

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ECONÓMICA Y CIENCIAS
SOCIALES



**“METODOLOGÍA PARA ESTIMAR LOS COSTOS POR
CONTINGENCIA DE UN PROYECTO HIDROELÉCTRICO-CASO
DE UN PROYECTO MÚLTIPLE EN ECUADOR”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
ECONOMISTA**

POR LA MODALIDAD DE TESIS

ELABORADO POR:

MIGUEL ANGEL TORRALBA EVARISTO

LIMA-PERU

2011

INDICE

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN.....	2
A. PROBLEMA A INVESTIGAR	5
B. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	8
C. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	9
D. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	9
E. METODOLOGÍA DE LA TESIS.....	10
CAPITULO I: MARCO TEÓRICO.....	12
A. CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE COSTOS	12
1. Concepto de costo de capital.....	12
2. Concepto de provisión de escalamiento.....	18
3. Concepto de provisión del cronograma.....	19
4. Concepto de contingencia.....	20
B. CONCEPTO DE PROBABILIDADES Y SIMULACIÓN	25
1. Concepto de riesgo y análisis de riesgo.....	25

2. Concepto de variable aleatoria	28
3. Concepto de distribución de probabilidad	29
4. Concepto de distribución de probabilidad subjetiva	32
5. Concepto de correlación.....	32
6. Concepto de muestreo de monte carlo	33
7. Concepto de muestreo de Latino Hipercubico	35
CAPITULO II: METODOLOGÍA.....	37
A. PLANEAMIENTO DE TRABAJO	39
B. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS	42
C. ANÁLISIS CUALITATIVO DE RIESGOS	47
D. ANÁLISIS CUANTITATIVO DE RIESGOS	50
E. PLAN DE RESPUESTA A LOS RIESGOS	65
CAPITULO III: APLICACIÓN PARA EL PROYECTO MÚLTIPLE YANUNCAY- SOLDADOS	67
A. PLANEAMIENTO DE TRABAJO	68
B. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS.....	73
C. ANÁLISIS CUALITATIVO DE RIESGOS	86
D. ANÁLISIS CUANTITATIVO DE RIESGOS	89
E. PLAN DE RESPUESTA A LOS RIESGOS	98
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	103

A. CONCLUSIONES	103
B. RECOMENDACIONES	106
BIBLIOGRAFÍA.....	107
ANEXOS	111

RESUMEN

Las decisiones de inversión en proyectos de inversión en infraestructura se realizan en un entorno cambiante e incierto, lo que hace que la programación de la construcción y el análisis de costos sean difíciles de estimar en las primeras etapas del estudio del proyecto. Para minimizar los errores que se podrían presentar en la estimación de costos y cronograma, se ha trabajado una metodología que permita estimar las incertidumbres que podrían presentarse al momento de llevar a cabo la fase de la construcción. En este proyecto de investigación se aplicó la metodología probabilística para la estimación de los costos y tiempo para un proyecto múltiple en Ecuador, que consiste en la construcción de dos centrales hidroeléctricas y la construcción de una presa reguladora del agua, para ello se analizaron todas las incertidumbres que se podrían presentar en la etapa de la construcción y, que dichas incertidumbres están asociadas para un proyecto de tipo hidroeléctrico. Al final se exponen los resultados de la aplicación de la metodología probabilística en costos y tiempo para un proyecto múltiple, se analiza y se demuestra por qué un análisis probabilístico da un estimado más preciso y confiable que un estimado determinístico.

INTRODUCCIÓN

El desempeño de una empresa, el resultado económico de un proyecto, el rendimiento de un portafolio de inversiones, la participación del mercado de un producto nuevo o el rendimiento de un pozo petrolero, entre otras, son variables típicamente no determinísticas; es decir, no es posible conocer previamente con certeza su resultado al final del periodo que se esté analizando. Decisiones relacionadas con los casos que se acaban de mencionar suponen riesgo, pues la consecuencia de este tipo de decisiones depende, en menor o mayor medida, del nivel de rigurosidad de análisis que hagamos sobre las variables inciertas.

El hecho de que una variable tenga un comportamiento aleatorio (no determinístico) no significa que no la podamos analizar, conocer y modelar. Justamente de eso se han ocupado con éxito la teoría de la probabilidad y estadística.

Hoy, gracias a los desarrollos teóricos y prácticos de la probabilidad, la estadística y la simulación, es posible desarrollar modelos probabilísticos que representan de manera apropiada y confiable los problemas de decisión que comportan riesgo. Entre los procedimientos metodológicos de análisis de riesgo que han desarrollado una vasta literatura, tenemos: la volatilidad del mercado financiero, el desarrollo de un nuevo producto, la infraestructura expuesta a desastres naturales, la vulnerabilidad social, las

decisiones de inversión en proyectos de infraestructura, etc., siendo éste último el tema a ser analizado en la presente investigación.

Las decisiones de inversión en proyectos de inversión en infraestructura se realizan en un entorno cambiante e incierto, lo que hace que la programación de ejecución y análisis de costos sean difíciles de estimar en las primeras etapas del estudio. Según reporte del Banco Mundial, señala que los proyectos de centrales hidroeléctricas han reportado sobrecostos hasta de 560% y un retraso en su ejecución en promedio hasta de 61%, siendo los factores de riesgo más comunes del tipo geológico e hidrológico.

Tradicionalmente, los costos y la programación de ejecución de un proyecto de infraestructura son estimados de manera puntual, es decir las estimaciones basadas en valores promedios, además se considera como contingencia un valor porcentual de la estimación final del costo de inversión, siendo de manera arbitraria o inapropiada para un tipo de proyecto específico. Por ello, se hace necesario usar una metodología probabilística, la cual es una técnica de evaluación que incorpora la incertidumbre e imprevistos del estimado de costos y tiempo de un proyecto.

La metodología probabilística permite determinar los rangos de variación de los estimados de costos y tiempo de un proyecto, estimar con mayor exactitud los costos por concepto de contingencia y aprovisionamiento, y también permite tener las bases

para aplicar un plan de acción a los principales riesgos que podrían perjudicar la rentabilidad y/o sostenibilidad del proyecto.

Por lo tanto, con este proyecto de investigación se propone dar a conocer la teoría de las probabilidades, su metodología y conceptos más importantes, sus ventajas y sus modelos de valoración que utiliza, para poder aplicarlos a los estimados de costos y tiempo de diversos proyectos de infraestructura.

En el capítulo 1, se describe de manera concisa y precisa, la revisión de la literatura del tema en mención, metodología probabilística en, abarcando sus conceptos en costos y tiempo, su importancia en los proyectos de infraestructura y sus métodos de evaluación. Seguidamente en el capítulo 2 se ilustra la metodología para llevar a cabo la experimentación del problema. Posteriormente se detallan los experimentos y resultados en el capítulo 3. Finalmente en los capítulos 4 y 5 se discuten los resultados, conclusiones y recomendaciones que surgen al culminar la investigación.

A. PROBLEMA A INVESTIGAR

Los problemas que motivaron la elaboración de esta investigación son los concurrentes escenarios de sobrecostos y atrasos que se presentan, por lo general, en la mayoría de proyectos al momento de ser ejecutados.

Un estudio de Bent Flyvbjerg revisó 258 proyectos de infraestructura de transporte en un periodo de 70 años (1927-1998), en 20 países y 5 continentes. Los resultados más relevantes al final de la revisión fueron que: el 86% de los proyectos el costo final quedó por arriba de el costo estimado y que el aumento de los costos es proporcional a la duración de la fase de implementación, mientras más demoraba la implementación era equivalente a mayores costos. Entre las principales causas encontraron que muchos de los proyectos analizados eran completamente nuevos o que incorporaban nuevas tecnologías o elementos de carácter subterráneo, en otros casos carecían de tener un estudio profundo sobre los riesgos. Además, al analizar el estudio de Bent Flyvbjerg por tipo de construcción se encontró que los que tienen mayor riesgo son las construcciones que tienen muchos elementos subterráneos o nuevas tecnologías (ver cuadro N°1).

Cuadro N° 1

Riesgo por tipo de construcción

Tipo de construcción	Número de proyectos	Aumento en costos (*)	Desviación estándar
Ferrocarril	58	44,7%	38,4%
Túneles y puentes	33	33,8%	62,4%
Carreteras	167	20,4%	29,9%
Total	258	27,6%	38,7%

(*) Aumento de costos con respecto al estimado utilizado al momento de decidir sobre la ejecución del proyecto.

Casos específicos de grandes proyectos que han sido perjudicados por problemas de sobrecostos y atrasos tenemos: el proyecto Eurotúnel, que es el túnel de 39 km que cruza el canal de La Mancha, uniendo Francia con Inglaterra, el costo final fue 2 veces el estimado (US\$7 a 15 mil millones) y la construcción duró 7 años (1988-1994); el proyecto metropolitano, que es el sistema integrado de transporte que conecta 16 distritos de Lima desde Comas a Chorrillos, el costo final fue más de dos veces el estimado (S/. 400 a 1.000 millones) y la construcción duró 8 años (2003-2010).

A pesar de que la fase final del proyecto ha pasado por estudio más avanzados, es común encontrar que la brecha de los costos de inversión en la fase de estudio del proyecto es bastante amplia con respecto a los costos de inversión en el momento de

la ejecución del proyecto, en otras palabras Independientemente de cuánto se acerca un proyecto a diseños más definitivos, las estimaciones de costos son siempre sólo estimaciones.

Por lo tanto, todos los proyectos siempre en mayor o menor medida tendrán un nivel de incertidumbre asociado a los objetivos trazados. La literatura sugiere que una manera de dar cuenta de esta incertidumbre es el uso de rangos en la expresión de la estimación del costo del proyecto. Estimación de un único punto (un número) el costo puede proporcionar una falsa de sensación de precisión y crear confusión entre los interesados cuando cambia el número. Puede haber una tensión inherente entre un proceso de estimación de costos más precisa que toma más tiempo y recursos y que se comunica a la estimación de costos en rangos, a un presupuesto de estimación rápida, siendo en este caso el costo sólo un número.

Este es un primer trabajo en esta línea, que pretende establecer una metodología de procedimientos útil para la posterior valoración sistemática de la herramienta y proponer las modificaciones necesarias.

B. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo General

- Diseñar y aplicar una nueva metodología que permita incorporar las incertidumbres no detectadas en las estimaciones de los costos y cronogramas, que basada en el análisis de riesgo permite ganar certidumbre en la estimación de las contingencias o imprevistos por sobrecosto y atrasos que se podrían presentar en la etapa de construcción para un proyecto hidroeléctrico.

Objetivos Específicos

- Desarrollar una nueva metodología basada en el análisis de riesgo, para estimar las contingencias por sobrecosto y atraso para un proyecto hidroeléctrico.
- Identificar, analizar y cuantificar la contingencia por sobrecosto que podrían presentarse durante la etapa de construcción para un proyecto hidroeléctrico.
- Identificar, analizar y cuantificar la contingencia por atraso que podrían presentarse durante la etapa de construcción para un proyecto hidroeléctrico.

C. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

Esta tesis plantea como hipótesis, la que se describe a continuación:

- La aplicación de una nueva metodología, con base en el análisis de riesgo, permite ganar mayor certidumbre sobre la estimación de los costos de proyectos de mayor complejidad, al permitir identificar de manera más adecuada las contingencias en costos y tiempo para un proyecto hidroeléctrico.

D. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Los proyectos de inversión en infraestructura, en la mayoría de los casos, han tenido problemas relacionados a los incrementos de los montos de inversión en la fase ejecución con respecto a lo planificado, además de presentarse atrasos en diferentes actividades programadas. Es por esa razón, que resulta relevante pretender estimar, mediante una metodología probabilística, los costos por concepto de contingencia y eventos de riesgo que se presentan de manera imprevista en el ciclo de un proyecto de infraestructura.

E. METODOLOGÍA DE LA TESIS

La presente investigación pretende estimar, mediante una metodología probabilística, los costos por concepto de contingencia y eventos de riesgo que se presentan de manera imprevista en el ciclo de un proyecto hidroeléctrico.

El procedimiento metodológico consiste en introducir la incertidumbre en el costo de inversión del proyecto, cuya estimación se llevará a cabo mediante la utilización de base de datos históricos y/u opinión de expertos en centrales hidroeléctricas.

La primera fase consiste en utilizar base de datos histórica y realizar talleres de análisis de riesgo con los especialistas claves, con la finalidad de obtener la siguiente información: identificación de los principales factores de riesgo, rangos de las principales partidas del costo (mínimo, pesimista, medio, optimista y máximo), asimetría inherente esperada en el rango de resultados, nivel de certeza alrededor de la estimación inicial.

Como segunda fase se definirán el nivel de correlación o grado de dependencia entre las partidas de costos, la distribución de probabilidad de cada partida y la cantidad de iteraciones de la simulación.

Finalmente, se aplica el modelo de simulación de Monte Carlo, donde se procesan múltiples iteraciones en las que cada parte de obra toma distintos valores posibles en concordancia con su correspondiente función de distribución probabilística, dando como resultado tantos costos de inversión como iteraciones se realizaron y con cuyos valores se generó una función de distribución continua y su curva de probabilidad de ocurrencia acumulada (probabilidad de no excedencia) para el costo de inversión del proyecto hidroeléctrico.

El modelo de simulación utilizará software como: @Riskfor Project 5.7 y @RiskforExcell 5.7.

CAPITULO I: MARCO TEÓRICO

A. CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE COSTOS

1. Concepto de costo de capital

Para BHP Billiton, la estimación del costo de capital para un proyecto de infraestructura es un pronóstico del costo para un alcance definido de la obra y alcance definido de los servicios y se requiere en cada fase durante el desarrollo de un proyecto.

La calidad y precisión de una estimación depende del tiempo disponible para preparar la estimación, el nivel de definición del proyecto y la cantidad de datos históricos disponibles, donde estos factores tendrán relación directa con la calidad de estimación preparada y precisión de dicho estimado.

La precisión de la estimación se define como "la cercanía al costo real", excluyendo los cambios de alcance y los desarrollos u ocurrencias extraordinarias. Comúnmente se

expresa como (+%) y (-%), lo cual significa que los costos reales finales estarán dentro de los costos estimados más (+%) y menos (-%). La experiencia indica que el porcentaje descendente (-%) comúnmente es menor que el ascendente (+%).

En la medida que la definición del alcance, ingeniería y planificación de la ejecución del proyecto avance, mejora la precisión de la estimación. Para AACE, las variables más significativas que afectan la precisión y confiabilidad de la estimación son las que se detallan:

- nivel de definición del alcance;
- porcentaje de ingeniería completo;
- plan de ejecución del proyecto, su existencia y solidez;
- conocimiento de las condiciones del sitio;
- proceso de revisión de la estimación;
- tiempo para preparar la estimación; y
- disponibilidad de los estimadores profesionales para preparar la estimación y evaluar el impacto de las variables anteriores para determinar la clasificación de la estimación y el nivel de precisión alcanzado para una estimación dada.

Para BHP Billiton y AACE, el nivel de precisión de las estimaciones aumenta conforme avanza el nivel de estudio de ingeniería, definiendo BHP Billiton cuatro fases o clases del nivel de avance del estudio:

Clase 4–Estimación del factor de capacidad y equipos, fase de identificación o fase de estudio a nivel de prefactibilidad.

El nivel de definición del proyecto es aproximadamente 1-5% del avance de ingeniería total y los métodos de estimación que usan datos históricos de proyectos similares y factores por tamaño, capacidad y escalación.

Clase 3- Estimación semidetallada, fase de selección o fase de estudio a nivel de factibilidad.

El nivel de definición del proyecto es aproximadamente 10-20% del avance de ingeniería total.

Clase 2 - Estimación detallada, fase de definición o fase de estudio a nivel de detallado.

El nivel de definición del proyecto es aproximadamente 20-40% del avance de ingeniería total. Se establecen las identificaciones de diseño básicas y las estimaciones

de cantidad en detalle son sustentados por la ingeniería de detalle. Los métodos de estimación involucran el desarrollo de tarifas de unidades de detalle específicas del proyecto para cada línea de la estimación.

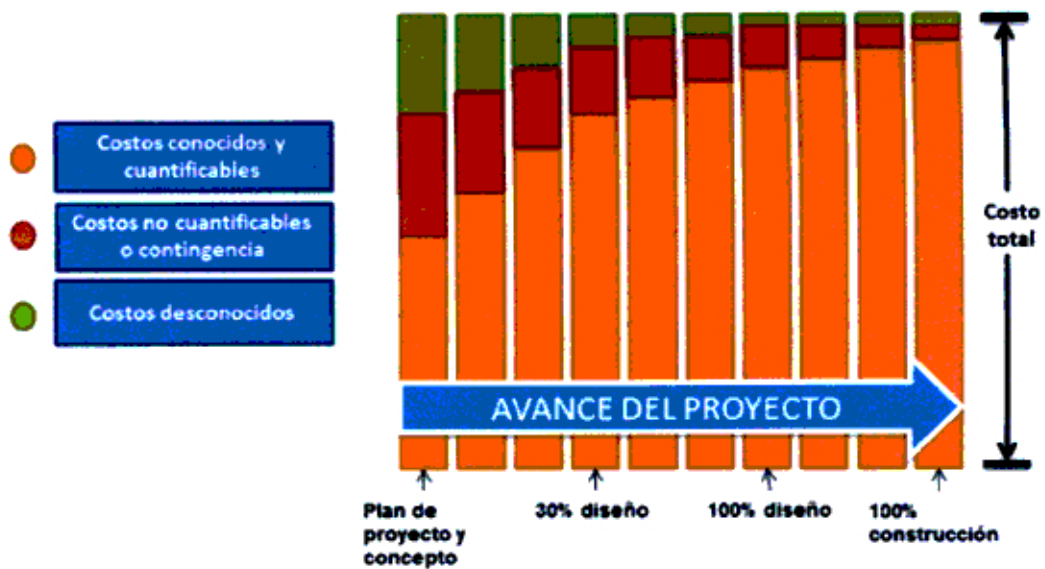
Clase 1 - Estimación definitiva, fase de ejecución o fase de estudio de ingeniería de expediente técnico.

El nivel de definición del proyecto es aproximadamente **60% a más** que el avance de ingeniería general. Los métodos de estimación involucran el uso de cantidades de diseño reales, con frecuencia de planos de construcción aprobados, uso de tarifas propuestas, precios en firme del suministro de equipos y precios en firme o presupuestario para el suministro de materiales a granel y desarrollo de las tarifas de la unidad de detalle específica del proyecto para el resto de los conceptos de cada línea de la estimación.

De lo anteriormente explicado, a continuación se muestra la figura N° A.1, donde se aprecia que conforme avanza el nivel de ingeniería de un proyecto se va reduciendo los costos por concepto de contingencia.

Figura N° A.1

Variación en el costo del proyecto según su avance del proyecto



A medida que el diseño del programa avanza en el tiempo, la porción cuantificable de los costos aumenta y la contingencia disminuye.

Para AACE, el nivel de contingencia de las estimaciones disminuye conforme avanza el nivel de estudio, tal como se aprecia en el cuadro N°A.1.

Cuadro N° A.1

Porcentaje de contingencia según el nivel del proyecto

Clasificación de estimación	Rango esperado de contingencia como % del costo del proyecto
Identificación (Concepto o perfil)	25-35%
Selección (Prefactibilidad)	15-25%
Definición (Factibilidad)	10-15%
Definitivo (Ejecución)	5-10%

Habiendo desarrollado los niveles de precisión del costo de capital de un proyecto, se procedió a desarrollar los componentes del costo de capital (CAPEX) según BHP Billiton, tal como se detalla:

a).- **Estimado directo de costos**, es considerado como el mejor modelo determinista del estimado de costo, siendo su composición la siguiente:

Estimado directo de costos = Estimado neto de costo + Provisión de escalamiento + Provisión del evento (contingencia del cronograma)

b).- Estimado de costos total, tiene la siguiente composición:

Estimado de costos total = Estimado directo de costos + Contingencia

c).- Estimado de costos de capital (CAPEX), tiene la siguiente composición:

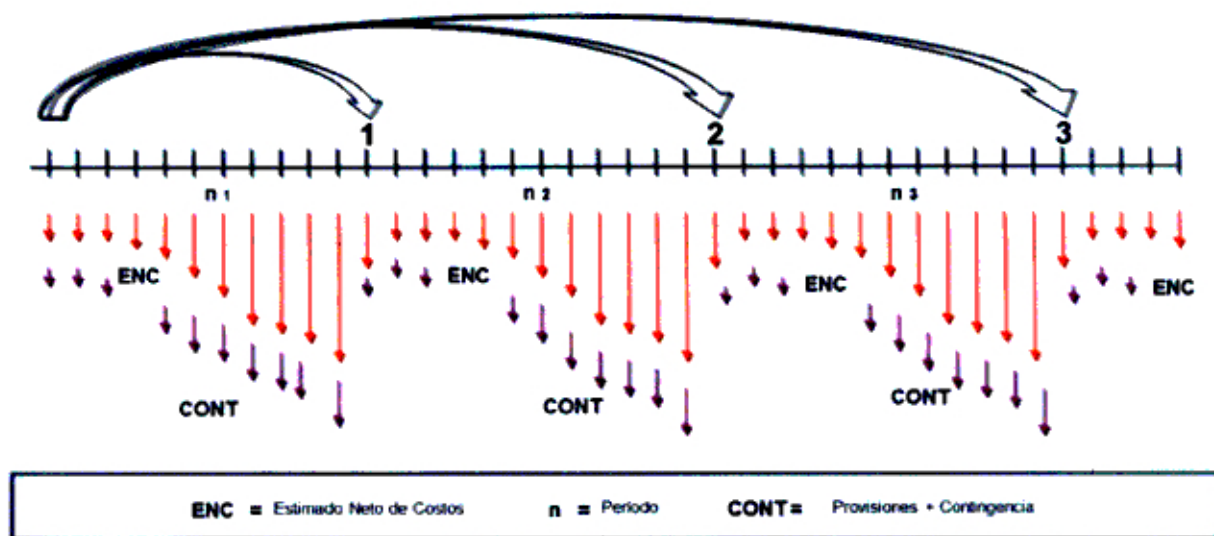
Estimado de costos de capital (CAPEX) = Estimado de costos total + Costos indirectos

2. Concepto de provisión de escalamiento

Para AACE, define la provisión de escalamiento como una reserva en la estimación de costos básicos para cubrir el aumento proyectado en los costos de los insumos para el proyecto tales como mano de obra de ingeniería, equipos, materiales a granel, mano de obra de construcción, equipo de construcción y subcontratos, etc. desde un punto fijo en el tiempo (es decir, la fecha base de estimación) hasta la culminación de un proyecto.

Es importante señalar que no se debe confundir con reajustes de inflación, en la figura N° A.2 se observa el incremento o escalamiento de costos.

Figura N° A.2 Escalamiento de costos durante el horizonte de ejecución del proyecto



3. Concepto de provisión de atraso del cronograma

Para AACE, define la provisión de atraso del cronograma como una reserva en la estimación de costos básicos para cubrir los atrasos del cronograma de un proyecto, es decir la contingencia del cronograma es producto de la diferencia entre la fecha base de culminación del proyecto del plan (media determinística) y la fecha meta de culminación del proyecto del plan (media o prevista).

4. Concepto de contingencia

En términos simples, la contingencia es una reserva monetaria que se añade a la estimación de costos básicos para cubrir el riesgo y la incertidumbre de la estimación.

Las Asociación para el Desarrollo de la Ingeniería de Costos (AAACE) define la contingencia como "una reserva específica para los elementos no previsible de los costos dentro del alcance definido del proyecto; la cual resulta importante, en particular, cuando se ha demostrado por experiencia previa en relación con estimación y costos reales que es probable que ocurran eventos no previsible que incrementen los costos".

Esto se puede definir como una provisión para cubrir conceptos de imprevistos (lo desconocido), que tendrá que ser realizado en lo que incurrirá dentro del alcance de la obra definido de la estimación, pero que no se puede prever o describir explícitamente al momento de la preparación de la estimación debido a la falta de información completa, precisa y detallada. Por ejemplo, el impacto de las condiciones latentes no detectadas, riesgo de insolvencia del contratista, riesgo de tecnología, riesgo del diseño de ingeniería, riesgo de especificación, riesgo de estimación, riesgo de programación, costo de rehacer el trabajo, métodos de construcción, patrones climáticos divergentes/ fuera de estación, el efecto de relaciones adversas, etc.

BHP Billiton recomienda que la evaluación de la contingencia generalmente se realice después de la finalización de los costos directos e indirectos, es decir, en las últimas etapas del desarrollo de la estimación, con frecuencia en combinación con el análisis de riesgos del proyecto.

Para BHP Billiton, recomienda dos enfoques para calcular la contingencia, entre ellos:

- el enfoque determinístico; y
- el enfoque probabilístico.

Donde la decisión de que enfoque adoptar, dependerá principalmente del tamaño del proyecto con respecto al costo de capital (CAPEX), entonces BHP Billiton recomienda seguir el siguiente criterio para decidir el enfoque a utilizar para estimar la contingencia:

- Para proyectos con un rango de costo de capital - CAPEX > US\$ 50 millones <= US\$ 100 millones, recomienda utilizar el enfoque probabilístico.
- Para proyectos con un rango de costo de capital - CAPEX > US\$ 20 millones <= US\$ 50 millones, recomienda utilizar el enfoque probabilístico, si en el caso de que el costo de capital –CAPEX es un determinante clave de la evaluación financiera del valor actual neto (VAN) del proyecto.

- Para todos los demás proyecto recomienda utilizar el enfoque determinístico.

A continuación se explicará en qué consisten los dos enfoques para estimar la contingencia.

4.1 Enfoque determinístico

Para BHP Billiton, el enfoque determinístico lo categoriza como el enfoque tradicional para la estimación de la contingencia, siendo esencialmente tres métodos para calcular la contingencia:

4.1.1 Método de rubro de estimación

La contingencia se calcula considerando la naturaleza de cada paquete o grupo de ítems de líneas mayores en la Estructura de División de Trabajo (WBS). Se calcula entendiendo el grado de riesgo e incertidumbre de la tecnología, desarrollo del diseño y la base del estimado de cada ítem del alcance, evaluado contra un rango de factores de contingencia basados en la experiencia de un amplio rango de proyectos.

4.1.2 Método a nivel de proyecto

La contingencia se calcula considerando los riesgos e incertidumbre que pueden influenciar el resultado de costos esperado a nivel de proyecto, no contra ítems de línea de WBS individuales. Esto puede ser para ítems de línea individuales o para riesgos de todo el proyecto que no pueden atribuirse a ningún paquete.

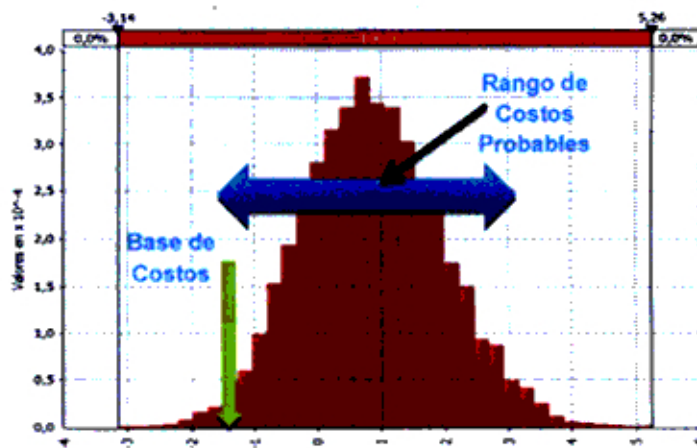
4.1.3 Método mixto

La contingencia se calcula usando tanto el método de ítems de línea de estimado como el método de nivel de proyecto. Algunos críticos sostienen que este enfoque puede llevar a "doble seguridad", pero no es así. La contingencia de ítem de línea de estimado cubre riesgos e incertidumbre que pueden determinarse para un paquete específico de obra, y la contingencia de nivel de proyecto cubre los riesgos e incertidumbre de todo el proyecto.

4.2 Enfoque probabilístico

Para BHP Billiton, el enfoque probabilístico, conocido también como análisis probabilístico de rangos, implica el uso de técnicas cuantitativas como la simulación de Monte Carlo para traducir el riesgo evaluado y la incertidumbre en contingencia.

Gráfico N° 4.2-1 Simulación de Monte Carlo de los Costos de Inversión



Más adelante se explicará con más detalle todo el proceso del análisis probabilístico del CAPEX, sin embargo a modo de resumen observamos el procedimiento de BHP Billiton:

4.2.2 Alcance total del proyecto

- Efectuar un análisis de rango de CAPEX del estimado base total de costos.
- Los talleres de trabajo de análisis de rango para el alcance total de proyecto involucrarán solamente a miembros del equipo del proyecto y otros que sean necesarios.
- Al evaluar los rangos, el equipo de proyecto puede tomar una visión distinta a la del contratista de EPCM, con respecto a los riesgos e incertidumbres relativos al proyecto.

AACE recomienda encarecidamente realizar en esta etapa una verificación de la sensatez, en vez de aceptar automáticamente el resultado de los rangos probabilístico de CAPEX como "doctrina". Si el resultado no parece correcto, vuelva a revisar los supuestos y otras entradas y repita el modelo. Se puede adoptar el enfoque determinístico tradicional para validar la contingencia derivada del análisis de rangos probabilístico del CAPEX.

B. CONCEPTO DE PROBABILIDADES Y SIMULACIÓN

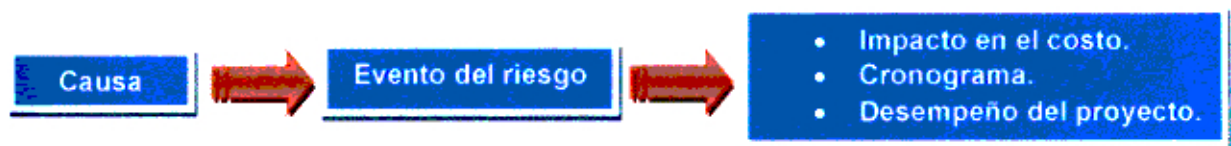
1. Concepto de riesgo y análisis de riesgo

El concepto de riesgo está asociado cuando no se tiene certeza sobre los valores que tomarán los flujos netos futuros de una inversión, nos encontramos frente a una situación de riesgo o incertidumbre. Para Beltrán y Cueva, el riesgo se presenta cuando una variable puede tomar distintos valores, pero se dispone de información suficiente para conocer las probabilidades asociadas a cada uno de estos posibles valores. En general, nos encontramos ante una situación de riesgo si se conoce la distribución de probabilidad de un evento. Un ejemplo clásico podría ser el lanzamiento de una moneda y apostar cara o sello con la esperanza de ganar: si resulta cara se gana S/. 10 y si resulta sello se pierden S/. 5.

Para el PMBOK, la definición de riesgos lo enfoca desde una visión de proyectos, formulando una definición integrada, donde menciona que: "el riesgo es un evento o condición incierta que, si sucede, tiene un efecto en por lo menos uno de los objetivos del proyecto". Considerando que los objetivos del proyecto pueden incluir al alcance, el cronograma, el costo y la calidad.

Los riesgos pueden tener una o más causas y, si sucede, uno o más impactos, tal como se observa en la siguiente figura N°1.1.

Figura N° 1.1 Consecuencias de un evento de riesgo



Fuente: PMBOK, 2004.

Elaboración: Propia

Los riesgos conocidos con aquellos que han sido identificados y analizados, lo que hace posible planificar respuesta para tales riesgos, sin embargo los riesgos que no han sido identificados y analizados podrían ocasionar uno o más impactos en los objetivos del proyecto.

Para L. Zaldívar, los beneficios que uno puede obtener al realizar un análisis de riesgo son los que se mencionan a continuación:

- **Capacidad de analizar una situación cuando se tiene información limitada.**
- **Establecer estrategia de riesgos que garantice la obtención del objetivo estratégico.**
- **Balance de logros del objetivo estratégico y los riesgos sujetos a restricciones o limitantes.**
- **Elimina el costo de errores en decisiones dado que se hacen análisis antes de implementarlas.**
- **Existe tecnología de punta como software de riesgos que facilita este proceso.**
- **Elimina las fallas de emplear promedios.**
- **Técnica estimula el proceso de cambio.**
- **Riesgos no necesariamente se modelan en condiciones normales.**

Además, el mismo autor menciona una serie de limitaciones que un analista puede encontrar al realizar análisis de riesgos, entre ellos:

- **Modelación de riesgos e interacciones.**
- **Construcción de modelos.**
- **Requiere conocimiento en el campo a aplicar.**

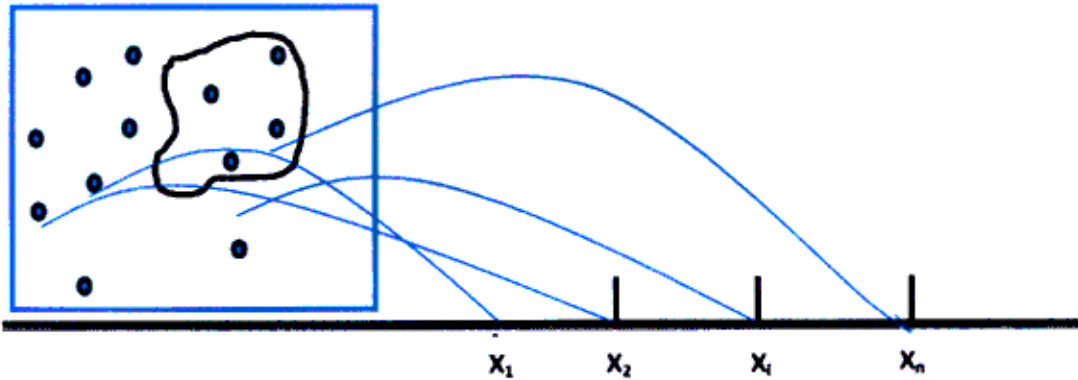
2. Concepto de variable aleatoria

Para Castillo, una variable aleatoria es una función que transforma los resultados de un experimento aleatorio en un número real, mencionando algunos ejemplos que se dan en el mundo de los negocios y la ingeniería:

- El precio del petróleo al final del año en curso.
- El número de vehículos que serán multados por alguna infracción de tránsito el próximo año en una ciudad determinada.
- El número de clientes en mora en créditos de vivienda al final de año en curso para determinada entidad financiera.
- El puntaje promedio que obtendrán los estudiantes que presenten el GMAT el próximo año.
- El número de vuelos comerciales en la ruta Nueva York - Paris que tendrán un retraso superior a 15 minutos con respecto al itinerario original.
- El precio promedio de la acción para el año en curso de un banco que cotiza en la Bolsa de Nueva York.

Para Castillo, una variable aleatoria (VA) sobre un espacio muestral, en términos formales, es una función X de S en los números reales que asocia a cada elemento S del espacio muestral un número real $X(s)$, tal como se aprecia en la figura N°B.2.

Figura N° B.2 Definición de una variable aleatoria



3. Concepto de distribución de probabilidad

Para Moya, la distribución de probabilidad de una variable aleatoria es una función que asigna a cada suceso definido sobre la variable aleatoria la probabilidad de que dicho suceso ocurra. La distribución de probabilidad está definida sobre el conjunto de todos los eventos rango de valores de la variable aleatoria.

Según Palisade, la función de distribución de probabilidad se utiliza para incorporar el factor de la incertidumbre – en forma de distribución de probabilidad. Dependiendo del rango que puede tomar la variable aleatoria, se presentan dos tipos de distribución de probabilidad:

- a.- distribución de probabilidad continua; y
- b.- distribución de probabilidad discreta.

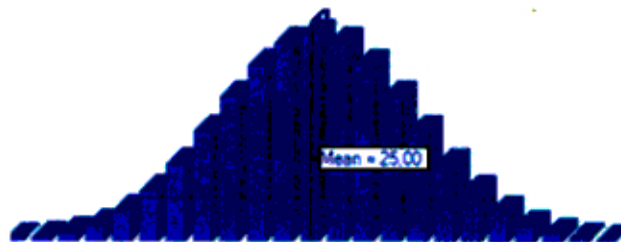
a.- Distribución de probabilidad discreta

Para Moya, si el rango de la variable aleatoria X , es un conjunto finito o infinito numerable, se llama **variable aleatoria discreta**. En este caso:

Entonces, a partir de la definición de una variable aleatoria discreta, Moya define la distribución de probabilidad de X , a partir del conjunto de pares:

La gráfica N° 3.1 representa una función discreta de probabilidad.

Gráfico N° 3.1 Distribución discreta de probabilidad



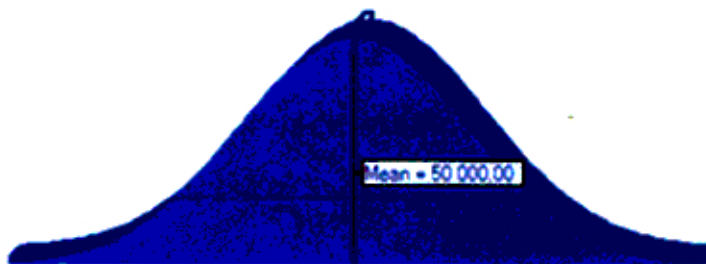
b.- Distribución de probabilidad continua

Para Moya, si el rango R_x , de la variable aleatoria X es un intervalo sobre la recta de los números reales, se llama **variable aleatoria continua**.

Sea X una variable aleatoria continua con función de densidad $f(x)$. Moya, define la función de distribución de la variable aleatoria X , denotado por $F(x)$:

La gráfica N° 3.2 representa una función continua de probabilidad.

Gráfico N° 3.2 Distribución continua de probabilidad



Por otra parte, las distribuciones de probabilidad de mayor aplicación que se dan en el análisis de riesgo y decisiones se pueden apreciar en el anexo N° 1.

4. Concepto de distribución de probabilidad subjetiva

Según Moya, el enfoque subjetivo de la probabilidad es pues adecuado en casos en que hay sólo una oportunidad de ocurrencia del evento y ocurrirá o no ocurrirá esa sola vez. Dado un experimento determinado, la probabilidad de un evento A es el grado de la creencia asignada a la ocurrencia de este evento por un individuo particular, basado en toda la evidencia a su disposición, con las siguientes exigencias:

- (1) $P(A) = 0$, representa la certeza que el evento A, no ocurrirá.
- (2) $P(A) = 1$, representa la certeza que el evento A, si ocurrirá.
- (3) $0 < P(A) < 1$, representa el grado de certeza que el evento A, ocurrirá.

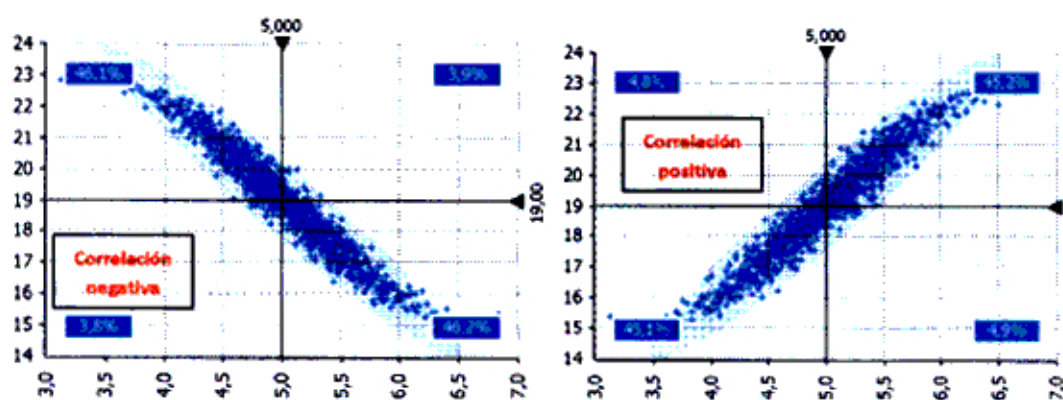
Además, añade que la probabilidad subjetiva de ocurrencia de un evento A, es un número asignado por un individuo de acuerdo a la evidencia que dispone, otra persona con otras evidencias podría asignar a la ocurrencia del mismo evento A otra probabilidad diferente (un número diferente al anterior).

5. Concepto de correlación.

Palisade, define la correlación como la medición cuantitativa de la fortaleza de la relación entre dos variables, siendo la correlación más común la lineal la cual mide la correlación en línea recta entre dos variables.

Para Webster Allen, define como la fuerza de esa relación como el coeficiente de correlación, algunas veces también llamado como el coeficiente de correlación producto-momento de Pearson, representado por una r , donde el coeficiente correlación puede asumir cualquier valor entre -1 y $+1$. Para el caso de un valor de $r=-1$ indica una relación negativa perfecta entre dos variables, en caso de que el valor $r=+1$ indica una relación positiva perfecta, tal como se aprecia en el gráfico N° 5.1.

Gráfico N° 5.1 Coeficientes de correlación



6. Conceptos de muestreo de Monte Carlo.

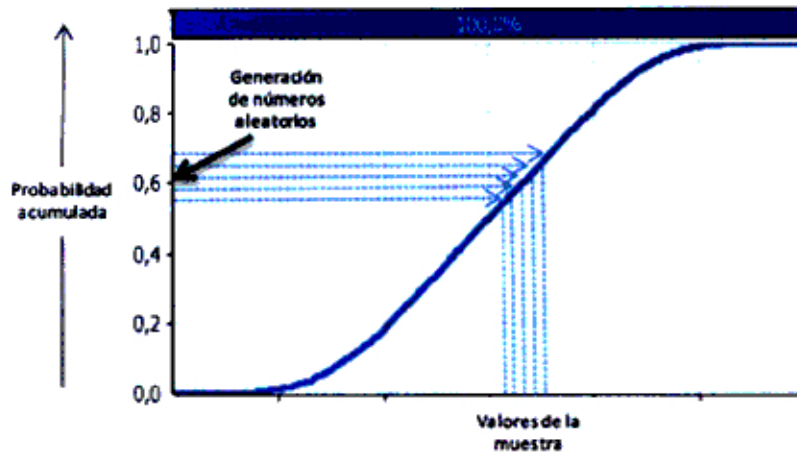
El método de Monte Carlo es una técnica tradicional que utiliza números aleatorios o pseudo-aleatorios para recolectar las muestras de una distribución de probabilidad. Según Palisade, el método se llamó así en referencia al casino Montecarlo (Principado de Mónaco) por ser "la capital del juego de azar", al ser la ruleta un generador simple de números aleatorios.

El término de Monte Carlo se empezó a utilizar durante la segunda Guerra Mundial como código para la simulación de problemas asociados con el desarrollo de la bomba atómica, actualmente la técnica de Monte Carlo se aplican a una amplia variedad de problemas complejos con un factor aleatorio.

Para Palisade, la técnica de muestreo del tipo Monte Carlo es totalmente aleatoria; o sea, una muestra puede estar en cualquier punto del rango de la distribución de entrada. Pero las muestras, por supuesto, tienen más probabilidad de aparecer en las zonas de distribución que tienen una mayor probabilidad.

El problema identificado con el muestreo Monte Carlo es cuando una distribución contiene resultados de baja probabilidad que podrían tener un impacto importante en los resultados, un número reducido de iteraciones podrían no recolectar suficientes muestras de estos resultados como para representar con exactitud su probabilidad. Este problema ha impulsado el desarrollo de técnicas de muestreo estratificadas, como la denominada Latino Hipercúbico.

Figura N° 6.1 Muestreo Monte Carlo



7. Conceptos de muestreo Latino Hipercúbico.

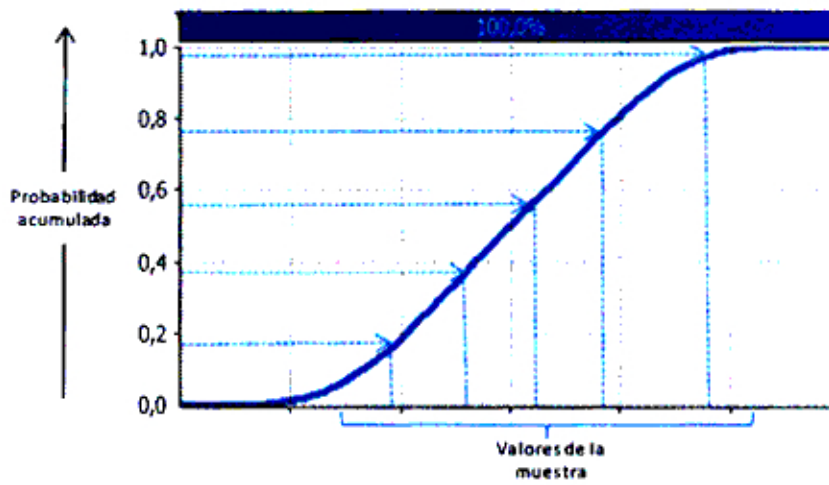
El método Latino Hipercúbico es un concepto nuevo en el desarrollo de métodos de recolección de muestras y está diseñado para recrear con precisión distribuciones de entrada tomando muestras para un número más reducido de iteraciones en comparación con las que requiere el método de Monte Carlo.

Para Palisade, la clave del muestreo del tipo Latino Hipercúbico es la estratificación de las distribuciones de probabilidad de entrada, donde la estratificación divide la curva acumulativa en intervalos iguales de la escala de probabilidad (de 0 a 1,0).

El método Latino Hipercúbico es conocido como "muestreo sin reemplazo". En esta técnica el número de estratificaciones de la distribución acumulativa es igual al número

de iteraciones llevadas a cabo, o en otras palabras, una vez tomada la muestra de una de las estratificaciones, no se vuelve a tomar una muestra de la misma, porque su valor ya está representado en el grupo de muestras

Figura N° 7.1 Muestreo Latino Hipercúbico



CAPITULO II: METODOLOGÍA

II.1 METODOLOGÍA PARA ESTIMAR LA CONTINGENCIA, CONSIDERANDO EL ENFOQUE DEL PMBOK

La metodología que se empleará para estimar la contingencia probabilística en costos y tiempo de un proyecto seguirá el enfoque de la Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK – Cuarta Edición), específicamente el capítulo 11 "Gestión de los Riesgos de los Proyectos".

La estructura de la metodología para estimar la contingencia de un proyecto puede describirse en las siguientes fases (Ver figura N° II.1-1):

- Planteamiento es el proceso de enfocar y realizar las actividades para la estimación de los riesgos en costos y tiempo del proyecto.

- **Identificación** es el proceso de identificar y analizar áreas del proyecto y riesgos críticos para incrementar la probabilidad de alcanzar los objetivos de costo, tiempo y desempeño del proyecto.
- **Análisis Cualitativo** es el proceso de examinar cada área de riesgo identificado para refinar la descripción de cada riesgo, señalar las causas y determinar sus efectos. Incluye la priorización de riesgos basada en probabilidades, severidad de impactos y relación entre riesgos.
- **Análisis Cuantitativo** es el proceso de analizar numéricamente el efecto de todos los riesgos identificados en los objetivos del proyecto, siendo el enfoque cuantitativo útil para la toma de decisiones en presencia de la incertidumbre.
- **Plan de respuesta a los riesgos** es el proceso de desarrollar opciones y determinar las acciones para mejorar las oportunidades y disminuir las amenazas a los objetivos del proyecto, siendo las estrategias para riesgos negativos o amenazas: evitar, transferir, mitigar o aceptar (asignación de reserva de contingencia).

Figura N° II.1-1 Metodología para estimar la contingencia de un proyecto



A. PLANEAMIENTO DE TRABAJO

Para el PMBOK, la metodología del plan de gestión de riesgos consiste en definir los métodos, las herramientas y las fuentes de datos que pueden utilizarse para llevar a cabo la gestión de riesgos en el proyecto.

Para BHP Billiton, el planeamiento de trabajo para los costos de inversión de un proyecto de infraestructura consiste en preparar el presupuesto en grupos de ítems, con el objeto de agrupar los centenares o millares de ítems que podrían presentarse en

los gastos de inversión de capital para posteriormente realizar el análisis de rango del costo de inversión.

Existen 4 métodos para el agrupamiento de costo, a continuación se detalla cada uno de ellos:

Método 1; Agrupe los ítems del costo de inversión por área de trabajo o disciplinas, luego conduzca el análisis de rango en cada área de trabajo, entre algunos ejemplos de áreas de trabajo como movimiento de tierras, instalaciones eléctricas, sondaje y perforación, etc.

Método 2; Agrupe los ítems del costo de inversión por área o instalación importante, luego conduzca el análisis de rango en cada área funcional, entre algunos ejemplos de áreas funcionales son la explotación minera de subterráneo, planta, instalación de procedimiento de carga.

Método 3; Separe los ítems de cantidades más grandes y agrupe los ítems de cantidades más pequeñas, luego conduzca el análisis de rango en cada uno de los ítems de cantidades más grandes y en los grupos de ítems de cantidades más pequeñas.

Para Kenneth, el análisis de riesgo de un proyecto consiste en identificar correctamente los ítems o grupo de costos que puede tener un efecto crítico sobre los resultados del proyecto y en la aplicación de los rangos, considerándose como ítems fundamentales aquellos que pueden cambiar lo suficiente como para tener un resultado significativo en el costo de inversión del proyecto.

Kenneth, ha demostrado que en casi todas las estimaciones de la incertidumbre del proyecto se concreta en un número selecto de elementos importantes – generalmente 20 o menos, siendo que en raras ocasiones puede haber más de 20 ítems críticos o menos de 10.

Kenneth, señala que la magnitud de un ítem de costo no es lo importante, sino lo que importa es el efecto de un cambio en el resultado total, es por ello que es importante que el equipo del proyecto deba saber cuándo un ítem es importante y cuando no lo es. Existe una herramienta que te permite identificar los ítems críticos, mediante estimación de análisis de sensibilidad, tal como se observa en el siguiente cuadro:

Cuadro N° A.2

Porcentaje de variación de las variables costos y beneficios

Bottom Line Critical Variances		
Bottom Line (Cost or Profit)	Conceptual Estimates (AACE Classes 3,4,5)	Detailed Estimated (AACE Classes 1,2)
Cost Δ	$\pm 0,5\%$	$\pm 0,2\%$
Profit Δ	$\pm 5,0\%$	$\pm 2,0\%$

B. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

Para el PMBOK, la identificación de riesgos es el proceso por el cual se determinan los riesgos que pueden afectar al proyecto, siendo importante que en dicho proceso intervengan especialistas multidisciplinarios, entre ellos: director del proyecto, miembros del equipo del proyecto, clientes, interesados y expertos en riesgos.

La identificación es un proceso iterativo debido a que se pueden descubrir nuevos riesgos o puede evolucionar conforme el proyecto avanza a lo largo de su ciclo de vida.

Para Kerzner, algún grado de riesgo siempre existe en los proyectos, la tecnología, logística, producción, y áreas de ingeniería. Así mismo, el autor especifica los tipos de riesgos que se presentan en los proyectos de inversión, entre ellos: costos, financiamiento, cronograma, relaciones contractuales y riesgos políticos.

Para Dale F. Cooper, el proceso de identificación de riesgos debe ser integral, dado que si los riesgos no han sido identificados no podrán ser evaluados, lo cual podría traer como consecuencia su aparición en un momento posterior poniendo en peligro el éxito del proyecto y causar sorpresas desagradables.

Para el PMBOK, la identificación de riesgos consiste en realizar revisiones de los estimados de costos y duraciones de las actividades del proyecto, siendo la finalidad dar a conocer si los estimados de cada actividad tienen los niveles mínimos tolerables de rango.

Para el Dr. Kenneth, la identificación de riesgos tiene como finalidad dar a conocer los riesgos potenciales de cualquier tipo que pudieran afectar significativamente el proyecto, y de esa forma asegurar que dichos riesgos sean considerados en la estimación de rangos.

El PMBOK, recomienda técnicas de recopilación de información para la identificación de riesgos, entre los más importantes:

- **Tormentas de Ideas**, dicha técnica consiste en generar una sesión tradicional y abierta de tormenta de ideas de los riesgos del proyecto, con un grupo multidisciplinario

de expertos, luego los riesgos son identificados y categorizados según su tipo, y sus definiciones son refinadas.

- **Técnica Delphi**, dicha técnica a diferencia de la anterior es que los expertos participan de forma anónima, siendo plasmada las ideas de los expertos en cuestionarios mediante la ayuda de un facilitador, de esta manera se logra tener un consenso de expertos y ayuda a reducir las distorsiones en los datos y evita que cualquier persona ejerza influencias inapropiadas en el resultado.
- **Entrevistas**, dicha técnica consiste en realizar entrevistas a los participantes experimentados del proyecto, a los interesados y a los expertos en la materia pueden ayudar a identificar los riesgos.
- **Análisis causal**, dicha técnica es específica para identificar un problema, determinar las causas subyacentes que lo ocasionan y desarrollar acciones preventivas.

Paralelamente el PMBOK, recomienda el análisis mediante listas de control para la identificación de riesgos, debido a que pueden desarrollarse basándose en la información histórica y el conocimiento acumulado a partir de proyectos similares anteriores y otras fuentes de información.

Para Dale F. Cooper, las técnicas para la identificación de riesgos asociados con los proyectos, los detalla a continuación:

- Brainstorming o lluvia de ideas, consiste en un enfoque interactivo con miembros clave del equipo del proyecto y especialistas, donde el nivel de éxito dependerá de la amplitud de las experiencias y habilidades presentes en el grupo de intercambio de ideas y las habilidades de un facilitador;
- revisión de la experiencia local o extranjero en actividades y proyectos similares, incluyendo análisis de informes de proyectos terminados y auditorías, dicho proceso es una ayuda al proceso de intercambio de ideas debido a que se usará información acerca de los proyectos similares en el pasado, los problemas que se encontraron o se consideraron, y los problemas que se evitaron;
- entrevistas y discusiones de grupos;
- análisis de escenarios;
- entrevistas y cuestionarios; y
- análisis de la estructura del desglose del trabajo.

Un método didáctico para realizar los talleres de riesgos de los proyectos son las técnicas de diagramación de riesgos, que recomienda el PMBOK, entre las técnicas tenemos:

- **Diagramas de causa y efecto**, dicha técnica también llamada como diagrama de Ishikawa o diagramas de espina de pescado y son utilizados para identificar las causas de los riesgos.
- **Diagramas de flujo o de sistemas**, dicha técnica consiste en mostrar cómo se interrelacionan los diferentes elementos de un sistema, y su mecanismo de causalidad.
- **Diagramas de influencia**, dicha técnica consiste en representar gráficamente las situaciones que muestran las influencias causales, la cronología de eventos y otras relaciones entre variables y los resultados, tal como se puede apreciar en la figura B-1 para un equipo.

Figura N° B-1 Diagrama de influencia



C. ANÁLISIS CUALITATIVO DE RIESGOS

Para el PMBOK, el análisis cualitativo de riesgos es un proceso que consiste en priorizar los riesgos, en base a juicio de expertos, para realizar otros análisis o acciones posteriores, evaluando y combinando la probabilidad de ocurrencia y el impacto de dichos riesgos (nivel de riesgo).

El nivel de riesgo es producto de dos factores:

- La probabilidad de que un evento ocurra, y
- La severidad del impacto esperado.

El valor esperado de un riesgo o nivel de riesgo es producto de estos dos factores:

Valor esperado del riesgo = Probabilidad del riesgo x Impacto esperado

A mayor información sobre los riesgos de un proyecto, mayor habilidad de prevenir, reducir, eliminar o transferir riesgos. La empresa involucrada en el proyecto debe iniciar un proceso de administración de riesgos para poder aprender más acerca de ellos.

Para Aon Risk Services, la identificación y clasificación de riesgos depende de cuán crítico llega a ser cada riesgo para los resultados generales del proyecto, siendo los riesgos evaluados en términos de probabilidad de ocurrencia, impacto financiero y tiempo de advertencia, con base a la siguiente clasificación (ver cuadro C.1).

Cuadro N° C.1

Clasificación para la evaluación de riesgos

Evaluación de riesgos en términos de probabilidad de ocurrencia, tiempo de advertencia e impacto financiero.

Puntaje	Probabilidad
1	Extremadamente rara
2	Rara
3	Periódica
4	Recurrente
5	Ocurre frecuentemente

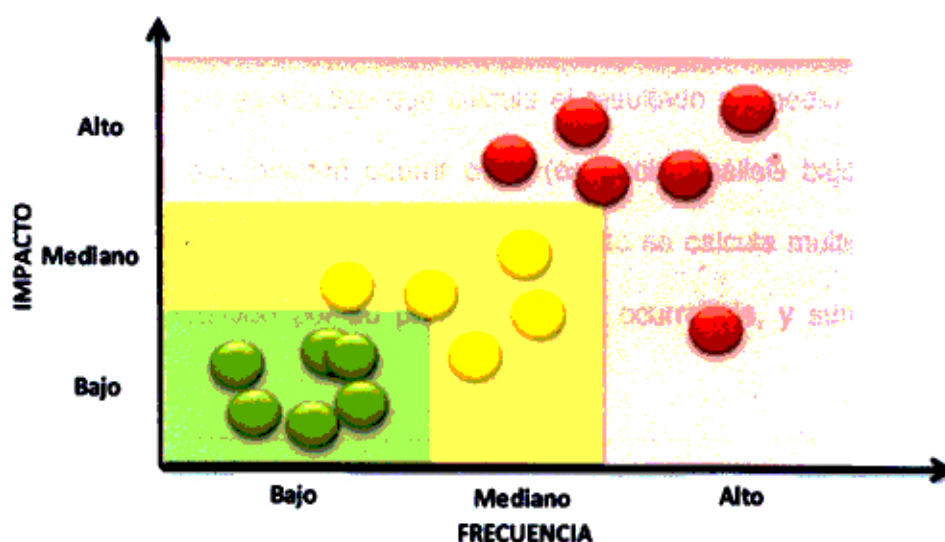
Puntaje	Impacto
1	Menos de \$100 000 (Menos de 1 mes de atraso)
2	\$100 001 - \$600 000 (1a 3 meses de atraso)
3	\$600 001 - \$1 000 000 (4 a 11 meses de atraso)
4	\$1 000 001 - \$2 000 000 (1 a 1.5 años de atraso)
5	Más de \$2 000 000 (Atraso de más de 1.5 años)

Puntaje	Tiempo de advertencia
1	Advertencia a largo plazo (meses o años)
2	Advertencia a corto plazo (días o semanas)
3	Sin advertencia

Para el PMBOK, los riesgos pueden priorizarse para realizar un análisis cuantitativo posterior y elaborar respuestas basadas en su calificación, siendo la evaluación de la importancia de cada riesgo y, por consiguiente, de su prioridad de atención, el PMBOK utiliza una tabla de búsqueda o matriz de probabilidad e impacto, para nuestro ejemplo metodológico trabajamos con un gráfico de doble entrada (ver gráfico N° 5.1). Dicho gráfico especifica las combinaciones de probabilidad e impacto que llevan a calificar los riesgos con una prioridad baja, moderada y alta. El área rojo (con las cifras más altas) representa un riesgo alto, el área verde (con las cifras más bajas) representa un riesgo bajo y el área amarillo (con las cifras intermedias) representa el riesgo moderado.

Gráfico N° C.1

Mapa de riesgos



D. ANÁLISIS CUANTITATIVO DE RIESGOS

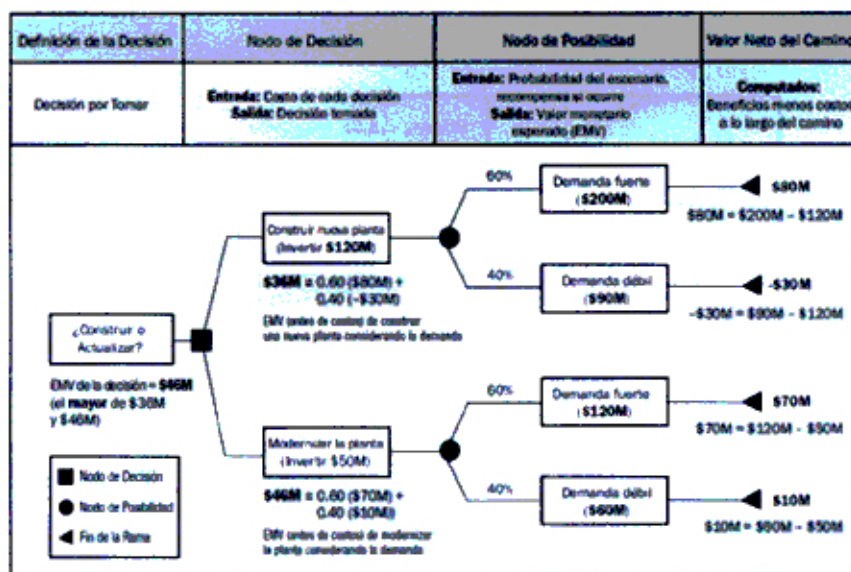
Para el PMBOK, el análisis cuantitativo de riesgos es el proceso que consiste en analizar numéricamente el efecto de los riesgos identificados sobre los objetivos generales del proyecto. Entre las técnicas que recomienda el PMBOK la resumimos a continuación:

- **Análisis de sensibilidad.** Este método evalúa el grado en que la incertidumbre de cada elemento del proyecto afecta el objetivo que está siendo examinado, cuando todos los demás elementos inciertos se mantienen en sus valores de línea base, siendo la representación típica del análisis de sensibilidad el diagrama con forma de tomado.

- **Análisis del valor monetario esperado.** El método de valor monetario esperado (EMV) es un concepto estadístico que calcula el resultado promedio cuando el futuro incluye escenarios que pueden ocurrir o no (es decir, análisis bajo incertidumbre), donde el valor monetario esperado para un proyecto se calcula multiplicando el valor de cada posible resultado por su probabilidad de ocurrencia, y sumando luego los resultados.

Gráfico N° D-1

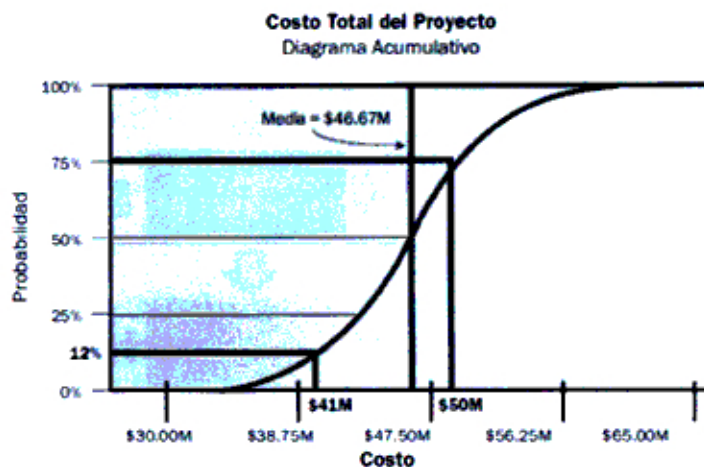
Diagrama de árbol de decisiones



- Modelado y simulación.** Este método de simulaciones iterativas se realizan habitualmente utilizando la técnica de Monte Carlo, donde el modelo del proyecto se calcula muchas veces (mediante iteración) utilizando valores de entrada (por ejemplo, estimaciones de costos o duraciones de las actividades) seleccionados al azar para cada iteración a partir de las distribución de probabilidad de estas variables. A partir de las iteraciones, se calcula una distribución de probabilidad (por ejemplo, el costo total o la fecha de conclusión).

Gráfico N° D-2

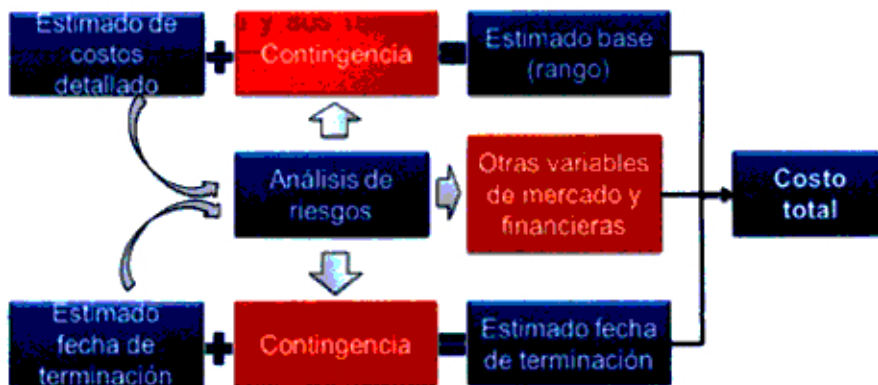
Resultados de la simulación



Para BHP Billiton y Aon Risk Services, la metodología para estimar la contingencia en costos y tiempo de un proyecto de infraestructura, por medios estocásticos, consiste en dar un rango de valores para los costos y duración total de un proyecto. Los resultados estocásticos son mucho más realistas que los estimados de valor único usados comúnmente como en la consecuencia o impactos de los riesgos potenciales (Ver figura N° D-3). Debido a esta característica, los modelos probabilísticos permiten la medición de las variables claves, facilitan la recolección de información acerca del comportamiento de las variables críticas y hacen posible que el dueño del proyecto mida la incertidumbre relacionada al mismo.

Figura N° D-3

Proceso de estimación de la contingencia



Para Aon Risk Services, desarrolló una metodología para generar contingencia basada en riesgos, siendo la idea producir distribuciones de probabilidad para el costo total y tiempo hasta la terminación del proyecto, las cuales incluyeran el estimado base de costos y la duración de los eventos de riesgo y oportunidad, siendo los riesgos por sobrecostos y atrasos los que se detallará a continuación.

D.1 Sobrecostos

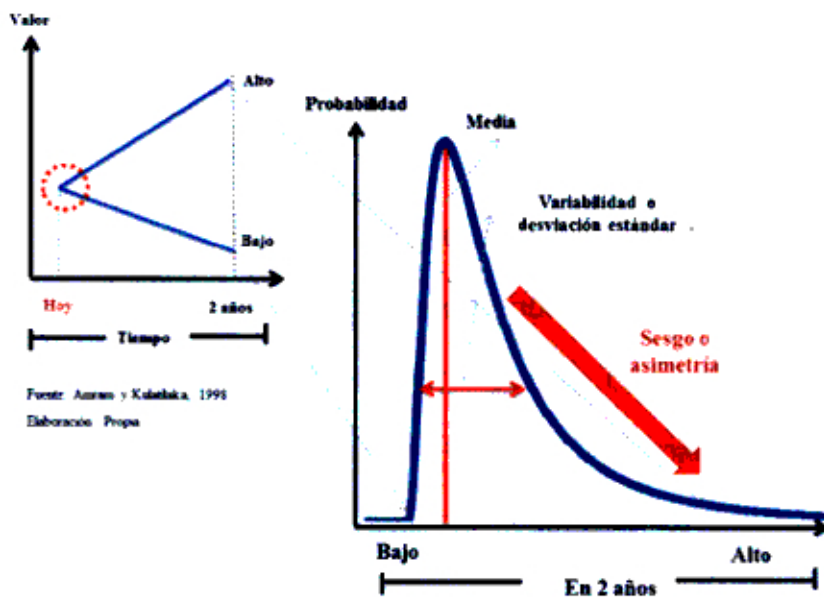
Luego de haber identificación y analizado cualitativamente los riesgos asociados a los costos de inversión del proyecto, el siguiente paso consiste en asignar una distribución de probabilidad para los grupos críticos del costo de inversión de un proyecto, siendo estimado aquellas distribuciones mediante la realización de talleres de rango con un

equipo de especialistas que han participado en la elaboración de la ingeniería del proyecto, incluyendo el propietario y al contratista, donde se considerará su experiencia y conocimiento del proyecto y sus respectivos riesgos, basándose en información de proyectos pasados.

Para Kenneth, cada estimación de los ítems de costos es un número único que es muy probable que varíe en la práctica, siendo importante que el equipo de proyecto examine cada ítem crítico y prediga sus valores extremos considerando todos los riesgos a lo que está expuesto. (Ver figura D.1-1).

Figura N° D.1-1

Variabilidad de los costos o duración en el futuro



La estimación de la contingencia por métodos probabilísticos consiste en estimar una curva de probabilidad del costo de inversión del proyecto, donde dichos valores representarán los percentiles de costos de inversión asociados a una probabilidad de ocurrencia, dicha estimación probabilística se realizará mediante un taller de rango con los especialistas claves del proyecto, para ello consideramos utilizar el procedimiento que propone BHP Billiton, para llevar a cabo con éxito un taller de rango, detallándose a continuación:

D.1.1. Determinación de los valores mínimos, medio y máximos

Para BHP Billiton, el primer paso es determinar los valores extremos (mínimo y máximo), donde se solicitaran a los participantes considerar una situación muy desfavorable, en la cual todos los factores que afectan a la estimación de los costos de inversión van sumamente mal, formulándose de esa manera las siguientes preguntas:

¿Qué tan mal puede ponerse?, ¿esto es remotamente posible?, siendo contestadas dichas interrogantes apoyados por la información que se trabajó en la identificación de riesgos, de esa manera se estimó el valor más alto del costo, siendo el máximo definida como la estimación máxima determinista, el límite más alto absoluto, el valor numérico más alto posible.

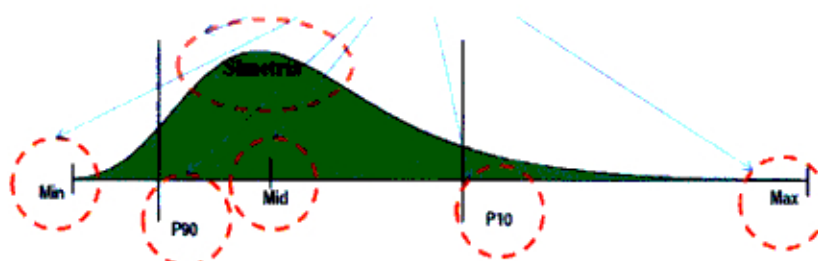
Luego se les solicitará a los participantes considerar una situación muy favorable en la cual todos los factores estén extremadamente bien, formulándose de esa manera las siguientes preguntas:

¿Qué tan bien puede ponerse?, ¿esto es realmente posible?, siendo contestadas dichas interrogantes apoyados por la información que se trabajó en la identificación de riesgos, de esa manera se estimó el valor mínimo del costo, siendo el mínimo definida como la estimación mínima determinista, el límite mínimo absoluto.

Habiendo completado el ejercicio de explorar los límites extremos, se solicitará a los participantes considerar lo que ellos piensan que es la mejor estimación del costo de inversión después de las consideraciones vistas arriba y el ¿por qué?, obteniéndose de esa forma los siguientes valores:

Figura N° D.1.1-1

Estimación de los valores mínimos, percentil 90, percentil 50, percentil 10, máximo.



D.1.2. Determinación de la probabilidad de ocurrencia

El siguiente paso consiste en asignar una función de distribución de probabilidad o una probabilidad relativa a este rango, solicitándose a los participantes del taller que comenten sobre los siguientes puntos:

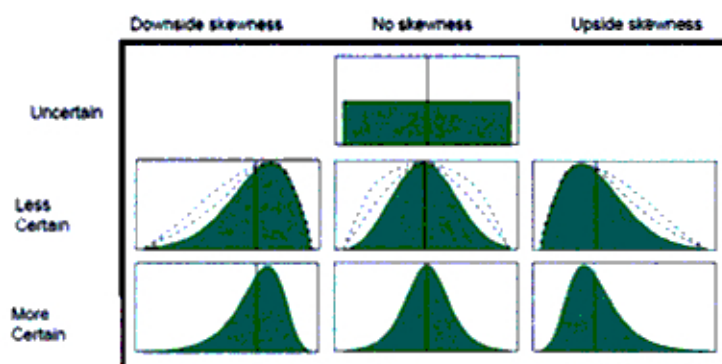
¿Existe una asimetría inherente esperada en el rango de resultados?

¿Cuál es el nivel de certidumbre alrededor del valor medio?

Con fines didácticos, se les pedirá a los participantes que elijan la celda en la que piensen que la función de distribución de probabilidad del costo de inversión encajará por lo general.

Figura N° D.1.2-1

Estimación del nivel de incertidumbre y nivel de asimetría



Al momento de asignar rangos, se le deberá asignar correlaciones (si las hubiera) entre los ítems con la consideración debida, siendo las correlaciones positivas las que tienden a aumentar el rango general del costo de inversión y las correlaciones negativas reducirán el rango general.

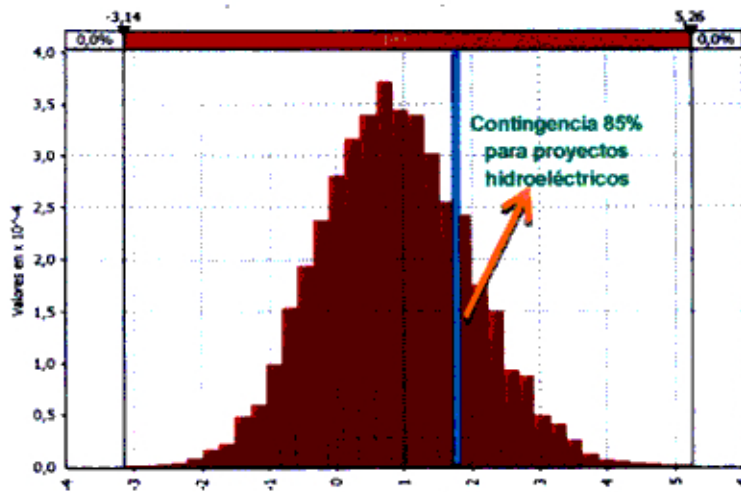
La manera didáctica de calcular el coeficiente de correlación entre los ítems, estos se podrían considerar en parámetros relativamente amplios, por ejemplo: muy fuerte (1), fuerte (0.75), mediano (0.5), medio (0.25), ninguno (0).

D.1.3. Estimación de la distribución de probabilidad del costo de inversión

La estimación de la contingencia por todo el proyecto será estimada como resultado de la estimación de los rangos y la asignación de la distribución de probabilidad de ocurrencia de los componentes de costos. La técnica de Monte Carlo será utilizada para estimar la contingencia del costo y cronograma del proyecto, simulándose el modelo a través de 3000 iteraciones para calcular la distribución de probabilidad del resultado mediante el uso del software @RiskforExcell 5.5.1., tal como se observa en la figura N° B.1.3-1.

Figura N° B.1.3-1

Curva de distribución de probabilidad del costo de inversión del proyecto



El modelo de riesgo produce un rango de posibles costos y cronograma. La WSDT¹ ha mantenido un amplio debate acerca de que cantidad de contingencia es requerido para el uso en el cálculo del coste de referencia. En la figura N° B.12 representa el costo posible y su rango con la contingencia generada a partir del nivel de confianza del 85% en el modelo. Un valor de 85% implica que uno de cinco veces un proyecto como este supera este valor en un 85%, o cuatro de cinco veces el costo final sería por debajo de este número. La cantidad de contingencia adecuada es una decisión que debe asumir la consultora y el dueño del proyecto.

¹ WSDT: Washington State Department of Transportation

El nivel percentil utilizado en el establecimiento de la contingencia está directamente relacionado con el nivel de aversión al riesgo del tomador de decisiones (o la empresa), a mayor aversión al riesgo, el percentil aumenta.

El valor del 50% de la distribución de resultado del coste total es la mediana, y que en la mayoría de los casos, asumiendo simetría, es igual a la media. Con este valor implicaría un valor neutral al riesgo, o se espera, que la toma de decisión – esto sería altamente inusual para una inversión de esta magnitud. Una desviación estándar por encima de la media sería aproximadamente en el 85%, y a veces se utiliza como base para el establecimiento de la contingencia del proyecto. El valor más típico utilizado para proyectos de esta magnitud es de 85%, pero algunas agencias, tales como el Departamento de Transporte del Estado de Washington (WSDT), que usa el 90% de nivel de confianza. En resumen, el 85% es un criterio razonable para proyectos de esta magnitud.

En conclusión, el modelo es sólido y servirá para los fines previstos. La contingencia de costos parece estar bien apoyado en los datos y el modelo utilizado en su desarrollo. Servirá como una base firme para la aplicación de una amplia gestión de riesgos y estrategia de mitigación.

D.2 Atrasos

El procedimiento para estimar la contingencia por concepto de atraso del cronograma programado del proyecto, es muy similar al taller de rango para estimar la contingencia probabilística de costos, sin embargo consideraremos algunas excepciones que realiza BHP Billiton para estimar la contingencia del cronograma del proyecto.

D.2.1 Preparación del modelo del cronograma.

A diferencia de los componentes de costos, BHP Billiton recomienda para el taller de rango del cronograma preparar un modelo resumen del cronograma maestro, con el objetivo de priorizar las actividades más críticas (ruta crítica) y agilizar la reunión con los especialistas involucrados en el proyecto.

Para BHP Billiton, recomienda que el modelo resumen del cronograma maestro considerará los siguientes criterios:

- El modelo resumen del cronograma debe capturar las actividades de alto riesgo del cronograma maestro, entre las actividades incluye las actividades críticas, casi críticas y actividades de alto riesgo basadas en holgura y duraciones.
- El número de actividades del cronograma resumen no debe exceder de 30.

- Lógica simple y completa. La ruta crítica es claramente definida.
- El modelo resumen debe ser aprobado por el equipo de proyecto.

D.2.2 Taller del análisis de rango.

BHP Billiton recomienda aprovechar el taller de rango de costos para llevar a cabo el taller de cronograma, siendo el procedimiento del taller de rango del cronograma I que se detalla a continuación:

- Se le solicitó a los participantes que estimen escenarios (mínimo, percentil 10, percentil 50, percentil 90, máximo) para las duraciones de cada actividad del cronograma resumen, tal como se observa en la figura D.2.2-1, con el objetivo de determinar para cada actividad su distribución de probabilidad de ocurrencia subjetiva. Adicionalmente, se le solicitó a los especialistas que comenten sobre dos puntos: ¿Existe alguna asimetría inherente esperada en el rango de resultados?, ¿Cuál es el nivel de certeza alrededor de la duración determinista?

Figura N° D.2.2-1

Determinación de los escenarios de las duraciones



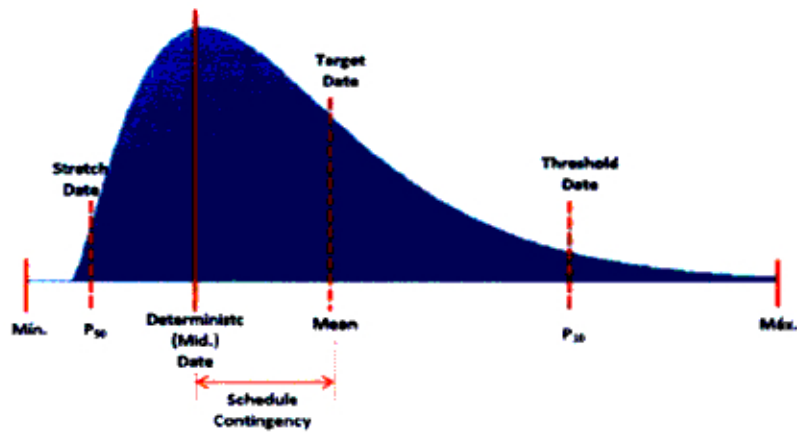
- Por último, se le pidió a los participantes que mencionen aquellas actividades que tienen algún grado de dependencia o correlación, dado que si ignoramos el uso de correlaciones la varianza del costo total se subestima.

D.2.3. Estimación de la distribución de probabilidad de la duración total del proyecto

Finalmente, una vez que toda la información requerida (rangos de duración, posibilidad de ocurrencia, perfil de distribución e información de correlación) ha sido recopilada y cargada en el modelo resumen, la simulación de Monte Carlo para la duración total del proyecto puede ser emprendida tal como se observa en la figura 4.3, utilizando el software @RiskFor Project.

Figura N° D.2.3-1

Resultados de la simulación de Monte Carlo



Entre los resultados más importantes de la simulación de Montecarlo para la duración total del proyecto, tenemos:

- Fecha P90 (90% de probabilidad de excederse)
- Fecha mean (fecha esperada o fecha meta)
- Fecha P10 (10% de probabilidad de excederse)
- Contingencia del cronograma.

E. PLAN DE RESPUESTAS A LOS RIESGOS

Para el PMBOK, el proceso de planificación de respuestas a los riesgos consiste en desarrollar opciones y acciones para incrementar las oportunidades y reducir las amenazas a los objetivos del proyecto. Dicho proceso de planificación de respuesta a los riesgos aborda los riesgos en función de su prioridad, introduciendo recursos y actividades en el presupuesto, el cronograma y el plan para la dirección del proyecto.

El PMBOK, recomienda estrategias de respuesta a los riesgos, siendo cuatro estrategias las que normalmente se ocupan de las amenazas o los riesgos que pueden tener impactos negativos sobre los objetivos del proyecto en caso de ocurrir, entre las estrategias tenemos:

- **Evitar**, dicha estrategia consiste en cambiar el plan para la dirección del proyecto, a fin de eliminar por completo la amenaza. Siendo la estrategia de evasión más drástica en anular por completo el proyecto.
- **Transferir**, dicha estrategia consiste en trasladar a un tercero todo o parte del impacto negativo de una amenaza, junto con la propiedad de la respuesta. La transferencia del riesgo casi siempre implica el pago de una prima de riesgo a la parte que asume el riesgo, entre las herramientas de transferencia pueden ser

bastantes diversas e incluyen, entre otras, el uso de seguros, garantías de cumplimiento, fianzas, certificados de garantía, etc.

- **Mitigar**, dicha estrategia consiste en reducir a un umbral aceptable la probabilidad y/o el impacto de un evento adverso.
- **Aceptar**, dicha estrategia consiste en que el equipo del proyecto ha decidido no cambiar el plan para la dirección del proyecto para hacer frente a un riesgo, o no ha podido identificar ninguna otra estrategia de respuesta adecuada. La estrategia de aceptación consiste comúnmente en establecer una **reserva de contingencia**, que incluya la cantidad de tiempo, medios financieros o recursos necesarios para abordar los riesgos.

CAPITULO III: APLICACIÓN PARA UN PROYECTO MÚLTIPLE SOLDADOS-YANUNCAY, ECUADOR

III.1 ESTIMACIÓN DE LA CONTINGENCIA, SEGÚN EL ENFOQUE DEL PMBOK

Luego de haber explicado en que consiste la metodología para estimar la contingencia probabilística de un proyecto de inversión, según el enfoque del PMBOK, se procederá a llevar a cabo la aplicación para un proyecto múltiple Soldados-Yanuncay ubicado en el Ecuador, que consiste en la construcción de 2 centrales hidráulicas y la construcción de una presa de regulación de caudales.

A continuación, se detallará todo lo correspondiente al proyecto y la aplicación de la estimación de la contingencia probabilística, siguiendo el enfoque de gestión de riesgos del PMBOK.

A. PLANEAMIENTO DE TRABAJO

El proyecto consiste en aprovechar el recurso hidroeléctrico del río Yanuncay que tiene previsto construir la presa Quingoyacu y dos centrales hidroeléctricas Soldados (6.52 MW) y Yanuncay (14.48 MW) que en conjunto tendrán una potencia de 19.05 MW, siendo denominado el nombre del proyecto como "Proyecto Múltiple Soldados-Yanuncay". Entre las características principales del proyecto se detallan a continuación:

- El estudio fue elaborado a un nivel de factibilidad.
- Los costos de inversión para las principales maquinarias y equipos fueron estimados considerando información de cotizaciones en un 60%, siendo el resto (40%) tomadas de base de datos histórica de la empresa consultora de ingeniería CESEL S.A.
- La construcción de la presa de Quingoyacu implica una mayor inversión en la construcción de una central hidroeléctrica. Con estas construcciones se logra un determinado nivel del agua antes de la contención, y otro nivel diferente después de la misma. Ese desnivel se aprovecha para producir energía. El tamaño y la ubicación de la presa es muy importante para evitar futuros problemas medioambientales. Los proyectos de las represas grandes causan cambios

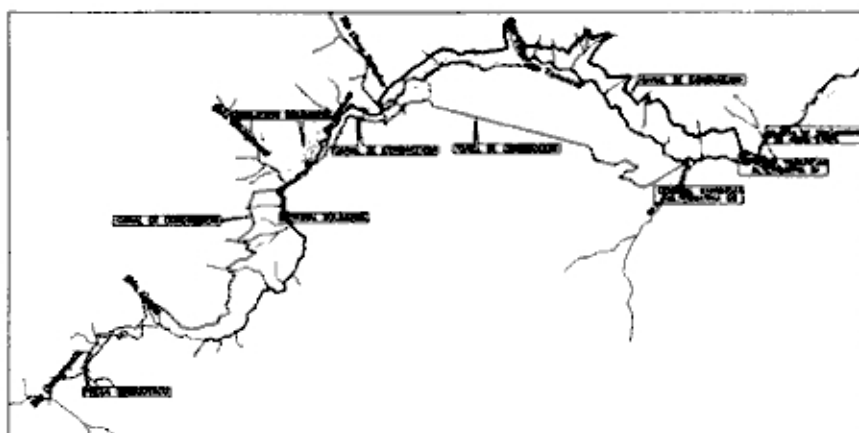
ambientales irreversibles en un área geográfica grande, y, por lo tanto, tienen el potencial para causar impactos importantes.

- El proyecto de la central hidroeléctrica Soldados - Yanuncay está conformado por: obras civiles, equipamiento electromecánico y sistema de transmisión. El equipamiento electromecánica está conformado por el equipamiento electromecánico de la casa de máquinas y el equipamiento hidromecánico.
- El cronograma de ejecución del proyecto de las centrales hidroeléctricas y la presa es de 3 años.
- El esquema de aprovechamiento (Ver figura N° A.1) consiste en captar agua del futuro embalse Quingoyacu con nivel de toma en la cota 3 554.5 msnm, con presa localizada sobre el río Quingoyacu en la cota 3 544.5 msnm y, conducirlo en tubería por su margen izquierda a lo largo de 7.89 Km hasta la cámara de carga de donde empalma con la tubería forzada que se conecta a la casa de máquina de la central hidráulica Soldados en la cota 3 328.00 msnm, ubicada aguas arriba de la confluencia de la quebrada con el río Yanuncay. Descargada el agua turbinada al río, se capta nuevamente mediante las obras de captación de la central hidráulica Yanuncay, ubicadas en la cota 3 325 msnm, y se

conduce mediante tubería y túnel a lo largo de la conducción Yanuncay hasta llegar a la cámara de carga que se conecta a la tubería forzada y que empalma finalmente con la casa de máquinas de la central hidráulica Yanuncay.

Figura N° A-1

Esquema del proyecto múltiple Yanuncay-Soldados



CESEL Ingenieros se encargó de realizar el estudio de factibilidad del proyecto múltiple Soldados-Yanuncay, para ello a continuación presentamos los costos estimados a ese nivel de factibilidad resumidos para cada subproyecto (Ver cuadro N° A.1).

Cuadro N° A-3

Resumen de costos del proyecto (US\$) múltiple Soldados-Yanuncay (Sin considerar contingencias)

Descripción	Presa Olingoyaca	Central Hidroeléctrica Soldados	Central Hidroeléctrica Yanuncay
Costo directo	8 363 242,53	14 951 119,06	30 315 628,63
Costo indirecto	2 715 075,57	2 183 894,89	5 775 737,41
Costo indirecto de montaje	60 781,54	265 958,15	368 488,41
Gerenciamiento y fiscalización	891 127,97	1 392 077,77	2 916 788,36
Supervisión	222 781,99	348 019,44	729 197,09
Suministro por Elecaastro	381 277,11	49 689,75	111 911,19
Total	12 634 286,71	19 190 759,06	40 217 751,09

Para llevar a cabo el taller de rango con los especialistas del proyecto, es necesario agrupar el presupuesto del proyecto en componentes por área de trabajo o instalaciones importantes, con el objetivo de que los especialistas se familiaricen con los componentes de costos y logren estimar los rangos para cada componente de costos.

Cuadro N° A-4

Componente de costos para la presa Quingoyacu

N°	Componentes	(US\$)
1	Movimiento de Tierras	4 853 341
2	Obras de Concreto	1 402 262
3	Varios Componentes	745 528
4	Equipamiento Hidromecánico	582 006
5	Plan de Manejo Ambiental	357 955
6	Telecomunicaciones	212 500
7	Línea de Transmisión	209 650
Costo Directo		8 363 242

Cuadro N° A-5

Componente de costos para la central hidroeléctrica Soldados

N°	Componentes	(US\$)
1	Equipamiento Electromecánico	4 799 066
2	Tuberías de PVC	2 814 147
3	Movimiento de Tierras	2 530 207
4	Línea de Transmisión y Subestación	1 269 824
5	Obras de Concreto	1 110 109
6	Tuberías de Acero	1 025 184
7	Varios	729 949
8	Plan de Manejo Ambiental	282 433
9	Telecomunicaciones	267 075
10	Equipamiento Hidromecánico	122 226
Costo Directo		14 961 119

Cuadro N° A-6

Componente de costos para la central hidroeléctrica Yanuncay

N°	Componentes	(US\$)
1	Equipamiento Electromecánico	8 747 078
2	Movimiento de Tierras	5 331 459
3	Tunel	4 294 379
4	Tuberías de PVC	3 003 135
5	Tuberías de Acero	2 208 635
6	Línea de Transmisión y Subestación	2 531 289
7	Obras de Concreto	2 103 098
8	Varios	795 187
9	Telecomunicaciones	495 235
10	Equipamiento Hidromecánico	489 340
11	Plan de Manejo Ambiental	316 794
Costo Directo		30 315 629

B. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

Para identificar los riesgos más importantes que podrían afectar a la estimación de costos de la construcción y las duraciones de la programación del proyecto múltiple Soldados – Yanuncay, se realizó un taller de identificación y evaluación de riesgos con los especialistas claves del proyecto (Ver anexo N° 2), considerando que los riesgos que fueron analizados por los especialistas en el taller, corresponden a los riesgos que se podrían presentar solamente en la fase de construcción del proyecto (Ver figura N° B.1).

Figura N° B-1

Fases de un proyecto, según Gómez y Jurado



El incremento en las inversiones puede ser causa de un mal estudio de costos en las inversiones o de problemas no previstos al momento de analizar el proyecto. Esto último no necesariamente será atribuible al inversionista debido a que los problemas podrán ser ocasionados por la comunidad, por fallas geológicas o por causas de fuerza mayor (terremotos, huaycos, desprendimientos, etc.).

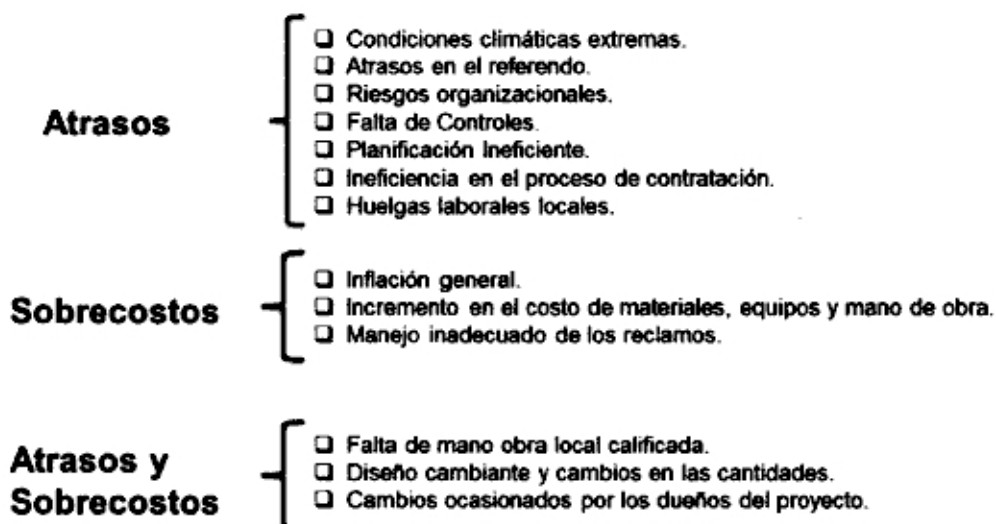
Por otro lado, el incumplimiento de la finalización de la obra en la fecha estimada y comprometida generará la ejecución de penalidades por no entregar la energía en la fecha pactada con los clientes (contratos PPA o TOP). Estas penalidades son económicas transformándose en sobrecostos para el proyecto. Asimismo, el cliente podría resolver el contrato de suministro ocasionando que los ingresos previstos para

el proyecto no se materialicen. Esto último haría peligrar el financiamiento adicional que requeriría el proyecto para entrar en operación o elevaría el costo del mismo.

En base a lo anterior, los riesgos que fueron identificados durante el taller como críticos, podrían ser modelados de acuerdo al impacto en dos áreas principales: el impacto en los costos y el impacto en lo programado para el proyecto múltiple Soldados-Yanuncay. Algunos de los riesgos afectan directamente a las demoras, otros afectan principalmente a los sobrecostos, y algunos inciden sobre los atrasos y sobrecostos al mismo tiempo. (Ver figura N° B-2).

Figura N° B-2

Áreas afectadas por los riesgos críticos



Durante la realización del taller con los especialistas claves, se estimó los principales factores de riesgo que podría impactar a cada componente del estimado del costo de inversión del proyecto, mediante la técnica de diagramas de influencia, se considerando los factores de riesgo que podrían impactar en las siguientes variables: los precios, las cantidades y las duraciones de la programación del proyecto.

B.1 Principales factores de riesgos del componente equipamiento electromecánico

Los especialistas del proyecto consideraron que el componente de costos del equipamiento electromecánico podría ser afectado por un mal diseño de ingeniería y/o un mal estudio de suelos, ello originaría sobrecostos y/o nuevas inversiones no previstas en el estudio a nivel de factibilidad del proyecto. Directamente afectará a la rentabilidad del proyecto de ser un monto que pueda asumir el inversionista; pero, si el monto es considerable y no puede ser asumido por el inversionista podría paralizarse el proyecto con las consecuencias que originaría el abandono del proyecto: pago de penalidades y pérdida de la inversión realizada (pre-operativos, mano de obra y maquinarias).

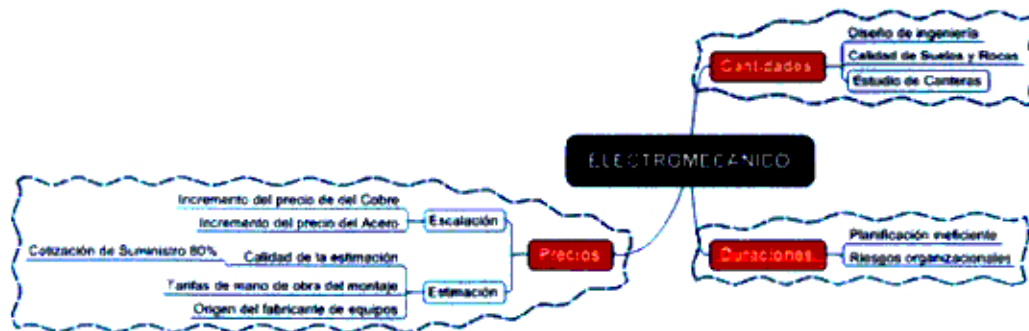
Por otra parte, los especialistas consideraron que el precio de los equipos electromecánicos podría ser afectado por la variabilidad de los precios del cobre y el acero en el mercado mundial, la escases de mano de obra calificada podría aumentar

las tarifas de la mano de obra del montaje electromecánico y, por último, es el porcentaje de solicitud de cotizaciones de la maquinaria y equipos que tiene un efecto directo en la calidad de la estimación.

Por últimos, los especialistas consideraron que el incumplimiento de la finalización de la obra en la fecha estimada será como consecuencia, posiblemente, de retrasos en los trabajos programados por parte del constructor, eventualidades geológicas encontradas en la construcción, demora en la entrega de autorizaciones, demora en la llegada de materiales de construcción y de equipos por problemas en el transporte (terrestre, aéreo o marítimo), problemas con las comunidades afectadas, accidentes de trabajo, ineficiencia del constructor, mal planeamiento de trabajo o imprevistos atribuibles a causas de fuerza mayor. Es decir, el incumplimiento puede ser generado por problemas del constructor, de las autoridades, de la comunidad o de cualquier agente que interviene en la cadena de abastecimiento para la construcción de la obra.

Figura N° B.1-1

Factores de riesgos del componente electromecánico



B.2 Principales factores de riesgos del componente movimiento de tierras

Los especialistas del proyecto consideraron que el componente de costos movimiento de tierras podría ser afectado por un mal estudio de canteras, ello originaría sobrecostos y/o nuevas inversiones no previstas en el estudio a nivel de factibilidad del proyecto.

Por otra parte, los especialistas consideraron que el precio del componente movimiento de tierras podría ser afectado por la variabilidad del precio del petróleo o el precio de alquiler de los equipos, la tarifa de la mano de obra es otro componente a considerar en la estimación de los precios.

Por últimos, los especialistas consideraron que el incumplimiento de la finalización del componente movimiento de tierra en la fecha estimada será como consecuencia, posiblemente, de retrasos en los trabajos programados por parte del constructor, eventualidades geológicas encontradas en la construcción, problemas con las comunidades afectadas, accidentes de trabajo, ineficiencia del constructor, mal planeamiento de trabajo o imprevistos atribuibles a causas de fuerza mayor. Es decir, el incumplimiento puede ser generado por problemas del constructor, de las autoridades, de la comunidad o de cualquier agente que interviene en la cadena de abastecimiento para la construcción de la obra (Ver figura N° B.2-1).

Figura N° B.2-1

Factores de riesgos del componente movimiento de tierras



B.3 Principales factores de riesgos del componente túnel

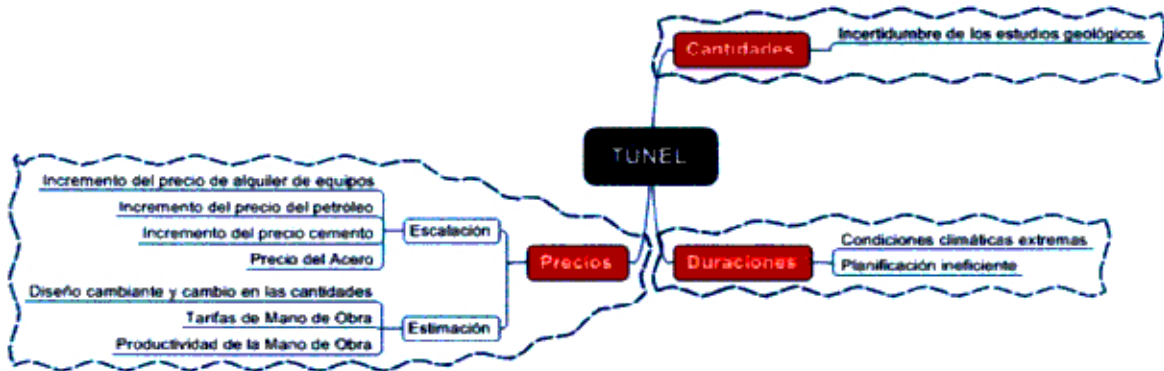
Los especialistas del proyecto consideraron que el componente de costos túnel podría ser afectado teniendo en cuenta que tiene una longitud en promedio de 3.2 Km., debido a que los estudios geológicos no podrán determinar la estructura del terreno en toda la longitud en la que se construirá el túnel. Para el estudio del terreno se hacen limitadas perforaciones (0.2 ó 0.5 por la longitud total del túnel) por el elevado costo que involucra cada perforación. Por lo mismo, durante la construcción se pueden producir derrumbes o desprendimientos que alterarán lo planificado, transformándose en sobre costos.

Por otra parte, los especialistas consideraron que el precio del componente túnel podría ser afectado por la variabilidad del precio del petróleo, el precio de alquiler de los equipos, el precio del cemento y acero.

Por últimos, los especialistas consideraron que el incumplimiento de la finalización del componente túnel en la fecha estimada será como consecuencia, posiblemente, de retrasos en los trabajos programados por parte del constructor, eventualidades geológicas encontradas en la construcción, accidentes de trabajo, etc. (Ver figura N° B.3-1).

Figura N° B.3-1

Factores de riesgos del componente túnel



B.4 Principales factores de riesgos del componente tubería de PVC

Los especialistas del proyecto consideraron que el componente de costos tubería PVC podría ser afectado por un mal estudio de suelos, ello originaría sobrecostos y/o nuevas inversiones no previstas en el estudio a nivel de factibilidad del proyecto.

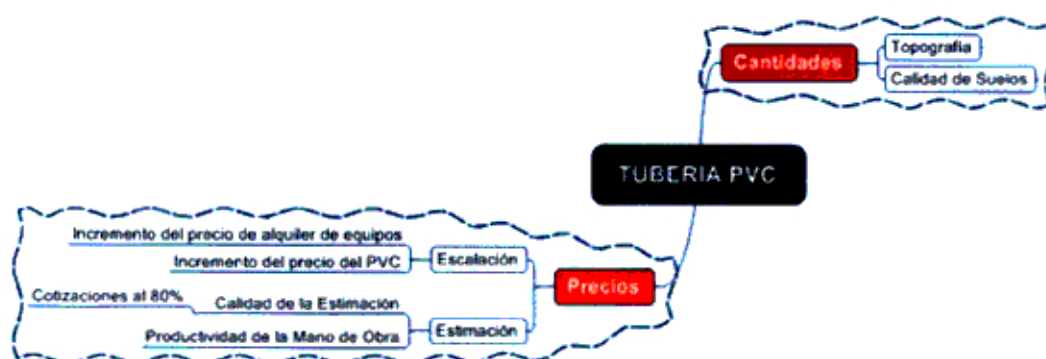
Por otra parte, los especialistas consideraron que el precio del componente tubería PVC podría ser afectado por la variabilidad del precio de alquiler de los equipos, el precio del PVC y la productividad de la mano de obra.

Por últimos, los especialistas consideraron que el incumplimiento de la finalización del componente movimiento de tierra en la fecha estimada será como consecuencia, posiblemente, de retrasos en los trabajos programados por parte del constructor, mal

planeamiento de trabajo o imprevistos atribuibles a causas de fuerza mayor. (Ver figura N° B.4-1).

Figura N° B.4-1

Factores de riesgos del componente tubería PVC



B.5 Principales factores de riesgos del componente tubería de acero

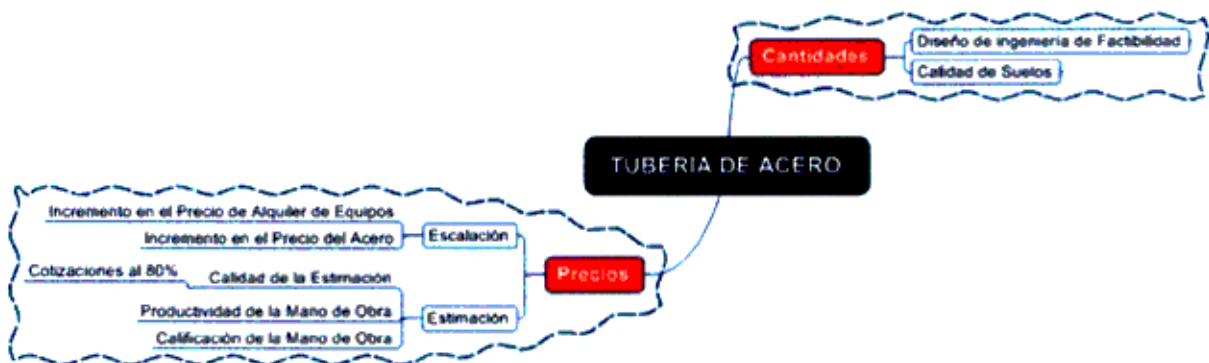
Los especialistas del proyecto consideraron que el componente de costos tubería de acero podría ser afectado por la escasez del fierro o del cemento, ello originaría sobrecostos y/o nuevas inversiones no previstas en el estudio a nivel de factibilidad del proyecto.

Por otra parte, los especialistas consideraron que el precio del componente tubería de acero podría ser afectado por la variabilidad del precio de alquiler de los equipos, el precio del acero y la productividad de la mano de obra.

Por últimos, los especialistas consideraron que el incumplimiento de la finalización del componente tubería de acero en la fecha estimada será como consecuencia, posiblemente, de retrasos en los trabajos programados por parte del constructor, mal planeamiento de trabajo o imprevistos atribuibles a causas de fuerza mayor. (Ver figura N° B.5-1).

Figura N° B.5-1

Factores de riesgos del componente tubería de acero



B.6 Principales factores de riesgos del componente línea de transmisión y subestación

Los especialistas del proyecto consideraron que el componente de línea de transmisión y subestación podría ser afectado por las deficiencias en los estudios de topografía y/o geotecnia, ello originaría sobrecostos y/o nuevas inversiones no previstas en el estudio a nivel de factibilidad del proyecto.

Por otra parte, los especialistas consideraron que el precio del componente línea de transmisión y subestación podría ser afectado por la variabilidad del precio del acero y/o aluminio, la servidumbre y el origen del fabricante de estructuras y transformadores.

Por últimos, los especialistas consideraron que el incumplimiento de la finalización del componente línea de transmisión en la fecha estimada será como consecuencia, posiblemente, de retrasos en los trabajos programados por parte del constructor, mal planeamiento de trabajo o imprevistos atribuibles a causas de fuerza mayor. (Ver figura N° B.6-1).

Figura N° B.6-1

Factores de riesgos del componente línea de transmisión y subestación



B.7 Principales factores de riesgos del componente obra de concreto

Los especialistas del proyecto consideraron que el componente obras de concreto podría ser afectado por las deficiencias en los estudios de topografía y/o geotecnia, ello originaría sobrecostos y/o nuevas inversiones no previstas en el estudio a nivel de factibilidad del proyecto.

Por otra parte, los especialistas consideraron que el precio del componente línea de transmisión y subestación podría ser afectado por la variabilidad del precio del acero y el precio del cemento.

Por últimos, los especialistas consideraron que el incumplimiento de la finalización del componente obras de concreto en la fecha estimada será como consecuencia, posiblemente, de retrasos en los trabajos programados por parte del constructor, mal planeamiento de trabajo o imprevistos atribuibles a causas de fuerza mayor. (Ver figura N° B.7-1).

Figura N° B.7-1

Factores de riesgos del componente obra de concreto



C. ANÁLISIS CUALITATIVO DE RIESGOS

El análisis cualitativo de riesgos es un proceso que consiste en priorizar los riesgos, en base a opinión de los especialistas del proyecto múltiple Soldados-Yanuncay, para ello la clasificación de los riesgos depende de cuán crítico llega a ser cada riesgo para los resultados generales del proyecto, siendo los riesgos evaluados en términos de probabilidad e impacto (Ver cuadro C-2):

Cuadro N° C-2

Evaluación cualitativa de riesgos

Evaluación cualitativa de los riesgos	
Probabilidad	Impacto
A = Alta = Ocurrirá	A = Alto= Efectos desastrosos
M=Mediana= 50% de probabilidad	M= Mediano = Administrable, pero con muchos recursos
B=Baja= Casi segura que no ocurrirá	B= Bajo, solamente resulta irritante

Como resultado del proceso de evaluación de la AV se clasificaron los riesgos en tres categorías generales con base en su probabilidad-impacto, como mayor (MA), moderado (MO) y menor (ME) mediante el sistema detallado a continuación (Ver cuadro C-3)

Cuadro N° C-3

Clasificación del nivel de riesgos

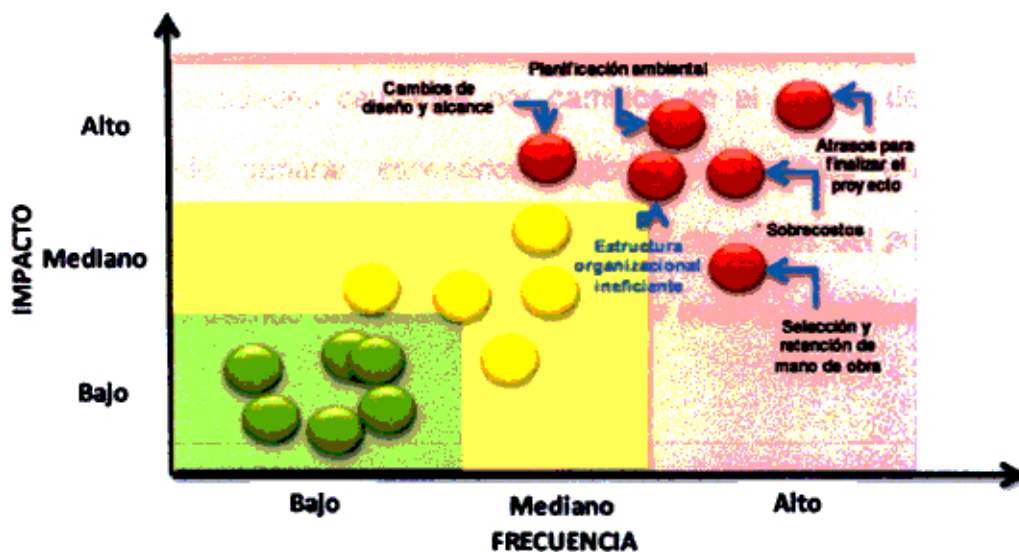
Clasificación de riesgos	
Probabilidad- Impacto	Impacto
AA	Mayor (MA)
MA	Mayor (MA)
AM	Moderado (MO)
MM	Moderado (MO)
BA	Moderado (MO)
AB	Menor (ME)
MB	Menor (ME)
BM	Menor (ME)
BB	Menor (ME)

Durante el taller se evaluaron 17 riesgos en términos de su probabilidad de ocurrencia y su impacto sobre el tiempo y los costos, se discutieron los resultados con los participantes y se efectuaron ajustes para llegar a un consenso.

Los resultados del taller fueron para identificar los riesgos críticos del proyecto. La lista de riesgos críticos resultó bastante robusta en validez, siendo comprobado con la evaluación de riesgos posterior. A continuación, se encuentra la lista de 6 riesgos, cuyo análisis mediante un modelo cuantitativo para estimar la contingencia probabilística, se consideró crítico e importante (Ver gráficoC.1)

Gráfico N° C.2

Mapa de riesgos para el proyecto múltiple Soldados - Yanuncay



D. ANÁLISIS CUANTITATIVO DE RIESGOS

Luego de jerarquizar los riesgos identificados que tienen mayor impacto en el costo y tiempo, el equipo de proyecto deberá incorporar en la estimación del presupuesto de inversión y el cronograma los riesgos e incertidumbres a los cuales el proyecto está expuesto (incertidumbre de las condiciones reales del terreno, variabilidad de precios según las condiciones de mercado, ocurrencia de eventos climáticos, sociales, operacionales, naturales, etc.), para ello el taller de rango es una herramienta poderosa que nos permitirá los riesgos con los costos y el tiempo, donde los posibles valores que puede alcanzar el presupuesto y cronograma están asociado a una probabilidad de ocurrencia.

Los rangos fueron estimados para las cantidades y precios, para ello se consideró que para simular las cantidades causados por cambios en el diseño del proyecto, se consideró apropiado generar escenarios lógicos de cambios de diseño. Los especialistas asignaron rangos para los componentes de costos del proyecto múltiple Yanuncay-Soldados usando una distribución triangular para las cantidades (Ver cuadro N° D-1)

Cuadro N° D-1

Rango de las cantidades de los componentes de costos del proyecto múltiple Soldados-Yanuncay

Componentes de Costos	Cantidad				
	Mínimo	Percentil 90	Base	Percentil 10	Máximo
Equipamiento Electromecánico	-20%	-15%	0	15%	20%
Movimiento de Tierras	-10%	-5%	0	10%	15%
Tunel	-25%	-10%	0	10%	35%
Tuberías de PVC	-9%	-4%	0	4%	9%
Tuberías de Acero	-9%	-4%	0	4%	9%
Línea de Transmisión y Subestación	-10%	-5%	0	10%	15%
Obras de Concreto	-15%	-8%	0	8%	18%
Varios	-5%	-3%	0	2%	5%
Telecomunicaciones	-8%	-5%	0	5%	8%
Equipamiento Hidromecánico	-7%	-4%	0	4%	7%
Plan de Manejo Ambiental	-8%	-5%	0	5%	8%
Distribución			Triangular		

La variación de los precios del proyecto múltiple Soldados-Yanuncay que aparece a continuación refleja la volatilidad de los costos de los materiales, salarios de la mano de obra calificada y aumento de los costos de los equipos.

Cuadro N° D-2:

Rango de los precios de los componentes de costos del proyecto múltiple Soldados-Yanuncay

Componentes de Costos	Rango de Precios				
	Mínimo	Percentil 00	Base	Percentil 10	Máximo
Equipamiento Electromecánico	-20%	-15%	0	15%	20%
Movimiento de Tierras	-10%	-5%	0	10%	15%
Tunel	-25%	-10%	0	10%	35%
Tuberías de PVC	-9%	-4%	0	4%	9%
Tuberías de Acero	-9%	-4%	0	4%	9%
Línea de Transmisión y Subestación	-10%	-5%	0	10%	15%
Obras de Concreto	-15%	-8%	0	8%	18%
Varios	-5%	-3%	0	2%	5%
Telecomunicaciones	-8%	-5%	0	5%	8%
Equipamiento Hidromecánico	-7%	-4%	0	4%	7%
Plan de Manejo Ambiental	-8%	-5%	0	5%	8%
Distribución			Part		

Los atrasos impactan sobre el proyecto múltiple Soldado - Yanuncay mediante un costo adicional que se origina al extender las obras más allá del tiempo programado (costos fijos del contratista y costos fijos del dueño).

Para modelar los atrasos, se varió el cronograma original añadiéndole variaciones a las duraciones de las actividades críticas del cronograma del proyecto (Ver anexo N° 4, siendo la ruta crítica las barras en rojo), donde el modelo toma en cuenta las interdependencias de tiempo de las actividades. Si se genera un atraso en alguna actividad de la cual dependa el inicio de otras actividades, las actividades dependientes

de esta y las subsecuentes dependientes de estas últimas, sufrirán atraso también. Para efectos del modelado, se utilizaron solamente actividades de ruta crítica o actividades de ruta casi-crítica en el cronograma del modelo de riesgos. En la cuadro D.3 se incluye la lista las actividades principales y variación que se aplicó a cada una de ellas.

Todas las actividades se variaron usando distribuciones triangulares generales².

Cuadro N° D-3:

Rango de las duraciones críticas del cronograma del proyecto múltiple Soldados-Yanuncay

Actividades críticas del cronograma	Duración (meses)				
	Mínimo	Percentil 90	Base	Percentil 10	Máximo
Instalación del contratista	0,60	0,90	1,00	1,50	2,00
Construcción del campamento	1,50	1,80	2,00	3,00	3,50
Suministro y equipamiento de casa de maquina	19,00	20,00	24,00	28,00	30,00
Subestación de salida	2,30	2,50	3,00	3,50	4,00
Línea de transmisión	15,00	16,00	18,00	20,00	22,00
Subestación de llegada en Turi	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00
Telecomunicaciones	2,40	2,50	3,00	4,00	5,00
Pruebas	1,60	1,80	2,00	3,00	3,50
Distribución	Triangular				

² Se clasifica como triangular general a una distribución de tres puntos: uno con un valor muy probable y dos en los percentiles bajo y alto especificados (5% y 95% respectivamente)

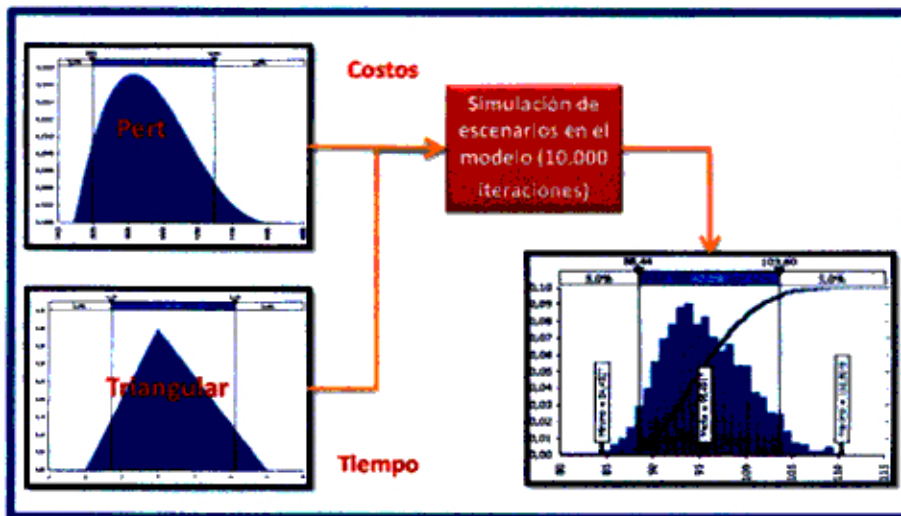
Luego de haber asignado rangos en cantidades, precios y duraciones para cada componente de costos y actividad, se logró obtener una distribución de probabilidad del costo total y duración total, se agregan los efectos de los rangos de cada componente de costos y duración de las actividades críticas, por medio de la simulación de Monte Carlo.

Se corrió el modelo a través de 10,000 iteraciones para calcular la distribución de resultados usando el software @riskforexcell y @riskforproject. Durante una iteración, el programa asigna un nuevo valor a cada variable aleatoria, basado en la distribución de probabilidad de cada una de los componentes de costos y duración de las actividades críticas.

Para obtener el valor de la distribución de probabilidad del costo total del proyecto, el modelo calcula y almacena el costo, el cronograma y las variables específicas para cada iteración. Cuando se termina la simulación, se devuelve una distribución, en lugar de un estimado puntual de un estimado puntual, del costo y el cronograma. (Ver figura D-1)

Figura N° D-1

Simulación del modelo de riesgos



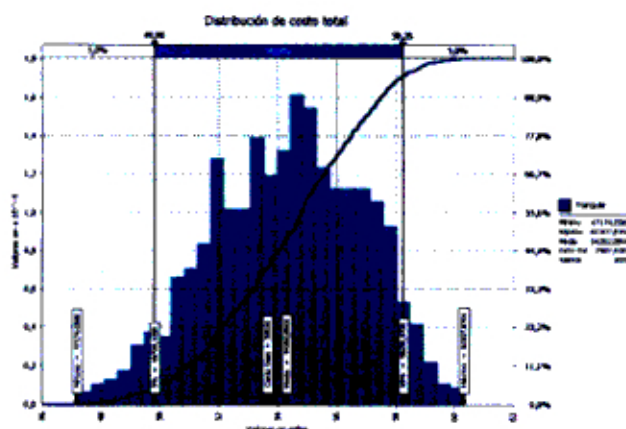
El uso de estas distribuciones de probabilidad de costos y tiempo como base para el estimado de la contingencia, es más realista que el uso de un porcentaje predefinido (por ejemplo, 8%), ya que estas consideran tanto la probabilidad de ocurrencia como las consecuencias o los impactos de los riesgos. Además, elimina una de las principales causas de la subestimación de la contingencia y permite la evaluación de las causas de los costos de riesgos. Así esta técnica provee una base para determinar un nivel "aceptable" de contingencia o riesgos de costos.

Se obtuvieron así tantos presupuestos como iteraciones se realizaron y con cuyos valores se generó una función de distribución continua y su correspondiente curva de

probabilidad de ocurrencia acumulada (probabilidad de no excedencia). (Ver gráfico D-3)

Gráfico N° D-3

Distribución del costo total del proyecto múltiple Soldados Yanuncay

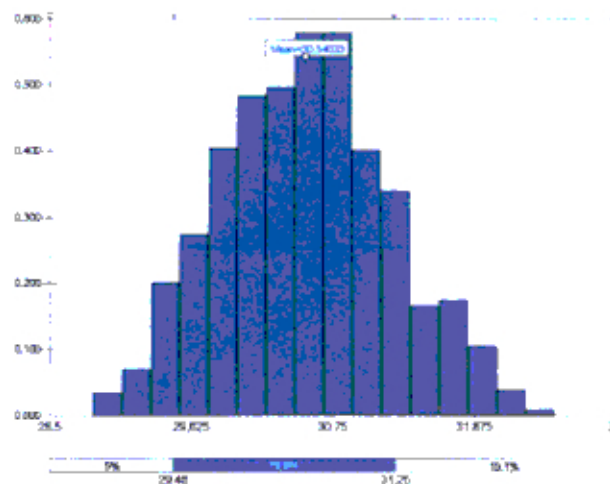


Los resultados en términos de percentil deben ser interpretados como la probabilidad de que una variable sea igual o menor que el valor indicado en el percentil señalado. De esta manera, el percentil 95% es el punto en el que noventa y cinco por ciento (95%) de iteraciones serán menores o iguales que el valor presentado.

Se obtuvieron así tantas duraciones como iteraciones se realizaron y con cuyos valores se generó una función de distribución continua y su correspondiente curva de probabilidad de ocurrencia acumulada (probabilidad de no excedencia). (Ver gráfico D-4).

Gráfico N° D-4

Distribución de la duración total del proyecto múltiple Soldados Yanuncay



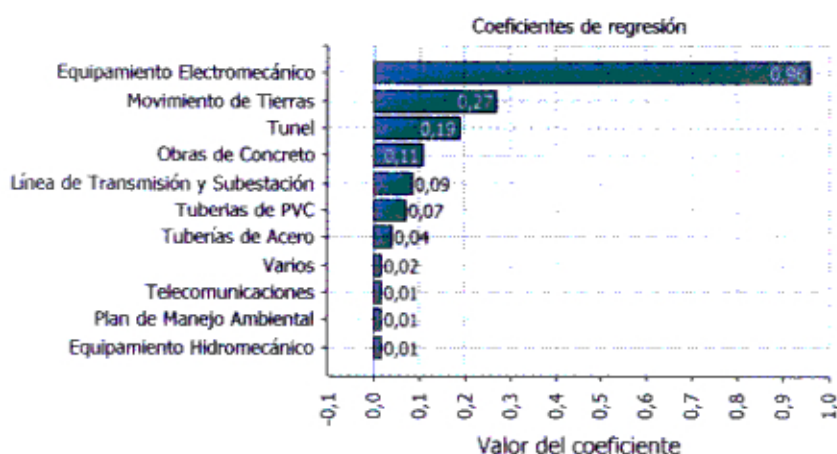
Después de definir la distribución del costo total del proyecto múltiple Soldados-Yanuncay, utilizamos un gráfico de tornado para determinar los factores o elementos que parecen tener mayor incidencia sobre la variación del costo total y duración total.

Para el caso del costo total, el diagrama de tornado muestra los principales 10 factores que inciden sobre la variación del costo total. (Ver gráfico N° D-5). Los factores que afectan la variación del costo total se encuentran ordenados por un coeficiente que representa el impacto de una variación de cada factor en la variación del costo total. El ordenamiento de estos factores o elementos sentará las bases para el análisis de mitigación.

Gráfico N° D-5

Diagrama de tornado del costo total para el proyecto múltiple Soldados

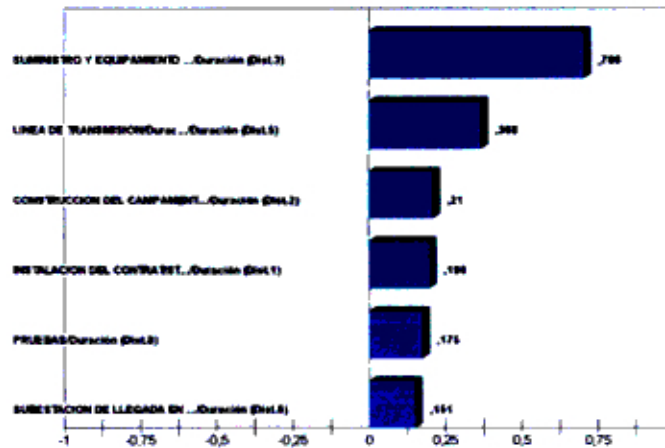
Yanuncay



Para el caso de la duración total, el diagrama de tornado muestra los principales 10 factores que inciden sobre la variación del costo total. (Ver gráfico N° D-6). Los factores que afectan la variación del costo total se encuentran ordenados por un coeficiente que representa el impacto de una variación de cada factor en la variación del costo total. El ordenamiento de estos factores o elementos sentará las bases para el análisis de mitigación.

Gráfico N° D-6

Diagrama de tornado de la duración total para el proyecto múltiple Soldados
Yanuncay



E. PLAN DE RESPUESTA A LOS RIESGOS

El plan de respuestas a los riesgos consiste en establecer estrategias de respuesta a los riesgos, siendo cuatro las estrategias las que normalmente se ocupan de las amenazas o los riesgos que pueden tener impactos negativos sobre los costos del proyecto, entre ellas tenemos: Evitar, Transferir, Mitigar y **Aceptar**.

La estrategia "Aceptar" es la que vamos a utilizar con la finalidad de establecer una reserva de contingencia, que consiste en asignar recursos necesarios para abordar los riesgos identificados.

En esta sección del documento se utilizan varios conceptos estadísticos. Entre ellos cabe destacar los siguientes: media y percentil. La media es el valor promedio de una variable luego de 10,000 iteraciones. Los resultados en términos de percentil deben ser interpretados como la probabilidad de que una variable sea igual o menor que el valor indicado en el percentil señalado.

De esta manera, el percentil 85 es el punto en el que ochenta por ciento (85%) de las iteraciones serán iguales o menores que el valor presentado. El percentil usado para definir la contingencia se relaciona con el nivel de aversión de la firma al riesgo. El valor típicamente usado en la industria para proyectos de esta magnitud es 85% porque constituye un criterio razonable y tiene una interpretación sencilla³. Este modelo utiliza el percentil 85 como un buen nivel de confianza para el estimado.

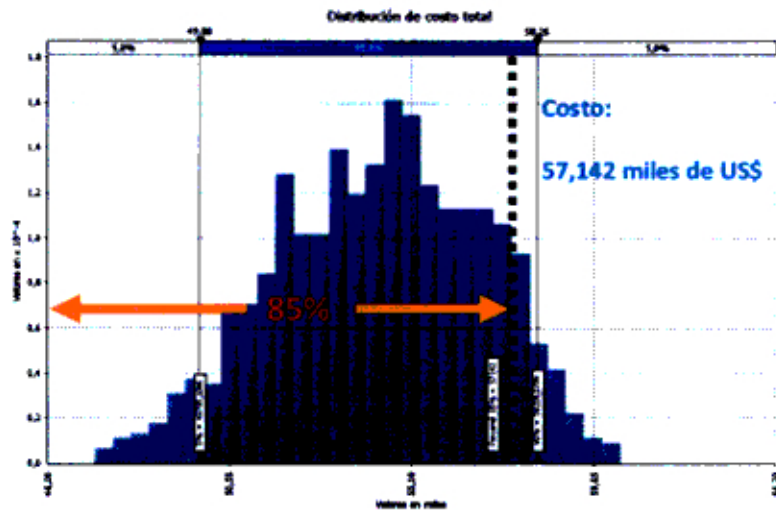
La distribución del costo total toma en consideración simultáneamente todos los riesgos de sobrecostos (ver Figura 4.1). Si se selecciona el percentil 85, la probabilidad de que el costo total del proyecto múltiple Soldados-Yanuncay sea igual o menor que 57,142 miles de US\$ es del ochenta y cinco por ciento (85%). Al seleccionar este percentil, fijamos el nivel de contingencia del estimado. A este nivel, la contingencia es de 6,241 miles de US\$, o 12% expresada como porcentaje del estimado base.

³ Para ver más detalle, ver el reporte "The Development of CEVP – WSDOT'S Cost-Risk Estimating Process", The Washington State Department Of Transportation, Febrero 2004.

Gráfico N° E-1

Distribución del costo total al 85% de confianza para el proyecto múltiple

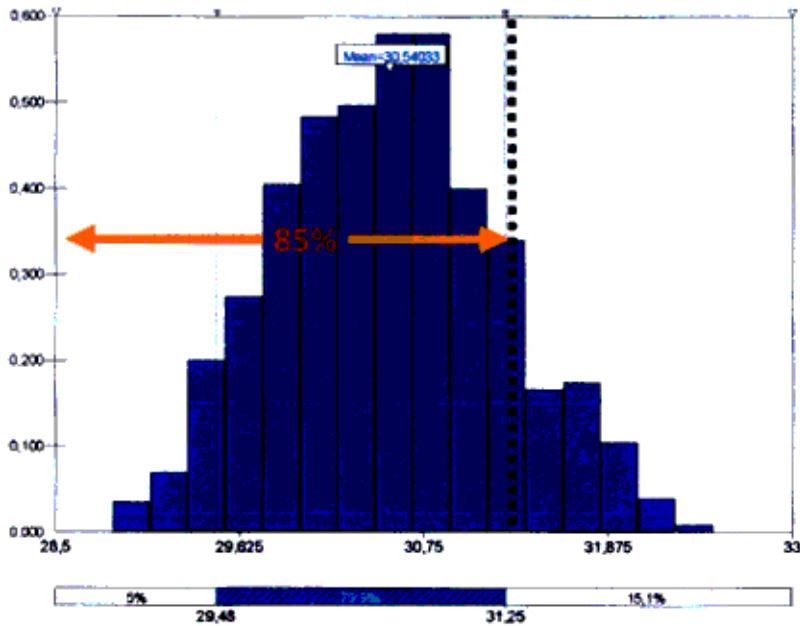
Soldados Yanuncay



Para estimar el valor de contingencia por retraso de las actividades críticas del cronograma del proyecto múltiple, se consideró a los gastos generales como aquellos costos sensibles a la variabilidad de las duraciones del cronograma, dicho valor por concepto de gastos generales fue considerado para estimar el valor monetario por día de atraso, ello multiplicado por la cantidad de días de atraso (2.3 meses), nos da un valor por provisión de atraso de 537 909 de US\$.

Gráfico N° E-2

Distribución de la duración total al 85% de confianza para el proyecto múltiple Soldados Yanuncay



En el cuadro N° E-1 se entregan los valores del presupuesto asociados a probabilidades de no excedencia representativa del presupuesto probabilística por cada componente de costos del proyecto múltiple Soldados-Yanuncay.

Cuadro N° E-1

Contingencia por componentes de costos del proyecto múltiple Soldados- Yanuncay

Componentes de Costos	Costo base original	Contingencia total	Contingencia (%)	Costo base al 85%
Equipamiento Electromecánico	13 547,04	3 214	24%	16 761
Movimiento de Tierras	12 715,01	1 089	9%	13 804
Túnel	4 294,38	748	17%	5 042
Tuberías de PVC	5 817,28	213	4%	6 031
Tuberías de Acero	3 233,82	119	4%	3 353
Línea de Transmisión y Subestación	4 010,76	344	9%	4 355
Obras de Concreto	4 615,47	339	7%	4 954
Varios	2 270,66	43	2%	2 314
Telecomunicaciones	974,81	45	5%	1 019
Equipamiento Hidromecánico	1 193,57	44	4%	1 237
Plan de Manejo Ambiental	957,18	44	5%	1 001
Inversión total	53 629,99	6 241	12%	59 871

Del cuadro N° E-1 se observa que los componentes de costos: Equipamiento Electromecánico y Túnel, son aquellos que representan mayor nivel de contingencia, con ello constatamos el estudio de Bent Flyvbjerg, donde encontraron que en la etapa de construcción las actividades que incorporan mayor riesgo son actividades de tipo subterránea o nuevas tecnologías.

CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Partiendo de la hipótesis inicial que establece "La aplicación de una nueva metodología, con base en el análisis de riesgo, permite ganar mayor certidumbre sobre la estimación de los costos de proyectos de mayor complejidad, al permitir identificar de manera más adecuada las contingencias en costos y tiempo para un proyecto hidroeléctrico".

En el campo de la valoración del análisis de riesgo, tras una exhaustiva revisión bibliográfica, se diseñó una herramienta que facilite la toma de decisiones en la gestión de riesgos en la estimación de costos y tiempo para un proyecto hidroeléctrico, en este caso se realizó una aplicación para un proyecto múltiple en Ecuador. Esta herramienta se basa en los siguientes aspectos:

1. El enfoque de la metodología fue las directrices de gestión de riesgos del PMBOK como herramienta para la creación de los elementos que conforman la metodología.
2. Proporciona la información necesaria para tomar decisiones acerca de cómo tratar los riesgos tomando en cuenta las incertidumbres que se podrían presentar en los costos y las duraciones en la fase de construcción.

Entre las conclusiones finales del presente informe de tesis tenemos las siguientes:

1. Se ha propuesto una metodología para estimar las contingencias por sobrecosto y atraso para un proyecto hidroeléctrico, que no se limita sólo a ese tipo de proyectos, sino que puede ser aplicados la metodología de riesgos para otro tipo de proyectos de infraestructura.
2. A raíz del enorme incremento en los costos de los proyectos de infraestructura que se han producido en los últimos años, se han iniciado estudios alrededor de los riesgos en costos y tiempo. La presente tesis desarrolla una propuesta metodológica, base para el establecimiento de un manual de procedimientos que proporciona los elementos necesarios para estimar las contingencias por costo y tiempo de un proyecto de infraestructura.

3. En el desarrollo de la tesis, se pudo observar que en la etapa de construcción las actividades que incorporan mayor riesgo son actividades de tipo subterránea o nuevas tecnologías.
4. A lo largo de esta investigación, se ha observado que el proceso metodológico permite una determinación y una estimación más precisas de las contingencias por sobre costo y atraso, dado que es estimado de forma no arbitraria y considera la información de juicio de expertos.
5. El éxito de los resultados va a depender del éxito del taller de rango de costos y tiempo con los especialistas claves del proyecto, en caso contrario podemos caer en el error de sobreestimar o subestimar los rangos para componente de costos o actividad crítica.
6. Tras finalizar la presente investigación, puede decirse que el modelo teórico propuesto es adaptable a las necesidades específicas de los diferentes entornos inciertos que podrían presentarse en los costos y duraciones de un proyecto.

RECOMENDACIONES

Entre las recomendaciones tenemos las siguientes:

1. Considerar los costos que se podrían generar por concepto de eventos adversos como el los riesgos por desastre naturales, tales como del tipo: inundación, geológico, etc.
2. Trabajar el riesgos por atraso con el software Risk Primavera, que es la última herramienta de la empresa Oracle y es utilizado en grandes mega proyectos a nivel mundial.
3. Desarrollar un modelo de estimación de la contingencia por sobrecosto y atraso, que sea automatizado y que sea posiblemente comercializado.

BIBLIOGRAFIA

Las fuentes de información para la elaboración de la presente tesis son una combinación de información del tipo primaria y secundaria, siendo la proporción mayor de información secundaria con respecto a la primaria.

La información primaria se utilizará con el objetivo de probar la hipótesis de investigación mediante la prueba empírica y, la información secundaria será utilizada con el objetivo de plantear correctamente el problema, desarrollar el marco teórico, justificar la investigación y estructurar la metodología de la investigación.

Entre los documentos de trabajo y que fueron parte de la motivación de la presente investigación se describe a continuación:

- Dr. Kenneth K. Humphreys, PE CCE, 2008, "Risk Analysis and Contingency Determination Using Range Estimating", AACE International Recommend Practice N° 41R-08.
- BHP Billiton, febrero 2007, "Practitioners Guide to Capex Range Analysis for Investment Evaluation".

- BHP Billiton, Agosto 2006, "Project Contingency, Rev. 0".
- Webster Allen L., 2000, " Estadística Aplicada a los Negocios y la Economía", tercera edición, McGraw-Hill
- Castillo Hernández Mario, Febrero 2010, "Toma de Decisiones en las Empresas: Entre el arte y la técnica", Universidad de los Andes.
- Hollmann John K., PE CCE CEP, 2008, "Contingency Estimating – General Principles", AACE International Recommend Practice N° 40R-08.
- Project Management Institute (PMI), Inc., 2008, "Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos", Guías del PMBOK, 4ta. Edición.
- Ph.D. Harold Kerzner, 2001, "Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling and Controlling, John Wiley & Sons, Inc.
- Dale F. Cooper, Stephen Grey, Geoffrey Raymond and Phil Walker, 2005, "Project Risk Management Guidelines: Managing Risk in Large Projects and Complex Procurements", John Wiley & Sons, Inc.

- **Índices de Materiales, Equipos y Maquinaria de Construcción, Boletín Técnico de la Cámara de Construcción de Cuenca - Ecuador, Años 2005, 2006, 2007, 2008, 2009 y Jun2010.**
- **KamaleshPanthi, 2007, "Prioritizing and Estimating Hydropower Project Construction Risk: A Case Study of Nyadi Hydropower Project", Florida International University.**
- **Palisade, "Guía Para el Uso del @RiskForExcell V. 5.5", Febrero 2010, PalisadeCorporation.**
- **Ph.D. Ordóñez Javier, 2010, "Using @Risk in Cost Risk Analysis", Palisade Corporation.**
- **Ph.D. Ordóñez Javier, 2010, "Análisis de riesgo utilizando @Risk", PalisadeCorporation.**
- **Universidad ESAN, Julio 2008, "Análisis de Barrera a la Entrada para la Inversión en Centrales Hidroeléctricas", OSINERGMIN, Oficina de Estudios Económicos.**

- Moya Rufino, Saravia Gregorio, 2007 "Probabilidades e Inferencia Estadística", San Marcos.
- Wayne L. Winston, 2006, "Modelos Financieros con Simulación y Optimización", Escuela de Negocios Kelley de Indiana University, Palisade.