramienta o máquina con el movimiento o vibración tiende a aflojarse en sus piezas no soldadas.

### 1.4.3 ¿Cómo Funciona el TPM?

Explicándolo de una forma sencilla, el TPM se compone de pequeños grupos con actividades en donde todos los miembros participan. El TPM se lleva a cabo por los empleados que, basado en la auto-disciplina, realizan un trabajo en conjunto con la operación formal. Los grupos pequeños establecen sus propios temas y objetivos por los cuales realizan sus actividades. Estos pequeños grupos incluyen un líder de grupo, orientado por un jefe de sección que es apoyado por el jefe de departamento, a su vez los jefes son encabezado por un gerente de sección, con los jefes de unidad o jefes de equipo como sus miembros, y un grupo de primera línea a cargo de un miembro del personal de gestión, como un jefe de unidad o jefe del equipo, e

integrada por miembros de una unidad o equipo. Los pequeños grupos liderados por una organización formal constituyen una característica importante del TPM. Por el contrario, estas actividades no se aplican en los estilos y labores tradicionales de mantenimiento.

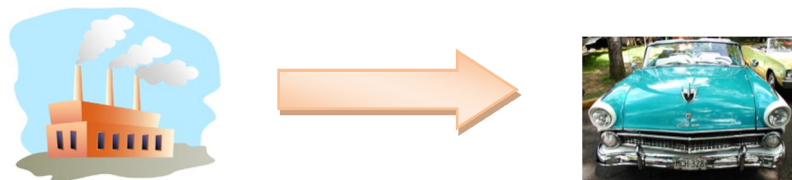
Con las primeras inspecciones se prepara a los operadores para que establezcan los estándares de operación requeridos para mantener los equipos en esas condiciones. El mayor obstáculo para los estándares ocurre cuando no es la misma gente quién los determina, la que los debe seguir. Se tiene que forzar a los operadores a seguir los estándares, y los supervisores deben apoyar sus esfuerzos.

Notablemente, si la motivación, habilidad y oportunidad no están presentes en las actividades del mantenimiento autónomo, los estándares no podrán ser obedecidos, no importa que tan duro traten los supervisores para que se logre. La mejor manera de asegurar el cumplimiento a los estándares es dejar que los fijen quienes los van a seguir. La meta del TPM es maximizar la efectividad de los equipos a través de indicadores.

## ANALOGÍAS

### ANALOGÍA EMPRESA – AUTO

Ilustración I-5. Analogía de la empresa con un automóvil.



Pensemos en un auto reciente que no requiere de mayores reparaciones, solamente su servicio regular. Supongamos que el mecánico ha realizado el servicio como se le indica en un lapso de 3 años. El conductor realiza actividades regulares para proporcionarle lo que requiere el auto para su funcionamiento, conducirlo y mantenerlo limpio.

Si las actividades realizadas y una inspección regular no son adecuadas, el auto demandará reparaciones mayores y habrá provocado en el sistema daños que posiblemente no sean visibles para el mecánico y que continúen provocando desgastes erráticos en el vehículo. En la medida que se acumulan las fallas menores, el ECU<sup>12</sup> tratará de minimizar el consumo de combustible corrigiendo a través de sus medios, en base a los datos que se registran a diario, en dónde y en qué momento aplicar más gasolina, más aire, ajustes de tiempo y sincronización e incrementar el flujo de líquido de enfriamiento del sistema, tratando de corregir irregularidades en el funcionamiento del motor y su trabajo sea de forma eficiente para cumplir y entregar la velocidad y potencia que le es demandada. Esto provocará un consumo de recursos en forma incremental,

<sup>12</sup> ECU es el nombre de la sigla en inglés de la Unidad de Mando. ECU = Engine Control Unit, este dispositivo sofisticado del automóvil contiene un chip que comanda por un programa a través de órdenes para la función del motor.

el desgaste del motor se acelera y poco a poco estará perdiendo el control del funcionamiento del motor. Como resultado la vida del vehículo de 10 años se reduce a solo 4 o 5. Entonces hay que decidir si cambiarlo o repara la maquinaria del vehículo, para seguir compitiendo en el mercado.

La analogía se podría exponer de la siguiente forma:

El conductor utiliza todos sus sentidos cuando conduce el vehículo y detecta ruidos extraños, vibraciones, olores diferentes en el auto o si observara algún tipo de fuga de algún líquido. Siendo el conductor el conocedor de su auto orienta al mecánico en cuanto a las anomalías que haya detectado, reduciendo el tiempo de búsqueda de fallas y se enfocará en mejorar en mantener el buen desempeño del auto. El mecánico con esta información será más eficiente en sus inspecciones y su tiempo será mejor empleado pues utilizará las herramientas humanas (sentidos) y mecánicas para detectar o identificar alguna anomalía y desgastes ocultos avisando al operador del esta y funcionamiento en el que se encuentra el auto.

Esta forma de trabajo en equipo es un valor agregado importante. El trabajo realizado en equipo por el mecánico y el conductor será más confiable, asegurando el buen funcionamiento del auto, minimizando fallas y minimizando costos al consumir menos recursos. Así producirá: velocidad, potencia y un mayor número de kilómetros recorridos por litro de gasolina consumida. El conductor estará confiado en que su auto no fallará ni se preocupará por riesgos de problemas en el motor o en la maquinaria, reduciendo el factor de riesgo sobre accidentes por malos trabajos y ajustes en las piezas, además de reducir el riesgo de quedar varado en el camino por fallas mecánicas o presentarse una accidente de consecuencias mayores.

El resultado sería que la vida útil del auto se prolongaría incluso más allá de 10 años, las reparaciones mayores que requieran en ese lapso se financiarán con los mismos ahorros de combustible, piezas, desgaste y los beneficios indirectos producto del buen funcionamiento.

**Tabla I-1. Analogía empresa - auto**

<b>EMPRESA</b>	<b>AUTO</b>
<b>Producción y Equipos</b>	Motor
<b>Materia Prima</b>	Gasolina, aceite, anticongelante, piezas del auto.
<b>Administración y Finanzas</b>	E.C.U. (Computadora)
<b>Producto Terminado</b>	Movimiento del vehículo (Velocidad)
<b>Operador</b>	Conductor
<b>Mantenimiento</b>	Mecánico

## ANALOGÍA DEL EQUIPO DE FUTBOL

El equipo representa la fuerza de trabajo de la producción, donde se requiere de la total cooperación durante el partido (proceso), sin envidias ni sospechas de la actividad que desempeña cada jugador. La función del equipo de futbol es jugar bien con fuerza y determinación dando el máximo para GANAR (producto terminado de calidad), y alcanzar su objetivo principal que es ganar la satisfacción del cliente. El equipo está apoyado por el entrenador, fisioterapeuta, el administrador; de igual forma el TPM requiere del apoyo proactivo de los diseñadores, ingenieros, control de calidad, control de producción, administración y los líderes de las áreas.

En el equipo de futbol los operadores atacan y mantenimiento defiende. Sin embargo mantenimiento puede subir a apoyar a los operadores para lograr el gol. De igual forma los operadores pueden bajar para defender y detener al equipo contrario. Cada jugador es experto en su posición pero también pueden moverse a otra posición para cooperar con el equipo y la jugada que se lleva a cabo. Lo mismo sucede en la empresa, si no hay cooperación entre las áreas de trabajo, no hay confianza en su labor y no se llega a los objetivos, no ganarán el partido. *El corazón del TPM es la cooperación.* El equipo al igual que la empresa sin cooperación y confianza no ganará. El entrenador en el equipo como el director en la empresa son quienes guían y ayudan a que el negocio trabaje con eficacia. Los operadores, mantenimiento, ingeniería, seguridad, administración, finanzas deben trabajar como un equipo activo que busca soluciones, eliminan los desperdicios y quita obstáculos.

Ilustración I-6. Analogía TPM - equipo de futbol.



### 1.4.4 Indicadores de Confiabilidad del TPM

El conocimiento exacto de cómo está funcionando un equipo es un aspecto crucial que influye directamente sobre la calidad, disponibilidad y seguridad de la línea. Pueden surgir diversas preguntas cuando ocurren las siguientes situaciones:

- ↗ ¿Con que efectividad está trabajando un equipo?
- ↗ ¿Qué ocurre si cuando funciona lo hace al 75% de su velocidad?
- ↗ ¿Qué ocurre si sólo el 90% de las piezas que produce son buenas?



Los índices muestran de forma exacta y continua, donde se necesita mejorar y qué clase de resultados se están buscando. Enfocan las actividades de mejora señalando los aspectos más importantes, facilitan la pronta identificación y respuesta al cambio, plantean juicios más exactos, y ayudan a promover las actividades de TPM más eficientemente.

Un cercano monitoreo en todos los niveles ayuda a mantener y mejorar resultados; promueve el desarrollo más eficientemente y nos ayuda a entender y prevenir caídas repentinas en la eficiencia.

## INDICES DE CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS

**Tiempo medio hasta el fallo- Mean Time To Failure (MTTF).** Cuanto más tiempo un componente opera, más es probable que falle debido al envejecimiento. El tiempo medio hasta el fallo de un componente es precisamente eso, una previsión estadística para medir el tiempo promedio entre fallas, es decir, el lapso de tiempo en el que se presenta la falla del componente, con el supuesto de que el sistema de modelado de errores no se repara. Cuanto mayor es el MTTF de un componente, menos probable es que no falle. MTTF es el número total de horas de servicio de todos los dispositivos dividido por el número de dispositivos.

$$\text{MTTF (Mean Time To Failur)} = \frac{\text{Total de horas de servicio de todos los dispositivos}}{\text{Número de dispositivos}}$$

**Tiempo Promedio entre Fallo - Mean Time Between Failures (MTBF).** Nos indica el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de un fallo, es decir, es el tiempo medio transcurrido hasta la llegada del evento "fallo".

$$\text{MTBF (Mean Time Between Failures)} = \frac{\text{Numero total de detenciones}}{\text{Tiempo de carga}}$$

**Tiempo Promedio para Reparar - Mean Time To Repair (MTTR):** Es la medida de la distribución del tiempo de reparación de un equipo o sistema. Este indicador mide la efectividad en restituir la unidad a condiciones óptimas de operación una vez que la unidad se encuentra fuera de servicio por un fallo, dentro de un periodo de tiempo determinado. El cálculo de la tasa de falla puede calcularse de dos maneras:

$$\text{MTTR (Mean Time To Repair)} = \frac{\text{Tiempo total de detenciones}}{\text{Número de fallas}}$$

O también como:

$$\text{Tasa de falla} = \frac{1}{\text{MTBF (horas de funcionameinto - 1)}}$$



## ÍNDICES PARA MEDIR LA EFICIENCIA DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO

Difieren dependiendo de cada industria. Sin embargo deben ser capaces de responder a las siguientes preguntas:

- ❖ ¿Hasta qué término está cumpliéndose el trabajo de acuerdo al plan?
- ❖ ¿Han mejorado la tasa de operación y calidad del producto?
- ❖ ¿El trabajo realizado es más efectivo y tiene un menor costo en su realización?

Estos son algunos de los indicadores del área frecuentemente utilizados:

$$\text{Tasa BM (Breakdown Maintenance)} = \frac{\text{Trabajos de BD}}{\text{Número total de trabajos de mantenimiento}}$$

$$\text{Tasa BM (horas – hombre)} = \frac{\text{horas – hombre en BM}}{\text{horas – hombre totales en mantenimiento}}$$

$$\text{Tasa de cumplimiento PM} = \frac{\text{Total de trabajos ejecutados en PM}}{\text{Total de trabajos PM planeados}}$$

## ÍNDICE PARA MEDIR LA EFECTIVIDAD DE PLANTA

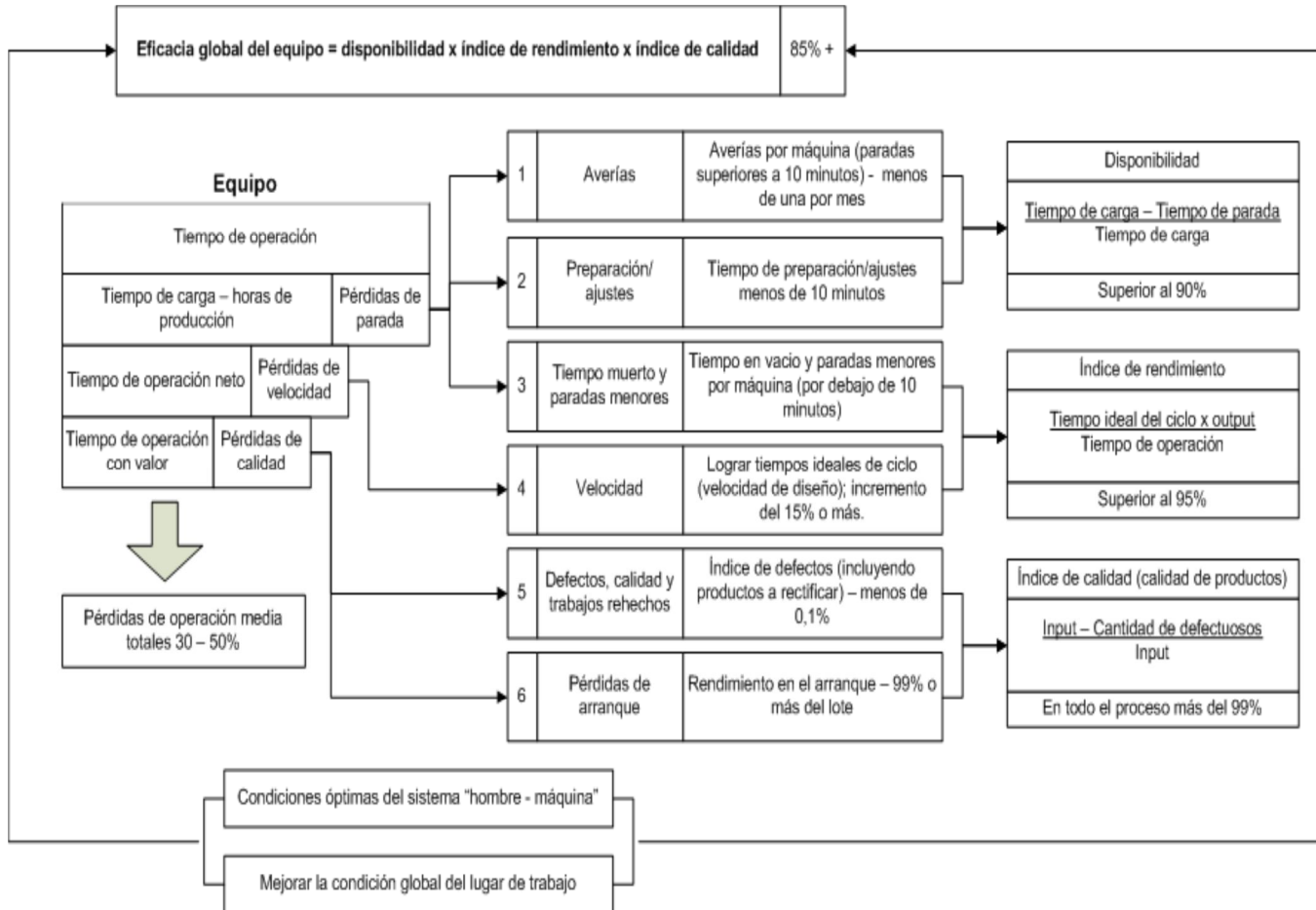
El TPM maximiza la eficacia del equipo por medio de dos tipos de actividad:

**Cuantitativa:** Incrementa la disponibilidad total del equipo y mejora su productividad en un período dado de tiempo.

**Cualitativa:** Estabiliza la calidad.

Estas dos actividades están relacionadas con los resultados de la empresa así como con el del personal. La gestión de estos parámetros se muestra en la siguiente figura:

Ilustración I-7. Diagrama de Eficiencia Global del Equipo.



Fuente: Nakajima ,1984.

Para el cálculo de las tasas es necesario tomar en cuenta:

Tiempo de carga o disponible: se refiere al tiempo disponible del equipo durante un período dado. En otras palabras es el tiempo total disponible para operación menos los tiempos necesarios para descanso, encuentros, etc. (inevitables).

Tiempo de operación: es el tiempo de carga menos el tiempo en el que el equipo está detenido debido a descomposturas, ajustes, cambio de herramienta y otros paros. Es el tiempo en el que el equipo está produciendo.

Tiempo de operación neto: es el tiempo en el que el equipo es operado estable y a velocidad constante. Al tiempo de operación se le resta el tiempo perdido por paros menores y por pérdida de velocidad.

Tiempo valorable de operación: es el tiempo neto de operación, menos el tiempo estimado que se requiere para re-trabajar los productos defectuosos. Es el tiempo durante el cual los productos aceptables son manufacturados.

Tiempo de ciclo ideal: es el tiempo diseñado para la producción de una unidad.

Tasa de calidad = producción.

Tomando en cuenta la combinación de las fórmulas que determinan la combinación del mantenimiento de la operación, administración del mantenimiento y la disponibilidad de los recursos, se calcula el OEE.

### 1.4.5 Eficiencia Total, OEE (Overall Efficient Equipment)

**Eficiencia Total del Equipo** se refiere, a la medición del comportamiento de la efectividad del total de la planta en base al producto en términos de porcentaje, de **disponibilidad** de una pieza, equipo o proceso X su **tasa de desempeño o rendimiento** cuando está produciendo X la **tasa de calidad** si produce. Semide utilizando la siguiente fórmula:

**OEE** = Disponibilidad x Tasa de Desempeño x Tasa de Calidad.

$$\text{OEE} = 90\% \times 95\% \times 99\% = 85\%$$

En años anteriores el indicador estaba siendo desarrollado en relación con otras áreas, puesto que no toma en cuenta todos los factores que reducían la capacidad de los equipos. Por ejemplo: el tiempo de parada, la falta de entrada de materiales, la falta de mano de obra, etc., pérdidas que no son responsabilidad del mantenimiento. En conjunto con ellos también existen factores que afectan en diferente medida la eficiencia y disponibilidad de la empresa, resultado de las características de los diferentes procesos. Para esto proponen asignar diferentes pesos a las variables de cálculo para el resultado del OEE, estableciendo diferentes pesos para cada industria o negocio, F.T.S Chan (2005).

Sin embargo en los últimos años se ha desarrollado la cobertura de aplicación de éste indicador, agregando los factores mencionados se mostró que no solo se limita a observar la efectividad de las máquinas, sino que puede ser un poderoso indicador de la efectividad del negocio, pudiendo ser aplicado para los negocios como parte del sistema de gestión o midiendo la efectividad de la cadena de valor como un todo. Su aplicación se puede dar en 3 niveles:

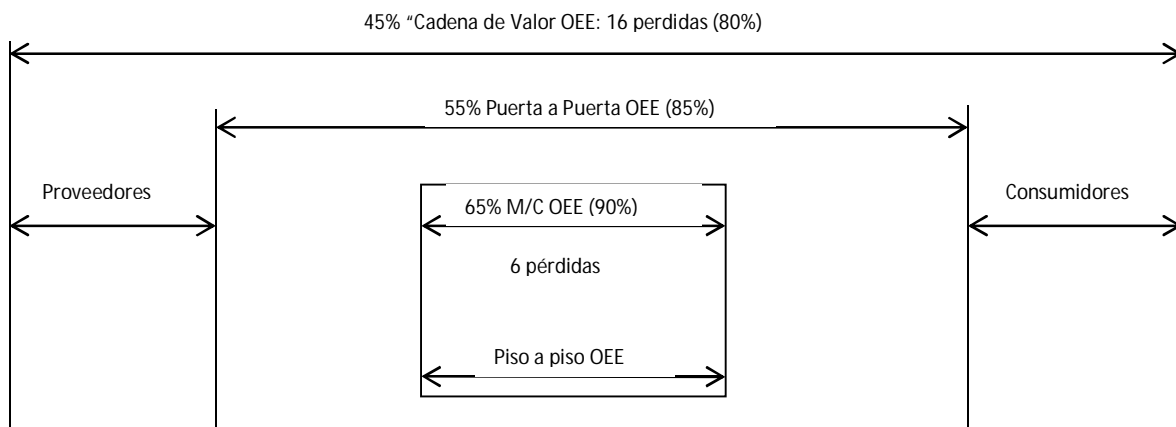
**Tabla I-2. Niveles de la Eficiencia Total, OEE.**

<b>De planta</b>	Maquina o proceso	De piso a piso, OEE
<b>Gestión de recursos</b>	La línea o proceso de la empresa	De puerta a puerta, OEE
<b>La alta dirección</b>	El negocio	De proveedor a consumidor, la cadena de valor OEE

Fuente: RCM, Gateway to World Class Maintenance



Ilustración I-8. OEE: Indicadores de Desempeño.



Fuente: RCM, Gateway to World Class Maintenance

Donde los porcentajes indican el nivel de efectividad aproximado en el que laboran la mayoría de las empresas y el porcentaje entre paréntesis (%), es el objetivo del OEE en el nivel, es decir, la eficiencia óptima. Por ejemplo si el resultado de la efectividad de la planta es mayor del 85%, podemos suponer razonablemente que la planta está siendo operada en todos los equipos de manera efectiva y eficientemente, de puerta a puerta.

La eficacia del equipo depende de cada industria, habilidades de los operadores, condiciones del equipo y sistemas de producción involucrados. **La eficacia del equipo (piso a piso), promedia de 40 a 60 por ciento en las compañías comunes de acuerdo a las investigaciones hechas por el Japan Institute for Plant Maintenance (JIPM).** Este estándar puede ser elevado a 85 o 95 por ciento, a través de varias actividades que busquen la reducción y eliminación de las pérdidas en la eficiencia del equipo.

Partiendo de modelo del OEE, algunas industrias han creado sus propios modelos ajustándolos a los requerimientos de sus procesos, de ello se deriva que en otras literaturas se observen cambios en el modelo. Sin embargo para ésta tesis utilizaremos el modelo propuesto por Nakajima (1988).

## 1.5 RELACIÓN NEGOCIO-COSTO-BENEFICIO

*“La justificación del gasto es una actividad racional y una idea en todo el mundo. Todas las decisiones son echas comparando costo / beneficio. Sin embargo, en la realidad algunas decisiones son hechas por instinto porque la información no está disponible o las opciones son complejas y los beneficios inciertos”, Willmott (2001).*

Hoy en día estamos en la búsqueda continua de los niveles de trabajo óptimos, que cumplan con las demandas de los consumidores, minimizando costos y competir a un nivel global. Pequeños o

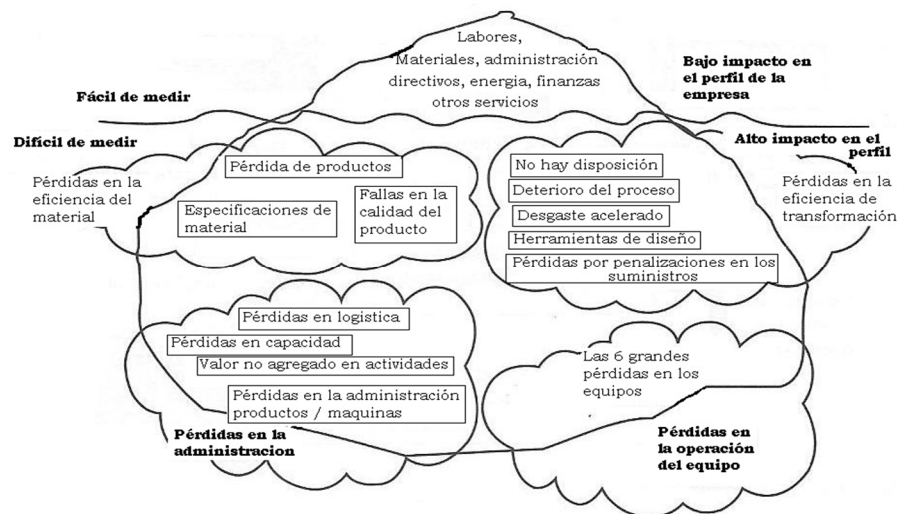
grandes, privados o públicos, no hay lugar o negocio que no sea afectado por el clima de cambio en el mercado. Una visión muy corta sería pensar solamente con el simple hecho de reducir costos o cambiar la administración tradicional de los activos logrará hacer una diferencia en las empresas y continuarán siendo competitivos.

Para llegar al nivel óptimo es necesario cambiar la forma de pensar y de actuar del personal que labora en la empresa. Conceptualmente el sistema TPM envuelve a todo el personal de planta (proceso) y administrativo; viéndolo como un equipo base, nuevo, reciente y enfocado con las herramientas necesarias para lograr los objetivos primordiales.

Directivos japoneses de compañías de nivel mundial reconocen que desde hace 25 años la efectiva aplicación de la tecnología moderna solo puede ser lograda a través de la gente, comenzando con la operación, administración, tecnología, etc., y no solamente a través de los sistemas de producción. El TPM mejora la relación entre el personal operativo y sus equipos.

*En el ámbito de los costos y su relación con el negocio, generalmente las compañías atacan los gastos y las pérdidas visibles sin considerar las posibles causas que las provocan. Estos son los costos ocultos que se generan a partir de pérdidas ocultas.* Atacar de forma puntual o separada a cada problema es una metodología ineficaz e insuficiente, deben considerarse tanto las perdidas visibles como las ocultas para eliminarlas en su mayor parte o la totalidad. El TPM comienza atacando las "6 grandes pérdidas" en proceso, mejora la relación operativa con la administrativa siendo partícipes del mismo objetivo y que además agrega valor al negocio en términos de incremento de la competitividad. La experiencia empírica y de acuerdo a los registros de fallas en otras plantas, ha encontrado que para cada quiebre importante existen 30 problemas menores y 300 factores que contribuyeron en la generación de estos problemas menores. Los quiebres son el resultado, pero no la causa o el síntoma que lo provocó.

Ilustración I-9. Pérdidas ocultas en la cadena de suministro.



Fuente: RCM, Gateway to World Class Maintenance

El modelo reconoce que la reducción de quiebras y pérdidas en los equipos es solo una parte de lo que el TPM puede entregar. Además de mejorar la administración de las pérdidas, de material, reduce el consumo de materia prima para la transformación en productos; transforma la operación de forma que abarca todas las funciones, haciendo una integración efectiva de toda la compañía hacia la mejora continua.

Tengamos en mente que el volumen de producción es el indicador que determina el costo unitario, a mayor producción se tiene un costo menor. **Las 2 ideologías productivas para ser competitivos son:**

- 1) Producir lo mismo en menos tiempo,**
- 2) Producir más en el mismo tiempo.**

Éstas se encuentran relacionadas con el negocio en base a su rentabilidad en los procesos. Las premisas se encuentran dentro de la filosofía de efectividad del TPM y a su vez está relacionado con la rentabilidad de proyecto. Esta relación la podemos ejemplificar de la siguiente forma:

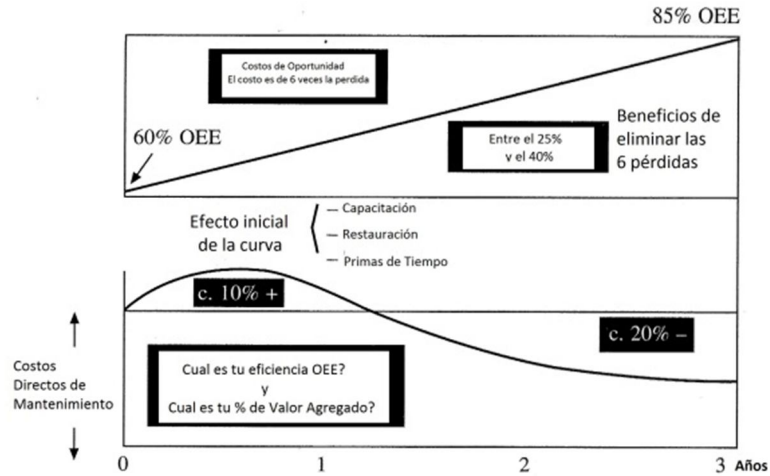
Si usted produce 10 % más en el mismo tiempo incrementará el retorno del capital empleado en ello en un 20%. Ahora si usted produce el mismo 10% en menos tiempo incrementará el retorno de capital en un 5% (reduciendo en 10% los costos laborales). Es decir, tienen una influencia marginal<sup>13</sup> positiva sobre la utilidad al producir un mayor número de piezas o utilizar un menor tiempo para producirlas.

El efecto de los beneficios y el impacto en los costos a través del tiempo de implementación del TPM puede observarse de forma general en la siguiente figura. En ella se observa un incremento del 10% al principio derivado de la inversión inicial en la capacitación, restauración, remodelación y el tiempo de respuesta. Willmott (2001), comenta que por cada 1% de mejora en el OEE equivale entre el 5 y 20% del gato anual en mantenimiento.

---

<sup>13</sup> Al igual que sucede en el resto de la economía, lo que determina el valor de un activo dado es su influencia marginal en la utilidad total y no su valor como activo considerado por sí solo. P. 243. pHal R. Varian; MICROECONOMIA UN ENFOQUE ACTUAL, 2000

Ilustración I-10. Grafica de porcentajes de Costo / Beneficio.

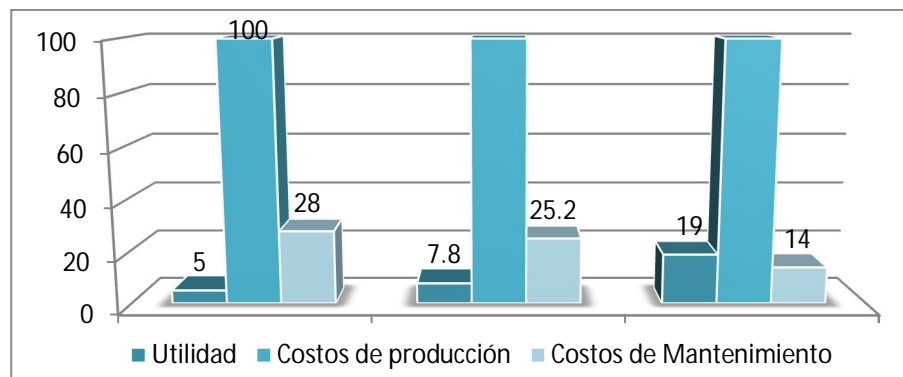


Fuente: RCM, Gateway to World Class Maintenance con adaptaciones propias.

Tal vez los costos más altos son los que se relacionan con el riesgo que implican las fallas. Hasta ahora solo se han tratado los costos directos de las fallas y lo que implica el no atenderlas. Sin embargo los costos indirectos pueden llegar a ser mucho más altos, a saber y considerando, **¿Qué tiene mayor impacto en el negocio, el costo de mantenimiento o el costo de perder la producción?**

Wireman (2004), comenta que en un estudio realizado se muestra que el rango de costo va de 2:1 hasta más altos como 15:1. Este un punto importante que debe ser analizado por las compañías, el costo del mantenimiento contra el costo de no realizarlo. Dentro de los flujos de efectivo este beneficio se puede observar en las utilidades antes de impuestos, la siguiente grafica ejemplifica un comparativo los costos y el efecto en las utilidades. Observe que al disminuir los costos de mantenimiento, aumentarán las utilidades del negocio.

Ilustración I-11. Gráfica comparativa de costos de mantenimiento

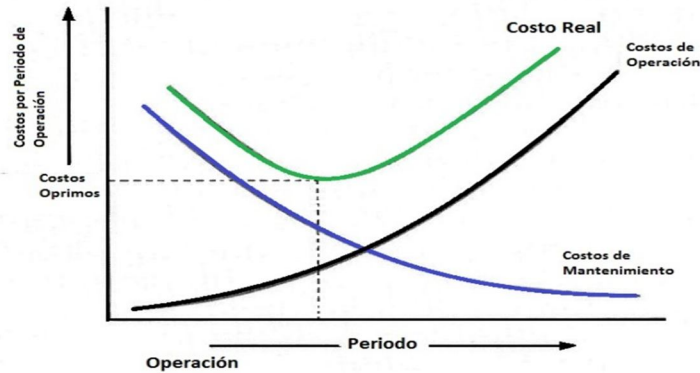


Fuente: Libro Total Productive Maintenance

La decisión sobre los costos que el mantenimiento genera, puede hacerse basándose no solo en que es mejor para el grupo de operaciones o mejor para el grupo de mantenimiento, pero

si en la combinación de los menores costos para el resultado final de la compañía. Es el tipo de decisión que la empresa debe hacer si realmente quiere optimizar costos. Esto puede observarse en la figura siguiente.

Ilustración I-12. Gráfica de Costos de Operación-Mantenimiento



Fuente: Wireman 2005

Aplicando los factores de medición financieros con que el proyecto TPM puede ser medido se encuentra el Retorno sobre la Inversión (Return Over Invertion, ROI)<sup>14</sup> de acuerdo con M. Smith (2004). Comparando los las ganancias finales contra la inversión. El valor del ROI estará directamente relacionado con el monto de la inversión y la cobertura de aplicación del proyecto. Es decir que dada la flexibilidad del proyecto y su aplicación (desde una línea de proceso hasta el total de la compañía), serán las ganancias que genere.

Como parte de los beneficios del TPM se encuentran el control del presupuesto del mantenimiento, al medir y monitorear todos aquellos quiebres mayores en los equipos reduciendo el consumo de recursos de la compañía e incrementando su organización y confiabilidad. *Además hace más fluido y menos complejo el sistema de operación y administración. Posee la habilidad de reducir la complejidad del sistema y proveer rutas más concretas hacia decisiones sistemáticas.* Se pueden resumir en forma general los beneficios de TPM, como sigue:

<sup>14</sup> ROI, es una medida de rendimiento utilizado para evaluar la eficacia de una inversión o para comparar la eficacia de una serie de diferentes inversiones. Para calcular el retorno de la inversión, el beneficio (retorno)de una inversión se divide por el costo de la inversión, el resultado se expresa como un porcentaje. La fórmula para su cálculo:

$$ROI = \frac{\text{Ganancia de la Inversión} - \text{Costo de la Inversión}}{\text{Costo de la Inversión}}$$

<p><b><i>Beneficios para el negocio</i></b></p>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Planeación a través de la cadena productiva, entregando el producto como el cliente lo quiere, cuando lo solicita, justo a tiempo y a la primera (<b>reducción del riesgo operativo</b>).</li><li>➤ Sistema Flexible, que se adapta rápidamente a los cambios del mercado y sus demandas sin elevar los niveles de stock (<b>reducción del riesgo intrínseco</b>).</li><li>➤ Mejora la eficiencia del negocio (OEE) y sus habilidades (fortalezas), (<b>reduce desperdicios y gastos</b>).</li></ul>
<p><b><i>Beneficios hacia las maquinas</i></b></p>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Mejora la capacidad del proceso, calidad del producto y productividad (<b>reduce costos por inventarios</b>).</li><li>➤ <b>Beneficio económico</b> al utilizar los equipos más allá de la vida útil recomendada por el fabricante.</li><li>➤ Maximiza la eficiencia de los equipos, <b>reduciendo costos</b></li></ul>
<p><b><i>Beneficios en el personal</i></b></p>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Incrementa el uso de las habilidades de los operadores, uso de grupos de trabajo y habilidad para resolver problemas (<b>reduce el riesgo operativo y gastos por re manufactura</b>).</li><li>➤ No tiene problemas en cuanto a los cambios dentro de la empresa, siendo proactivos en lugar de reactivos.</li><li>➤ Fortalece los equipos de trabajo (<b>promueve la inversión en I+D</b>).</li></ul>

## CAPÍTULO II . EVALUACION DE PROYECTOS

### 2.1 METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN

La incertidumbre en los mercados y los riesgos de las economías ponen de manifiesto el uso de herramientas que prevean, analicen, compensen y que si es posible minimicen las probabilidades de pérdidas en las inversiones, evaluando cada una de diferentes perspectivas.

La evaluación de un proyecto es una materia interdisciplinaria conjuntada por diferentes áreas como: investigación de operaciones, ingeniería, finanzas, contabilidad, etc. que aportan información y conocimientos sobre las características del proyecto para su evaluación. El resultado de esta interacción es el estudio completo acerca de la viabilidad técnica, económica y de mercado, así como los beneficios que aporta al negocio. En muchas ocasiones es muy difícil integrar la información en un solo estudio concatenado y congruente que aporte un resultado convincente sobre el proyecto, por ello se valen de distintas herramientas de evaluación donde además de las variables más relevantes, se evalúan distintos escenarios que podrían presentarse al implementar el proyecto. El valor del proyecto y lo que éste puede aportar al negocio, crecimiento y desarrollo es la clave financiera de su evaluación. Es de esperarse que no todos los proyectos tengan una rentabilidad positiva, como determinar si la tiene dependerá de la relación conjunta de la estructura financiera del negocio, los activos con que se cuente, y de las características propias del proyecto.

La planeación en el crecimiento de la empresa y el uso de sus herramientas debe estar relacionada con las estrategias y objetivos de la compañía, de igual forma la relación de los proyectos con la empresa si se quieren llegar a tener beneficios futuros sobre las inversiones.

Existen diversas metodologías para la evaluación de un proyecto al igual que para la Valuación de Empresas. Por ahora solo utilizaremos los métodos que serán de utilidad en la valoración del proyecto de TPM, como ya se mostró en el capítulo anterior la valoración en el proceso productivo de un negocio, en este capítulo se enfocará al aspecto de la parte económica y financiera. La metodología que utilizan las empresas para evaluar los proyectos y decidir si deben aceptarse o rechazarse para incluirlos en sus planes de desarrollo son:

1. Periodo de recuperación del efectivo, Pay-Back
2. Razón Costo / Beneficio
3. Rendimiento Contable Promedio o Tasa de Rendimiento Contable
4. Tasa Interna de rendimiento, TIR
5. Valor Presente Neto, VPN.
6. Valor presente Neto Extendido, (Opciones Reales)
7. Metodologías con riesgo.

Como se mencionó en el desarrollo del VPN, la metodología de *descontar los valores del efectivo* para determinar su valor a través de tiempo, no es utilizada por todos los modelos de valuación, presentando una desventaja en cuanto al valor real o su valor futuro. Otra característica es que no todas las metodologías contemplan el uso del flujo de efectivo (cash flow), que pueda

generar la inversión o en este caso el proyecto. El cash flow es el elemento más real para ser utilizado en la evaluación de proyectos de inversión, al considerar el *dinero a través del tiempo*.<sup>15</sup>

### 2.1.1 Periodo de Recuperación, PR (Pay-back)

Se define como el número esperado de años que se requieren para recuperar la inversión original (el costo del activo), sin tomar en cuenta los intereses. Al realizar o invertir en cualquier proyecto, lo primero que se espera es obtener un beneficio o utilidades. Se busca que esas utilidades lleguen a manos del inversionista lo más rápido que sea posible, en un periodo de tiempo mínimo. Para su cálculo solo deben de sumarse o añadirse los flujos de efectivo esperados de cada año hasta que se recupere el monto inicialmente invertido en el proyecto. Cada periodo representa un año o el periodo de tiempo asignado y se incluye además una fracción de un año o periodo en caso de que ello sea apropiado o se requiera para recobrar la cantidad original invertida, esta cantidad total es el periodo de recuperación. La fórmula es la siguiente:

$$\text{Periodo de recuperación} = PR = \left( \frac{\text{Numero de años antes de la recuperación total de la inversión original}}{\left( \frac{\text{Costo no recuperado al inicio de la recuperación total del año}}{\text{Flujos totales de efectivo durante la recuperación total del año}} \right)} \right)$$

#### PERIODO DE RECUPERACIÓN DESCONTADO (PRD)

Si bien el método de recuperación, hace mención de los flujos de fondos por periodo, pero no agrega ni toma en cuenta la tasa de rendimiento que se requiere o los costos de capital del proyecto. Para incluirlos primero se descuentan los flujos de efectivo y luego se aplica de metodología tradicional. Así la metodología se definiría como el número de años que se requieren para recuperar una inversión a partir de los *flujos netos de efectivo descontados*. La forma de calcular su valor es la misma que el plazo de recuperación tradicional solo que para este caso como se mencionó se tomaran los valores de los flujos netos de efectivo descontados.

Como menciona Ross (2010), los principales problemas del modelo son:

- *La periodicidad de los flujos de efectivo dentro del periodo de recuperación.* El modelo no observa los incrementos o decrementos de los flujos de efectivo en cada periodo, omitiendo su valor en el tiempo, no vale lo mismo tener una rentabilidad de 1 millón de pesos hoy que dentro de 2 años.
- *Los pagos o flujos de efectivo después del periodo de recuperación.* Debido a la orientación del modelo para el corto plazo, es probable que algunos proyectos valiosos de largo plazo sean rechazados, es decir, que puede un proyecto tener un flujo de efectivo sustancioso, en el periodo inmediato al plazo de recuperación y ser rechazado.

<sup>15</sup> Este concepto se explicará en un apartado más adelante.



- *El estándar arbitrario de decidir el periodo de recuperación de cada proyecto.* No existe una norma o fórmula para determinar los plazos de recuperación, es decisión de que evalúa.

Sin embargo a pesar de los problemas y las limitantes de este método, no deja de ser una útil herramienta de evaluación por su sencillez. Es utilizada principalmente en negocios pequeños y proyectos pequeños que tienen importantes oportunidades de desarrollo pero poco acceso al financiamiento o capital. De igual forma para empresas grandes mientras que consideran proyectos con mayores costos de capital y variantes en sus flujos de efectivo, riesgos e incertidumbre se vuelve más factible utilizar la metodología del VPN.

### 2.1.2 Razón Costo – Beneficio

Es una relación sencilla en donde la suma de los flujos de efectivo anuales se le resta los costos de la inversión inicial y las reinversiones del mismo periodo de los flujos. Es considerado como un índice de rentabilidad. Pretende determinar la conveniencia de un proyecto mediante la enumeración y valoración posterior en términos monetarios de todos los costos y beneficios derivados directa e indirectamente de dicho proyecto. Su cálculo es mediante la siguiente expresión:

$$B/C = \frac{\sum_{i=0}^n \frac{Vi}{(1+i)^n}}{\sum_{i=0}^n \frac{Ci}{(1+i)^n}}$$

Razón	Resolución
<b>B/C &gt; 1</b>	Se acepta la alternativa. En el caso de varias alternativas se toma la que tenga mayor valor en su cociente B/C.

Su ventaja en cuanto a la sencillez de la aplicación de este modelo también es una desventaja al no incluir aspectos importantes como: valor de dinero en el tiempo, tasa de rentabilidad mínima exigida por los accionistas, aspectos legales, etc. En poco utilizado en las empresas privadas, caso contrario en las gubernamentales.

### 2.1.3 Rendimiento Contable Promedio o Tasa de Rendimiento Contable

Este método utilizado en menor grado para las decisiones financieras. Se conforma por las utilidades promedio del proyecto después de impuestos y depreciación, dividido entre el valor promedio en libros de la inversión durante la vida del proyecto. Compara el valor del rendimiento entre proyectos para elegir el más rentable. Se calcula como sigue:

$$RCP = \frac{\text{Promedio de Utilidades, } (U)}{\text{Valor promedio de la Inversión, } (I)}$$

$$U = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n U_t$$

Dónde:

n = Cantidad de periodos de que consta la inversión.

$U_t$  = beneficio que reporta la inversión en el período t.

$U_n$  = beneficio neto anual promedio.

I = Valor promedio de la inversión promedio.

M = monto de la inversión en el periodo.

$$I = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n M_t$$

Los problemas que presenta la metodología son:

- Sus valores son arbitrarios. Puesto que las en las utilidades netas y el valor en libros contables, están dados por el juicio del contador (depreciar o gastar el activo).
- No toma en cuenta el rendimiento marginal de la inversión, puesto que se utilizan las utilidades históricas y no los flujos de caja.
- No determina una tasa de rendimiento esperada
- De igual forma que los métodos anteriores no tiene en cuenta el valor del dinero en el tiempo.
- Su criterio de decisión se basa en que son preferibles los proyectos con elevados beneficios con corta duración.
- 

#### 2.1.4 Tasa Interna de Retorno o Rendimiento (TIR)

Esta metodología se basa en el criterio óptimo para invertir y aceptar proyectos cuya rentabilidad sea mayor al costo de oportunidad del capital, es decir, que la tasa de rendimiento que ofrece el proyecto sea mayor a la tasa en donde el VPN no tendrá pérdidas ni ganancias a través del proyecto. Su valor depende únicamente de los flujos de efectivo generados durante la proyección de vida del proyecto. Para calcularlo se hace el valor del VPN sea igual a cero y se despeja la tasa de descuento que coincida con la rentabilidad del proyecto. Tiene como ventaja que elimina el cálculo de la Tasa de Interés de Oportunidad (TIO).<sup>16</sup> La inversión del proyecto es  $C_0$ .

$$VPN = C_0 + \frac{C_1}{1+r} + \frac{C_2}{(1+r)^2} + \frac{C_3}{(1+r)^3} + \dots + \frac{C_T}{(1+r)^T}$$

A la tasa que convierte en cero el VPN se le conoce como Tasa Interna de Retorno o Rentabilidad (TIR=r):

$$VPN = 0 = \sum_{t=1}^n \frac{\text{Flujo de efectivo}}{(1+TIR)^t} - \text{Inversión Inicial}$$

Normalmente los flujos de efectivo no son constantes por lo que es difícil precisar el valor de la TIR. Ésta es la rentabilidad del proyecto, el costo de oportunidad es un estándar de rentabilidad establecido por los mercados de capital, referido a la rentabilidad esperada de los

---

<sup>16</sup>Es la tasa equivalente al Costo de Oportunidad. Consiste en comparar el rendimiento que da un negocio o una inversión contra otra inversión de menor riesgo (por ejemplo los bonos del gobierno), en donde los bonos sin riesgo que pagan es el costo de oportunidad por dejar de invertir en esos bonos y "arriesgarte" a invertir en otra alternativa, como puede ser un negocio o alguna otra inversión. Si al menos no ganas lo que pagan los bonos estás perdiendo contra el costo de oportunidad. Si por ejemplo los bonos pagan 5% y la inversión te da el 20% de rendimiento entonces se dice que estas arriba del costo de oportunidad en 15 puntos porcentuales

activos con el mismo nivel de riesgo que el proyecto de inversión. Es importante no confundir la TIR con el Costo de oportunidad. Los criterios de decisión para invertir son los mismos que para el Valor Presente Neto.

**Tabla II-1. Criterios de aceptación del modelo TIR**

Criterios de Aceptación del Proyecto	
Costo de oportunidad del capital < TIR	VPN > 0. Debe invertirse en el proyecto
Costo de oportunidad del capital = TIR	VPN = 0. Es indiferente invertir o no.
Costo de oportunidad del capital > TIR	VPN < 0 El proyecto no debe realizarse.

Una de las limitantes de la TIR se presenta cuando tiene más de un resultado, es decir, que se presentan 2 o más TIR para el mismo proyecto. Esto se presenta cuando los proyectos tienen patrones no convencionales de flujos de efectivo. Un patrón convencional de flujos es cuando se presenta un flujo de efectivo negativo (inversión) en un periodo inicial dentro de la vida del proyecto y consecutivamente se presentan solo flujos positivos. Por otro lado si se tienen varios flujos negativos, ya sea por costos o reinversión en diferentes periodos, tendrá un patrón no convencional. Los resultados de la TIR en este caso, deriva de que matemáticamente para obtener las raíces del polinomio (solución de la ecuación), está regida por la ley de los signos de Descartes, “el número de raíces reales positivas (valores de la TIR) no debe exceder el número de cambios de signo en la serie de coeficientes (Flujos de efectivo:  $C_1, C_2, \dots, C_T$ ). Esto equivale a que existe una inversión inicial (primer cambio de signo) y en cualquiera de los años de operación de la empresa existe una pérdida o una reinversión, lo cual provocaría que su flujo de efectivo apareciera como negativo y provocará un segundo cambio de signo en el polinomio. En este caso al haber más de 2 valores para la TIR, ninguno de ellos sería el correcto, ya que tendrían que realizarse varios ajustes para determinar si el valor de la TIR se encuentra dentro de la escala de estos valores o fuera de la escala de los mismos.

### **TIR modificada**

Ross, (2010) trata una solución para el problema de raíces, no profundizaremos al respecto en su aplicación pues como comenta rompe con la esencia de la TIR, que como se comentó al principio de este tema, su valor depende únicamente de los flujos de efectivo del proyecto y no tiene relación con tasa de interés alguna u otra tasa relacionada con el mercado.

Otro problema que presenta es que no incluye la incertidumbre del proyecto y del mercado en sus cálculos suponiendo un escenario ideal, además de no ser flexible en cuanto a las opciones que puedan presentarse en los proyectos como: implementación en etapas, demasiado riesgosos o cambios de proyectos, etc. Siendo estas dos últimas limitantes para su aplicación.

### 2.1.5 Valor Presente Neto, VPN

Esta metodología se centra fundamentalmente en el resultado de realizar la inversión si, al realizar la evaluación del proyecto, los flujos de efectivo monetarios futuros que genera el proyecto supera el costo de la inversión. Aquí el valor del flujo monetario del efectivo futuro es el valor equivalente que tendría en el presente ese mismo flujo monetario. De esta forma se pueden comparar los flujos a valores presentes, a valores del día de hoy con lo que ello implica, es decir, todos los ingresos y egresos futuros se transforman a pesos de hoy.

El VPN parte del principio básico de las finanzas, “El valor del dinero a través del tiempo”, ya que este dinero puede ser invertido hoy para generar un tipo de interés y así en el futuro se dispondrá del dinero más el rendimiento obtenido. La fórmula del Valor Presente es:

$$\text{Valor Presente} = VP = \frac{C_1}{1 + r}$$

$C_1$  es el flujo de efectivo en la fecha 1 y  $r$  es la tasa de interés apropiada o tasas de rendimiento que se requiere del proyecto. El interés es un factor de rendimiento que el dinero generará en el futuro. Para el VPN necesitamos de la función inversa y traer el dinero futuro a valor presente, esta función es llamada *factor de descuento*, que es el recíproco de la recompensa que se obtendría por invertir hoy el flujo actual.

$$\text{Factor de Descuento} = \frac{1}{1 + r}$$

Decimos que descontamos un flujo a una tasa  $r$ , cuando multiplicamos el flujo por el factor de descuento. Por lo tanto el factor de descuento se denomina **Tasa de Descuento o Coste de Oportunidad del Capital** y es la rentabilidad que ofrecen otras alternativas de inversión.

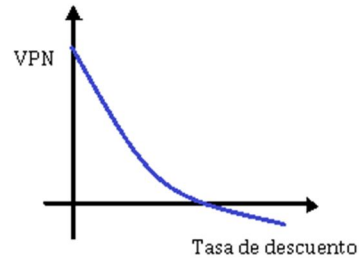
Si los flujos monetarios futuros son negativos, éstos representarán una salida de capital, una re-inversión. Para simplificar su estructura el valor de la inversión inicial siempre será tomado con un valor negativo. Así para el VPN con flujos monetarios de más de un periodo toma en cuenta el denominado interés compuesto que se verá más adelante. La fórmula es:

$$VPN = -I + \frac{C_1}{1 + r} + \frac{C_1}{(1 + r)^2} + \frac{C_1}{(1 + r)^3} + \dots + \frac{C_T}{(1 + r)^T} = -I_0 + \sum_{i=1}^T \frac{C_i}{(1 + r)^i}$$

El Valor Presente Neto es el resultado de restarle a la Inversión ( $I$ ), la suma de los flujos monetarios futuros ( $C_i$ ), de cada periodo ( $T$ ), descontados a una tasa requerida ( $r$ ). Ésta característica parte de la necesidad de determinar el *costo- beneficio* del proyecto. Sin embargo para realizar cualquier inversión siempre se tendrá implícito algún tipo de **Riesgo** asociado a la incertidumbre de saber que tan seguro es el proyecto o que tan probable es que no funcione. Es del conocimiento de todos los inversionistas que a mayor riesgo, el VPN de la inversión debe ser menor, es decir, que si se le imponen una tasas de descuento  $r$  más elevadas al proyecto, se le exigirán mayores rendimientos lo que implica mayores costos en los flujos de efectivo de cada periodo que sumados al final arrojarán un VPN menor. Ésta característica concuerda con la

segunda teoría básica financiera: *“el dinero sin riesgo es preferible al dinero con riesgo, y por eso se demanda una mayor rentabilidad para el segundo caso”.*

**Ilustración II-1. Efecto de la tasa de descuento y el VPN.**



Conociendo la teoría del VPN se desprenden 2 criterios fundamentales a la hora de realizar la inversión:

- ✓ Se aceptará una inversión sólo si su VPN es mayor que cero
- ✓ Se aceptarán inversiones con tasas de retorno o rentabilidad superiores al Costo de Oportunidad del Capital, superiores a la tasa de retorno de invertir en otros instrumentos con el mismo nivel de riesgo que nuestra inversión.

Los criterios del VPN benefician a los accionistas como a la empresa. Por el principio de aditividad, si el VPN de aun proyecto es positivo, el VPN de la empresa también aumenta al haber un excedente el los flujos de efectivo mayores al monto de inversión. La empresa en sí, está constituida por la suma de los valores de diversos proyectos o entidades que en conjunto producen un resultado. En el caso de que se consideren varios proyectos para su evaluación, deberá de tomarse el o los que presenten un mayor VPN siempre y cuando se evalúen en el mismo periodo de tiempo, de otro modo se tomará como base el mínimo común múltiplo del periodo para la valuación de los años.

Dentro de las Ventajas que utiliza el modelo del VPN se encuentran:

- El VPN utiliza para su cálculo los flujos de efectivo. Estos pueden ser utilizados para aplicación en otras metodologías de cálculos como pueden ser, pagos de dividendos, pagos de intereses corporativos y sumarlos a otros proyectos.
- Utiliza el método de descuento de flujos de efectivo, lo cual implica el valor del dinero a través del tiempo.

A pesar de ser uno de los mejores métodos de evaluación presenta algunas desventajas:

- No tiene la flexibilidad en cuanto a las opciones que pueda tener el proyecto: el modelo supone que no se realizan ajustes a lo largo de la vida del proyecto aún si se presentan diferentes escenarios.

- Considera que la inversión es irreversible y no se puede recuperar en ningún momento.
- La rentabilidad de proyecto permanece constante durante la vida del proyecto.
- No incluyen variables estocásticas que integren la incertidumbre y el riesgo asociados a la realidad: Marcado por los cambios en la economía y en la propia empresa.
- Supone que no existirá variación en el precio de los activos, es decir considera una volatilidad igual a cero.

Como hemos comentado para descontar el dinero a través del tiempo se ha planteado utilizando una tasa de descuento. Tanto para la evaluación de proyectos y la valuación de empresas se utiliza la tasa de descuento utilizada es el Costo Promedio Ponderado de Capital o WACC, por sus siglas en ingles.

### 2.1.6 Costo Promedio Ponderado de Capital (CPPC ó WACC)

Para poder poner los proyectos en marcha o cualquier tipo de inversión las empresas generalmente no aportan la totalidad de dicha inversión, esto dependerá del monto de los recursos que se requieran. En su mayoría se valen de otros instrumentos o asociaciones para su financiamiento pagando una tasa de interés por el uso del dinero llamado *costo de capital*<sup>17</sup>. La tasa de descuento que se utiliza para descontar los flujos de efectivo será calculada por medio del Costo Promedio Ponderado de Capital (Weighted Average Cost of Capital o WACC), donde la tasa resultante es la media ponderada entre el costo de los activos propios de la empresa sumados con el costo de la deuda de la empresa. Esta tasa de descuento debe superar el valor de rentabilidad mínima que los inversionistas esperan ganar por la aportación de capital y además cubrir sus obligaciones. La tasa de descuento WACC se determina de la siguiente forma:

$$WACC = \frac{D}{D + E} K_D (1 - T_i) + \frac{E}{D + E} K_E$$

Dónde:

D = Valor de mercado de la deuda.

K<sub>D</sub> = Costo de la deuda antes de impuestos.

E = Valor de mercado del capital propio.

K<sub>E</sub> = Costo del capital propio.

T<sub>i</sub> = Tasa impositiva o tasa fiscal marginal de la empresa

K<sub>E</sub> = Es el costo del capital propio o rentabilidad de los accionistas, puede obtenerse por medio del Modelo de Valoración de Activos de Capital (Capital Assets Pricing

---

<sup>17</sup> El costo de capital representa el porcentaje anual, que una firma debe superar para obtener utilidades y a la vez cumplir con sus obligaciones contraídas

Modelo CAPM), como modelo eficiente y simplificador para el cálculo de oportunidad de los fondos propios:

$$K_e = R_f + \beta(R_m - R_f)$$

$R_f$	Tasa libre de riesgo o rentabilidad del título sin riesgo. Generalmente para nuestro país la tasa que se toma son los CETES, sin embargo cada país tiene su propia tasa.
$R_m$	Rentabilidad del mercado, es decir, la rentabilidad estimada de una cartera representativa de las inversiones posibles en el mercado.
$(R_m - R_f)$	Es la prima de riesgo del mercado, de esta forma obtenemos la prima adicional exigida por el mercado respecto a la rentabilidad de un activo sin riesgo.
$\beta$	Beta de la empresa (coeficiente del comportamiento de la compañía respecto al mercado), es decir, mide el riesgo específico de la empresa

$K_d$  = es la tasa de interés sobre las deudas menos los ahorros fiscales que genera la deducibilidad de intereses, es decir:

$$K_d(1 - T) = \left( \begin{array}{c} \text{tasa de rendimiento} \\ \text{requerida por los tenedores} \\ \text{de bonos} \end{array} \right) - (\text{ahorros fiscales})$$

## 2.2 ASPECTOS IMPORTANTES PARA LA VALUACIÓN

Hasta ahora hemos tratado los métodos de valuación utilizados más frecuentemente por las empresas y negocios. Sin embargo hemos dejado fuera algunos detalles relevantes una vez que se realizan los cálculos como son: el tipo de interés que se utiliza para descontar los flujos de efectivo; la metodología para llegar a los flujos de efectivo; los efectos de la inflación en el cálculo de los proyectos, etc. Como la metodología es la misma para utilizarse en distintos países, no así lo son sus políticas económicas, viéndose influidos en distintas ocasiones los resultados de las proyecciones. Por ello para realizar su evaluación y tomar en cuenta estas variables se presenta este apartado.

### 2.2.1 Método de Flujos de Efectivo Libres Descontados (FED)

Este método se utiliza para obtener los flujos de efectivo. Considera los flujos de efectivo generados por las operaciones, en cada periodo, sin considerar la carga financiera<sup>18</sup>; en él se cuantifica el valor resultante después de satisfacer las necesidades operativas y las de inversión en activos. Para ello, es obligatorio determinar los ingresos y egresos de los diferentes periodos, con base en hipótesis de proyección que se calcularon (Estados Financieros Proforma). La estructura general del método para calcular los flujos de efectivo tiene la siguiente forma:

+ INGRESOS POR VENTAS
- COSTOS DE VENTAS (Fijos y variables)
- GASTOS GENERALES DE ADMON. Y VENTAS
= <b>UTILIDAD DE OPERACIÓN ANTES DE DEPRECIACIÓN Y AMORTIZACIÓN</b>
- DEPRECIACION
= <b>UTILIDAD DE OPERACIÓN ANTES DE IMPUESTOS</b>
- IMPUESTOS
= <b>UTILIDAD DE NETA (OPERACIÓN)</b>
+ DEPRECIACION
= <b>FLUJO DE EFECTIVO OPERATIVO</b>
+ DEPRECIACION
- INVERSIONES Y REINVERSIONES
+ VALOR DE RESCATE
+ - CAMBIOS EN EL CAPITAL DE TRABAJO
= <b>FLUJO DE EFECTIVO LIBRE</b>

#### **Elementos Fundamentales**

Los tres elementos fundamentales para todo método de valuación son los siguientes:

- ◆ Fijación del tiempo de vida del proyecto.
- ◆ Determinación de los flujos de efectivo que se presentarán en cada periodo, con base en la información estimada para los Estados Financieros Proforma.
- ◆ Selección de una tasa de descuento adecuada para actualizar los flujos, la cual deberá considerar las perspectivas del proyecto y su entorno, incluyendo el riesgo asociado. El

<sup>18</sup>La carga financiera es el costo financiero de un préstamo tales como intereses, comisiones, IVA de los intereses y comisiones.



método de DFE considera a la empresa como un proyecto de inversión, por lo tanto su valor dependerá de la rentabilidad esperada de los capitales propios y ajenos, y de los costos de oportunidad relacionados. La tasa del WACC reúne estas características.

### 2.2.2 Estados Financieros Proyectados (Proforma)

La información obtenida a partir de los costos del proyecto, las ventas esperadas y planes operativos se concentra y resume en un conjunto de estados financieros proyectados. Este proceso comienza con un pronóstico de ventas para los siguientes años, así como los activos que se requerirán para cumplir con las metas de ventas. Además de tomar la decisión sobre la forma en cómo deberán financiarse los activos requeridos. A partir de aquí se puede proyectar el estado de resultados y el balance general, al mismo tiempo pronosticar las utilidades reinversiones y posibles resultados.

Los estados financieros se crearon para aplicase al desarrollo del negocio, pero el método de DFE considera a la empresa como un proyecto de inversión, por lo que la elaboración de los pronósticos del desarrollo del proyecto pueden elaborarse de la misma forma.

Primero se debe determinar el número de años a proyectar. Generalmente se proyecta a 5 o 10 años aunque depende por completo del proyecto y el sector económico al que pertenece, por ejemplo en la construcción lo proyectos son a 20 años. Un buen criterio es proyectar el periodo de tiempo en el cual la empresa es capaz de generar una rentabilidad de sus inversiones por encima de su coste de capital. Como segundo término las proyecciones financieras deben estar fundamentadas en hipótesis realistas y coherentes que representen el desarrollo futuro. Y por último las cuentas de pérdidas y ganancias proyectadas estén relacionadas con los balances estimados para evitar errores.

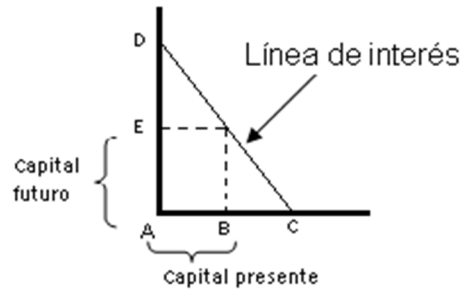
### 2.2.3 Interés Compuesto, Interés Simple

El *interés compuesto* es el que los intereses generados en cada periodo son reinvertidos en el periodo siguiente, generando a su vez nuevos intereses que se acumulan a los intereses de la cantidad invertida inicialmente, es decir, los intereses se reinvierten periodo a periodo y en cada uno se suman para dar una nueva inversión inicial. Éste tipo de interés es el más utilizado para el cálculo del Valor Futuro de una inversión:

$$\text{Valor Futuro} = VF = C_0 (1 + r)^T$$

Donde  $C_0$  es el efectivo a invertir en la fecha cero,  $r$  es la tasa de descuento y  $T$  es la cantidad de periodos durante los cuales se invierte el efectivo. Con la siguiente gráfica se puede representar la relación entre valor actual y valor futuro del capital.

Ilustración II-2. Curva de Interés.



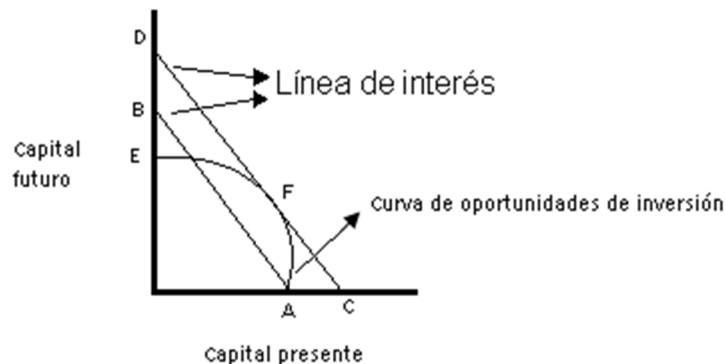
Se muestra primero el capital presente AB y el capital futuro AE. Si el inversor decide invertir en el capital presente AB, en el futuro tendrá un capital extra de ED. Ahora si pide prestado hoy su capital futuro, actualmente tendrá un capital extra igual a BC. La relación entre ambos capitales, actual y futuro está determinada por la pendiente de la *línea de interés* (1+r).

$$\text{Valor futuro de } AB = ED = AB(1 + r)$$

$$\text{Valor actual de } AE = BC = \frac{AE}{1 + r}$$

Además de los activos monetarios se puede invertir en activos reales, en donde la teoría financiera dice *"...es recomendable invertir hasta que la rentabilidad marginal caiga hasta la tasa de interés. A partir de ese momento se pedirá prestado o se prestará hasta alcanzar el equilibrio deseado entre consumo actual y futuro"*.<sup>19</sup>

Ilustración II-3. Curva de Oportunidades de Inversión.



Como ya se dijo anteriormente si se invierte todo en activos monetarios solo se puede mover a través de la línea de interés AB. Pero si se interesa invertir parte del capital en activos reales tomando en cuenta la teoría financiera mencionada anteriormente y la rentabilidad marginal de su inversión será tangente a la máxima línea de interés que se puede representar (CD). El punto de tangencia es F. La pendiente de ambas curvas es (1+r) y al invertir en activos

<sup>19</sup>Fundamentos teóricos del VPN, Guía de Valoración de Empresas, p. 40

reales se obtiene un capital presente extra (AC) que podrá convertirse en capital futuro de acuerdo con las preferencias del inversor.

En el *interés simple* solo se generan intereses por la inversión inicial, por lo tanto la rentabilidad decrece a través del tiempo, contrario al interés compuesto en donde la rentabilidad se mantiene.

Por lo tanto el interés descontado en un activo monetario se asume que el tipo de interés es compuesto, situación normal en el mercado.

#### 2.2.4 Interés Nominal, Interés Real

El *interés nominal o corriente* es que se define de manera expresada para cada inversión y no toma en cuenta la inflación. El *interés real o constante* si toma en cuenta la inflación, así podremos ver la verdadera ganancia que se obtiene al invertir. El interés real se utiliza normalmente cuando se tienen periodos con valores inflacionarios muy variables y es necesario asignarle un valor a cada periodo, esto es común en países de elevada inflación, cercana al 20%. El cálculo del tipo de interés real de un periodo  $t$ , a partir del nominal se realiza de la siguiente manera:

$$\text{Interés real} = \frac{\text{Interés nominal}}{(1 + \text{inf})^t}$$

De igual forma la fórmula se utiliza para calcular un flujo de caja (CF) nominal que se producirá en el periodo  $t$  en un CF real:

$$\text{CF real} = \frac{\text{CF nominal}}{(1 + \text{inf})^t}$$

#### 2.2.5 Valor de Perpetuidad

Como su nombre lo indica el tiempo de vida del proyecto se estima a un tiempo indefinido por lo que tendrá una corriente constante e infinita de flujos de efectivo. Se considera además que no se tienen ni consideran más ingresos, gastos. La idea básica se fundamenta en el flujo de efectivo que desea al año y la cantidad de dinero (inversión), que necesita para generar ese flujo de efectivo, invirtiendo a una tasa de interés suficiente para generar ese flujo de efectivo anual. La fórmula es la siguiente:

$$VP_{\text{PERPETUIDAD}} = \frac{C}{r} VP_{\text{Perpetuidad Creciente}} = \frac{C}{r-g}$$

De igual forma que para un VP con más de un periodo, se calcula para una perpetuidad creciente, donde  $g$  es la tasa de crecimiento por periodo, expresada en porcentaje.

### 2.3 OPCIONES REALES (REAL OPTIONS VALUE, ROV)

Esta metodología despertó mayor curiosidad en los años 90's, debido a su versatilidad al tratar de exponer de forma cuantitativa el efecto de un cambio en el transcurso de un proyecto e incluir cambios de decisión dentro de la trayectoria del mismo. Su aplicación en las finanzas surge de la Teoría de Opciones de Precios (Options Pricing Theory, OPT), teoría basada en el artículo de Fischer Black y Myron Scholes en 1973 y las investigaciones posteriores por parte de J.C. Cox, S.A. Ross y M. Rubinstein (1979), y de R. Rendleman y B. Barter en 1980, dieron un enfoque más intuitivo y más comprensible que en un principio.

Hasta ahora se ha continuado con la aplicación y desarrollo de la flexibilidad del modelo del ROV, que refleje las características de los distintos proyectos y su desarrollo en el transcurso de su tiempo de vida, observando su aplicación en distintas áreas y proyectos; mejorando la interpretación y desarrollo de la metodología y del proyecto, tomando posición como una útil herramienta de evaluación. La metodología de Opciones Reales se cimienta sobre la idea del *Valor Presente Neto Extendido (VPNE)*, en el que trata de representar el resultado del proyecto, incluyendo otros factores como agregar **valor a la empresa**<sup>20</sup> y **valor a los activos intangibles**<sup>21</sup> pero teniendo una visión más positiva hacia el resultado.

Se le denominan Opciones Reales porque incluyen activos reales (terrenos, edificios, material, etc), y no financieros. Sin embargo la idea principal parte de la metodología de evaluación financiera. Las estrategias referentes al presupuesto de capital tienen más aspectos de toma de decisiones en cuanto a los cambios que puedan suceder durante el transcurso del proyecto. Esto va relacionado con la flexibilidad en la toma de decisiones de inversión, siempre buscando reducir las pérdidas potenciales y al mismo tiempo incrementar las ganancias potenciales, Martínez (2006).

La flexibilidad de la modelo ROV guarda cierta relación con el riesgo del proyecto. Como se ha mencionado anteriormente, para un inversionista la mejor inversión siempre será aquella que tenga una rentabilidad con una tasa libre de riesgo. La flexibilidad es una variable que agrega valor y reduce el riesgo en la medida que pueda ofrecer diferentes panoramas para tomar mejores decisiones y que al afectar el transcurso del proyecto se llegue hacia un mejor resultado, en forma similar a la diversificación de un portafolio. Esta flexibilidad no solo incluye el cambio sobre tomar o dejar el proyecto, además toma en cuenta los cambios en la estructura de desarrollo del proyecto como pueden ser: materia prima, diseño de producto, estrategias de ventas, contraer o expandir el campo de aplicación del proyecto, evitando pérdidas para el negocio o limitando las pérdidas.

---

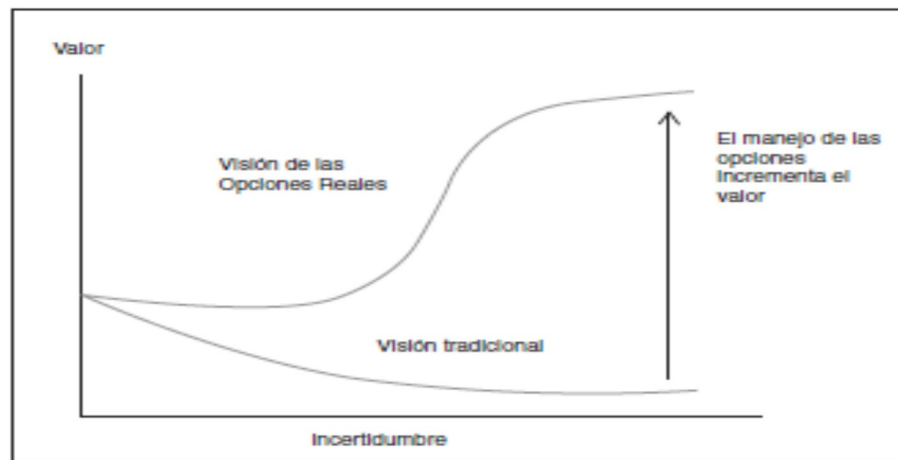
<sup>20</sup> *El Valor de la empresa* es el valor del conjunto de elementos, materiales, inmuebles capital, tecnología y capital humanos, que integran o constituyen la empresa. Se trata de un valor o precio de conjunto de la empresa como organización, que incluye no sólo el valor en el presente de los diferentes bienes, derechos y obligaciones integrantes de su patrimonio sino también las expectativas acerca de los beneficios que se espera que la empresa genere en el futuro.

<sup>21</sup> *Los Activos Intangibles* surgieron como respuesta a un creciente reconocimiento de que factores distintos de los contables pueden desempeñar un papel importante en el valor real de una empresa. Algunos de estos son obvios como marcas, patentes, derechos de autor, derechos exclusivos de mercado, todos otorgan una ventaja competitiva a sus propietarios e impactan en el balance contable. Todavía se están tratando de diseñar matrices que den cuenta de cómo impactan estos factores en los resultados del negocio.

De igual forma la flexibilidad tiene otro determinante que reduce el riesgo: la incertidumbre.<sup>22</sup> Si contamos con toda la información para tomar la decisión respecto a un proyecto, es más sencillo llegar a visualizar la mejor alternativa y obtener un resultado mucho mejor. Al reducir la incertidumbre aseguramos que el proyecto se acercará más al resultado que esperamos obtener de éste. La siguiente gráfica muestra los cambios que pueden existir dentro de las ROV, como comenta Calle y Tamayo

(2009); *la incertidumbre crea oportunidades.*

Ilustración II-4. Incremento del valor debido a la Incertidumbre.



Fuente: Calle y Tamayo, 2009.

La teoría del VPN de los flujos de efectivo no nos indica nada sobre las medidas que se pueden tomar una vez que se ha aceptado e iniciado el proyecto, característica que hace al ROV siendo una herramienta de modelación más cercana a la realidad y a las decisiones que pueden tomarse durante la vida de un proyecto: *extender, contraer, posponer, enmendar o abandonar el proyecto.*

Estas características toman un valor importante. En la mayoría de los proyectos se requiere de inversión en activos. Pero si en algún instante fuera necesario abandonar el proyecto (irreversibilidad, Martínez 2006), esta acción puede representar una pérdida significativa en el valor original de la inversión, por ello deben de realizarse análisis más concienzudos respecto a los resultados e inclusive aplazar el proyecto hasta completar los valores que nos lleven a tomar una mejor decisión, por ejemplo: la construcción de edificios o naves industriales, líneas de producción, la fabricación de un nuevo producto, etc. Estas ideas nos llevan a 2 aspectos importantes el ROV:

<sup>22</sup> *Incetidumbre* en economía significa impredecibilidad o previsión imperfecta de los sucesos futuros, situación en la cual no se conoce completamente la probabilidad de que ocurra un determinado evento: si el evento en cuestión es un proyecto de inversión, por ejemplo, no es posible conocer con certeza el retorno que el mismo producirá en un período dado.

- 1) La suerte es un factor constante a lo largo de la vida del proyecto,
- 2) Los directivos pueden reaccionar ante las condiciones adversas, modificando las condiciones propias y las estrategias hacia el mercado.

### 2.3.1 Valor Presente Neto Extendido

Una de las razones por las que se busca evaluar el proyecto del TPM a través del Modelo ROV, surge de las limitantes que tiene el modelo del VPN. Puesto que el Modelo del VPN fue creado para la valuación de bonos sin riesgo, se realizó una analogía para extenderlo y poder valorar proyectos de inversión reales. Su campo se extiende a la valuación de proyectos sin flexibilidad y de baja incertidumbre. Por esta razón al ser un valor estático que requiere ser *extendido*, es necesario agregarle la parte de flexibilidad e incertidumbre, variables que están presentes en la realidad en todo momento. El objetivo de integrar estas variables será el de reducir el riesgo real del proyecto, limitar las pérdidas e incrementar las ganancias. De esta flexibilidad se desprende el derecho, pero no la obligación de ejercer el proyecto (*Option Premium*)<sup>23</sup>. Para agrega la parte dinámica al valor del proyecto, parte que también contiene el valor de las opciones. Así entonces sumando ambas partes obtenemos lo que es el **Valor Presente Neto Extendido**.

$$VPN_{EXTENDIDO} = VPN_{estatico} \left( \begin{array}{c} \text{de las expectativas} \\ \text{de los flujos de} \\ \text{efectivo} \end{array} \right) + \left( \begin{array}{c} \text{Valor de la opción} \\ \text{de flexibilidad (dinámico)} \end{array} \right)$$

Partiendo del resultado de la ecuación, para que el proyecto sea aprobado, la suma de los valores deberá entregar un VPN extendido positivo por lo menos del mismo valor que los costos de inversión (adquisición, instalación, capacitación, etc), para mantener vivo el proyecto. En diversos casos el VPN estático puede genera un valor negativo y pensarse que el proyecto no es rentable; sin embargo, podría aprobarse el proyecto si el Valor Dinámico agrega un valor mucho más grande que sumado, al final arroje un Valor Presente Neto Extendido positivo.

### 2.3.2 Opciones Reales y Opciones Financieras.

Las variables para calcular los valores tanto de las opciones Financieras como las Opciones Reales, se muestran en el recuadro de abajo. Sin embargo la distinción entre ambas, parte de la aplicación del modelo. La ROV, como se comentó, fue pensada como modelística de opciones sobre los activos reales (edificios, inmuebles, proyectos, etc), planteando de forma cuantitativa las diferentes oportunidades que se generan para tomar alguna decisión en cada caso en particular.

---

<sup>23</sup> Prima de la opción (Option Premium). Prima de la opción se refiere a la cantidad por acción que un comprador pagará por el derecho de una opción (call o put) y coloca una garantía a un precio determinado en el futuro. También se refiere a un pago no reembolsable, no un pago inicial. Se paga la prima de la opción, independientemente de si la opción se ejerce o no. Su valor cambia a menudo, debido a las condiciones fluctuantes del mercado y las variables económicas. Lo más importante que afecta a la prima de la opción es la diferencia entre el precio de subyacente y el precio de ejercicio, que es el precio futuro determinado. Otros factores importantes que influyen en la prima de la opción incluyen el tiempo que queda para que la opción se ejerza y la volatilidad de la acción subyacente.

Esta relación se muestra en la analogía de opciones reales y financieras, entre la similitud del pago y la estructura del riesgo. Las variables son:

- **Precio del activo subyacente ( $S$ ).**- Se desprende de la terminología del *producto derivado*, definido como un bien, como por ejemplo: materia prima (maíz, leche, petróleo, etc.), si es activo financiero (bienes, acciones, índices bursátiles, divisas, futuros, etc.) En opciones reales se refiere al VPN que se espera se generen a partir de los flujos de efectivo del activo.
  
- **Precio del ejercicio ( $K$ ).**- Es el costo de realizar o ejecutar la acción de la decisión que se tomó, para que el propietario pueda adquirir el activo. De donde el valor dependerá del tipo de opción. Para una opción de expansión será el valor de la inversión el día de hoy. Si por el contrario se tiene una opción de contracción sería el valor de venta de los activos comprometidos en la intervención Hernández, (2011).
  
- **Tiempo hasta el vencimiento ( $T$ ).**- Es el tiempo que tiene el propietario para ejercer la opción, es decir, el margen de tiempo que se tiene para demorar la decisión final. También es llamado Tiempo de Remanente de Vigencia.
  
- **Riesgo o volatilidad ( $\sigma$ ).**- Es la varianza en el valor del activo subyacente, la volatilidad de las estimaciones del valor del activo subyacente. La relación riesgo- rendimiento financiero nos indica que a mayor valor de riesgo, mayor será el rendimiento; es una característica importante de las opciones. Otra característica importante es que la mayor pérdida que pueda tener un inversionista en el caso de las opciones, será solo el valor del precio que ha pagado por dichas opciones.
  
- **Tasa de descuento del periodo de vida de la opción ( $r$ ).**- También es llamada Tasa de interés libre de riesgo, pues será el costo de oportunidad realizado en la inversión o compra de la opción, en lugar de haber invertido en otro instrumento. Su efecto es contrario respecto al valor de la opción, pues un incremento en la tasa de interés, reducirá el valor de la opción.
  
- **Dividendos o Pagos similares.**- Es el dinero líquido o retribución de la inversión, generada por las acciones o por el activo subyacente durante el tiempo de vida de la opción sin ejercerla, para el caso de opciones financieras. En el caso de opciones reales es análogo, solo cambia el hecho de que la retribución de la inversión está dada por los flujos de efectivo positivos o negativos en cada periodo.

La siguiente tabla resume las variables de las Opciones descritas.

**Tabla II-2. Analogía Opciones Reales y Financieras.**

Variable	Opción de compra Financiera	Opción de compra Real
<b>S</b>	Precio del activo financiero.	Valor Presente Neto de los activos operativos que se van a adquirir.
<b>K</b>	Precio de ejercicio.	Gastos requeridos para adquirir los activos del proyecto (inversión inicial).
<b>T</b>	Tiempo hasta el vencimiento.	Tiempo que se puede demorar la decisión de inversión.
$\sigma^2$	Varianza de los rendimientos del activo financiero.	Riesgo de los activos del proyecto
<b>r</b>	Tasas de interés libre de riesgo.	Valor del dinero en el tiempo.
<b>D</b>	Dividendos del activo subyacente.	Flujos de efectivo a los que se renuncia por no ejercer la opción.
	Su valor no depende de la revalorización esperada del activo financiero (acción)	Su valor depende de la revalorización esperada de los flujos de efectivo.

*De aquí que el modelo ROV sea la representación de las oportunidades de decisión, con del derecho mas no la obligación, de ejercer la opción (inversión) a cambio del activo subyacente (el valor de los flujos de efectivo).*

### 2.3.3 Características y Principios de las Opciones

Como ya hemos mencionado, la analogía entre opciones reales y financieras, guarda mucha similitud en su estructura y su forma de desarrollarse, lo que nos lleva a hacer una descripción de las características de las opciones. Esto nos ayudará a comprender características contenidas en las opciones reales y los tipos con que se cuentan. Éstas se describirán más adelante.

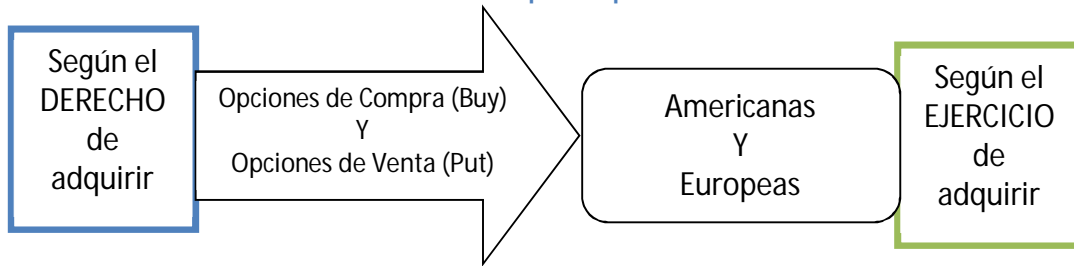
Una opción es un título financiero derivado, que por el pago de una prima (precio de la opción) da a su comprador el derecho, más no la obligación de comprar o vender el producto subyacente (activo financiero) a un precio determinado, llamado precio de ejercicio (strike Price), durante la vigencia del contrato y hasta la fecha de vencimiento. Al contrario, el oferente de éstos títulos tiene la obligación de vender o comprar el producto subyacente. Al respecto, cabe resaltar que en los contratos de futuros tanto el tenedor como el oferente tiene la obligación de comprar o vender el bien subyacente respectivo.<sup>24</sup>

Dentro de los mercados financieros existen diferentes tipos de opciones, pero para el Modelo de ROV solamente existe similitud con algunas de ellas por lo que solamente nos centraremos en:

<sup>24</sup> Fragmento extraído de Ortíz, E, 2009. Finanzas y Productos Derivados. Contratos Adelantados, Futuros y Opciones, Swaps. UNAM, en proceso.



Ilustración II-5. Tipos de opciones



### OPCION DE COMPRA (CALL OPTION)

Tipo de opción que le da el derecho al propietario más no la obligación, de comprar el bien subyacente al precio de ejercicio convenido, independientemente de cuál sea el precio del subyacente en el mercado al contado en el momento de ejercicio. Para poder obtener el derecho, debe pagar una prima al vendedor quien tiene la obligación de vender el activo subyacente en la fecha determinada y al precio acordado. Cuando se decide comprar bajo las condiciones del contrato, se dice que se ejerce la opción, Hernández, 2011.

### OPCION DE VENTA (PUT OPTION)

Tipo de opción que le da el derecho al propietario más no la obligación, de vender el bien subyacente al precio convenido, independientemente de cuál sea el precio del subyacente en el mercado al contado. Al igual que en la opción call, para poder obtener el derecho, debe pagar una prima al comprador o subscriptor quien tiene la obligación de comprar el activo subyacente en la fecha determinada y al precio acordado, que será cuando se ejerce la opción.

Como se observa en figura de arriba, dentro de los tipos de opciones de compra y venta en cada una se tiene de acuerdo a su ejercicio en:

**Americanas.-** Para ambos tipos de opciones (call y put), el poseedor puede ejercer la opción en cualquier momento del periodo de vida de la opción, desde su compra hasta la fecha de su vencimiento.

**Europeas.-** De igual forma para ambos tipos de opciones (call y put), el poseedor solo se puede ejercer la opción en la fecha de vencimiento.

Por lo tanto la decisión de ejercer la opción, ya sea de compra o de venta, dependerá de dos valores: el precio de ejercicio del activo subyacente (X), y del precio de ejercicio (S), del activo subyacente en el mercado al momento de ejercer la opción. Al comprador de opciones (de compra o de venta) le conviene no ejercer sus derechos, hasta evaluar el precio de mercado del activo subyacente respecto al precio de ejercicio. Los inversionistas por tanto siguen el mercado del subyacente muy de cerca para reconocer posibles ganancias o pérdidas. Ortiz 2009, define los límites en que incurre ésta decisión como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla II-3. Posición de las opciones

Posición de la opción	Opción de Compra	Opción de Venta
<b>ITM (In the Money /Dentro del Dinero).</b> Cuando el ejercicio de la opción genera ganancias.	$S > X$	$S < X$
<b>OTM (Outthe Money / Fuera del Dinero).</b> Cuando el ejercicio de la opción resulta en pérdidas.	$S < X$	$S > X$
<b>ATM (At the Money / En el Dinero).</b> Cuando el ejercicio de la opción no genera ganancias ni pérdidas.	$S = X$	$S = X$
<b>DTM (Deep in the Money / Profundo en dinero)</b>	Para el CALL, si el precio del activo subyacente es considerablemente más alto que el precio del ejercicio.	Para el PUT, si el precio del activo subyacente es considerablemente más bajo que el precio de ejercicio.
<b>NTM (Nerathe Money /Cercano al Dinero).</b>	Cuando el precio del subyacente está muy cercano al precio del ejercicio.	

### 2.3.3.1 Motivaciones del uso de las opciones

El uso de las opciones dependerá del perfil del inversionista, su aversión al riesgo y la finalidad del uso de las mismas. Generalmente el uso de las opciones financieras puede ser como:

**Administración del riesgo.**- utilizado como cobertura de riesgos cambiarios, ampliando y diversificando la cartera de inversión.<sup>25</sup>En opciones reales ésta es una característica importante para la aprobación de un proyecto, en dado caso en el que el proyecto sea muy rentable, éste puede que contenga un riesgo muy alto.

**Especulación.**- se negocian para obtener ganancias debido a los cambios en el precio del subyacente. Es la compra y venta de bienes de cualquier tipo con el único propósito de beneficiarse de las variaciones en su precio de mercado, aun cuando en determinadas condiciones la apreciación del producto está garantizada y no es, por lo tanto, especulativa en el primer sentido.

**Arbitraje.**-Busca aprovechar los cambios en el mercado al haber desequilibrios o descompensaciones temporales en la prima de las opciones, obteniendo ganancias libres de riesgo con la simple acción de negociar la mercancía en ambos mercados.

<sup>25</sup> Para una cartera de inversión diversificada, contiene productos de inversión de distintos tipos, incluyendo acciones, fondos mutuos e instrumentos de renta fija y variable, así como bonos y certificados de depósito. La finalidad de diversificar es la de reducir el riesgo y las pérdidas que puedan tenerse en un activo o en otro, tratando de limitarlo.

### 2.3.3.2 Riesgo-Rendimiento de las opciones

Puesto que la posición y las ganancias cambian respecto del perfil del inversionista ya sea comprador o vendedor y poseedor de una opción CALL o PUT, se describen los 4 perfiles y posteriormente se muestran sus gráficas de comportamiento.

**1.- Comprar una Opción de Compra en el Mercado (Buy a Call).** En este perfil el inversionista comprará la opción de compra si estima que el precio del subyacente se incrementará en el futuro. Para este caso el riesgo en que se incurre es conocido al estimar las pérdidas y limitado al determinarse por el pago de la prima de la opción y la posibilidad desconocida de obtener ganancias ilimitadas.

**2.- Vender una Opción de Compra en el Mercado (Write o Grant a Call).** Esta opción es la parte opuesta del perfil anterior puesto que el inversionista tendrá solo una ganancia limitada igual al valor de la prima pagada, mientras el precio del bien subyacente permanezca por debajo del precio de ejercicio la opción y no se ejerza. Por el contrario si se ejerce, el vendedor estará obligado a vender al precio de ejercicio que será menor al del mercado presentando la posibilidad de pérdidas ilimitadas marcadas por el riesgo base<sup>26</sup>, entre mayor sea el precio del mercado en relación al precio de ejercicio, mayor será la pérdida del inversor<sup>27</sup>.

**3.- Comprar una Opción de Venta (Buy a Put).** El comprador de las opciones de venta puede obtener teóricamente ganancias ilimitadas si la opción está dentro del dinero y sólo puede incurrir en pérdidas limitadas si la opción está fuera del dinero (hasta cierto máximo, suponiendo que el precio spot del subyacente desciende a cero). Aquí el comprador de la opción paga una prima que representa la pérdida total, teniendo con ello pérdidas limitadas si el precio del activo subyacente es mayor que el precio de ejercicio. Caso contrario si el precio del activo subyacente es menor, el tenedor del put puede ejercer al precio de ejercicio y obtener ganancias ilimitadas. Mientras más bajo sea el precio del mercado en relación al precio de ejercicio, tendrá mayores ganancias.

**4.-Vender una opción de Venta (Write o Grant a Put).** De igual forma esta es la parte opuesta del perfil anterior. El vendedor tiene una ganancia potencial conocida y limitada por el valor de la prima, mientras que presenta una pérdida ilimitada máxima, resultado de la diferencia entre el valor del precio de ejercicio menos el valor de la prima.

---

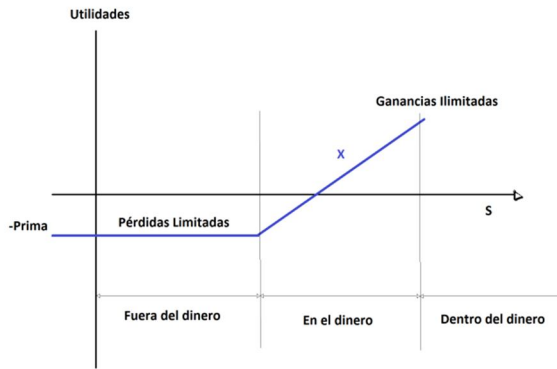
<sup>26</sup> El riesgo base se refiere a la volatilidad de la diferencia entre el precio del futuro y el precio spot de ese bien subyacente.

<sup>27</sup> Al inversor se le solicita contar con un margen de crédito muy alto o depósitos en garantía en el banco comprador.

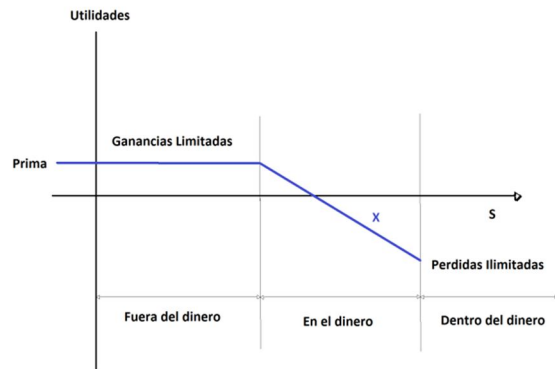
El **precio spot** o **precio corriente** de un producto, de un bono o de una divisa es el precio que es pactado para transacciones (compras o ventas) de manera inmediata. Este precio es lo contrario al precio futuro o *forward price*, donde los contratos se realizan ahora, pero la transacción y el pago ocurrirán en una fecha posterior.

Ilustración II-6. Perfiles del comprador de opciones (call y put)

OPCIÓN DE COMPRA

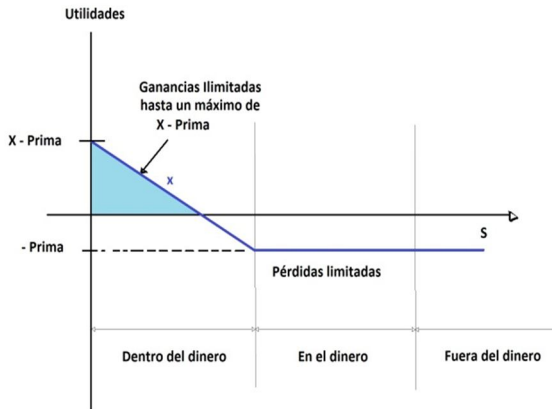


PERFIL DEL COMPRADOR DEL CALL

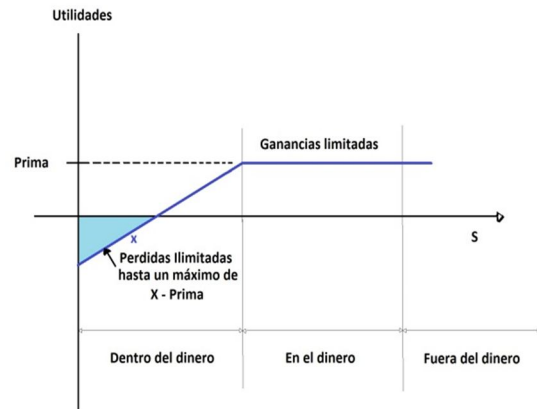


PERFIL DEL COMPRADOR DEL CALL

OPCIÓN DE VENTA



PERFIL DEL COMPRADOR DEL PUT



PERFIL DEL VENDEDOR DEL PUT

En las gráficas los parámetros que aparecen son: precio de la opción (Prima), precio de ejercicio (S) y precio del activo subyacente (x).

2.3.3.3 Valor Intrínseco y Valor en el Tiempo

Al igual que otros activos en el mercado, el precio de las opciones se fija por su oferta y demanda, condicionada por la dinámica que toman a través del tiempo y de las variaciones del subyacente en el mercado. Estas razones a través del tiempo le agregan más peso al valor de opción en sí, denominados **Valor Intrínseco**<sup>28</sup> y **Valor en el tiempo o prima por el tiempo**, Ortiz (2009).

<sup>28</sup> En economía y finanzas lo definen: como valor que se otorga a cada acción cuando se calcula el valor de una empresa tomando como indicadores: su actividad económica, su evolución, expectativas, crecimiento, tecnologías de información,

Valor Intrínseco.-Concretamente, es la cantidad por la cual la opción se encuentra dentro del dinero. Si la opción expirara inmediatamente sería el valor de ese momento tomando en cuenta el valor del activo subyacente en el mismo instante. Tanto para el comprador como para el vendedor de una opción, será la diferencia que exista entre el precio del mercado y el precio de ejercicio, para cada caso. Y de igual forma para ambos casos si el valor de la opción es negativa o cero, carecerá de valor para el comprador y no la ejercerá.

Dentro del modelo ROV, hoy en día el valor intrínseco del proyecto está tomando un valor importante, asociado con el valor intelectual o potencial del negocio,<sup>29</sup> proyecto o empresa. Debido a ello se siguen desarrollando técnicas de medición en cuanto a las características de cada rama.

Valor en el tiempo.- Esta prima existe porque el precio del subyacente puede cambiar entre el presente y el vencimiento de la opción, existiendo por tanto el potencial de posibles beneficios. Esto es, la prima por el tiempo es la prima que los inversionistas están dispuestos a pagar por dicho potencial. Sin embargo el valor de la opción también lleva una tasa de erosión. Suponiendo que el precio del activo subyacente permanece constante, la tasa de erosión de la prima por el tiempo es una función de la raíz cuadrada del tiempo remanente para que la opción caduque,  $\sqrt{T}$ . Esto implica que las opciones con plazos de vencimiento más cortos decaen más rápidamente que las opciones de vencimientos más largos.

Al igual que el Valor Intrínseco, el Valor en el Tiempo enfocado a las ROV, está mostrando un peso significativo en cuanto a la maduración y el instante adecuado en el cual ejercer las opciones, como puede observarse en la gráfica siguiente. Con el control de tiempo se obtiene un potencial con un mejor impacto y mayor rentabilidad en el manejo de los activos. Este valor es manejado eficientemente y con alta rentabilidad dentro de las compañías desarrolladoras de componentes electrónicos<sup>30</sup>

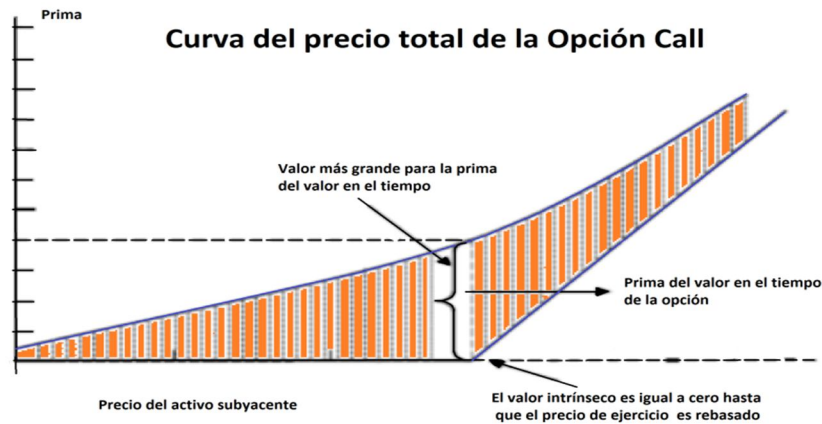
---

etc. De ahí que el valor en empresas como Microsoft, Google y otras que generan una rentabilidad mayor por su capital intangible se posicionen en el mercado con un alto valor de negocio si se quisiera vender la empresa en el mercado.

<sup>29</sup> Como ejemplo puede tomarse el internet como comenta Luque y Castañeda, (2008). "El internet enfocado al valor intangible de la empresa, está basado en la información y ligados con la cadena de valor original, puesto que influyen en las actividades de la misma. Por tanto, la aportación de Internet al valor interno de negocio se traduce en posibilitar un flujo de información y comunicación libre entre las actividades de la cadena de valor. Internet permite que un conjunto dispar de actividades puedan ser eficientemente planificadas y coordinadas.." Fragmento pág. 402.

<sup>30</sup> Un ejemplo sería el desarrollo de laptops. Para el 2011 se presentó el boom en el mercado de las laptops livianas y de diseño ultra delgado, más poderosas y a menor precio (<http://www.enter.co/vida-digital/nuevo-ultraliviano-de-asus-parece-demasiado-bueno-para-ser-cierto/>), sin embargo en 2010 ya se presentaban los equipos portátiles con pantalla transparente que aún no saben si los pondrán a la venta. (<http://mix.pe/contenido/la-primera-laptop-con-pantalla-transparente-de-samsung-ces2010>).

Ilustración II-7. Curvas del Valor Total Intrínseco y por Tiempo de una Opción.



## 2.4 MODELOS DE VALUACIÓN POR OPCIONES REALES

Antes de entrar en el campo de los dos modelos de valuación, revisaremos las condiciones bajo las cuales se realiza la valuación y las características de sus variables de entrada para ambas metodologías.

### CONDICIONES

El modelo de Opciones Reales busca aportar una herramienta de valuación que simplifique las decisiones estratégicas de la empresa (activos financieros y activos reales), conjuntando los distintos valores de riesgo interno (privados) y de mercado. La valuación del modelo ROV se realiza bajo el supuesto de las siguientes condiciones:

- I. Los mercados son completos.
- II. En los mercados no hay costos de transacción, no hay restricciones para las ventas encorto, todos los activos son infinitamente divisibles, financiar y obtener financiamiento a la misma tasa, es posible.
- III. La tasa de interés (a corto plazo), libre de riesgo es constante durante la vida de la opción (o conocida a lo largo del periodo).
- IV. Todos los dividendos son conocidos en cantidad y fecha de pago.
- V. Los activos subyacentes siguen el comportamiento de un proceso estocástico conocido.
- VI. Los inversionistas son racionales y prefieren más a menos.

Cumpliendo con las condiciones anteriores la valuación se basa en el hecho de que el vendedor de la opción puede duplicar la estructura de pago (rendimiento), de la opción en cualquier estado, al invertir el monto (obtenido al vender la opción), en un portafolio replicador que está conformado por bonos (sin riesgo) y por el activo subyacente. De este modo, el portafolio

general formado por el valor actual de mercado de la opción y el portafolio replicador, está siempre libre de riesgo. Lo más interesante de este método, recae en el hecho de que en un mundo libre de riesgo todos los Inversionistas tienen las mismas preferencias, i.e., todo inversionista, sin importar su actitud ante el riesgo, asigna el mismo valor a la opción y finalmente queda determinado el precio de mercado único de la opción Martínez (2006).

## CARACTERÍSTICAS DE LAS VARIABLES DEL ROV

**Activo Subyacente.** Generalmente para la valuación del modelo ROV, el valor del proyecto es tomado como el activo subyacente de incertidumbre, sin embargo debido a los diferentes riesgos que afecten la rentabilidad de la empresa será más conveniente la descomposición de los costos, gastos y de los diversos riesgos estratégicos ya sean del proyecto o la empresa. Con la diversidad de empresas y proyectos el modelo ROV busca adaptarse a cada caso en particular. Si los bienes contienen diferentes niveles de riesgo estratégico y los bienes de entrada son los mismos que los de salida como en los productores de recursos naturales, será más conveniente utilizar la descomposición de costos y riesgos para reducir la incertidumbre de los resultados futuros.

Como en cada modelo de evaluación de la metodología de Opciones Reales, es recomendable agregar solo los valores de riesgo más significativos del proyecto o de la empresa, pues en la mayoría de los casos habrá dificultad en agregar todas las variables al modelo. Aun así muchas fuentes de incertidumbre involucran a la empresa y no son valuadas por los mercados. Si es posible encontrar un portafolio replicante que pueda duplicar las características de incertidumbre, será más sencillo calcular el valor del activo subyacente. Una característica importante es que mientras más grande sea el precio del activo subyacente, mayor es el precio de la opción de compra.

**Volatilidad.** Es un proceso estocástico que incluye la incertidumbre del mercado y la empresa. Su estimación puede ser a partir de la información histórica y/o del mercado. Una característica importante es que mientras más volátil es el activo subyacente, mayor es el valor de las opciones, tanto de compra como de venta.

**Dividendos.** En el enfoque de opciones reales, se puede diferenciar el pago de dividendos en:

- *Los dividendos se pagan al poseedor del subyacente*, son flujos de efectivo que se recibirán si la opción es ejercida.
- *Los que se pagan al poseedor de la opción real*, pueden ser interpretados como el flujo de efectivo ganado por concepto de una opción de crecimiento en un proyecto. Éste no es considerado en la teoría convencional de valuación de opciones, y consecuentemente, hace más complicada la valuación de opciones reales.

**Precio de Ejercicio.** Dicho precio no permanece constante a lo largo del tiempo, éste puede depender de la depreciación o de las restricciones contractuales en bienes de inversión reales. Además, el precio de una opción real podrá ser estocástico. Una característica importante será que cuanto más alto, más barata debe ser la opción de compra y más cara debe ser la opción de venta.

**Tasa de interés Libre de Riesgo.** Normalmente se supone conocida y constante al valor de las opciones financieras, mientras que para el modelo ROV solo se justifica para periodos de tiempo cortos. Para tiempos largos resulta difícil incluirla en los modelos matemáticos, mostrando resultados muy variados. Sin embargo puede ser estimada con precisión a utilizando los bonos del gobierno libres de riesgo y sus correspondientes fechas de vencimiento. Una característica importante será que a medida que la tasa libre de riesgo se incrementa, aumenta el precio de las opciones de compra y disminuye el precio de las opciones de venta.

**Fecha de Vencimiento o Vigencia.** Dentro del modelo de Opciones Reales, la fecha de vencimiento no puede ser determinada con precisión al no ser un contrato definido y que en algún lejano momento puede desaparecer, lo cual afecta directamente a las decisiones estratégicas de la empresa.

Para los fines de esta tesis y por las características de los modelos de valuación se presentará de forma sintética la Metodología de Black & Scholes, puesto que se utiliza en su mayoría para la valuación de opciones financieras. Posteriormente se presentará los aspectos más relevantes de la metodología del Modelo Binomial el cual por su flexibilidad y características se adapta mejor para la valuación del proyecto TPM.

#### 2.4.1 Método Black & Scholes

Éste método utiliza la formula desarrollada por Fisher Black y Merton Scholes con el apoyo y comentarios de Robert K. Merton, desarrollado en un principio para la valuación de opciones europeas, de aquí que el modelo contenga las condiciones o hipótesis para este tipo de opciones, destacando en grado de importancia las dos primeras:

- No se pagan dividendos durante la vigencia de la opción.
- La opción sólo puede ejercerse a su vencimiento.
- Ausencia de costo o impuestos de transacción
- Exento de riesgo fijo en donde sea posible recibir un préstamo
- No existen penalizaciones ni restricciones respecto de la venta en corto
- El precio del activo subyacente se distribuye Log- normalmente<sup>31</sup> con una media y desviación estándar constantes.

---

<sup>31</sup> Es una distribución de probabilidad de cualquier variable aleatoria con su logaritmo normalmente distribuido (la base de una función logarítmica no es importante, ya que  $\log_a X$  está distribuida normalmente si y sólo si  $\log_b X$  está distribuida



- El precio de la acción es continuo, es decir, no experimenta fluctuaciones
- El mercado opera continuamente.
- la tasa de interés permanece constante
- Los inversionistas no tiene aversión al riesgo

Dentro de la metodología al delimitar el modelo y limitar los precios para las opciones, la pauta general de la que parte está basada en la construcción de un portafolio de réplica.

No entraremos en el desarrollo matemático ya que no es la finalidad de esta tesis.

La fórmula de valuación de una opción de compra es:

$$C(S_t, t) = S_t \varphi(d1) - Ke^{-r(T-t)} \varphi(d2)$$

La fórmula de valuación de una opción de venta es:

$$P(S_t, t) = Ke^{-r(T-t)} \varphi(-d2) - S_t \varphi(-d1)$$

$\varphi(X) = N(x)$ , es la probabilidad acumulada por una distribución normal estándar hasta el valor de X.

Dónde d1 y d2 son parámetros que surgen al calcular la esperanza matemática, definidos por:

$$d1 = \frac{\ln\left(\frac{S_t}{K}\right) + \left(r + \frac{1}{2}\sigma^2\right)(T-t)}{\sigma\sqrt{T-t}} \quad d2 = \frac{\ln\left(\frac{S_t}{K}\right) + \left(r - \frac{1}{2}\sigma^2\right)(T-t)}{\sigma\sqrt{T-t}}$$

Los parámetros son:

C = Precio de la opción de compra hoy (T=0)

t = Periodo de vigencia de la opción de compra

$\sigma$  = Volatilidad anual de la acción

$\sigma^2$  = Varianza

K = Precio de ejercicio de la opción de compra

$S_t$  = Precio del subyacente en t=0.

T - t = Periodo de maduración de la opción

r = Tasa de interés libre de riesgo

Un hecho importante que hay que tomar en cuenta al momento de aplicar el modelo ROV mediante por la Metodología Black & Scholes es:

*“la aseveración de la neutralidad al riesgo en la valoración del modelo ROV de un proyecto, se origina cuando la adecuada réplica del portafolio origine rendimientos futuros similares a los de las opciones reales identificadas”<sup>32</sup>.*

---

normalmente). Si X es una variable aleatoria con una distribución normal, entonces exp(X) tiene una distribución log-normal. Una variable puede ser modelada como log-normal si puede ser considerada como un producto multiplicativo de muchos pequeños factores independientes. Un ejemplo típico es un retorno a largo plazo de una inversión: puede considerarse como un producto de muchos retornos diarios.

<sup>32</sup>Guía de Valoración de Empresas, Cap. 15, pp. 614. Fragmento.

### 2.4.2 Método Binomial

Este modelo fue propuesto por William Sharp en 1978 y posteriormente desarrollado con las aportaciones de Miller, Cox, Ross y Rubinstein en 1979. Aquí se evalúa las posibilidades de variación que puede sufrir una opción o inversión en el próximo momento del tiempo. El método es aplicable para opciones americanas o europeas, basándose también en un portafolio de réplica. La ventaja que presenta es que en cada periodo los valores del subyacente, el Valor Presente (VP) de los flujos y valores de la opción real pueden calcularse, mostrando el panorama de las posibles decisiones y resultados. Además pueden incluirse costos de transacción como impuestos y comisiones. El VP de los flujos esperados se calculan de forma recursiva comenzando por el inicio hacia el final y los valores de la opción real se calculan también en forma recursiva pero comenzando por el final y yendo hacia el inicio.

La estructura y desarrollo del Árbol Binomial en su estructura y construcción del portafolio replicante siguen la lógica del Árbol de Decisiones.<sup>33</sup> Analizan procesos de decisiones escalonadas y dependientes, en donde se tendrán dos escenarios para cada nodo de decisión (en el caso de tener un periodo), posteriormente cada nodo tendrá a su vez escenarios decisión y que de igual forma éstos nodos subsecuentes contarán con sus respectivos escenarios; así se construirán las ramas del árbol hasta llegar a al resultado buscado. Haciendo la analogía para opciones siempre tendrá dos posibles escenarios para el activo subyacente. Cada nodo representa una combinación tiempo-precio que reproduce el comportamiento probabilístico del proceso bajo la premisa de neutralidad al riesgo. En cada nodo del árbol se tendrán:

- a) Escenario favorable en la decisión o alcista (u), la opción incrementa su valor
- b) Escenario desfavorable o bajista (d), la opción decremento su valor.

Partiendo de estas premisas se generaliza la obtención del modelo Binomial de opciones reales para formular el Portafolio de Réplica:

1. Para el Árbol Binomial existirán dos posibles escenarios para el activo subyacente,
2. El portafolio de Replicación busca determinar las cantidades (unidades del activo subyacente y el monto), que coincidan con el valor de la opción en el momento siguiente (valor del nodo). En el caso de un periodo sería al final del periodo.

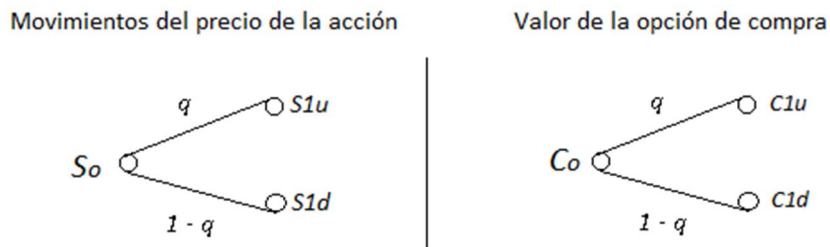
---

<sup>33</sup> **Árbol de decisión** es un modelo de predicción utilizado en el ámbito de la inteligencia artificial (software y ciencias de la computación). Un árbol de decisión lleva a cabo un test a medida que este se recorre hacia las hojas para alcanzar así una decisión. El árbol de decisión suele contener nodos internos, nodos de probabilidad, nodos hojas y arcos. Un nodo interno contiene un test sobre algún valor de una de las propiedades. Un nodo de probabilidad indica que debe ocurrir un evento aleatorio de acuerdo a la naturaleza del problema, este tipo de nodos es redondo, los demás son cuadrados. Un nodo hoja representa el valor que devolverá el árbol de decisión y finalmente las ramas brindan los posibles caminos que se tienen de acuerdo a la decisión tomada.

### 2.4.2.1 Valoración de la Opción para un periodo

Siguiendo la analogía de opciones reales para conformar el Árbol Binomial del Subyacente (de la acción), se nombra  $S_0$  al precio de la acción subyacente al día de hoy; éste será el momento cero o de inicio de adquisición de la opción.  $S1u$  será el precio de la acción dentro de un periodo si es alcista; si fuese bajista se le denominará  $S1d$ . Análogamente para el Árbol Binomial de la Opción, el precio de la opción de compra al día de hoy sería  $C_0$ , siendo  $C1u$  y  $C1d$ , respectivamente, para los casos en que el precio de la opción ordinaria haya ascendido o haya bajado, como muestra la siguiente figura.

Ilustración II-8. Precios de la acción ordinaria y valor de la opción de compra



Observe que para cada escenario existe una probabilidad de ocurrencia que multiplica al subyacente. La probabilidad de que  $S_0$  tome el valor  $S_1^u$  es igual a  $q$ . De la misma forma la probabilidad de que  $S_0$  tome el valor de  $S_1^d$  es igual a  $1-q$ . Estos valores nos indican el porcentaje de variación que tiene el precio actual al vencimiento del periodo, sus valores se calcularán más adelante.

Para poder formar el *Portafolio de Réplica de la Opción de Compra*, los valores de  $C_1^u$  y  $C_1^d$  de acuerdo a la teoría de opciones, riesgo–rendimiento de una opción y su valor intrínseco y en el tiempo; debemos determinar el valor máximo de la opción al alza y el valor máximo que puede tener a la baja, por lo tanto se determina el valor como:

$$\text{Cuando suba el precio del subyacente: } C_1^u = \text{MAX}(S_0u - X, 0)$$

$$\text{Cuando baje el precio del subyacente: } C_1^d = \text{MAX}(S_0d - X, 0)$$

Como ya se había mencionado anteriormente  $X$  es el precio ejercicio del subyacente. Sin embargo para que estas hipótesis representen el valor de la opción en el Portafolio Replicante, deben de cumplir con las ecuaciones:

$$V_1^u = C_1^u \gamma V_1^d = C_1^d$$

De igual forma para una *Opción de Venta el Portafolio Replicante* está sujeto a la misma metodología para obtener los máximos valores:

$$\text{Cuando suba el precio del subyacente: } \rho_1^u = \text{MAX}(X - S_0u, 0)$$

$$\text{Cuando baje el precio del subyacente: } \rho_1^d = \text{MAX}(X - S_0d, 0)$$

Cumpliendo las ecuaciones:

$$V_1^u = \rho_1^u \gamma V_1^d = \rho_1^d$$

### 2.4.2.2 Constantes de Multiplicación para un periodo

Anteriormente se les denominó tanto para el precio de la acción subyacente ( $S$ ), como para el precio de la opción ( $C$ ), un factor de multiplicación  $u$  si el precio de la acción subía y  $d$  si fuese bajista, estos factores son llamados CONSTANTES DE MULTIPLICACION. Estas constantes son afectadas tanto por la volatilidad ( $\sigma$ ), como por los periodos del árbol binomial ( $\Delta t$ ), el cálculo de estas variables se muestra más adelante. Para la valoración de un periodo las constantes de multiplicación  $u$  y  $d$  se calculan utilizando la siguiente relación:

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} \gamma d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}}$$

Dónde:

La constante  $u$  será un número mayor a 1.

La constante  $d$  será un número entre 0 y 1.

$\sigma$  = la volatilidad de los retornos anuales.

$\Delta t$  = periodo de maduración de la opción ( $T-t$ )

En donde deben cumplir con las condiciones:

$$u > 1 + r > d \quad \text{Con} \quad u y 1 + r > 1 \quad \gamma \quad d < 1$$

### 2.4.2.3 Volatilidad

Como se mencionó anteriormente la volatilidad es un proceso estocástico que incluye la incertidumbre del mercado y la empresa. A mayor riesgo en el proyecto se requerirá una mayor tasa de rentabilidad o un mayor valor para la opción.

Aunque la volatilidad es considerada negativa para los proyectos de inversión, es de suma importancia puesto que un en un mercado con mayor volatilidad es más probable que se presente un escenario favorable en donde los beneficios serán mayores. En el caso de un escenario desfavorable derivará en mayores pérdidas. Derivado de ésta premisa, para el caso de las opciones no sucede de ésta forma; en el caso de que el mercado sea sumamente desfavorable la opción no alcanzará un valor negativo, simplemente no se ejercerá y su valor será de cero.

Para el caso del modelo ROV, un aumento de las operaciones haría aumentar la *positividad del VPN*, mientras que un descenso de aquellas no hará que *VPN sea negativo*, Rayo y Cortés (2007).

Una forma de poder estimarlo puede ser a partir de la información histórica y/o del mercado, calculando la varianza del flujo de fondos histórico del proyecto. Sin embargo no siempre se cuenta con los suficientes datos históricos para realizar su cálculo, pudiendo representar un problema y agregar un grado de incertidumbre en su valor. Rey A. y Armagno (2005), proponen una ecuación para su cálculo estimado de forma estática simple<sup>34</sup>, en donde  $\sigma$  es la volatilidad de los retornos anuales. Dada una muestra de  $m+1$ , precios al día, consecutivos de los flujos  $S^i$  ( $i = 0,1,2,\dots,m$ ) cada retorno diario es calculado como:

$$r_i = \ln\left(\frac{S^i}{S^{i-1}}\right)$$

Y la muestra de precios puede ser transformada en una muestra de retornos. Entonces la volatilidad de los retornos anuales pueden ser calculados como:

$$\sigma = \sqrt{250 \cdot \left[ \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m r_i^2 - \frac{1}{m \cdot (m-1)} \cdot \left( \sum_{i=1}^m r_i \right)^2 \right]}$$

Ejemplo

PERIODO (t)	FLUJOS DE EFECTIVO (S <sub>t</sub> )	RETORNOS (r <sub>t</sub> )	r <sub>t</sub> cuadrada	Volatilidad	
0	\$10.00000			0.8190	
1	\$10.07071	0.0070461	0.00004964777	m	10
2	\$9.35531	-0.0736871	0.00542979079	m-1	9
3	\$9.82780	0.0492710	0.00242763222		
4	\$9.06339	-0.0809719	0.00655644570		
5	\$9.23385	0.0186329	0.00034718337		
6	\$9.74891	0.0542794	0.00294625373		
7	\$9.11310	-0.0674425	0.00454849689		
8	\$9.06438	-0.0053605	0.00002873487		
9	\$8.97282	-0.0101524	0.00010307202		
10	\$8.36684	-0.0699237	0.00488932851		
		-0.1783088	0.02732658588		
		suma r <sub>t</sub>	Suma r <sub>t</sub> ^2		

#### 2.4.2.4 Probabilidad Neutral al Riesgo

Valorar el activo neutral al riesgo parte de la idea de que las actitudes frente a los riesgos del mercado de los inversionistas, no son uniformes por lo que se busca un valor neutral al riesgo del mundo y que sea irrelevante para la opción, Trigeorgis (1999). Como se mencionó las probabilidades  $q$  y  $1-q$  nos muestran la variación del precio actual del subyacente en el momento uno o siguiente del periodo. Estas probabilidades son valuadas Neutrales al Riesgo, con la finalidad

<sup>34</sup>Calculo de la volatilidad para el Árbol Binomial. A *Practical Guide to Investment Valuation*. Pag. 108.

de reducir los riesgos en el transcurso del periodo y en el cálculo del valor del activo subyacente. Su cálculo, como comenta Hernández (2011), valorará la opción como una esperanza matemática del precio del subyacente en el momento uno, descontada a una tasa de interés libre de riesgo que sea igual al precio del activo subyacente el día de hoy. Esto puede expresarse de la siguiente forma para un periodo

$$S_o = \frac{E_{q(S_1/S_o=S_o)}}{(1+r)^T} = \frac{S_1^u q + S_1^d (1-q)}{(1-r)^T}$$

Conociendo los parámetros de la ecuación despejamos  $q$

$$q = \frac{S_o(1+r)^T - S_1^d}{S_1^u - S_1^d}$$

Para expresar la ecuación en términos del momento actual, igualamos tomando la teoría de los escenarios  $S_1^u = S_o u$  y  $S_1^d = S_o d$ . Para luego simplificar la ecuación quitando términos semejantes.

$$q = \frac{S_o(1+r)^T - S_o d}{S_o u - S_o d} = \frac{(1+r)^T - d}{u - d}$$

Obteniendo el valor de  $q$  para el portafolio de  $S_o$ , se pueden encontrar las ecuaciones de los portafolios de Réplica de las opciones de compra y de venta:

$$C_o = \frac{C_1^u q + C_1^d (1-q)}{(1-r)^T} \quad \text{Valor de una opción de compra (call)}$$

$$P_o = \frac{\rho_1^u q + \rho_1^d (1-q)}{(1-r)^T} \quad \text{Valor de una opción de venta (put)}$$

#### 2.4.2.5 Valoración de la Opción para $n$ periodos

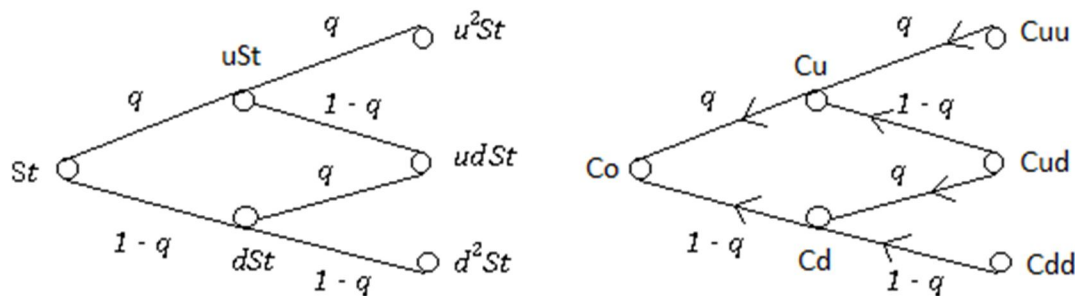
En la mayoría de los casos en que se utilizan la valoración por opciones reales, se tiene más de un periodo. La forma de construcción de más de un periodo sigue la misma metodología y desarrollo que el de un periodo con algunas variantes en su cálculo. Se desarrolla bajo las hipótesis principales de:

- 1) La distribución de los precios de las acciones es una binomial multiplicativa.
- 2) Los multiplicadores  $u$  y  $d$  (y, por ende, las varianzas de los rendimientos) son los mismos en todos los periodos.

- 3) No hay costes de transacción, por lo que se puede establecer una cobertura sin riesgo para cada período entre la opción y el activo sin necesidad de realizar ningún coste irrecuperable.
- 4) Los tipos de interés sin riesgo se suponen constantes.

Extenderemos a 2 periodos para observar la forma general de n-periodos. En cada periodo se tiene  $(T - t)/2$  y las trayectorias quedan de la siguiente forma:

Ilustración II-9. Árbol del Subyacente y de la Opción de Compra para 2 periodos



Observe que la probabilidad neutral al riesgo ( $q$ ), permanece constante para cada rama de decisión. En cada nodo de decisión, como se mencionó solo tendrán dos escenarios, favorable y desfavorable, afectados por las constantes de multiplicación. Al final de la vida de la opción o fecha de vencimiento se puede observar la relación de  $u$  y  $d$  con el activo subyacente ( $St$ ).

Para un árbol de opción de compra de dos periodos, el proceso de cálculo comienza de derecha a izquierda, calculando los valores periodo a periodo. Así calculamos los posibles valores de la opción al final del segundo periodo, los valores de ascenso de la cotización de la acción ( $Cu$ ) como de descenso ( $Cd$ ). Mascareñas (2000), propone las siguientes ecuaciones para los *Valores Intrínsecos*:

$$C_u = \frac{C_{uu} q + C_{ud} (1-q)}{1+r} C_d = \frac{C_{ud} q + C_{dd} (1-q)}{1+r}$$

Para la construcción de "n" periodos debemos tomar en consideración dos aspectos importantes, como comenta Hernández, (2011):

1. El tiempo de maduración de la opción ( $T-t$ ) o ( $\Delta t$ ), calculado a partir de dividir el periodo de vigencia de la opción ( $t$ ), hasta el vencimiento, entre los "n" periodos de igual longitud:

$$\Delta t = \frac{t}{n}$$

- Los periodos serán iguales en comportamiento al de un periodo, sin embargo las CONSTANTES DE MULTIPLICACIÓN  $u$  y  $d$  para “ $n$ ” periodos deberán multiplicar entre si un valor igual a 1. Esta condicionante se establece para que el aumento en una compense el decremento en la otra y viceversa. Así en el momento dos será posible obtener un precio similar al del momento inicial. En este caso decimos que el árbol se recombina.

### 2.4.2.6 Constantes de Multiplicación para $n$ periodos

Por lo tanto para “ $n$ ” periodos del árbol binomial el cálculo de  $u$  y  $d$  estará dado por:

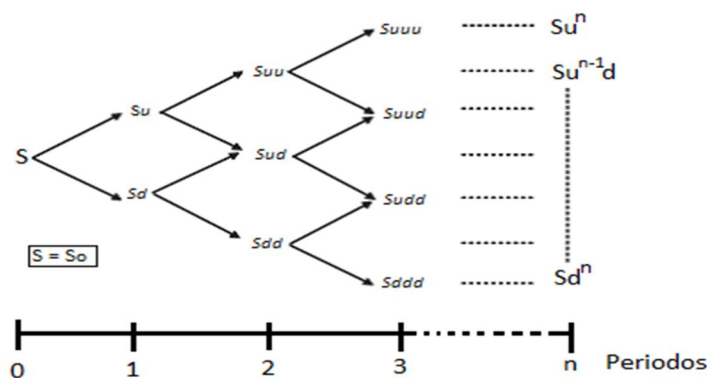
$$u = e^{\left(\sigma\sqrt{t/n}\right)} = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} \text{ y } d = 1 / u$$

Observe que el valor de ambos depende en gran medida del número de periodos; a mayor número, menor será el valor de ambos, es decir, la longitud del periodo será más corta. El cálculo del valor de  $u$  es el mismo que para un periodo, sin embargo el valor la constante  $d$  resultará igual si se calcula para un periodo o  $n$  periodos, ambos bajo las mismas restricciones.

### 2.4.2.7 Desarrollo del Árbol del Subyacente de la Opción para $n$ periodos

Una vez que hemos revisado todas las variables que se requieren para poder desarrollar el Árbol Binomial de una Opción, podemos mostrar el desarrollo para “ $n$ ” periodos. La siguiente figura muestra el desarrollo de un árbol binomial para una opción de compra call. Nótese que la secuencia de desarrollo parte del activo subyacente  $S$  de izquierda a derecha. De igual forma se presenta el desarrollo del árbol de la opción de compra para  $n$  periodos.

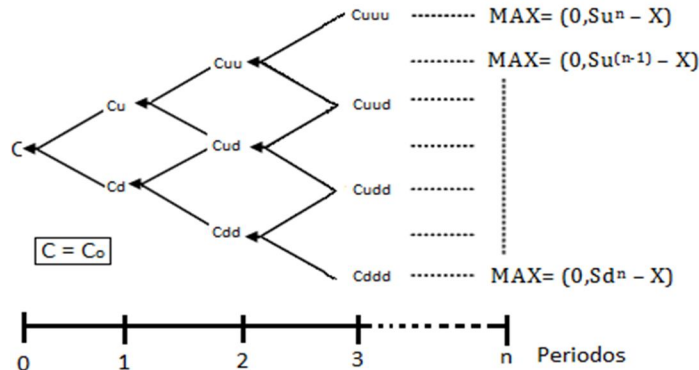
Ilustración II-10. Evolución del activo subyacente.



Fuente: Elaboración propia



Ilustración II-11. Evolución de la Opción Call según el proceso Binomial Multiplicativo.



Fuente: Hernández (2002).<sup>35</sup>

Este razonamiento se ha generalizado a  $n$  periodos de forma que la ecuación general que constituye el modelo binomial de valoración de opciones propuesto por Cox, Ross y Rubinstein, para opciones de compra europeas que no reparten dividendos, se expresa como sigue:

Valoración del Activo Subyacente

$$C = \frac{1}{(1+r)^n} \sum_{k=0}^n \left[ \binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k} \max\{Su^k d^{n-k} - X, 0\} \right]$$

Probabilidades Neutrales al Riesgo

$$p = \frac{1+r-d}{u-d} \quad 1-p = \frac{u-(1+r)}{u-d}$$

Valoración de la Opción de Compra

$$C_{t-1} = \frac{1}{1+r} [p C_{tu} + (1-p) C_{td}]$$

El cálculo se inicia en  $n$ , siendo el último periodo asumido para la valoración. A partir de los valores intrínsecos en  $n$  se calculan los valores de  $C_{n-1}$  y se retrocede periodo a periodo en el tiempo de vida de la opción y se calculan los valores de  $C_{n-2}$ ,  $C_{n-3}$ , etc. Hasta encontrar  $C$ , el valor de la opción en el momento actual. En la práctica utilizando el modelo con un número de pasos  $n = 30$  se obtienen buenos resultados.

De forma análoga se puede valorar una opción put europea, para acciones que no reparten dividendos para  $n$  periodos es:

<sup>35</sup> Propuesta de árbol binomial de forma generalizada. Hernández, D. (2002). *Opciones Reales: El Manejo de las Inversiones Estratégicas en las Finanzas Corporativas*. Trabajo de Grado de la Licenciatura en Economía, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

$$P = \frac{1}{(1+r)^n} \sum_{k=0}^n \left[ \binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k} \max\{X - Su^k d^{n-k}, 0\} \right]$$

### 2.4.2.8 Valuación de Opciones Europeas

Como ya hemos visto, el desarrollo de los valores para un periodo y para “n” periodos partiendo del modelo de valuación de dos periodos, el cálculo de las variables para opciones europeas sigue el mismo procedimiento para su cálculo. Sin embargo no debe perderse de vista la *característica principal de las opciones europeas, como ya se mencionó anteriormente, el valor de la opción y su valor intrínseco se ejercen al vencimiento*. El cálculo de los valores de las variables de probabilidad neutral al riesgo de la misma forma:

$$q = \frac{(1+r)^{\Delta t} - d}{u - d}$$

Las variables de entrada siguen siendo las mismas por tanto se calculan de la misma forma en que se describió anteriormente y el valor del activo subyacente y de la opción de compra se calculan de igual forma. Calculando su valor inicial:

$$C_{n-1} = \frac{C_n q + C_n (1-q)}{(1+r)^{\Delta t}} \text{ Para } C = \max(S - X, 0)$$

### 2.4.2.9 Valuación de Opciones Americanas

La valoración de este tipo de opciones sigue el mismo procedimiento descrito en el desarrollo del Árbol Binomial y de igual forma que para las opciones europeas sus valores se obtienen de las mismas ecuaciones para opciones que no pagan dividendos. *La característica principal de las opciones americanas, es la posibilidad de ejercer la opción en cualquier momento*. Ésta característica incurre en que se tenga que evaluar la opción en cada nodo para verificar la viabilidad de la misma en caso de que se quiera ejercer. Ésta decisión será válida si el valor del ejercicio supera al valor calculado. Si se llegase a ejercer la opción, el valor que tomará será su valor intrínseco o de lo contrario se mantendrá la opción hasta el siguiente periodo. Esto se puede determinar de la siguiente forma:

$$V_t = \max(\text{ejercer}, \text{mantener}) = \max\left(\text{valor intrínseco}, \frac{V_{t+1}^u q + V_{t+1}^d (1-q)}{(1+r)^{\Delta t}}\right)$$

En este tipo de opción call, en un principio debe valer lo mismo que una opción europea, puesto que no se ejercerá anticipadamente. La situación cambia para las opciones de venta

americanas en el que el ejercicio puede ser rentable y conveniente si su valor supera al de la opción put europea. En caso contrario debemos sustituir el valor en función de los periodos futuros por el valor intrínseco de la opción en la fecha correspondiente. Su valoración sobre opciones que no pagan dividendos requiere de la misma modificación que la opción de compra; valuar en cada nodo si debe o no ejercerse la opción, verificando como:

$$qP_{tu} + (1 - q)P_{td} \geq X - S_{t-1}$$

#### 2.4.2.10 Ajuste del Pago de Dividendos

El ajuste de dividendos puede ser generalmente un problema en los nodos no recombinados del árbol binomial y al agregarlos puede crecer exponencialmente el número de nodos. Trigeorgis (1999), propone la siguiente aproximación:

Si un infinito número de dividendos discretos son anticipados ( $D_j, j= 1,2,\dots,n$ ), en un tiempo dado, entonces podemos ajustar el valor actual del activo substrayendo el VP de los dividendos futuros anticipados durante la vida de la opción, representado como:

$$S^* = S - \sum_j D_j e^{-rT_j}$$

En donde el ajuste del precio  $S^*$  puede ser utilizado en la fórmula de Black & Scholes para dar una aproximación al valor de la opción de compra. Esta aproximación asume que:

La opción no es ejercida prematuramente y el valor del activo se ve reflejado en el capital y en el valor de pertenencia de la opción antes del vencimiento (opción europea).

Si es ejercida durante el tiempo de vida de la opción, el propietario perderá los dividendos y el deducir el VP del precio actual del activo, es decir, que el valor de los dividendos puede ser el límite inferior del precio de la opción y decidir si se ejerce o no.

Para el árbol binomial puede generarse el cálculo de un árbol binomial alterno que comience con  $S^*$  como valor del subyacente en lugar de  $S$  en el instante  $t=0$  y agregar el VP de cada dividendo  $D_j$  a lo largo de cada nodo en el tiempo ( $j$ ) como  $S^* + D_j e^{-rT_j}$ , para evaluar la opción en base a los valores obtenidos de este ajuste.

#### 2.4.2.11 Tipos de opciones reales

Dentro de las distintas aplicaciones de las opciones reales se pueden observar diversos tipos en cuanto a su aplicación y en cuanto a su flexibilidad dentro del negocio, la siguiente tabla muestra las más representativas.

Tabla II-4. Tipos de Opciones Reales.

<p><b>Opciones reales Estratégicas</b> (Flexibilidad de crear y explotar las negociaciones futuras)</p>	Opción de Crecimiento
	Opción de M&A
	Joint Venture
	Opciones de Seguros y Alianzas estratégicas
	Opción de Desinversión
<p><b>Opciones reales Operativas</b> (Flexibilidad de administrar activos existentes por incertidumbre y mejorar los flujos de efectivo futuros)</p>	De entrada (Input options) (Cambiar de proveedor de materia prima)
	De proceso (Process options) (Poder elegir entre diferentes tecnologías de desarrollo)
	De Salida (Output options) (Flexibilidad de intercambio de productos terminados)
	De Incrementar o Disminuir (expansión /contraction options) (Flexibilidad en la demanda, vender capacidad de manufactura o detener la producción)
<p><b>Opciones reales de Valuación</b> (Se relacionan en su mayoría con proyectos de inversión)</p>	De Invertir
	De Diferir
	De Aprendizaje
	De Ampliar
	De Abandono
	De alterar la escala de producción
	De Intercambio
	Time to build
	De Reducir
	De Crecimiento
De Cierre Temporal	
<p><b>Opciones reales de Financiamiento</b> (Se relaciona con la estructura de capital de la empresa)</p>	De comportamiento (Valor líquido a causa de las responsabilidades limitadas de la empresa)
	Flexibilidad de Recapitalización (Emitir acciones, instrumentos de deuda, cambio de fechas, etc.)

Fuente: Martínez, 2009.

Para el caso particular de esta tesis se describirán los tipos de opciones reales de valuación enfocadas a los proyectos de inversión.

## OPCIÓN DE DIFERIR

Como su nombre lo indica le da al proyecto la opción de esperar para su ejecución, en un lapso de tiempo determinado. Esto en ciertas situaciones proporciona ventajas sí, con la espera se reducen los riesgos y se van eliminando barreras o limitantes para el proyecto. De igual forma en el lapso de tiempo de espera se puede reducir la incertidumbre en cuanto a una variable o respecto al activo subyacente, tasa de descuento, los movimientos del mercado, etc. Generalmente este tipo de opción es relacionada con el tipo de opciones Americanas incorporando costos por esperar que sean evaluados en relación al beneficio obtenido por la espera. Su valor está dado por el valor actual de los flujos de fondos futuros, el cual puede comprar si realiza la inversión.

Sin embargo también debe tenerse en cuenta que dentro de la estrategia de la empresa que la espera en la inversión del proyecto no perjudique los intereses de la empresa en caso de que ésta no tenga los derechos exclusivos de la opción o de lo contrario el valor de la opción caería a un valor nulo.

El cálculo de los valores se desprende de forma análoga de las fórmulas que se ha demostrado anteriormente.

$$q = \frac{(1 - r) - d}{u - d}$$

$$VP_0 = \frac{VP_0 uq + VP_0 d(1 - q)}{1 + r}$$

$$\text{Valor de la Opción} = \frac{V_1^u q + V_1^d(1 - q)}{1 + r}$$

Donde como hemos visto:

$r$  := Tasa de interés efectiva anual libre de riesgo

$V_u$  y  $V_d$  := Valores de la Opción en los nodos adyacentes

$q$  := Probabilidad neutral al riesgo de que el VPN aumente

$VP_0$  := VP en el momento inicial

### **OPCIÓN DE APRENDIZAJE**

La opción aparece cuando una empresa requiere de invertir en el desarrollo de su personal, mejorar un proceso o ampliar los conocimientos y habilidades para un nuevo producto; con la finalidad de mejorar los flujos de efectivo futuros mejorando las capacidades y desempeño de su personal (KnowHow).<sup>36</sup> Aquí los costos de la opción de invertir en conocimiento e información, debe contraponerse y compararse con los resultados de no invertir en ello, puesto que esto podría mejorar la posición de sus productos y/o servicios en el mercado. Las características para que esta opción incremente su valor debe tener en cuenta: la exactitud de la información recibida; clara, concreta, enfocada. El impacto del aprendizaje en la toma de decisiones; contar con los conocimientos suficientes llevan a resultados más confiables y menos costosos.

### **OPCIÓN DE AMPLIAR / EXPANDIR O DE CRECIMIENTO**

Este tipo de opción proporciona a su poseedor el derecho de adquirir una parte adicional de los flujos de efectivo futuros del proyecto, a cambio de un costo adicional (el precio de ejercicio). Es lo mismo que adquirir una opción de compra sobre una parte adicional del proyecto base con un precio de ejercicio, debido a que la opción de crecimiento proporciona la posibilidad de realizar inversiones adicionales de seguimiento si las condiciones son favorables o los resultados del proyecto fueron mejores de lo que se esperaba. De esta forma, un proyecto que pueda ampliarse tiene más valor que el mismo proyecto sin esa posibilidad. Se puede comparar con una opción de compra americana.

Dentro de la productividad de la empresa puede ser estratégicamente importante ofrecer a la compañía posibilidades de expansión y crecimiento futuras que mejorarán el desempeño del negocio. La opción de crecimiento será ejercida cuando el comportamiento futuro del mercado se vuelva claramente favorable, puede hacer que un proyecto de inversión aparentemente desaconsejable basado en el VPN estático, tenga un valor positivo. En este caso el análisis de opciones reales muestra que la inversión inicial crea la oportunidad de crecer en el futuro, Martínez (2009).

Es un tipo de opción en cadena que se apoya en etapas anteriores para poder realizar las siguientes, pero no siempre dependerá del resultado de la etapa anterior, pudiendo continuar con la siguiente fase independientemente de los resultados del mercado y de las etapas anteriores del proyecto. Esto proporcionará experiencia y conocimientos útiles que pudieran aplicarse en un futuro. Debe tener en cuenta al evaluar la opción de crecimiento en no duplicar su valor con la

---

<sup>36</sup> Saber-Como. Es una forma de transferencia de tecnología. para denominar los conocimientos preexistentes no siempre académicos, que incluyen: técnicas, información secreta, teorías e incluso datos privados (como clientes o proveedores). A partir de la era industrial, se ha convertido en valioso activo intangible, el cual incluye la forma de mezclar componentes, los equipos utilizados, el personal que sabe hacer la receta, etc. Lo que venden los que ofrecen franquicias es precisamente el "know-How", esto es cómo hacer las cosas en una empresa para que esta sea altamente productiva.

inversión del proyecto, generando una tasa de crecimiento más alta de lo esperado, que duplique el efecto de la opción.

Es una herramienta utilizada para analizar opciones de crecimiento con características de:

1. Adquisiciones de tipo estratégico.
2. Investigación y desarrollo.
3. Proyectos multi-etapa.

Para encontrar los valores que tomará la opción será análogo al descrito para los casos anteriores y sabiendo que su comportamiento es similar a una opción de compra americana, con una vida de proyecto por un periodo determinado, a una fecha de vencimiento y por el cual se pagará un precio predeterminado. Los valores del precio y el activo están determinados por:

Activo subyacente.- dado por el VPN de la Inversión, antes de invertir en ampliar el proyecto

El precio de ejercicio.- es el costo de esa expansión del proyecto.

Como en el caso de de la opción de abandono, que se verá más adelante, el valor intrínseco se modifica para encontrar su valor a través de:

$$\text{Valor intrínseco de la opción} = \text{MAX} [FFExpansión_T - \text{Costo de Expansión} ; 0 ]$$

Donde:

FFExpansión<sub>T</sub>.es el VP de los flujos futuros que se obtendrían por la expansión, calculado en el momento en que expira la opción (T).

Costo de Expansión.- es la inversión que debe realizarse para ampliar el proyecto.

A su vez, la expansión se incrementa en un porcentaje (K) determinado por el Valor Presente Neto del proyecto, Hernández (2011):

$$FFExpansión_T = K(VPN_T)$$

Por lo que el valor intrínseco queda expresado como:

$$\text{Valor intrínseco} = \text{MAX} [ \underbrace{K (VPN_T) - \text{Costo de Expansión}} ; 0 ]$$

*Resultado del Ejercicio*

Así el valor de la opción de expansión será el mayor comparando el valor de la opción y el resultado del ejercicio, para cada uno de los escenarios. El cálculo de los valores sigue el mismo procedimiento que el del árbol binomial, primero calculando el valor de la opción para el escenario positivo y el negativo para después obtener el valor de la opción con las fórmulas:

$$\text{Valor de la Opción} = \frac{V_1^u q + V_1^d(1-q)}{1+r} q = \frac{(1+r)^{\Delta t} - d}{u-d}$$

## OPCIÓN DE REDUCIR

Le da a su poseedor el derecho, pero no la obligación, de reducir el tamaño de las operaciones a cambio de un ahorro adicional (precio de ejercicio), si las condiciones resultan desfavorables. Es similar a una opción de venta americana. Este tipo de opción puede ser muy útil en el caso de la introducción de nuevos productos en mercados inciertos, o en el caso de tener que elegir entre tecnologías o plantas industriales con diferentes relaciones construcción-mantenimiento en cuanto a costos. Al igual que la opción de crecimiento este tipo de opción presenta modificaciones en sus valores. Éstos se encuentran determinados por:

Activo subyacente. - es el VPN de la inversión antes de la contratación del proyecto,

El precio de ejercicio (Valor de venta). - es el valor que se obtiene por la venta o reasignación de las instalaciones y/o activos que dejan de prescindir en el proyecto después de la reducción.

$$\text{Valor intrínseco} = \text{MAX} (\text{Valor de Venta} - \text{FFPerdidos}_T; 0)$$

El valor intrínseco en este caso surge del valor de venta o precio de ejercicio, que recibe la empresa al liquidar una parte del proyecto y lo que reasigna es una parte del VP de los flujos de fondos futuros ( $\text{FFPerdidos}_T$ ), calculado al momento de tiempo (T), en que expira la opción. En donde análogo a la opción de expandir en donde el VPN tenía un crecimiento (K), en la opción de reducción el decrecimiento está representado por (h):

$$\text{FFPerdidos}_T = h(\text{VPN}_T)$$

Por lo que el valor intrínseco queda expresado como:

$$\text{Valor intrínseco} = \text{MAX} [\underbrace{\text{Valor de Venta} - h(\text{VPN}_T)}; 0]$$

*Resultado del Ejercicio*

De igual forma se comparan el resultado del ejercicio y el valor de la Opción en cada escenario, por ser una opción de venta americana, y así encontrar el de mayor valor en cada uno. Los valores de la opción de igual forma se obtienen de la metodología previa. Notes que aquí no se presenta un periodo de vencimiento ( $\Delta t$ ).

$$\text{Valor de la Opción} = \frac{V_1^u q + V_1^d(1-q)}{1+r} q = \frac{(1+r) - d}{u-d}$$

El primer valor es el que se obtiene por ejercer la opción ( $V_1^u q$ ), es decir, reducir la inversión, mientras que el segundo monto representa el valor de mantener la opción ( $V_1^d(1 - q)$ ),



es decir, no realizar la reducción manteniendo el proyecto con la misma escala. Por lo tanto el criterio consiste en que la institución deberá reducir la inversión cuando el valor que genere dicha decisión supere al valor de Posponerla, Hernández (2011).

### OPCIÓN DE ABANDONO

Esta opción proporciona a su poseedor el derecho a vender, liquidar, cerrar o abandonar un proyecto determinado a cambio de una prima. Aquí puede suponerse que la liquidación de un proyecto desfavorable vale más que mantener el proyecto funcionando. La opción de abandono puede verse como una opción de venta americana y se evalúa con la misma metodología descrita anteriormente.

Este tipo de opción surge de los proyectos en los que la flexibilidad arroja flujos de efectivo inciertos tanto en los flujos futuros como en el valor residual. Si bien se tiene un grado muy significativo de incertidumbre, siempre será conveniente mantener la opción de abandono. En un caso similar los directivos de las compañías realizan inversiones por etapas cuando existe una fuerte suma de capital a invertir. Al realizar la inversión por etapas dejan, como se comentó, en cada momento la opción de abandonar el proyecto en el caso de que sus expectativas sean muy malas o muy inciertas.

Hoy las empresas buscan protegerse y minimizar los riesgos en diversos ámbitos de la empresa. Por ello han surgido nuevos negocios que facilitan y mantienen la opción de abandono, como es el caso de los outsourcing,<sup>37</sup> al mantener contratos que pueden cancelarse en cualquier momento o de forma temporal; la renovación anual de contratos de proveedores que de igual forma mantiene la opción de abandonar un servicio o materia prima que no ha sido satisfactorio. Como se espera, mantener en estos casos la opción de abandono incurre en un costo que es comparado con el beneficio de mantener la opción.

Éste tipo de opción es independiente del resultado o los flujos de efectivo del proyecto y su valor no tiene efecto alguno sobre los valores de decisión de invertir.

Como se comentó su valuación se realiza como ya se ha descrito al ser análogo a una opción de venta americana:

- o Activo subyacente (X), estará dado por el valor actual de los flujos de fondo futuros del proyecto, es decir, el valor de la inversión.
- o El precio de ejercicio (S), que será el precio al cuál se venderá el proyecto, es el monto que obtendrá la institución por la venta de las instalaciones y la reasignación de los recursos destinados a dicho proyecto al que se invirtió.

---

<sup>37</sup> Es el proceso económico en el cual una empresa mueve o destina los recursos orientados a cumplir ciertas tareas hacia una empresa externa por medio de un contrato. Esto se da especialmente en el caso de la subcontratación de empresas especializadas. La subcontratación también implica un considerable grado de intercambio bidireccional de información, coordinación y confianza. En resumen, la subcontratación está caracterizada por la especialización no intrínseca al núcleo de la organización contratante.

- Periodo de vigencia del proyecto (t), periodo durante el cual se puede decidir y llevar a cabo la opción de abandonar el proyecto, y ese límite será la fecha de expiración de la opción.

Tomando en cuenta el valor intrínseco de los dos escenarios para su valuación debe cumplir con las hipótesis:

$$\text{Escenario Positivo} = V_1^u = \text{MAX} (\text{Valor de Venta} - VP_1^u, 0)$$

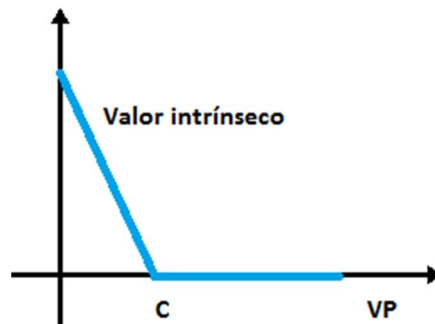
$$\text{Escenario Negativo} = V_1^d = \text{MAX} (\text{Valor de Venta} - VP_1^d, 0)$$

Para el cálculo de la valoración neutral al riesgo utilizamos las formulas propuestas anteriormente:

$$\text{Valor de la Opción} = \frac{V_1^u q + V_1^d (1-q)}{1+r} q = \frac{(1-r)-d}{u-d}$$

Para poder entender el comportamiento que tomaría la opción de venta y concluir con la evaluación este tipo de opción, se muestra la siguiente gráfica.

**Ilustración II-12. Valor intrínseco de la Opción de Venta en relación al VPN**



Aquí el valor intrínseco tendrá un valor de cero mientras que el Valor Presente (VP), tome distintos valores positivos manteniendo con vida el proyecto. Si llegara a tomar un valor mínimo cuando los flujos de efectivo del VP, son menores que el valor de venta del proyecto (C), solo entonces se decidirá abandonar el proyecto. Éste será representado por:

$$\text{Valor Intrínseco de la opción} = C - VP$$

Posteriormente una vez obtenido el valor intrínseco, será comparando con el valor de la opción para determinar cuál es mayor y tomar la decisión de continuar o abandonar. El valor que se halla determinado mayor, será el nuevo valor de la opción de abandonar y se agrega al valor del proyecto como:

$$\text{Valor total de la Inversión} = VP + \text{Valor de la Opción}$$

$$\text{Valor de la Opción} = \text{MAX} (\text{Valor de la opción}, \text{Valor intrínseco})$$

### **OPCIÓN DE CIERRE TEMPORAL**

En cierto tipo de industrias como las de extracción de recursos naturales (minería, petróleo, gas, etc.), o en la planeación y construcción de industrias cíclicas, moda, bienes de consumo, etc., existe la posibilidad de parar temporalmente la totalidad del proceso productivo cuando los ingresos obtenidos son insuficientes para hacer frente a los costos variables operativos y de volver a producir cuando la situación se haya invertido.

Como sucede en este tipo de empresas, los flujos de efectivo tienen retraso o no se obtienen hasta obtener resultados o la materia prima.

#### **2.4.3 Ventajas del Modelo ROV.**

Varios autores han dejado ver y demostrado las ventajas que presenta el modelo ROV comparado con la valuación por Flujos de Efectivo Descontado (FED), en cuanto a su flexibilidad en la forma de valuar los activos de inversión, al evaluar los activos en forma más cercana a la realidad y no con la rigidez del modelo FED. No toma como constantes los incrementos de los flujos en cada periodo al determinar que puede haber de igual forma un decrecimiento de diferentes proporciones en el desarrollo del proyecto y reducir la incertidumbre en la formulación de las variables de entrada para efectuar los cálculos. Puesto que no utiliza probabilidades subjetivas ni estimación al realizar el cálculo de los flujos, los cuales son determinados por el mercado.

Dentro del área de las variables que utiliza la modelo ROV, como menciona Martínez (2009), se resumen los siguientes puntos que destacan:

- ✓ La incertidumbre del valor del activo subyacente es usualmente expresada en términos de la volatilidad  $\sigma$ . En donde afecta directamente los valores de probabilidad de un precio alcista o bajista y a su vez el valor de la opción.
- ✓ La posibilidad de utilizar la tasa libre de riesgo en lugar de utilizar una tasa de descuento ajustada al riesgo, enlazando al activo con las variaciones del mercado de capital. Esto supone un cálculo más real, apegado a las variables económicas y la situación actual del mercado en donde se evalúe.
- ✓ Elimina las preferencias al riesgo y las tasas de descuento con riesgo. Con esto reduce la incertidumbre que pueden generarse a partir de la aversión al riesgo o las preferencias influenciadas por el valuado.
- ✓ Es una herramienta sencilla de utilizar pero a la vez es poderosa puesto que ayuda a identificar las mejores estrategias corporativas y administrativas a seguir, sobre todo en empresas productoras.

Es reconocido que en la actualidad los mercados son cambiantes y están en continuo movimiento, la valuación por ROV, al ser flexible toma en cuenta ese cambio continuo por medio de la volatilidad y los posibles escenarios. En este contexto el valor de la opción crece al aumentar el riesgo de mercado, como respuesta al reducir la incertidumbre en los valores futuros del mercado. Mientras que el riesgo negativo de la opción tiende a permanecer constante al contar con mayor información respecto a las variaciones y los distintos escenarios de la opción.

La característica de flexibilidad es para esta tesis de las más importantes, puesto que además de agregar flexibilidad a las decisiones, puede representar las distintas etapas en proyectos que en algunos casos no entregan rendimientos en los primeros ciclos de tiempo o hasta determinadas etapas y/o requerirán de más de una etapa para comenzar a mostrar flujos positivos, como puede ser el caso de desarrollo de nuevas tecnologías, medicamentos o vacunas.<sup>38</sup>

#### 2.4.4 Desventajas del Modelo ROV

Una desventaja del modelo es el poder encontrar activos o portafolios (negociados) que contengan una misma estructura de riesgo del activo subyacente de la opción real que se está evaluando como se ha propuesto en un principio. Aún con esta desventaja, se considera que no hay una limitante para que se pueda realizar una evaluación de la fuente de riesgo del activo subyacente, aun cuando ni siquiera existiera en el mercado, como en la opción de diferir, en donde el valor del proyecto subyacente aún no existe.

Limitar el modelo a solamente 2 escenarios cada nodo de decisión podría influir en el resultado de valor de la opción, siendo que en la realidad puede tenerse más de uno. Como podría ser el caso de la opción de expansión en donde algunos proyectos pueden tener la posibilidad de comenzar por cualquiera de las etapas que lo conforman, siendo cada etapa un complemento que aumenta el rendimiento del proyecto. Sin embargo, no debemos de olvidar que agregar múltiples escenarios puede no llevar a un resultado objetivo o complicado de entender y aplicar; pero podría realizarse un modelo que se adapte al tipo de opción que se requiera.

Las valuaciones del modelo ROV al igual que los demás modelos de inversión se realizan dentro de mercados completos y perfectos, condición limitante. En la realidad los mercados incompletos son parte de riesgo en que incurre todo proyecto, habiendo fuentes riesgosas que no es posible negociar o eliminar. Entonces el resultado que pueda arrojar la valuación de la opción fungirá como un indicador o cota inferior que se encontrará cercano al resultado real al que podría sumarse un factor de error derivado del mercado incompleto.

---

<sup>38</sup>Influenza Porcina. La compañía suiza Roche, es fabricante del antiviral Tamiflu (*oseltamivir*), que es uno de los dos medicamentos que la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha reconocido como eficaces para el tratamiento del nuevo virus gripal AH1N1, ante el severo brote de gripe porcina que se dio en México y su llegada a Estados Unidos, Canadá, Europa y Oceanía, en 2009. <http://www.eluniversal.com.mx/notas/594480.html> . Consulta Diciembre 2011. Dentro de este contexto, la compañía Roche nunca se imaginó que uno de sus medicamentos fuera a tener tanta demanda en el mundo para solucionar un problema. En este caso la compañía tuvo las opciones de crecer, expandir el proyecto, aprendizaje y diferir. Con las demandas de los gobierno que exigían el suministro del medicamento para consumo y como reserva, y cumplir con los contratos que ya tenía, sin perder la patente de fabricación ya que esto representaría la pérdida total del valor del proyecto, tuvo pensar en una estrategia de solución al problema.

## CAPÍTULO III . APLICACIÓN DEL MODELO DE OPCIONES REALES

### 3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA EMPRESA

Valuaremos el caso de una empresa de alimentos que cuenta con 2 grandes áreas de proceso. La razón principal por la que se evaluará el proyecto TPM en esta empresa es por sus características. Muchas empresas y negocios en México tienen un lapso de vida corto, alrededor de 2 años.<sup>39</sup> Entre las diversas causas que lo ocasionan, es la falta de conocimiento en técnicas de mejora de procesos o desarrollo de su negocio. Después de haber logrado mantener un negocio por ese lapso de tiempo se quedan estancados con los activos que iniciaron y creen que el mercado se mueve y desarrolla como en un principio y no mejoran su eficiencia. La empresa en este contexto se encuentra en la misma situación, tras haberse posicionado en el mercado se estancó en sus niveles de efectividad hasta que surgió un competidor en su mismo mercado que hizo poner atención en lo que estaba realizando.

La empresa es relativamente joven, entró en actividad en el año 2004. Sus registros de eficiencias por área comenzaron en el 2006, como parte del programa de mejora y por el incremento de la producción de palomitas para microondas al haber una mayor demanda en el mercado. La estructura de la empresa se conforma: por un lado el empaquetado de palomitas de maíz para microondas y en la otra área se enfocan al envasado de jugos. Cada área cuenta con las siguientes características:

**Tabla III-1. Áreas de proceso de la empresa**

<b>Área de Palomitas</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Cuenta con 6 líneas de proceso continuas en donde se observan equipos de llenado, sellado y empaquetado.</li><li>• Cada línea cuenta con alrededor de 5 operadores, 30 en total.</li><li>• El área cuenta con 16 mecánicos para su servicio.</li><li>• Para el modulo de empaquetado se tienen 2 operadores que estivan y envuelven las cajas.</li></ul>
<b>Área de Jugos</b>	<p style="text-align: center;"><b>Área de llenado</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Presenta 8 líneas de llenado, de las cuales 4 de ellas producen el 70% del producto total por mes.</li><li>• Cada línea cuenta con alrededor de 10 operadores.</li><li>• Sólo para esta área se cuentan con 4 mecánicos para su servicio.</li><li>• Además cuenta con personal que proporciona la materia prima.</li></ul> <p style="text-align: center;"><b>Área de impresión</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• La sección de impresión de etiquetas cuenta con 8 operadores.</li><li>• Se encargan del total de la producción por día.</li><li>• El personal de mantenimiento para esta área son 4 mecánicos</li></ul>

Fuente: Elaboración propia

<sup>39</sup> Los emprendedores jóvenes tienen que trabajar más para ganar la credibilidad de sus clientes; según la Secretaría de Economía, el 80% de las Pymes en México tiene un periodo de vida de 2 años. CNN Expansión, Febrero 23, 2012. <http://www.cnnexpansion.com/emprendedores/2010/08/18/joven-si-inexperto-para-los-negocios-no>

El proyecto TPM fue aplicado al área de palomitas, la razón de ello parte del hecho de la influencia en los trabajadores y los resultados que tuvo el proyecto TPM dentro de lo que fue el desarrollo de una nueva área de proceso, visto desde una perspectiva de eficiencia, en cuanto a los consumos de refacciones y desempeño del área de mantenimiento y calidad. Por las características de las maquinas que se utilizarían requerían de la presencia continua y por largo tiempo del personal de mantenimiento y calidad para la mejora del producto terminado. Esta situación centró la atención de los directivos en la problemática. Mediante técnicas de Mejora Continua<sup>40</sup>, Lean Manufacturing<sup>41</sup>, Justo a tiempo (JIT) y diagramas de Ishikahua<sup>42</sup>, entre otros; se determinaron diversos problemas centrado en el rendimiento de los procesos. Por lo que se buscó un proyecto que incrementara la eficiencia del funcionamiento de las máquinas y corrigiera los errores del proceso en conjunto con las metodologías mencionadas.

Como se comentó en el primer capítulo, un sin número de empresas laboran en estas condiciones, presentando una eficiencia de planta entre el 40% y 60%. Partiremos de esta variable para determinar los costos generados por las deficiencias y problemas que presenta el proceso y la rentabilidad que ofrece a través de la eficiencia del área (OEE).

*“En la industria sin embargo continua convergiendo a una cuarta hipótesis la cual dice que el riesgo de las pérdidas directas o indirectas resultan de fallas o inadecuados procesos, sistemas, personal o de eventos externos”, (PHILIP, 3ª edición, 2006)*

A pesar del desempeño que ha logrado la empresa hasta ahora y tener un crecimiento promedio anual del 3% sostenido, la empresa busca mejorar sus utilidades sobre el producto para expandirse al mercado en toda la República Mexicana y parte de Estados Unidos. Haciendo un análisis interno para encontrar áreas de oportunidad para el crecimiento. La alta dirección encontró que uno de los primeros objetivos para lograr dicha expansión y del cual se habían estado presentando pérdidas en las utilidades fue el cumplimiento con los contratos y las entregas del producto terminado. El segundo objetivo fue mejorar la calidad del producto terminado, enfocándose en: la falta de grano de maíz en las bolsas, el sellado débil en el empaque y bolsa contenedora de los granos y la falta de slurry (mantequilla o aceite), dentro de las bolsas para el reventado de las palomitas (puff!). Sin embargo de acuerdo con las auditorías internas, y

<sup>40</sup> Mejora continua, postula que es una actitud general que debe ser la base para asegurar la estabilización del proceso y la posibilidad de mejora. Algunas de las herramientas utilizadas incluyen las acciones correctivas, preventivas y el análisis de la satisfacción en los miembros o clientes.

<sup>41</sup> Lean manufacturing (Manufactura esbelta), es una filosofía de gestión enfocada a la reducción de los ocho tipos de "desperdicios" (sobreproducción, tiempo de espera, transporte, exceso de procesado, inventario, movimiento y defectos, Potencial humano subutilizado) en productos manufacturados.

<sup>42</sup> El Diagrama de Ishikawa, también llamado diagrama de causa-efecto, se trata de un diagrama que por su estructura ha venido a llamarse también: diagrama de espina de pez, que consiste en una representación gráfica sencilla en la que puede verse de manera relacional una especie de espina central, que es una línea en el plano horizontal, representando el problema a analizar, que se escribe a su derecha. El problema analizado puede provenir de diversos ámbitos como la salud, calidad de productos y servicios, fenómenos sociales, organización, etc. A este eje horizontal van llegando líneas oblicuas -como las espinas de un pez- que representan las causas valoradas como tales por las personas participantes en el análisis del problema. A su vez, cada una de estas líneas que representa una posible causa, recibe otras líneas perpendiculares que representan las causas secundarias.

los resultados de calidad en evaluación del producto, no se han logrado alcanzar los objetivos de producción y ventas esperados debido a las limitantes de producción por día y los problemas que presentan los equipos.

*“El problema de baja productividad, es un caso común en la mayoría de las empresas en México como en otros países. Se estima que de entre 15% y 45% del costo total de la producción de la empresa se le atribuye a las actividades de mantenimiento”, F.T.S Chan (2003).*

Para la implementación del proyecto TPM se realiza la evaluación económica financiera que pueda mejorar la visión de desconfianza y mejorar la certeza en la efectividad del proyecto, visto desde la alta dirección. La propuesta de implementación se centra en el área de palomitas por las siguientes razones:

- El área es de reciente instalación en la fábrica, contando con equipos con media vida útil y en buenas condiciones. Además se han aplicado otras herramientas de mejoras en el área que no han llegado a cubrir por completo los resultados de la inversión como: Justo a tiempo (JIT)<sup>43</sup>, los sistemas de gestión de manufactura y el uso de sistemas automatizados e integrados a la tecnología mecánica. Estos sin embargo, han hecho los sistemas de producción cada vez más vulnerables a los riesgos operativos y susceptibles a diversos efectos indirectos debido a las averías ocultas<sup>44</sup>.
- En el mercado las ventas de palomitas de maíz empaquetadas ha crecido en los últimos años y no cuenta con muchos competidores deja percibir una clara oportunidad de incursionar en el empaquetado. Sin embargo para el 2012, en los primeros meses se avanza sobre el proyecto de instalación de una nueva empresa que entrará con una nueva marca de palomitas de microondas,<sup>45</sup> demostrando que el mercado aún presenta una muy buena rentabilidad. Se estima que a partir de esta noticia, habrá una disminución en las ventas, puesto que se prevé que la nueva empresa entrará en actividad con maquinaria nueva y más rápida, estimando un costo menor en la fabricación del producto.
- La empresa tiene la *opción de diferir*, esperar y ver cómo se desarrolla el mercado, buscando un equilibrio en las ventas con respecto al impacto y la fuerza que tendrá la competencia,

<sup>43</sup> Justo a tiempo (Just In Time, JIT), también conocido como *método Toyota* o *JIT*, es un sistema de organización de la producción para las fábricas, de origen japonés que permite aumentar la productividad. Permite reducir el costo de la gestión y por pérdidas en almacenes debido a acciones innecesarias. De esta forma, no se produce bajo suposiciones, sino sobre pedidos reales. Una definición del objetivo del Justo a Tiempo sería *«producir los elementos que se necesitan, en las cantidades que se necesitan, en el momento en que se necesitan»*

<sup>44</sup> Alsyouf, (2006) demostró la vulnerabilidad de la evolución tecnológica en un estudio de caso en donde existe la posibilidad, en un escenario ideal, para mejorar el rendimiento de una empresa de la inversión (ROI) en un 9%. Pág. 133–149.

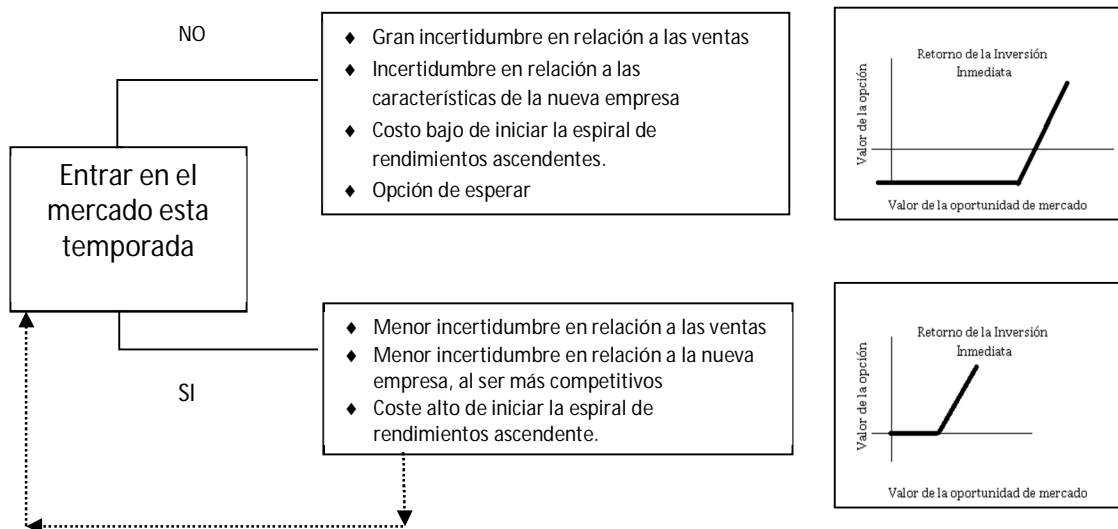
<sup>45</sup> *“Se instala la planta productora de maíz de súper pufft que comenzara a trabajar a principios de 2012”*. Periódico El economista. <http://eleconomista.com.mx/estados/2011/09/07/irapuato-pone-las-palomitas-tazon>, El economista, Diciembre, 2012.

confiando en las proyecciones de sus ventas y la fidelidad de sus clientes. En este caso solo buscara como principal objetivo el cumplir con los contratos.

- Por otro lado tiene la *opción de expansión* y enfocarse en buscar mejores expectativas y posicionarse como principal proveedor de las grandes cadenas comerciales y comenzar inmediatamente con la inversión en el proyecto TPM; de esta forma prevé asegurar el cumplimiento de sus objetivos, la importación, reducción de costos, mejorar la calidad y disminuir el riesgo de oportunidad respecto a la competencia.

Entonces la empresa tiene el siguiente esquema respecto al proyecto y el retorno de la inversión.

Ilustración III-1. Diagrama de decisiones de entrada al mercado



Fuente: Elaboración propia

*¿Debería la empresa conservar su opción de espera para invertir o debería invertir con la finalidad de obtener una ventaja competitiva?*

Al observar la gráfica de la opción de esperar, se puede ver que la opción de esperar le resta valor al proyecto al tener un valor mucho menor que el que se tiene hoy (activo subyacente) y posteriormente incrementaría el valor del proyecto pero en menor grado una vez que se opte por realizarlo (precio de ejercicio), disminuyendo el riesgo de perder la inversión en el proyecto. Para el caso en que decida realizar el proyecto, el valor del precio de ejercicio parte del valor del activo subyacente al día de hoy. La empresa no quiere correr riesgos de ineficacia en los resultados del proyecto pues el riesgo de perder el mercado se incrementaría al realizar una producción deficiente y con bajos estándares de fabricación, como se muestra en la figura de abajo su Valor de inversión será menor al esperar que si invirtiera en este momento.



**Ilustración III-2. Valor de la Inversión**



Fuente: Elaboración propia.

Analizaremos primero la empresa desde el punto de vista costos - producción. Posteriormente se presentará la valuación del TPM mediante Opciones Reales para observar si el proyecto es adecuado para el área de proceso y si alcanzará los objetivos de la empresa.

### 3.2 COSTOS DE PRODUCCIÓN

Además de los costos de manufactura, existen costos de pérdidas en las áreas de proceso por diferentes causas: re manufactura, desechos, errores humanos, fallas en las maquinas, falta de ajustes y estandarización, etc. La mayoría de éstos no son registrados ni sumados al costo total del producto, disminuyendo al final, las utilidades y generando pérdidas no esperadas. Partiremos del análisis de las eficiencias y los efectos que genera el mantenimiento traducido en dinero para integrarlo a la estructura financiera. Para el cálculo de los costos del área de mantenimiento tenemos los principales problemas que encierran la mayor parte de las fallas inherentes que nos interesan:

- Frecuencias de mantenimiento Preventivo
- Costos de manufactura
- Impacto de la eficiencia OEE, de las líneas de producción en las ventas

En la tabla 8, se pueden observar las características de producción del área. Aquí de acuerdo a la producción real del mes y en base al plan de producción y la capacidad instalada determinamos la efectividad OEE, con que se trabajó. De estos datos obtendremos los costos de producción.

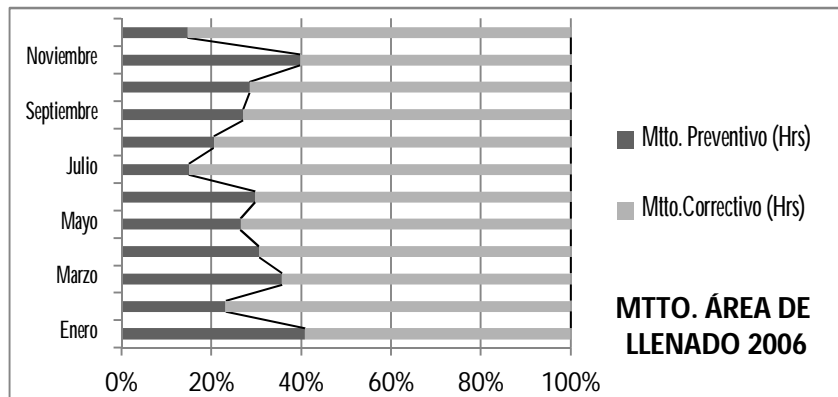
Tabla III-2. Datos Históricos de producción 2006

AREA DE PALOMITAS					
MES	CAPACIDAD INSTALADA	PLAN DE PRODUCCION	DEMANDA DEL CLIENTE	PRODUCCION REAL	OEE
Enero	55,984,272	53,638,632	44,113,760	41,666,489	77.68%
Febrero	55,195,513	51,148,070	40,248,000	37,905,835	74.11%
Marzo	55,705,401	53,970,568	45,387,000	34,179,561	63.33%
Abril	53,736,501	52,794,856	47,746,000	36,475,966	69.09%
Mayo	58,492,451	56,271,272	45,214,000	44,831,322	79.67%
Junio	54,126,184	51,443,225	47,294,000	38,016,543	73.90%
Julio	52,961,169	50,725,929	44,604,000	29,157,264	57.48%
Agosto	56,916,896	55,172,553	43,744,000	33,379,395	60.50%
Septiembre	58,114,486	56,310,931	44,854,000	34,580,543	61.41%
Octubre	56,800,008	54,756,925	47,038,400	42,606,363	77.81%
Noviembre	56,130,843	53,966,877	47,198,000	42,417,965	78.60%
Diciembre	76,601,832	68,435,133	46,318,000	45,009,787	65.77%
<b>PROMEDIO</b>					69.95%

Fuente: Empresa

Como puede observarse las eficiencias mensuales son bajas y muy variables, un promedio anual de 69.95%. En la siguiente gráfica se muestra el tiempo que se emplea en el mantenimiento por mes del total de horas programadas para producción, en este caso ambas áreas se programan para producción 6 días de la semana en los 3 turnos (24 hrs), restando media hora en cada turno por paro para alimentos, y no se considera alguna otra actividad ya que éstas se programan con 2 días o 1 semana de anticipación, dando un total de 585 hrs por mes.

Ilustración III-3. Tiempo efectivo de mantenimiento, %.



Fuente: Empresa

Como puede observarse en la gráfica el tiempo de intervención del mantenimiento correctivo es excesivo (en la mayoría de los meses es mayor al 58% del total del tiempo), debido a las reparaciones por fallas durante el proceso. Además de los costos por mantenimiento correctivo se suman los de mano de obra traducido en tiempo extra-laborado, sumando mano operativa, reparación e inclusive otras áreas de las que se requiera algún tipo de servicio

(almacenamiento, transporte, materia prima, etc.). En la siguiente tabla se muestra una relación de los tiempos de manufactura requeridos por mes.

Tabla III-3. Tiempo extra registrado por mes, 2006.

TIEMPO EXTRA LABORADO					
MES	IMPRESIÓN	LLENADO	MTTO.	ALMACEN	TOTAL DE HRS
ENERO	99	122.5	186.5	59	467
FEBRERO	66	80.5	296.5	50	493
MARZO	124.5	56.5	303	68.5	552.5
ABRIL	180.5	83.5	254	87.5	605.5
MAYO	208	153.5	119	75	555.5
JUNIO	234	169.5	208	64	675.5
JULIO	235	167	244	91	737
AGOSTO	89	94	278	38	499
SEPTIEMBRE	54.5	54.5	280	41	430
OCTUBRE	136.5	136.5	213	80	566
NOVIEMBRE	69.5	60.5	275.5	41.5	447
DICIEMBRE	73.5	27.5	244.5	76.5	422
Suma	1570	1206	2902	772	

Fuente: Empresa

Para la gestión del tiempo de producción y para calcular los tiempos en que se detiene el proceso, se dividen en tres: A) Los tiempos de intervención (reparaciones), en los equipos durante el proceso de producción (Tiempo muerto). Dichos tiempos afectan de distinta forma las características del producto (calidad) y los tiempos de fabricación (programa), provocando que se requiera más tiempo, materia prima, etc. para cumplir con las demandas. Esto se traduce en más horas laboradas. Dentro de los ajustes operativos a las maquinas se toman: B) los tiempos de intervención realizados por el mismo personal durante el proceso y C) los que se realizan en cada cambio de presentación de producto, estos tiempos también se suman al tiempo que permanece parada la máquina. Al agregar estas variables a las 3 características principales que incrementan el costo de la manufactura, se ven afectados directamente las utilidades sobre el precio del producto final y en consecuencia las ventas. Aproximaremos el ingreso y costo unitario de cada producto para obtener el promedio del costo unitario como sigue:

Tabla III-4. Costos unitarios por producto

Producto	Costo Unitario
P queso Jalapeño	4.10
P chile limón	3.30
P Mantequilla light	3.20
P Mantequilla extra	3.30
P Mantequilla	3.10
P natural	2.80
Promedio	3.3

Fuente: Empresa

Tomaremos el mes de enero como muestra para el cálculo del costo real del producto. Las condiciones bajo las que se realizan las reparaciones y las características en las que suceden son:

- Si ocurre el quiebre en la máquina y no hay reposición de la pieza.
- Se cuentan las piezas de producto fabricadas y las piezas que faltaron de fabricarse.
- El costo de re manufactura es variable entre 2 y 10% como ya se mencionó esto depende de la operación, tiempos extras, desperdicios, etc. Para este caso supondremos un incremento en los costos del 5%.

**Tabla III-5. Calculo de pérdidas por mes en re trabajos, 2006**

AREA DE LLENADO	
MES	ENERO 2006
CAPACIDAD INSTALADA (PZAS)	55,984,272
PLAN DE PRODUCCION (PZAS)	53,638,632
PRODUCCION REAL	41,666,489
PIEZAS NO PRODUCIDAS (para cumplir el programa)	11,972,143
COSTO POR PIEZA	\$ 3.3
COSTO PLAN PRODUCCION	\$ 177,007,486
COSTO PRODUCCION REAL	\$ 137,499,415
DIFERENCIA DEL COSTO PROGRAMADO / REAL	\$ 39,508,071
% INCREMENTO COSTO DEPIEZAS NO PRODUCIDAS	5%
COSTO UNITARIO REAL PIEZAS NO PRODUCIDAS	\$ 3.465
COSTO REAL PIEZAS NO PRODUCIDAS	41,483,474
DIFERENCIA COSTOS PIEZAS NO PRODUCIDAS	\$ 1,975,404

*Fuente: Elaboración propia*

Teniendo una capacidad instalada de fabricación para 55, 984,272, piezas, solo fabricaron 41, 666,489 piezas, con un costo de \$3.3 por pieza. El número de piezas que faltaron para cumplir con el programa fueron 11, 972,14. Si le sumamos el 5% de incremento, en el cual estamos incluyendo el desperdicio de materia prima más el costo de fabricación obtendremos un costo promedio de \$3.465, por lo que para el mes de enero a la empresa le costó \$1, 975,404 más, para fabricar el número de piezas faltantes y cumplir con lo programado. El estimado de incremento del costo varía de acuerdo a cada proceso en donde se toma en cuenta para el cálculo de su valor:

- ❖ Costo manufactura (Producción)
- ❖ Consumo de energía
- ❖ Producto desperdiciado (se puede recuperar o no)
- ❖ Costo de inactividad de la maquina (Tiempo muerto)
- ❖ Costo de mantenimiento
- ❖ Costo de pérdida de rendimiento

Calculando de la misma forma para los demás meses la diferencia del costo de las piezas no producidas, tenemos que para el año 2006 el costo de re manufactura promedio fue de \$ 32, 271,598. Además habrá que incluir los costos indirectos, como son retrasos en las entregas, multas, incrementos en los precios de materia prima, pérdidas de contratos, etc., que representarían los costos indirectos que elevarían el costo aún más. El programa de producción no siempre se basa en la capacidad de fabricación de la línea o del área, como se comentó en el capítulo 1, la eficiencia de la planta se puede medir en tres niveles, esta fue una eficiencia OEE de

planta (piso a piso). Como podemos ver en la empresa, el área de palomitas trabaja a la capacidad total instalada y tiene pérdidas durante el proceso que le restan eficiencia acumulando paros en el transcurso de la producción, indicándonos que las áreas realmente están trabando con una eficiencia mucho más baja y con un proceso de manufactura más costosa.

### 3.3 APLICACIÓN MEDIANTE OPCIONES REALES

Los costos calculados anteriormente no son los totales de la empresa, se realizó para fines de demostración de los efectos de la eficiencia (OEE) sobre los costos y las ventas. Para calcular los valores sobre las opciones reales partiremos de los estados financieros. Para la aplicación del TPM asumiremos que las ventas y gastos son afectados de la misma forma que en el ejercicio del área de palomitas, equiparándolas a la eficiencia de la empresa (OEE de gestión de recursos o de puerta a puerta), y afectando sus flujos de efectivo de la misma forma, es decir, relacionar la eficiencia de producción con el dinero de la empresa.

#### 3.3.1 Calculo del Modelo Binomial

Como se mencionó en el capítulo 2, buscaremos primero el valor de las variables para obtener las cantidades en cada nodo y el valor de la opción de crecimiento. Visualizando al proyecto del TPM como una opción, se determina que el proyecto es una Opción de Compra Americana, con el derecho a adquirir los FE (flujos de efectivo), generados a futuro por el proyecto.

Primero determinaremos el VPN de la empresa que será el valor de subyacente (So). Para obtener los flujos de efectivo proyectados se calcularán de la misma forma que se realizó en el apartado de costos de producción. La razón es que a pesar de que se cuenta con los estados financieros anuales de la empresa, estos son muy pocos (cinco años), para lograr estimar una proyección lo suficientemente cercana al crecimiento que la empresa ha tenido desde su apertura, por lo que para las proyecciones se tomarán las eficiencias mensuales de la empresa en donde las ventas serán el OEE de la empresa en el mes correspondiente por la producción programada mensual en efectivo, menos los Egresos (costos y gastos) para obtener los Flujos de Efectivo que para este caso serán los Ingresos.

Año	Mes	Eficiencia	Producción mensual (x)	Ventas (=)	Costos (-)	Ingresos (=)
2006	Enero	63%	4,021,654	\$ 28,138,174	\$ 13,271,459	\$ 14,866,715

$$\text{Ingresos} = \text{Ventas Mensuales} - \text{Costos de Producción mensuales}$$

$\text{Ingresos} = (\text{Eficiencia} \times \text{Producción Programada} \times \text{Precio de venta}) - \text{Costos de producción}$   
De esta forma el histórico de la empresa es:

Tabla III-6. Histórico Flujos de Efectivo en base al OEE de la empresa.

2006	ENE	\$ 14,866,715	2007	ENE	\$ 15,102,694	2008	ENE	\$ 14,394,756	2009	ENE	\$ 12,742,898	2010	ENE	\$ 16,282,592
	FEB	\$ 14,394,756		FEB	\$ 15,574,654		FEB	\$ 15,102,694		FEB	\$ 16,046,613		FEB	\$ 16,046,613
	MAR	\$ 13,214,858		MAR	\$ 13,686,817		MAR	\$ 14,866,715		MAR	\$ 14,158,776		MAR	\$ 16,211,799
	ABR	\$ 14,866,715		ABR	\$ 14,866,715		ABR	\$ 14,630,735		ABR	\$ 13,922,796		ABR	\$ 12,978,878
	MAY	\$ 12,270,939		MAY	\$ 12,978,878		MAY	\$ 12,978,878		MAY	\$ 16,518,572		MAY	\$ 16,990,531
	JUN	\$ 16,282,592		JUN	\$ 16,282,592		JUN	\$ 14,866,715		JUN	\$ 16,282,592		JUN	\$ 15,574,654
	JUL	\$ 12,978,878		JUL	\$ 13,450,837		JUL	\$ 12,742,898		JUL	\$ 14,630,735		JUL	\$ 15,810,633
	AGO	\$ 13,922,796		AGO	\$ 13,922,796		AGO	\$ 13,450,837		AGO	\$ 12,742,898		AGO	\$ 14,158,776
	SEP	\$ 17,698,470		SEP	\$ 16,990,531		SEP	\$ 16,990,531		SEP	\$ 16,518,572		SEP	\$ 16,990,531
	OCT	\$ 13,922,796		OCT	\$ 13,922,796		OCT	\$ 14,158,776		OCT	\$ 14,394,756		OCT	\$ 12,270,939
	NOV	\$ 14,866,715		NOV	\$ 14,866,715		NOV	\$ 14,866,715		NOV	\$ 12,742,898		NOV	\$ 14,866,715
	DIC	\$ 13,686,817		DIC	\$ 18,878,368		DIC	\$ 14,630,735		DIC	\$ 15,338,674		DIC	\$ 15,338,674

### 3.3.1.1 MÉTODOGÍAS DE PRONÓSTICO DE DATOS

Para la proyección de flujos de efectivo se cuentan con distintos métodos.

#### MÉTODOS DE SERIE TEMPORAL

Utilizan datos históricos como base para estimar resultados futuros. Se asume que la demanda se encuentra en función del tiempo, y que además pueden estar involucrados componentes como: tendencia, ciclos, estacionalidades e irregularidades. Algunos de estos métodos son:

<b>Método ingenuo</b>	Simplemente se asume que la magnitud de demanda será igual a la última medida.
<b>Método de alisado exponencial</b>	Es una manera de pronosticar la demanda de un producto en un periodo dado. Estima que la demanda será igual a, por ejemplo, la media de los consumos históricos para un periodo dado, dando una mayor ponderación a los valores más cercanos en el tiempo. Además, tiene en cuenta el error de pronóstico actual en los siguientes pronósticos. Se dividen en : Alisado o Suavizado Exponencial, Holt-Winters y Box – Jenkins.
<b>Método de medias móviles.</b>	Es utilizado para analizar un conjunto de datos en modo de puntos para crear series de promedios. Así las medias móviles son una lista de números en la cual cada uno es el promedio de un subconjunto de los datos originales.
<b>Método de extrapolación</b>	Consiste en suponer que el curso de los acontecimientos continuará en el futuro. Se afirma a ciencia cierta que existen unos axiomas y éstos son extrapolables a la nueva situación.
<b>Método de ajuste estacional</b>	Utilizado para pronosticar los ciclos de comportamiento de un grupo de datos. Puesto que en estadística se asegura que un conjunto de datos n puede llegar a mostrar incrementos y decrementos en base a periodos o estaciones temporales.

## MÉTODOS CAUSALES

<b>Análisis de la regresión</b>	Es la tendencia de una medición extrema a presentarse más cercana a la media en una segunda medición. La regresión se utiliza para predecir una medida basándonos en el conocimiento de otra. Se dividen en lineal y no lineal
<b>Econometría</b>	Es la rama de la economía que utiliza métodos y modelos matemáticos. El cálculo, la probabilidad, la estadística, la programación lineal y la teoría de juegos.
<b>Modelo autorregresivo de media móvil (ARMA)</b>	<i>Auto Regressive Moving Average models</i> , abreviados <b>ARMA</b> , también llamados <i>Modelos Box-Jenkins</i> . El modelo está formado por dos partes, una parte autorregresiva (AR) y otra de media móvil (MA).
<b>Modelo ARIMA</b>	<b>Modelo Autorregresivo Integrado de Media Móvil</b> o <b>ARIMA</b> . es un modelo estadístico que utiliza variaciones y regresiones de datos estadísticos con el fin de encontrar patrones para una predicción hacia el futuro

## MÉTODOS SUBJETIVOS

Son incorporan juicios intuitivos, opiniones y estimaciones, de tipo cualitativos.

<b>Pronósticos compuestos</b>	De acuerdo a observar el comportamiento del mercado o la secuencia de comportamiento y desarrollo de los datos, se pronostican en base a experiencia y métodos cuantitativos o ponderaciones.
<b>Construcción de escenario</b>	Mediante observaciones en el lugar en donde se realizan las observaciones y la investigación.
<b>Encuestas</b>	El investigador busca recaudar datos por medio de un cuestionario prediseñado, y no modifica el entorno ni controla el proceso que está en observación (como sí lo hace en un experimento).
<b>Pronóstico de tecnología</b>	Se encuentra relacionado al impacto que pueda aportar cierto tipo de tecnología para el desarrollo de algún material, todo ello en base a la experiencia previa.
<b>Método Delphi</b>	Preguntas hechas a un grupo de expertos para recabar opiniones.
<b>Pronóstico por analogía</b>	Se refiere a la réplica de los pronósticos o hechos partiendo de algún modelo similar en condiciones y algunas de las características.

## OTROS MÉTODOS

- Simulación
- Pronóstico de mercado
- Pronóstico probabilístico
- Pronóstico de conjunto

Para realizar las proyecciones de los flujos futuros utilizamos el sistema de proyección *Suavizado Exponencial con Tendencia Lineal*. El método agrega 2 condiciones importante para la proyección, proporciona una secuencia análoga en la proyección histórica pronosticando una secuencia uniforme al comportamiento de le empresa de donde parte para determinar el

crecimiento acorde con lo que la empresa ha tenido en los últimos meses, que sería la parte conformada por la tendencia lineal. El modelo se describe de la siguiente forma:

### **SUAVIZADO EXPONENCIAL CON TENDENCIA LINEAL**

El cálculo correspondiente requiere de 2 datos: el primero es la demanda real del periodo más reciente y el segundo es el pronóstico más reciente obtenido por cualquier otro método. A medida que termina cada periodo se realiza un nuevo pronóstico. El cálculo parte de la fórmula general:

$$F_t = \alpha D_{t-1} + (1 - \alpha) F_{t-1} = \alpha(1 - \alpha)^0 D_{t-1} + \alpha(1 - \alpha)^1 D_{t-2} + \alpha(1 - \alpha)^2 D_{t-3} \dots$$

Como  $0 < \alpha \leq 1$ , los coeficientes de las D son cada vez menores, decrecen en un porcentaje constante en cada uno de los periodos hacia el pasado.  $D_{t-1}$  representa el valor anterior al pronosticado o valor conocido más reciente,  $F_{t-1}$  representa el valor actual del pronóstico más reciente,  $t$  representa el periodo o número del valor que se está calculando.

**Coefficiente de Suavización ( $\alpha$ ):** como en todos los modelos es necesario realizar un ajuste en los datos. Por ello es necesario seleccionar el valor adecuado del coeficiente. Un valor elevado de  $\alpha$  da un gran peso a la demanda más reciente y un valor bajo da menor peso a la demanda más reciente.

- A. Un elevado coeficiente de suavización sería más adecuado para los nuevos productos o para casos para los que la demanda subyacente está en proceso de cambio (dinámica o inestable). Un valor de 0.7 – 0.9 puede resultar más apropiado para condiciones en las que el uso del suavizado exponencial es cuestionable para cuando se desconocen condiciones de estabilidad o inestabilidad.
- B. Cuando se tiene una ligera inestabilidad se asumen valores de entre 0.4 – 0.6, que proporcionará valores más precisos.
- C. Para condiciones estables en el futuro, se opta por un valor bajo de 0.1 -0.3, para disminuir cualquier ruido que hubiera podido presentarse en forma súbita. De esta forma el pronóstico no se reacciona de forma drástica a los valores más recientes.

### **Incorporación de Tendencias y Estacionalidades**

Los modelos de suavizado exponencial y los de medias móviles pueden ser modificados para que se puedan incorporar componentes de tendencias. Al existir una tendencia es posible pronosticar exponencialmente el componente de esta tendencia, realizando un pronóstico compuesto, superponiendo la tendencia constante ya la estacionalidad. La fórmula utilizada para el cálculo de los flujos proyectados es:

$$F_{t+h} = \alpha X(t) + (1 - \alpha)F(t - 1) + T(t - 1)$$

$$T(t) = \beta[F(t) - F(t - 1)] + (1 - \beta)T(t - 1)$$

$$f(t + h) = F(t) + h * T(t)$$



Dónde:

$X(t)$  = valor actual(histórico), en el tiempo  $t$ ;  $t=1... n$

$F(t)$  = valor suavizado

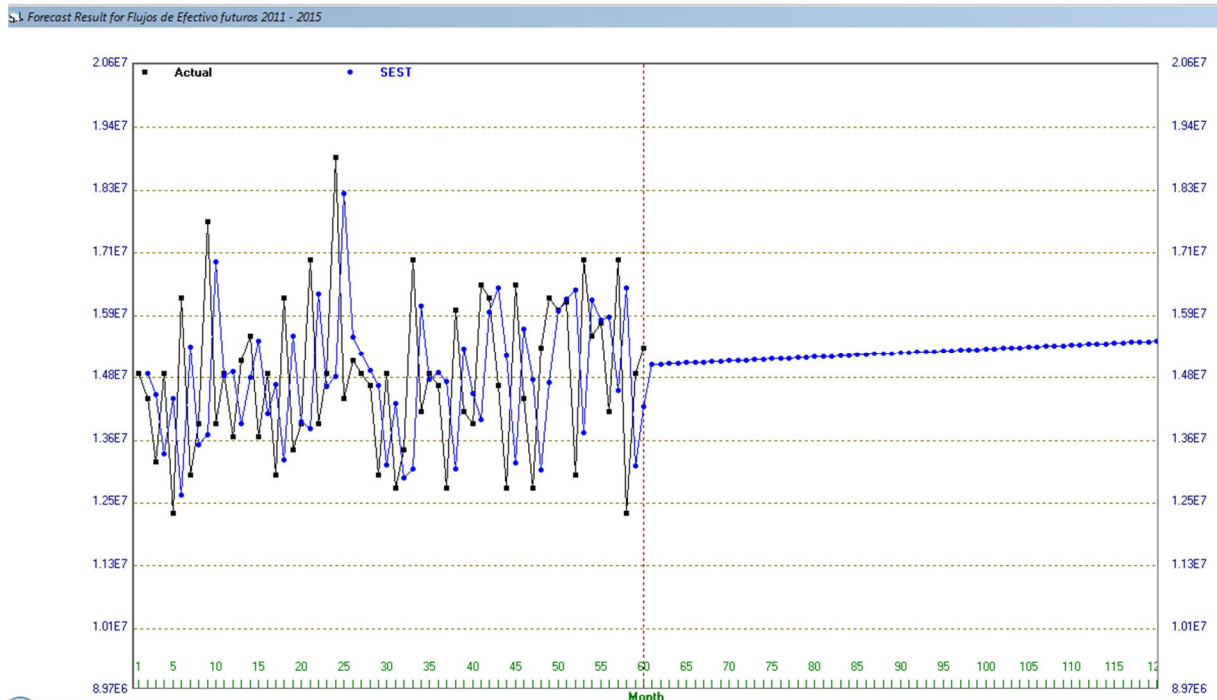
$T(t)$ = Componente de tendencia en el tiempo  $t$

$f(t+h)$  = Valor pronosticado en el momento  $t+h$  del momento  $t$ , donde  $h$  son periodos dentro del futuro.

$\alpha$  y  $\beta$  = constantes de suavización, en donde  $0 >= \alpha <= 1$  y  $0 >= \beta <= 1$  .

Además de que el modelo fue creado con base a los sectores de manufactura y de servicios. Para llegar al a etapa madura del proyecto TPM y su aportación máxima, que para recuperar la inversión la experiencia indica que se requieren de 3 a 4 años<sup>46</sup>, pero para fines de proyectar los FED en un lapso adecuado tomaremos 5 años<sup>47</sup>. Abajo se muestra la gráfica con el pronóstico de los datos.<sup>48</sup>

**Ilustración III-4. Flujos de Efectivo proyectados años 2011- 2015.**



<sup>46</sup> Diversos autores comentan que implementar el TPM requiere de 3 o 4 años, sin embargo el tiempo requerido dependerá en gran medida del proceso, número de equipos y del tamaño del área en donde se vaya a implementar. Para este caso se toman 4 años por ser un área de proceso con las características descritas y estimando que llegue a un 90% de efectividad.

<sup>47</sup> Para este caso de acuerdo a la duración del proyecto se toman 5 años como, en donde el 5to año será el valor a perpetuidad o valor terminal del proyecto. Como se explicó en el capítulo 2.

<sup>48</sup> **WinQSB**, programa educacional para la solución de gran cantidad de problemas complejos de tipo cuantitativo. cuya propiedad intelectual es del Dr. Yih-Long Chang, consta de una serie de módulos o aplicaciones individuales que nos ayudarán en temas de investigación de operaciones, métodos de trabajo, planteamiento de la producción, evaluación de proyectos, control de calidad, simulación, estadística, etc.

La tasa de rendimiento de la empresa al no cotizar en la bolsa, se estimó a partir del crecimiento histórico de la empresa, el desarrollo que ha tenido el mercado de las palomitas de maíz<sup>49</sup> y el pronóstico de consumo<sup>50</sup>; además de incluir el pronóstico de crecimiento del sector hasta el año 2014 de 11.68%<sup>51</sup>. Para descontar los flujos futuros, 2011 a 2015, se utilizó el WACC = 5.71%, calculado a partir de la información mencionada. La inversión inicial aproximada de los activos de la empresa se valora en \$ 70, 850,000 al año 2010. Por lo tanto el VPN es igual:

$$VPN = - Inversión inicial + \sum_1^N \frac{Flujos de Efectivo Descontados}{(1 + WACC)^n} = \$ 258,051,533$$

### 3.3.2 Precio del ejercicio

El precio del ejercicio lo determinamos a partir de la inversión en el proyecto que será de \$1, 000,000. Para implementarlo solamente en el área de palomitas de maíz, se tomaron en consideración las siguientes condiciones:

- 6 líneas de proceso de palomitas con equipos de llenado, sellado y empaçado.
- Cada línea cuenta con aproximadamente 5 operadores, 30 en total.
- El área cuenta con 16 mecánicos para su servicio durante los 3 turnos, 4 son de MP.
- El personal con acceso al sistema de gestión del mantenimiento serian 7 personas, que incluye a los jefes, supervisores, almacén, mecánicos y capturista.
- Capacitación operativa, costo por 12 meses más un reforzamiento semestral durante el periodo del proyecto.
- Herramientas para trabajo operativo y ajustes de máquinas.
- Gastos varios (uniformes y herramientas de seguridad para el personal, tiempos extras, capacitaciones a personal de actividades específicas

<sup>49</sup> Se instala la planta productora de maíz de super pufft que comenzara a trabajar a principios de 2012.  
<http://eleconomista.com.mx/estados/2011/09/07/irapuato-pone-las-palomitas-tazon>

<sup>50</sup> Consulta datos maíz palomero Guanajuato. [http://sde.guanajuato.gob.mx/descarga/oportunidades/3.-Maiz\\_Palomero.pdf](http://sde.guanajuato.gob.mx/descarga/oportunidades/3.-Maiz_Palomero.pdf)

<sup>51</sup> "Crecimiento Del Sector Manufactura", datos del INEGI, <http://www.nsssoaxaca.com/opinion/148-tiempo-economico/87025-expectativas-de-crecimiento-del-sector-industrial>.  
BANXICO Y SAGARPA, "Pronostico Crecimiento Anual 2012", Descargable en [http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/estudios\\_economicos/escenariobase/perspectivalp\\_11-20.pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/estudios_economicos/escenariobase/perspectivalp_11-20.pdf), Consulta Diciembre 2011.

Tabla III-7. Características de la Inversión del proyecto TPM.

INVERSION EN EL PROYECTO TPM	
	COSTOS
MP Software <sup>52</sup>	\$ 91,872
Capacitación software	\$ 40,600
Reparación de base de datos	\$ 4,060
Capacitación operativos	\$ 300,000
Herramientas operativas	\$ 100,000
Herramientas de mantenimiento	\$ 200,000
Gastos varios	\$ 300,000
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 1,036,532</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.3 Constantes de multiplicación, (u, d)

Como ya se mencionó, existen variables endógenas (internas), y exógenas (externas), (Ortiz, apuntes de Gestión Financiera, 2011); sus efectos son los que determinan la volatilidad en los mercados, empresas y en los proyectos. Como se mencionó en el capítulo 2 pueden ser determinados de la forma propuesta por Mascareñas, sin embargo su comportamiento e incertidumbre pueden ser modelados como un proceso estocástico a partir de la ecuación del Movimiento Browniano, que de igual forma determina el mismo comportamiento en ambos casos:

$$\frac{ds}{s} = e^{\mu(\Delta t) + \sigma\sqrt{\Delta t}}$$

Dónde:

**$\Delta t = T/n$**  : Periodo, tiempo entre etapas del proyecto.

T : Plazo hasta el vencimiento de la opción, definido por la vigencia del proyecto.

n : Son los periodos de igual longitud, número de etapas del Árbol Binomial

**$\mu$**  : Representa la pendiente de crecimiento de los flujos de efectivo entre periodos.

**$\sigma$**  : Volatilidad o fluctuación de los flujos de efectivo futuros.

**$e^{\mu(\Delta t)}$**  : Tasa de crecimiento de los flujos de efectivo futuros.

**$e^{\sigma\sqrt{\Delta t}}$**  : Parte estocástica que proyecta la volatilidad de los flujos de efectivo futuros alrededor de la pendiente.

<sup>52</sup> Software para la gestión del mantenimiento, MP Software. <http://www.mpsoftware.com.mx/es/empresa.html> . Consulta Diciembre 26,2011.

Aplicando para obtener los valores de  $u$  y  $d$  se obtienen a partir de:

$\sigma$	0.14	✓ Para este caso se utilizó la fórmula aplicada por Rey A. y Armagno (2005).
$T$	4	✓ Tiempo de puesta en marcha del proyecto.
$n$	5	✓ Periodos que recomienda para tener un buen cálculo del proyecto <sup>53</sup>
$\Delta t$	0.8	✓ Variación en el tiempo (longitud de cada periodo o paso temporal)

Por tanto:

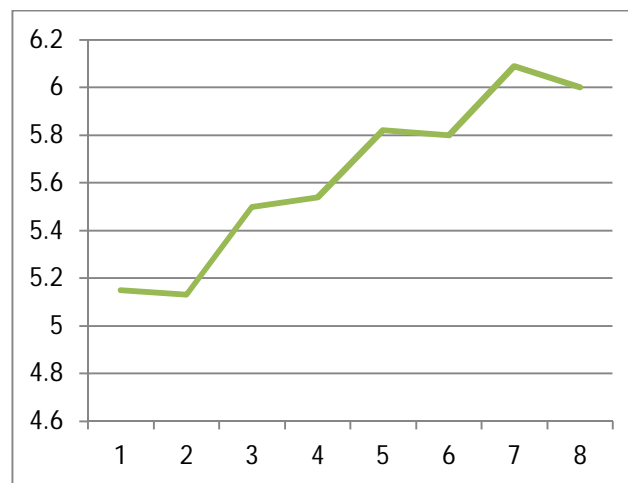
$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} = e^{0.14\sqrt{0.8}} = 1.13$$

$$d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}} = e^{-0.14\sqrt{0.8}} = \frac{1}{u} = 0.88$$

### 3.3.4 Probabilidad Neutral al Riesgo y Tasa libre de Riesgo

Para el cálculo de la Probabilidad tomaremos la Tasa libre de riesgo promedio de las Cetes a 28 días, pronosticada por el Banco de México para el año 2012.<sup>54</sup>

Ilustración III-5. Pronóstico del Valor de Cetes para el 2012



Fuente: Banxico

El valor de la tasa promedio es 5.63%. En este caso el proyecto se realiza con personal en México y no requiere de otro tipo de tasa. Debe tenerse en cuenta que en un proyecto pueden

<sup>53</sup> El considerar pocos pasos, por ejemplo dos, según Hull (2006, p.p 255 y 397) se vuelve poco realista y simplista de la realidad al llegar a una aproximación poco confiable del valor de la opción ya que asume que los movimientos del activo subyacente durante la vida de la opción solamente incluyen uno o dos pasos binomiales. El tomar 5 pasos permite tener una estimación confiable del valor de la opción y aumentar el número de pasos agrega poca precisión al valor encontrado.

<sup>54</sup> Banxico expectativas de los especialistas, 2012. <http://www.banxico.org.mx/informacion-para-la-prensa/comunicados/resultados-de-encuestas/expectativas-de-los-especialistas/%7BB7E64B9A-A08D-111E-1290-DB57ECA96667%7D.pdf> pag.4.

presentarse incrementos o decrementos en los valores de sus activo a través de cada una de las etapas de evolución del mismo, etapas de la Opción Real. Estos movimientos se incluyen en el cálculo de la Probabilidad Neutral al Riesgo como sigue:

$$\begin{aligned} \text{Incremento determinado por } u & \quad q = \frac{(1 - r)^{\Delta t} - d}{u - d} & \quad \frac{(1 - 5.63)^{0.8} - 0.88}{1.13 - 0.88} = 0.65 \\ \text{Decremento determinado por } d & \quad 1 - q & \quad 1 - 0.10 = 0.35 \end{aligned}$$

### 3.3.5 Porcentaje de Expansión (k)

Cada proyecto afecta de diferente forma a la empresa, puede tener el mismo efecto, aportar el mismo valor o crecimiento en proporciones similares. En el caso del TPM al ser flexible, adaptarse a las condiciones de cada empresa y tener la capacidad de ser introducido en el total del área productiva o solo en algunos puntos, su impacto será en diferentes proporciones para cada negocio en particular. En este caso la expiación que se espera es del 10% tomando en cuenta la apertura del mercado a otros países y el rendimiento del maíz palomero.<sup>55</sup>

### 3.3.6 Construcción del Árbol Binomial

Tabla III-8. Valores Calculados para la aplicación

<b>Porcentaje de Expansión (K)</b>	10%	<b>Activo Subyacente (So)</b>	\$258,051,533	
<b>Precio del ejercicio (inversión)</b>	\$ 1,036,532	<b>Vigencia del Proyecto (T)</b>	4	
<b>Tasa libre de riesgo( r )</b>	5.63%	<b>Longitud de cada periodo (Δt)</b>	0.8	
<b>Probabilidad Neutral al riesgo</b>	<b>q</b>	0.65	<b>Volatilidad delos flujos de efectivo (σ)</b> 0.141	
	<b>1-q</b>	0.35	<b>Constantes de multiplicación</b>	
				<b>u</b>
			<b>d</b>	0.88

<sup>55</sup> Consulta datos maíz palomero Guanajuato. [http://sde.guanajuato.gob.mx/descarga/oportunidades/3.-Maiz\\_Palomero.pdf](http://sde.guanajuato.gob.mx/descarga/oportunidades/3.-Maiz_Palomero.pdf) .

Se instala la planta productora de maíz de súper pufft que comenzara a trabajar a principios de 2012. <http://eleconomista.com.mx/estados/2011/09/07/irapuato-pone-las-palomitas-tazon> .

Habiendo calculado los valores anteriores, podemos determinar el valor de los nodos de cada etapa de la Opción. Siguiendo con la metodología de Opciones Americanas, el valor de los nodos lo obtenemos como se muestra abajo.

**Tabla III-9. Desarrollo del Cálculo de los Valores de los nodos del Activo Subyacente.**

<b>PERIODO 1 DEL ACTIVO</b>						
S1 <sub>sube</sub>	So* <i>u</i>	\$258,051,533	X	1.13	Activo Sube	\$292,707,048
S1 <sub>baja</sub>	So* <i>d</i>	\$258,051,533	X	0.88	Activo Baja	\$227,499,112
<b>PERIODO 2 DEL ACTIVO</b>						
S2 <sub>sube1</sub>	S1 <sub>sube</sub> * <i>u</i>	\$292,707,048	X	1.13	Activo Sube	\$332,016,691
S2 <sub>baja1</sub>	S1 <sub>sube</sub> * <i>d</i>	\$292,707,048	X	0.88	Activo Baja	\$258,051,533
S2 <sub>sube2</sub>	S1 <sub>baja</sub> * <i>u</i>	\$227,499,112	X	1.13	Activo Sube	\$258,051,533
S2 <sub>baja2</sub>	S1 <sub>baja</sub> * <i>d</i>	\$227,499,112	X	0.88	Activo Baja	\$200,563,994
<b>PERIODO 3 DEL ACTIVO</b>						
S3 <sub>sube1</sub>	S2 <sub>sube1</sub> * <i>u</i>	\$332,016,691	X	1.13	Activo Sube	\$376,605,496
S3 <sub>baja1</sub>	S2 <sub>sube1</sub> * <i>d</i>	\$332,016,691	X	0.88	Activo Baja	\$292,707,048
S3 <sub>sube2</sub>	S2 <sub>sube2</sub> * <i>u</i>	\$258,051,533	X	1.13	Activo Sube	\$292,707,048
S3 <sub>baja2</sub>	S2 <sub>sube2</sub> * <i>d</i>	\$258,051,533	X	0.88	Activo Baja	\$227,499,112
S3 <sub>sube2</sub>	S2 <sub>baja2</sub> * <i>u</i>	\$200,563,994	X	1.13	Activo Sube	\$227,499,112
S3 <sub>baja2</sub>	S2 <sub>baja2</sub> * <i>d</i>	\$200,563,994	X	0.88	Activo Baja	\$176,817,902

Siguiendo la misma secuencia del cálculo obtenemos todos los valores para los nodos faltantes.

**Ilustración III-6. Árbol de los valores de los nodos del subyacente para cada periodo**

Periodos (años)	Nodos del Subyacente					
	0	1	2	3	4	5
						\$484,551,707
					\$427,182,439	\$376,605,496
			\$332,016,691	\$376,605,496	\$332,016,691	\$376,605,496
		\$292,707,048	\$332,016,691	\$292,707,048	\$292,707,048	\$292,707,048
	\$258,051,533	\$292,707,048	\$258,051,533	\$292,707,048	\$258,051,533	\$292,707,048
		\$227,499,112	\$258,051,533	\$227,499,112	\$227,499,112	\$227,499,112
			\$200,563,994	\$227,499,112	\$200,563,994	\$227,499,112
				\$176,817,902	\$200,563,994	\$176,817,902
					\$155,883,266	\$176,817,902
						\$137,427,219

A partir de los nodos podemos calcular el Valor Intrínseco o valor al vencimiento del proyecto

$$\text{Valor Intrínseco} = \text{MAX}(\text{FE Expansión}_T - \text{Costo de Expansión})$$

**FE Expansión<sub>T</sub>** : Es el VPN de los flujos de efectivo futuros que tendríamos por el crecimiento o la expansión de la empresa con el proyecto en el momento que concluye dicho proyecto, es decir, el porcentaje de la variable K, en similitud con las Opciones Financieras sería el valor calculado en el momento en que expira la opción (T):  $\text{FE Expansión}_T = K (\text{VPNT})$

**Costo de Expansión:** Es la inversión que debe realizarse para ampliar el proyecto.

Con  $T = 4$  (vencimiento del proyecto), podemos obtener el valor intrínseco de los dos principales escenarios del proyecto TPM; cuando se concluye de manera satisfactoria (favorable,  $V_u$ ) o cuando no alcanza el resultado esperado (desfavorable,  $V_d$ ).

Favorable	Desfavorable
$V_u = \text{max}[K (\text{VPNu}) - \text{CostoExpansión}]$ $(10\% * \$484,551,707) - \$1,000,000 =$ <b>\$47,418,639</b>	$V_d = \text{max}[K (\text{VPNd}) - \text{CostoExpansión}]$ $(10\% * \$36,624,018) - \$1,000,000 =$ <b>\$36,624,018</b>

En las Opciones Reales el proyecto puede tomar diferentes ramas (nodos) y diferentes valores en cada uno. Nos muestran las diversas etapas y el valor que se requiere para mantener la opción viva en cada una, es decir, periodo a periodo. Los incrementos y decrementos del VPN tienen una relación estrecha con la Tasa Libre de Riesgo y la Probabilidad Neutral al Riesgo por ello calcularemos los valores en forma inversa para llegar al Valor de la Opción, como se muestra:

$$\text{Valor de la Opción} = \frac{V_u q + V_d (1 - q)}{(1 + r)^{\Delta t}} = \frac{(\$47,418,639 * 0.65) + (\$36,624,018 * 0.35)}{(1 + 5.56\%)^{0.8}} = \$45,662,760$$

Tomando los valores de  $V_u$  y  $V_d$  de los nodos anteriores se puede calcular el valor de la opción de ese periodo (ejercer la opción o mantenerla viva). Completaremos los valores de los nodos para mantener vivía la opción, calculándolos de la misma utilizando la misma fórmula para los siguientes nodos, como sigue:

Ilustración III-7. Árbol del los valores de los nodos de la opción para cada periodo

		Nodos de Valor de Cada Periodo					
Periodos (años)	0	1	2	3	4	5	
Valor de la opción	5/5	4/5	3/5	2/5	1/5		
							\$47,418,639
					\$45,662,760		\$36,624,018
			\$42,322,121	\$43,964,664	\$35,248,352		\$28,234,173
		\$40,732,973	\$32,628,433	\$33,917,076	\$27,154,017		\$28,717,609
	\$39,195,128	\$31,380,720	\$25,094,261	\$26,107,843	\$20,862,902		\$16,645,258
				\$20,038,316	\$15,973,292		\$12,706,190

En conjunto ambos esquemas de nodos conforman el Árbol Binomial de Expansión.

Ilustración III-8. Árbol de Expansión del Proyecto de Mantenimiento Productivo Total.

		Árbol de Expansión del Proyecto TPM					
Periodos (años)	0	1	2	3	4	5	
Valor de la opción	5/5	4/5	3/5	2/5	1/5		
							\$484,551,707
					\$427,182,439	\$47,418,639	$V_u$
				\$376,605,496	\$45,662,760	\$376,605,496	$V_d$
			\$332,016,691	\$43,964,664	\$332,016,691	\$36,624,018	$V_d$
		\$292,707,048	\$42,322,121	\$292,707,048	\$35,248,352	\$292,707,048	
	\$258,051,533	\$40,732,973	\$258,051,533	\$33,917,076	\$258,051,533	\$28,234,173	
	\$39,195,128	\$227,499,112	\$32,628,433	\$227,499,112	\$27,154,017	\$227,499,112	
		\$31,380,720	\$200,563,994	\$26,107,843	\$200,563,994	\$21,713,379	
			\$25,094,261	\$176,817,902	\$20,862,902	\$176,817,902	
				\$20,038,316	\$155,883,266	\$16,645,258	
					\$15,973,292	\$137,427,219	
						\$12,706,190	

El valor de expansión \$39,195,128 en color naranja, es el Valor de la Opción Real del Proyecto TPM que la empresa percibiría al ejercer su derecho a la opción de aplicar el proyecto. Por lo tanto el VPN Extendido de la empresa será la suma de ambos:

$$VPN_{extendido} = VPN_{empresa} + Valor de la Opción Real$$

$$VPN_{extendido} = \$258,051,533 + \$39,195,128 = \$297,246,661$$



### 3.4 APLICACIÓN DE LA OPCIÓN DE DIFERIR

Dentro de los dos escenarios que se plantearon como opciones para la empresa, también se propuso la opción de esperar para realizar el proyecto del TPM, para de esta forma observar el comportamiento del mercado y su estabilidad; buscando mejorar en los siguientes años, solamente con las herramientas de trabajo con que se cuentan, puesto hasta el momento registraba en sí la empresa un crecimiento anual lento pero uniforme.

Por lo que evaluaremos la *opción de Diferir* de la empresa. El costo de realizar el proyecto TPM en el área es de \$1, 036,532. Si se realiza el proyecto se espera que genere un flujo de fondos anual que será igual a \$ 1, 524,983, con una tasa de crecimiento del 1% (del valor de K). Para el tiempo del proyecto como se mencionó se requieren de 3 años. Con estos datos podemos determinar por medio del VPN, el valor de la opción. Como en la mayoría de los proyectos se presentan 2 escenarios, favorable en donde pronosticamos un incremento del 10% y desfavorable esperando que el mercado caiga un 20%, se calcula el valor para cada uno de ellos. Entonces:

<b>Promedio anual proyectado</b>	\$ 15,249,831	
<b>Crecimiento del 10%</b>	\$ 1,524,983	Crecimiento del proyecto TPM

<b>Crecimiento anual</b>	\$ 1,524,983	Flujos de efectivo
<b>Tasa de descuento</b>	10.00%	WACC
<b>Tiempo de vida de la opción</b>	3	n
<b>Inversión</b>	\$ 1,036,532	Inversión inicial

Si el incremento es del 10% se tiene que:

$$\begin{aligned}
 VPN_u &= VP_u - Inverison = \sum_{n=1}^3 \frac{\text{Flujos de efectivo}}{(1 + WACC)^n} - I \\
 &= \sum_{n=1}^3 \frac{\$ 1,524,983}{(1 + .1)^n} - \$ 1,036,532 = \$ 1,677,481 - \$ 1,036,532 = \$ 640,949
 \end{aligned}$$

Si el decremento es de 20% se tienen entonces:

$$VPN_u = VP_u - Inverison = \sum_{n=1}^3 \frac{\$ 1,524,983}{(1 - .2)^n} - \$ 1,036,532 = \$ 183,454$$

Siendo una opción de compra Americana se reexpresan los resultados como sigue:

$$V_u = \text{MAX}(VP_{N_u}; 0) = \text{MAX}(VP_u - \text{Inversion}; 0) = \text{MAX}(\$ 1,677,481 - \$ 1,036,532) = \$640,949$$

$$V_p = \text{MAX}(VP_{N_p}; 0) = \text{MAX}(VP_p - \text{Inversion}; 0) = \text{MAX}(\$ 1,219,986 - \$ 1,036,532) = \$183,454$$

De los resultados puede observarse que para un escenario favorable la aplicación del proyecto presentan un valor positivo que de igual forma aparece un valor positivo para un escenario desfavorable a pesar de diferir el proyecto. Para obtener el valor de la opción para los años siguientes tomaremos la tasa libre de riesgo pronosticada por el Banco de México de 5.63%. Aplicando la fórmula para obtener la Neutralidad al Riesgo ( $q$ ) y posteriormente el Valor de la Opción, tenemos:

$$q = \frac{(1 + r) - d}{u - d} = \frac{(1 + 5.63\%) - 0.80}{1.20 - .80} = 0.64$$

$$\text{Valor de la Opción} = \frac{V_u q + V_d(1 - q)}{1 + r} = \frac{(\$640,949)(0.64) + (\$183,454)(1 - 0.64)}{1 + 5.63\%} = \$451,184$$

Por lo que el Valor de la Opción si se decidiera a diferir el proyecto 3 años y se quisiera implementarlo posteriormente tendría un valor de \$451,184, valor que continuará disminuyendo transcurrido un año más en donde el valor de la opción tenderá a ser cero.

### 3.5 APLICACIÓN DE LA OPCIÓN DE ABANDONAR

Dentro de las opciones que tiene el proyecto TPM, se encuentra la de abandonar el proyecto en el lapso de vida de la opción, en el caso de que se requiriera de alguna modificación en los planes de desarrollo de la empresa. Como cualquier proyecto la opción de abandonarlo es muy importante, puesto que las circunstancias en el tiempo de vida de todo proyecto es dinámico lo que para diversos proyectos esta flexibilidad tiene un peso muy importante como es el caso de las mineras. Para obtener el resultado de la opción de abandonar partiremos de los valores ya calculados anteriormente.

<b>Crecimiento anual</b>	\$	1,524,983	Flujos de efectivo
<b>Tasa de descuento</b>		10%	WACC
<b>Tiempo de vida de la opción</b>		3	n
<b>Inversión</b>	\$	1,036,532	Inversión inicial
<b>VPN</b>	\$	2,755,875	
<b>VPN u</b>	\$	640,949	VPu
<b>VPN d</b>	\$	183,454	VPd

Para obtener los valores de la opción del proyecto, en el caso de que quisieramos abandonar, la venta de los activos representa un flujo de \$300,000, derivado de la recuperación del las herramientas operativas, de mantenimiento y algunos equipos. Para éste caso utilizaremos el mismo escenario que en la opción de diferir. Así entonces tenemos una opción de compra tipo Americana en donde, para evaluar la opción es necesario obtener su valor intrínseco. La premisa de aceptación baja la cual se rigue el valor intrínseco es:

“Si el valor presente de los flujos de fondos futuros (VP) es mayor que el valor de venta del proyecto (C), la empresa decidirá continuar con el proyecto y el valor intrínseco será cero. Por otro lado, se decidirá abandonar el proyecto cuando el valor presente de los flujos sea menor que el valor de venta del proyecto.”

Tomando los 2 escenarios al final del año tenemos. Valor Intrínseco con un escenario favorable:

$$V_u = \text{MAX} (\text{Valor de Venta} - VP_u ; 0) = \text{MAX}(\$ 300,00 - \$640,949 ; 0) = 0$$

Valor Intrínseco con un escenario desfavorable:

$$V_d = \text{MAX} (\text{Valor de Venta} - VP_d ; 0) = \text{MAX}(\$ 300,00 - \$183,454 ; 0) = \$116,546$$

			<b>Por lo tanto</b>
<b>Vu1</b>	<b>-\$ 340,949</b>		0
<b>Vd1</b>	<b>\$ 116,546</b>	<b>\$ 116,546</b>	

De la misma forma utilizando los valores determinados en el ejercicio anterior.

$$q = \frac{(1 + r) - d}{u - d} = \frac{(1 + 5.63\%) - 0.80}{1.20 - .80} = 0.64$$

$$\text{Valor de la Opción} = \frac{V_{u1} q + V_{d1}(1 - q)}{1 + r} = \frac{(\$ 0)(0.64) + (\$116,546)(1 - 0.64)}{1 + 5.63\%} = \$39,641$$

<b>Valor de q</b>	0.64
<b>u</b>	1.2
<b>d</b>	0.8
<b>r</b>	5.63%
<b>Valor de la opción</b>	\$ 39,641

Ahora que conocemos el valor de la opción de abandonar el proyecto, por último, para saber si se debe continuar o no con el proyecto debemos compararlo con los VPN del mismo.

Valor intrínseco = C- VP = Valor de venta del proyecto - VP de los flujos		
Valor de venta	VPN de los flujos	Valor Intrínseco.
\$ 300,000	\$ 2,755,875	-\$ 2,455,875

Como puede observarse el Valor de la Opción es mayor que el Valor Intrínseco,

Valor de la Opción	Valor Intrínseco
\$ 39,641	-\$ 2,455,875

Por lo tanto concluimos que para la empresa le es mas conveniente continuar con el proyecto del TPM, y abandonarlo si en algún momento se presenta un escenario favorable.

Para determinar el valor real del proyecto TPM, tenemos que:

VP	Valor de la Opción	Valor total de la Inversión = VP + Valor de la Opción de Abandono
\$ 2,755,875	\$ 39,641	\$ 2,795,517

Con estos valores concluimos la aplicación de la evaluación del proyecto TPM y el desarrollo de esta tesis. Los valores obtenidos a lo largo de la aplicación en cuanto al valor de la opción, muestran que el proyecto en sí es una buena opción para mejorar los sistemas de producción, esto se comentará en las conclusiones.

## CONCLUSIONES

Si bien ya se ha mencionado que el TPM es una herramienta flexible al adaptarse a las condiciones y necesidades de cada empresa; esta flexibilidad es representada en cada nodo del Árbol Binomial, pudiendo ser cada uno de ellos un resultado derivado de aplicar el proyecto en sus distintas modalidades, un área de manufactura o parte de la estructura del proceso. Algunas situaciones en las que puede ser aplicado son: adecuarlo a toda la empresa o no; *asentarlo en toda un área de proceso o solo a los equipos críticos para la producción y de igual forma albergar todos los pasos del TPM o solamente seleccionar los pasos necesarios para el adecuado funcionamiento de un proceso, como es el caso de esta tesis.* Cada una de estas decisiones llevará a un resultado diferente; en el caso de las Opciones Reales a un nodo con un valor distinto, como en el proyecto. De esta forma al determinar la situación de la empresa y sus características, se implementó el proyecto TPM en el área de palomitas en donde se calcularon los distintos tipos de Opciones Reales que se pueden realizar de acuerdo a la situación de la empresa, pudiendo modificarse la implementación del proyecto de acuerdo a las necesidades de cada negocio. Obteniendo los siguientes valores:

<b>Opción del Proyecto (VPN Extendido)</b>	\$297,246,661
<b>Opción de Diferir</b>	\$451,184
<b>Opción de Abandonar</b>	\$39,641

Observando los valores asumimos que para la empresa le es más conveniente comenzar a implementar el proyecto TPM en el área de empaquetado de palomitas de maíz en lugar de esperar (objetivo de la tesis, segundo punto). Y que abandonar el proyecto sin llegar a un nivel de eficiencia óptimo le resultaría en pérdidas tomando en cuenta una recuperación menor al 1% de la inversión. Estos valores responden al objetivo principal de esta tesis, en donde se puede observar que el proyecto TPM realmente agrega valor al negocio, agregando una rentabilidad positiva que aporta resultados para el desarrollo del negocio y el crecimiento de la empresa, estos últimos se explicarán más adelante.

En cuanto al desarrollo del negocio para este caso, la Inversión de \$1, 000,000 en el proyecto, si se llega hasta el final del periodo de implementación, genera un rendimiento suficientemente alto (relación costo-beneficio). Aunque aparentemente puede decirse que el resultado obtenido excede las expectativas de cualquier proyecto, puede ser que no se encuentre alejado de la realidad al agregar valores intangibles al negocio, resultado de diversos factores. Este valor agregado puede observarse si se comparan con el resultado de abandonar el proyecto. Si bien un VPN anual del proyecto aporta \$ 2, 755,875; cuando el valor de la opción de abandono solo daría a la empresa un beneficio anual de \$ 39,641. Esto es el reflejo de que la mayor inversión

del TPM se encuentra en su personal, en la capacitación, en la administración del trabajo y la respuesta ante los retos del proceso. Estas actividades forman parte de lo que sería el valor intangible del proyecto. Nakajima (1984), comenta que la parte importante del proyecto TPM se encuentra en la aplicación del mantenimiento autónomo, como base fundamental, por lo que el valor que agrega el proyecto TPM es de \$39, 195,128 (primer objetivo secundario); y esto queda demostrado en la evaluación a través del modelo ROV.

Anteriormente el valor intangible de los proyectos no era valorado como un promotor de rentabilidad para el negocio, pues se consideraba como una semilla que aún no ha dado frutos y por lo tanto sin resultados tangibles no puede ser considerado. Dentro de los valores intangibles que puede generar el proyecto se encuentran:

- Favorecer la creatividad del personal y proporcionar el tiempo necesario para el desarrollo de nuevos productos dentro de la empresa, derivados de la seguridad del funcionamiento de los equipos y su adaptabilidad al cambio.
- Eficiencia del personal, siendo un factor motivacional para mejorar el desempeño laboral, desarrollo y mejorar el clima laboral, dentro del contexto de la relación trabajador-empresa, que es uno de los problemas más frecuentes en las empresas mexicanas<sup>56</sup>. Aumentando el desempeño general de la empresa.
- Reduce el riesgo operativo dentro de las áreas de proceso. Ésta característica se encuentra relacionada con el funcionamiento de las máquinas, si un equipo no falla no hay necesidad de que el operador manipule pieza alguna dentro de la máquina, y las intervenciones para su reparación se realicen con las medidas de seguridad adecuadas. Además de que reducirá los desperdicios por malos ajustes operativos. Esta forma de riesgo es análoga a la mostrada por JORION (2001), en cuanto las fallas humanas registradas durante las transacciones, registros y movimientos de los activos financieros.

En los cálculos obtenidos sobre la Probabilidad Neutral al Riesgo se tiene valores muy cercanos entre sí: para el incremento ( $q$ ) de solamente 0.65 y para el decremento ( $1-q$ ) de 0.35; indicándonos que el proyecto es sensible a las decisiones que se toman y a los resultados obtenidos por la implementación, dejando de manifiesto que tiene una relación estrecha con la empresa y la eficiencia de producción (OEE). Además se observa que tanto el valor de  $q$  como el de  $u$  (constante de multiplicación incremental) muestran un valor alto, indicándonos que las

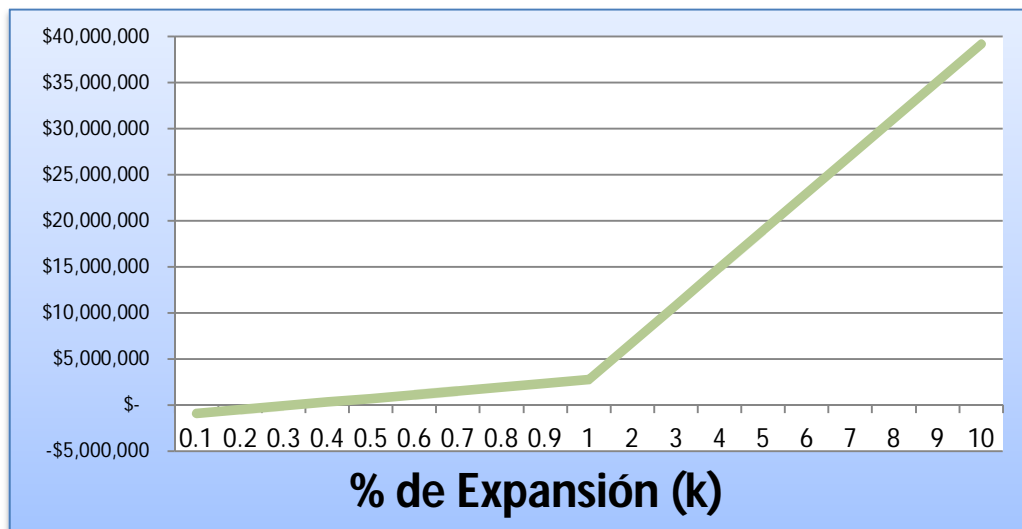
---

<sup>56</sup> El clima laboral se refiere a un conjunto de características estables a lo largo del tiempo, relativas a las relaciones interpersonales y a las relaciones entre las personas y la empresa. "...el personal aumenta su productividad cuando se les demuestra un "genuino interés". Artículo "Mejora el clima laboral en tu empresa e incrementa la eficiencia de tu PYME".

perspectivas de crecimiento del proyecto tienden a ser positivas. Entregando un beneficio en su mayoría positivo hacia los rendimientos de la empresa.

Dentro de los objetivos de esta tesis, el punto tres en relación al costo / beneficio del proyecto se concluye lo siguiente: del cálculo de los valores del Árbol Binomial, esperamos que cada proyecto aporte un **Porcentaje de Expansión** a la empresa bastante alto. De acuerdo a la experiencia de diversas empresas utilizan un porcentaje de 10%, sin embargo al utilizar un porcentaje menor, como ejemplo del 1%, el proyecto continúa agregando valor a la empresa a una razón de 1 a 5. Esto demuestra que el proyecto TPM tiene un gran valor monetario e intangible, reflejo de los diversos problemas que busca resolver en la empresa, de la flexibilidad y adaptación hacia el proceso. Ésta relación puede observarse en la siguiente gráfica.

**Ilustración A. Relación de Expansión del proyecto y el Valor de la Opción.**



Otra ventaja que presenta el proyecto son las capitalizaciones mensuales (re inversiones), donde es evaluado mensualmente a través del OEE, como punto de medición de resultados, en donde se puede observar el desarrollo y evolución tanto del proyecto como del negocio; dando lugar a un valor final o VPN más alto que en otros proyectos que se evalúen de forma anual.<sup>57</sup> La evaluación de proyecto TPM a través del Opciones Reales es la forma más adecuada de poder determinar el potencial de resultados ante el proceso de manufactura. Observando los resultados obtenidos de las evaluaciones podemos determinar entonces que el proyecto TPM es adecuado para el crecimiento de la empresa, puesto que su rentabilidad y beneficios sobrepasan las expectativas de inversión tradicionales en un proyecto.

<sup>57</sup> La capitalizaciones semestrales dan lugar a una curva más suave así como a un valor final más alto que para una capitalización anual. Las capitalizaciones continuas tienen tanto la curva de rendimientos más suave como el valor final más alto de todos. Ross (2010), Pág. 99.

## APORTACIONES DE LA TESIS

Si bien se han realizado diversas tesis evaluando el proyecto TPM aplicado a una variedad de negocios en donde muestran la adaptabilidad y flexibilidad, pero siempre enfocadas a resultados con un perfil de procesos productivos y corrección de fallas. La aportación más importante es la misma evaluación del proyecto TPM desde el punto de vista Financiero, percibiendo el potencial que puede aportar al valor de la empresa, reflejado en el resultado del Valor Presente Neto Extendido calculado a partir de las Opciones Reales y los valores futuros. El proyecto TPM está enteramente enfocado a áreas productivas, sin embargo tiene una relación sumamente importante que afecta directamente al resultado del desempeño del negocio. En el contexto de una evaluación a través de las herramientas económicas tradicionales, reflejaría resultados bajos en ocasiones insatisfactorios, resultado del dinamismo del proyecto TPM; al fundamentarse el proyecto en el valor intangible, que evaluado mediante Opciones Reales, tiende a mostrar un valor más real del proyecto.

Dentro de contexto de valor intangible, una aportación dentro de las metodologías de evaluación, los proyectos pueden ser evaluados a través de opciones reales para determinar el valor agregado del mismo, estableciendo una relación entre el área financiera y la productiva. Este tipo de relación puede favorecer para la determinación en las decisiones respecto a los objetivos de la empresa. De igual forma puede ser una útil herramienta para evaluar un proyecto por completo o por secciones / etapas, a través de los elementos que conforman la cadena productiva del negocio, es decir, que la mayor parte de las metodologías de evaluación son diseñadas para campos de trabajo específicos dentro de la empresa (administración, ventas, calidad, etc.). La evaluación del proyecto TPM mediante el modelo ROV, propone la evaluación de proyectos productivos mediante modelos financieros y la relación de los resultados operativos con el desempeño de la empresa.

Muestra de forma más clara con el Árbol Binomial, los diferentes escenarios de la empresa, desarrollo y aportación del proyecto para su crecimiento, estandarización real de costos de manufactura y niveles de producción. Además presenta resultados positivos al aplicarlo de forma estratégica en sólo puntos críticos de la empresa, siendo favorables los resultados en cada uno de los nodos del Árbol en donde se haya completado la etapa, como resultado de la reducción de riesgos.

Siendo el proyecto una inversión que puede realizarse en cualquier negocio, se observa que el proyecto no solo es flexible en su implementación, sino que también lo es en su inversión, es decir, puede aplicarse a un PyME en desarrollo realizando una inversión mucho menor, acorde con las ventas y costos del mismo. El proyecto TPM en la misma escala entregará resultados satisfactorios. Sin embargo sus mejores resultados como se concluyó se generarán para



producciones en grandes volúmenes. Ésta idea puede ser una herramienta importante en el desempeño y la competitividad de una gran parte de Pymes y empresas en México.

### **OPCIONES DE INVESTIGACIONES POSTERIORES**

- ✓ Analizar más específicamente las aportaciones que pueda tener el proyecto TPM, respecto al riesgo operativo y la relación con las aseguradoras.
- ✓ Dado que el proyecto del TPM una vez terminado el periodo de implementación, el proyecto continúa funcionando como una forma de trabajo diaria reforzándolo anualmente, con ello podrían evaluarse los flujos futuros generados a partir de una eficiencia productiva sostenida a lo largo de la vida de la empresa.<sup>58</sup>
- ✓ Evaluar los activos intangibles que pueda generarse a partir del apoyo al desarrollo de nuevos procesos por la flexibilidad del área productiva a partir del TPM y su rápida adaptación de las líneas de proceso hacia nuevos productos, el desempeño laboral y un análisis del comportamiento del riesgo operativo e interno de la empresa.

---

<sup>58</sup> En la actualidad existen grandes empresas que tienen implementado este sistema y otros desde ya algunos años, lo que podría abrir las expectativas de evaluación de la trayectoria desarrollo de alguna de ellas.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ALSYOUF, Imad (Artículo aceptado 13 mayo, 2009). *Maintenance Practices in Swedish industries: Survey results*. International Journal of Producción Economics. 121 (2009) 212–223.
2. AMRAM Martha, NALIN Kulatilaka (2000). *Opciones Reales: Evaluación de inversiones en un mundo incierto*. Massachusetts. Editorial Gestión 2000.
3. BANXICO Y SAGARPA, "Pronostico Crecimiento Anual 2012". Consulta Diciembre 2012.  
[http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/estudios\\_economicos/escenariobase/perspectivalp\\_11-20.pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/estudios_economicos/escenariobase/perspectivalp_11-20.pdf)
4. BRADLEY MYERS, Marcus (2007). *Fundamentos de Finanzas Corporativas* (5ª ed.). España. Editorial McGraw Hill.
5. CALLE FERNANDEZ Ana María, TAMAYO BUSTAMANTE Víctor Manuel (Artículo aceptado Abril 29, 2009). *Decisiones de Inversión a través de Opciones Reales*. Estudios Generales. Vol. 25, Núm. 111, abril-junio, 2009, pp. 107-126. Universidad ICESI. Colombia.
6. COPELAND, Tom y COLLER, Tim y MAURIN Jack (2010). *Valoración, Medición Y Gestión De Valor* (2ª ed.). México. Editorial Deusto.
7. "Crecimiento Del Sector Manufactura", datos del INEGI,  
<http://www.nssoaxaca.com/opinion/148-tiempo-economico/87025-expectativas-de-crecimiento-del-sector-industrial>
8. DEVDAS Shetty, AHAD Ali, CHAPDELAINEA John J. (2009). *Model For The Total Productive Manufacturing Assessment And Implementation*. Journal of Advanced Manufacturing Systems. Vol. 8, No. 2 (2009), 117–136.
9. EHRHARDT, Michael C. y BRIGHAM, Eugene F (2007). *Finanzas Corporativas* (2ª ed.). México. Editorial Thomson.
10. Fausto B. (n.d). Mejora el clima laboral en tu empresa e incrementa la eficiencia de tu PYME. Consulta febrero, 2012. <http://www.ideasparapymes.com/contenidos/diagnostico--clima-laboral-pyme.html>.
11. F.T.S. Chan, H.C.W. Lau, R.W.L. Ip, H.K. Chan, S. Kong (Artículo aceptado octubre 18,2003). *Implementation of Total Productive Maintenance: A case study*. International Journal of Producción Economics. Editorial Elsevier.
12. Fundación Contigo Vamos del Estado de Guanajuato. *Maíz palomero en el estado de Guanajuato*. Consulta Diciembre, 2011.  
[http://sde.guanajuato.gob.mx/descarga/oportunidades/3.-Maiz\\_Palomero.pdf](http://sde.guanajuato.gob.mx/descarga/oportunidades/3.-Maiz_Palomero.pdf).

13. Grupo Asesor de Gestión de Programas y Proyectos de Inversión. "Evaluación de Proyectos". Consulta Agosto 2011.  
<http://www.planeacion.cundinamarca.gov.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/evaluaci%C3%B3n%20del%20proyecto.pdf>.
14. KUMAR PINJALA Srinivas, PINTELON Liliane, VEREECKE Ann (Artículo aceptado Diciembre 21, 2004). *An Empirical Investigation On The Relationship Between Business And Maintenance Strategies*. . International Journal of Producción Economics 104. (2006) 214–229.
15. HERNÁNDEZ ITZCUA Selene (2011). *Aplicación de Opciones Reales a la Propuesta de Expansión de la Central Nucleoeléctrica de Laguna Verde*. Tesis. México. Universidad Autónoma de México.
16. Hojer M. "Análisis Costo-Beneficio: Introducción". Consulta Junio, 2011.  
[www.epa.gov/ies/pdf/mexico/04iescostbenefit.pdf](http://www.epa.gov/ies/pdf/mexico/04iescostbenefit.pdf).
17. HULL, John C. (2007). *Options, Futures and other Derivatives* (6ª ed.). Upper Saddle River, New Jersey. Editorial Pearson / Prentice Hall.
18. *Indicadores de ocupación y empleo al segundo trimestre de 2012*. Consulta Diciembre 2011. INEGI, <http://www.inegi.org.mx/Sistemas/temasV2/Default.aspx?s=est&c=25433&t=1> .
19. JORION, Phillipe (2001). *Value at Risk: the new benchmark for managing financial risk* (2ª ed.). Estados Unidos.. Editorial McGraw Hill.
20. Los recursos humanos y el valor intangible de la empresa. (2008). Consulta enero 2012.  
<http://www.losrecursoshumanos.com/contenidos/186-los-recursos-humanos-y-el-valor-intangible-de-la-empresa.html> .
21. Luis Eduardo A. C. (n.d.) "Análisis de costo de eficiencia en la promoción de un sistema de indicadores para las empresas de servicios públicos".  
<http://foros.uexternado.edu.co/ecoinstitucional/index.php/contexto/article/viewFile/1876/1670>
22. LUQUE MARTÍNEZ, Teodoro y CASTAÑEDA GARCÍA, J. Alberto (2008). *Internet y el Valor del Negocio*. Artículo publicado en el núm. 11 de la Colección Mediterráneo Económico: " Nuevos enfoques del marketing y la creación de valor". Coordinadora: María Jesús Yagüe Guillén. Producido por: Fundación Cajamar.
23. Mario Z. (2004) " *Indicadores de Costo y la Eficiencia de las Instituciones de Crédito Educativo - Octubre, 2004 México*". Consultada Julio 2011.  
<http://www.apice.org.co/MemoriasXVIIcursocreditoeducativo/Conferencia%20M%E9xico%20Mario%20Zaldivar.doc> .
24. MARTINEZ MIRANDA, Elio Agustín (2006). *Metodologías de Manejo de Riesgo Utilizando Productos Derivados en Proyectos de Inversión Pública*. Tesis. Universidad Autónoma de México.

25. M. SMITH Anthony, GLENN R. Hinchcliffe (2004). *RCM, Gateway to World Class Maintenance*. Linacre House, Jordan Hill, Oxford. Editorial Elsevier Butterworth Heinemann.
26. *MP Software, especialistas en software de mantenimiento*. Consulta Diciembre, 2011.  
<http://www.mpsoftware.com.mx/es/empresa.html>.
27. NAKAJIMA, Seichi. (1984). *TPM, Mantenimiento Productivo Total* (1984). Japón. Publicado por el Japan Institute for Plant Maintenance.
28. PORTER, Michael E. y KRAMER Mark R. (enero-febrero 2011) "La creación del valor compartido". *Harvard Business Review*. Estado Unidos. p.32.
29. *Producción de maíz palomero argentina, estadísticas*. Consulta, diciembre 2012.  
<http://www.popcorn.com.ar/marcas.html#>
30. RAYO CANTON, Salvador y CORTÉS ROMERO, Antonio M. (2007). *Valoración de Proyectos de Inversión con Opciones Reales, (Fundamentos matemáticos, financieros y evidencia empírica)*. España. Editorial EUG. Universidad de Granada.
31. Reporte anual 2008, 2009, 2010 y 2011, Conagrafoods. Descargable en  
<http://investor.conagrafoods.com/phoenix.zhtml?c=97518&p=irol-reportsAnnual>.
32. REY A. Sebastian, ARMAGNO Daniel (2005). *A practical Guide to Investment Valuation: using Excel*. (1ª ed.). Argentina. Editorial Omicron.
33. ROSS, STEPHEN A. y WESTERFIELD, Randolph W. y JAFFE, Jeffrey (2010). *Finanzas Corporativas* (10ª ed.). México. Editorial Mc Graw Hill.
34. SANJURJO, Miguel y REINOSO, Mar (2003). *Guía De Valuación De Empresas* (2ª ed.). México. Editorial Prentice Hall. Financial Times.
35. "Se instala la planta productora de maíz de súper pufft que comenzara a trabajar a principios de 2012". *El economista*. Diciembre, 2012.  
<http://eleconomista.com.mx/estados/2011/09/07/irapuato-pone-las-palomitas-tazon>,
36. TPM Online, Mantenimiento Productivo Total. Consulta enero, 2012.  
[http://www.leanexpertise.com/TPMONLINE/articles\\_on\\_total\\_productive\\_maintenance/tpm/costodeimplemtpm.htm](http://www.leanexpertise.com/TPMONLINE/articles_on_total_productive_maintenance/tpm/costodeimplemtpm.htm).
37. TRIGEORGIS, Lenos (1999). *Real Options, Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation*. Massachusetts. London, Inglaterra. Editorial The MIT press Cambridge,
38. WILLMOTT, Peter y MCCARTHY, Dennis (2001). *TPM, A Route To World-Class Performance*. Estados Unidos. Editorial Butter worth Heinemann.



39. WIREMAN, Terry (2005). *Developing Performance Indicators For Managing Maintenance* (2<sup>a</sup> ed.) Estados Unidos. Editorial Industrias Press.
40. WILSON, Alan Doctor (2002). *Asset Maintenance Managment, A Guide To Developing Strategy And Improving Performance* Estados Unidos. Editorial Industrial Press Inc. New York.
41. Xóchitl A. /Corresponsal. "Se extingue la industria de la curtiduría en León ". Domingo 07 de septiembre de 2003. El Universal.  
[http://www2.eluniversal.com.mx/pls/impreso/noticia.html?id\\_nota=50609&tabla=estados](http://www2.eluniversal.com.mx/pls/impreso/noticia.html?id_nota=50609&tabla=estados) .

## ANEXOS

The screenshot shows the GestioPolis website interface. At the top, there is a navigation menu with categories: Administración, Economía, Emprendimiento, Finanzas, Marketing, RR.HH., and Nuevos. A search bar is also present. The main article is titled "El valor de los activos intangibles" by "Grupo Kaizen Calidad" from October 2005. The article text discusses the importance of human resources as an intangible asset. To the right of the article, there are social media sharing options (0, +1, 3, Tweet, 0, Share) and a "PUBLICAR" button. Below that, there is a section "Conéctate con GestioPolis" with a Twitter link to @gestiopoliscom and 7,388 followers.

TEXTO COMPLETO (<http://www.gestiopolis.com/canales5/ger/gksa/88.htm>)

### EL VALOR DE LOS ACTIVOS INTANGIBLES.

Autor: [Grupo Kaizen Calidad](#). Octubre-2005

Ya hace bastante tiempo se viene hablando de la importancia del Recurso Humano como el activo más valioso de toda empresa. Y efectivamente así es, no obstante, no siempre este activo intangible se valora de esa forma. Al ser considerado el Recurso Humano como activo, no se le deben aplicar conceptos propios de los activos físicos y financieros, tales como sujeto a depreciación, obsolescencia, deterioro y reemplazo. El Recurso Humano es uno de los varios activos intangibles con que cuenta toda empresa, al igual que su cartera de clientes, el conocimiento, la cultura organizacional, las bases de datos, etc., los cuales solo tienen sentido en cuanto incrementan el valor de la empresa. Durante la visita a NY, pudimos estudiar el libro "Strategy Maps", de los doctores Kaplan y Norton, autores del BSC (Balanced Scorecard), así como un artículo que escribieron recientemente, sobre el problema de la medición de los activos intangibles. Los autores se cuestionan la forma que pueda tener una empresa para medir una cultura empresarial que permita a los empleados entender y creer en la misión, visión y valores centrales de la organización. O bien como definir el retorno sobre la inversión en un sistema de administración del conocimiento o en una nueva base de datos de clientes?

El problema va más allá de tan solo contar con una medición, lo importante es conocer como los activos intangibles impactan en los estados financieros, lo cual hasta hoy es prácticamente imposible. No hay forma de contabilizar el valor de las habilidades de los empleados, la capacidad de los programas informáticos, la cultura organizacional, de la misma forma en que muchas compañías miden sus activos tangibles. Kaplan dice, que a diferencia de los

activos financieros y físicos, los activos intangibles son difíciles de imitar por los competidores, lo cual los convierte en una poderosa fuente sostenible de ventaja competitiva.

Una definición de estrategia plantea que: **“La estrategia consiste en diferenciarse de la competencia porque la empresa es única en algo que es valioso para sus clientes y le es difícil de imitar”**. Esa diferenciación solo se logra por medio de los activos intangibles. Si la gerencia pudiera encontrar una forma de estimar el valor de sus activos intangibles y la forma en como ellos contribuyen a lograr esa diferenciación valiosa para sus clientes, podrían medir y administrar más fácil y acertadamente, la posición competitiva de sus empresas.

A diferencia de los activos financieros, los activos intangibles significan cosas totalmente diferentes para distintas personas. Una fuerza laboral con un fuerte sentido de servicio y satisfacción al cliente es más crítica para una empresa comercializadora que para una empresa de manufactura. Kaplan y Norton afirman que tanto los activos tangibles como los intangibles no crean valor por sí mismos.

Necesitan ser combinados con otros activos. La inversión en tecnología, por ejemplo, tiene poco valor a menos que sea complementado con el entrenamiento del recurso humano y un programa de incentivos. Y en sentido contrario, muchos programas de entrenamiento al personal tienen poco valor, a menos que sean complementados con moderna tecnología.. Si la capacitación que se brinda no contribuye al logro de la estrategia, difícilmente la empresa mejorará su posición competitiva. Hacer más de lo mismo, no llevara la empresa a ninguna parte.

Algunas veces se ha dicho, con sorpresa de quienes lo escuchan que “la capacitación es un desperdicio”, lo cual ahora cobra sentido con lo planteado en este artículo. Kaplan recomienda: “hay que comprender cuáles son los activos intangibles que afectan directamente el desempeño financiero. El problema es que actúan indirectamente por medio de complejas cadenas de relación causa efecto”. El recurso humano, como el principal activo intangible es una fuente de creación de valor, pero el gran reto es identificar qué cambios en el sistema de RRHH creará ese valor en cada organización en particular. Un sistema de RRHH debe proveer una base para desarrollar un método para gestionar el RH como un activo estratégico así como para medir su impacto en el desempeño de la empresa.

Uno de los artículos que más visitas ha recibido el sitio [www.grupokaizen.com](http://www.grupokaizen.com) está relacionado con el tema de “Seis Sigma”, lo cual evidencia que se ha vuelto a poner de moda. Muchas empresas están brindando entrenamiento y promoviendo su utilización, con el propósito de mejorar la calidad de los procesos. Kaplan cuestiona su uso y dice “ese mejoramiento podría incrementar la satisfacción y la lealtad de los clientes, y también crear algún exceso en la capacidad instalada.

Pero solamente si la empresa puede transformar la lealtad en una mejora de las ventas y márgenes o bien eliminar o aprovechar el exceso de recursos, se podría decir que la inversión en entrenamiento paga. Lo mismo ocurre con el desarrollo de sistemas de gestión, tales como en calidad, ambiente, etc. ISO es un requisito indispensable, pero no suficiente. La mejora en los activos intangibles no se refleja de igual manera como cuando una empresa compra nueva maquinaria de producción, lo que pronto se ve reflejado en las ventas y en los beneficios, el impacto en los estados financieros de los nuevos activos tangibles es inmediato.

**El valor de los activos intangibles depende en gran medida del contexto de la estrategia que la empresa está buscando**, pero dadas sus características se hace difícil valorar como éstos agregan valor a la empresa. Si una empresa costarricense como Pali o bien una internacional como Mc Donald's que aparentemente siguen una estrategia de bajo costo, si se enfocan en programas como Seis Sigma, esto contribuye concretamente a sus estrategias porque ésta filosofía predica el mejoramiento continuo de sus procesos, lo cual contribuye a su estrategia de excelencia operacional. Por otra parte si la estrategia es ofrecer al cliente soluciones integradas como lo hacen los bancos, que tienen una oferta completa de productos financieros a través de su plataforma de servicio, requiere de empleados que establezcan y mantengan relaciones de largo plazo con sus clientes, éstos son los que se conocen como "ejecutivos de cuenta".

*"Una organización no puede asignar valor financiero significativo a un activo intangible como "una fuerza laboral motivada y preparada" en el vacío, porque su valor se deriva solamente en el contexto de su estrategia". Lo que la empresa puede medir, sin embargo es si su fuerza de trabajo esta apropiadamente entrenada y motivada para alcanzar una meta particular. Este es un buen argumento para todas aquellas empresas, que se matriculan con cualquier nueva técnica, o filosofía gerencial que aparece en el mercado. Esta sorpresa se la han llevado cuando inician un proceso de certificación ISO 9000, y posterior a ello, caen en la cuenta que no han obtenido mayores beneficios, principalmente financieros. El problema no es ISO, sino el porqué, de esa decisión de incursionar en un modelo, sin haber definido claramente cuál es la contribución esperada a su estrategia.*

En conclusión, la única forma de medir el valor de los activos intangibles es definiendo la relación que estos tengan con la estrategia de la empresa. "Si la empresa tiene una buena estrategia y si los activos intangibles están alineados con esa estrategia, entonces los activos crean valor para la organización".

Esto se logra en la definición de la hipótesis estratégica y en el planteamiento del mapa estratégico. Si los activos no están alineados con la estrategia o si la estrategia es débil, los activos intangibles crearan poco valor. Este punto es vital, a la hora de definir los indicadores para este tipo de activo, por ejemplo que tanto podrá aportar a la estrategia medir la cantidad de horas de capacitación brindada o bien el número de empleados capacitados, si la capacitación que se



brinda no tiene relación con la estrategia, su valor es prácticamente cero. Y todavía más, es necesario medir cuál es el aporte de la capacitación al logro de la estrategia, similar a lo que se conoce como medir la efectividad de la capacitación, en cuanto permite alcanzar los resultados planificados.

Este artículo está basado en “Measuring the Strategic Readiness of Intangible Assets by Robert S Kaplan and David P. Norton, publicado por Harvard Business Review, [www.hbr.org](http://www.hbr.org)

### ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Producto Interno Bruto (1970-2008) .....	VI
Ilustración 2. Crecimiento de la Producción Industrial (1970-2011) .....	VII
Ilustración 3. Comportamiento de la economía Mexicana (2008-2011) .....	VIII
Ilustración 1-1. Principales áreas de departamento de mantenimiento .....	2
Ilustración 1-2. Pilares del Mantenimiento Productivo Total .....	8
Ilustración 1-3. Filosofía de mejora 5 s (Cimiento del TPM) .....	8
Ilustración 1-4. Elementos clave que soportan el TPM .....	9
Ilustración 1-5. Analogía de la empresa con un automóvil .....	12
Ilustración 1-6. Analogía TPM - equipo de futbol .....	14
Ilustración 1-7. Diagrama de Eficiencia Global del Equipo. ....	17
Ilustración 1-8. OEE: Indicadores de Desempeño. ....	19
Ilustración 1-9. Pérdidas ocultas en la cadena de suministro. ....	20
Ilustración 1-10. Grafica de porcentajes de Costo / Beneficio .....	22
Ilustración 1-11. Gráfica comparativa de costos de mantenimiento .....	22
Ilustración 1-12. Gráfica de Costos de Operación-Mantenimiento .....	23
Ilustración 2-1. Efecto de la tasa de descuento y el VPN .....	31
Ilustración 2-2. Curva de Interés .....	36
Ilustración 2-3. Curva de Oportunidades de Inversión .....	36
Ilustración 2-4. Incremento del valor debido a la Incertidumbre. ....	39
Ilustración 2-5. Tipos de opciones .....	43
Ilustración 2-6. Perfiles del comprador de opciones (call y put) .....	46
Ilustración 2-7. Curvas del Valor Total Intrínseco y por Tiempo de una Opción .....	48
Ilustración 2-8. Precios de la acción ordinaria y valor de la opción de compra .....	53
Ilustración 2-9. Árbol del Subyacente y de la Opción de Compra para 2 periodos .....	57
Ilustración 2-10. Evolución del activo subyacente. ....	58
Ilustración 2-11. Evolución de la Opción Call según el proceso Binomial Multiplicativo. ...	59
Ilustración 2-12. Valor intrínseco de la Opción de Venta en relación al VPN .....	68

Ilustración 3-1. Diagrama de decisiones de entrada al mercado .....	74
Ilustración 3-2. Valor de la Inversión .....	75
Ilustración 3-3. Tiempo efectivo de mantenimiento, % .....	76
Ilustración 3-4. Flujos de Efectivo proyectados años 2011- 2015 .....	83
Ilustración 3-5. Pronóstico del Valor de Cetes para el 2012 .....	86
Ilustración 3-6. Árbol de los valores de los nodos del subyacente para cada periodo .....	88
Ilustración 3-7. Árbol del los valores de los nodos de la opción para cada perioddo .....	90
Ilustración 3-8. Árbol de Expansión del Proyecto de Mantenimiento Productivo Total. ....	90

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Analogía empresa - auto .....	13
Tabla 1-2. Niveles de la Eficiencia Total, OEE .....	18
Tabla 2-1. Criterios de aceptación del modelo TIR .....	29
Tabla 2-2. Analogía Opciones Reales y Financieras .....	42
Tabla 2-3. Posición de las opciones .....	44
Tabla 2-4. Tipos de Opciones Reales .....	62
Tabla 3-1. Áreas de proceso de la empresa .....	71
Tabla 3-2. Datos Históricos de producción 2006 .....	76
Tabla 3-3. Tiempo extra registrado por mes, 2006 .....	77
Tabla 3-4. Costos unitarios por producto .....	77
Tabla 3-5. Calculo de pérdidas por mes en re trabajos, 2006 .....	78
Tabla 3-6. Histórico Flujos de Efectivo en base al OEE de la empresa .....	80
Tabla 3-7. Características de la Inversión del proyecto TPM .....	85
Tabla 3-8. Valores Calculados para la aplicación .....	87
Tabla 3-9. Desarrollo del Cálculo de los Valores de los nodos del Activo Subyacente. ....	88