UNIVERSIDAD DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL PIRHUA

METODOLOGÍA PUMA PARA ANÁLISIS DE RIESGOS EN CRONOGRAMAS DE OBRA

Sergio Trelles Costaguta

Piura, 25 de Marzo de 2010

FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento de Ingeniería Civil

Marzo 2010

Esta obra está bajo una licencia
Creative Commons Atribución-
NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú

Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura

UNIVERSIDAD DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERIA

"Metodología PUMA para análisis de riesgos en cronogramas de obra"

Tesis para optar por el Título de
Ingeniero Civil

Sergio Trelles Costaguta

Mgtr. Gaby Ruiz Petrozzi

Piura, Marzo 2010

A mis padres que siguen caminando conmigo, a Jorge y Manuela por su apoyo sin condiciones y a Carolina por su infinita amistad y cariño.

Prólogo

La aparición de eventos no previstos es inherente a la vida de un proyecto. Pueden aparecer al comienzo, durante o al final del proyecto. La probabilidad cuantificable se llama riesgo; y cuando no puede cuantificarse, incertidumbre. Estos eventos generan, la mayoría de las veces, sobrecostos y demoras no previstos en la ejecución de actividades del proyecto, por lo que son necesarios recursos adicionales para afrontar, ignorar o minimizar a estos eventos. El análisis de eventos inesperados, también llamado análisis de riesgo, pretende ser esa herramienta que toma en consideración los factores de riesgo inherentes en la actividad a realizarse por lo que se obtiene una visión mucho más real de la naturaleza del proyecto. Asimismo, facilita la toma de decisiones al equipo del proyecto y permite crear planes de contingencia para enfrentar dichos eventos.

En todo el mundo, las empresas se han visto en la necesidad de implementar las técnicas de análisis de riesgo financiero hacia otros factores de riesgo, como la tecnología de la construcción, ambiente, entorno cultural, entre otros. Al poseer, los proyectos, presupuestos de características muy particulares, cualquier variación en la forma de distribuir los recursos ocasiona altas incidencias en el presupuesto y cronograma de obra. Por ejemplo, en un estudio de 258 proyectos de infraestructura, en un umbral de 70 años, aproximadamente el 90% de éstos tuvieron costos subestimados, y el costo promedio actual es 28% mayor que el estimado en el estudio (Flyvbjerg, 2002). Esto clarifica cómo la falta de previsión al momento de la programación del proyecto causa desórdenes en el cumplimiento de las metas. Por citar otro ejemplo, el “Big Dig” se estimó en un costo de $ 2.6 miles de millones (al 1982) y se espera completar con un costo de $ 14.6 miles de millones (al 2002) con su culminación anticipada en el 2005 y completado en el 2003 (Molenaar, 2005).

En una investigación realizada en la UDEP sobre proyectos de infraestructura municipal de la ciudad de Piura se concluyó que los plazos de ejecución no se están estimando adecuadamente, generándose plazos adicionales. Aunque falta profundizar más en los factores que influyen en esta ampliación de plazos, los proyectos municipales tienen una tendencia muy marcada a culminarse en un tiempo mayor al plazo previsto y en el caso de los proyectos por administración directa esta extensión del plazo es ligeramente mayor

(Cáceres, 2005). Esto deja entrever que muchos de los defectos de estimación podrían estar influenciados por falta de conocimiento del proyectista en temas de riesgo y eventos inesperados. Indudablemente, se generan plazos adicionales que van en contra de ambas partes del proyecto (cliente, contratista), ya que para el caso del Estado los procedimientos de contrataciones y adquisiciones están sujetos a Ley.

Actualmente, en muchos países desarrollados, el análisis de riesgo integral es una metodología obligatoria para cualquier proyecto de construcción. Incluso, organismos gubernamentales pretenden estandarizar el método para hacerlo de manera sistemática y rápida; como por ejemplo DOT (Departamento de Transportes de Estados Unidos), Project Management Institute (PMI), entre otros. Generalmente se incluye dentro de la etapa de planeamiento de un proyecto y se concentra mayormente en el riesgo económico financiero. Se hace poco o nada con respecto a factores tan inherentes al proyecto como son tecnología, aspectos culturales, ambiente, etc. En nuestro país se conoce muy poco del análisis de riesgo. De hecho, los primeros esfuerzos se reflejan en el Sistema Nacional de Inversión Pública, que intenta introducir estos conceptos en las fases de concepción y desarrollo de los proyectos.

Estas herramientas de planificación cobran importancia cuando se introducen tecnologías no convencionales o siendo convencionales, se aplican por primera vez en un determinado medio. Es muy frecuente que la falta de experiencia de las personas involucradas en el desarrollo del proyecto o la introducción de tecnologías relativamente nuevas en la ciudad requieran un mayor esfuerzo en la planificación del cronograma de obra. La incorporación de este método a la fase de programación de la obra de construcción puede ser de gran ayuda para ofrecer una visión amplia del proyecto, brindando así un mejor entendimiento y optimizaciones importantes en las estimaciones de costo y tiempo de los proyectos.

Esta incorporación, para la construcción del auditorio no fue una tarea fácil. El análisis de riesgo se ha convertido en una parte importante para cualquier campo del conocimiento y la ingeniería no podía ser la excepción. Para poder realizar un trabajo que reflejara lo más fielmente la realidad del proyecto se tuvo que recurrir a bibliografía que no se posee en el medio. Más aún, durante todo este trabajo se contó con el valioso apoyo de autores de la bibliografía, en especial el Dr. Clifford Schexnayder, el Dr. Keith Moleenar, el Dr. Oteen Lichtenberg, Alfredo del Caño M ASCE y de mi profesor asesor, Mgtr. Gaby Ruiz Petrozzi.

Resumen

El objetivo de este trabajo es mostrar la aplicabilidad de la metodología PUMA como herramienta para mejorar el diseño del plan de construcción de un proyecto en el ámbito local. Para ello se usó el proyecto del Auditorio de la Universidad de Piura, donde la arquitectura y el sistema constructivo requerían un esfuerzo de planificación superior al convencional. Se logró verificar la eficacia del método, especialmente en la identificación de los riesgos y en la cuantificación de su impacto en la duración del proyecto. El método se muestra sencillo de aplicar y necesita la integración de los diferentes roles involucrados en la ejecución del proyecto, lo cual es favorable para el proyecto. Finalmente, se propone como favorable una eventual incorporación en las fases de planeamiento de los proyectos en el medio local.

Índice

Introducción 1
1 Análisis de riesgo y estimación 3
1.1 Definiciones 3
1.1.1 Riesgo 3
1.1.2 Evento de riesgo 4
1.1.3 Incertidumbre 4
1.1.4 Impacto 5
1.1.5 Análisis de Riesgos 5
1.1.6 Evaluación de Riesgos 6
1.1.7 Manejo de Riesgos 6
1.1.8 Planeamiento de mitigación de riesgos 6
1.2 Análisis de Riesgos 7
1.2.1 Etapas del análisis 7
1.2.2 Objetivos esperados del análisis de riesgos 9
1.2.3 Resultados esperados del análisis de riesgos 9
1.2.4 Participación en el análisis de riesgo 10
1.2.5 Validación del alcance, costo y cronograma 11
1.2.6 Identificación y cuantificación de riesgos 14
1.2.7 Componentes del proyecto 14
1.2.8 Lista de riesgos 16
1.2.9 Cuantificación de riesgos 17
1.2.10 Discriminación de riesgos significativos 17
1.3 Métodos para evaluación de riesgos 19
1.3.1 Posibles enfoques 19
1.3.2 Métodos de no – simulación 23
1.3.3 Métodos de simulación 24
1.3.4 Técnicas de análisis cualitativas y cuantitativas 25
1.4 Mitigación de riesgos 26
1.4.1 Registros de mitigación 27
1.4.2 Asignación de responsabilidades 29
1.5 Implementación y monitoreo 31
1.6 Plan de gerencia de riesgos 32
1.7 Riesgos en Construcción 33
1.7.1 Riesgos más comunes 33
1.7.2 Estimación Independiente de costo 34
1.7.3 Estimación independiente del cronograma 36
1.7.4 Principio de sucesión de Lichtenberg 37
2 Metodología PUMA (Project Uncertainty MAnagement) 41
2.1 Introducción 41
2.2 Proceso de PUMA 43
2.2.1 Aplicación y recursos necesarios 45
2.2.2 Etapas de PUMA 48
3 Diseño del plan de construcción 71

3.1 Aspectos generales del proyecto 71
3.2 Diseño del plan de construcción 75
3.2.1 Fase WP1, Obras preliminares 75
3.2.2 Fase WP2, Movimiento de Tierras 75
3.2.3 Fase WP3, Cimentación adecuada para el proyecto 76
3.2.4 Fase WP4, Instalaciones eléctricas 77
3.2.5 Fase WP5, losa de concreto 77
3.2.6 Fases WP6 y WP7, Veredas y Rampas y escaleras 77
3.2.7 Fase WP8, Estructura metálica 78
3.2.8 Fase WP9, Carpintería y tabiquería 79
3.3 Estimación del cronograma de obra 80
4 Proceso de Análisis de Riesgos para la construcción del auditorio 83
4.1 Iniciación 84
4.2 Balance 88
4.2.1 Alternativa 1 100
4.2.2 Alternativa 2 105
4.3 Asignación de riesgos y medidas de mitigación en la etapa de Balance 111
4.3.1 Riesgos compartidos 111
4.3.2 Riesgos del Cliente (Universidad) 112
4.3.3 Riesgos del contratista 112
4.3.4 Planes de mitigación para impactos de riesgos 114
4.4 Verificación del plan de construcción con medidas de mitigación 117
4.5 Mantenimiento y aprendizaje 118
5 Conclusiones y recomendaciones 123
5.1 Conclusiones 123
5.2 Recomendaciones 124
Bibliografía 127
Anexo A
Anexo B
Anexo C

Introducción

El plan de un proyecto de construcción explica las tareas o actividades para completarlo de acuerdo con ciertas especificaciones. Basados en el plan, un cronograma se hace para propósitos de control y comunicación. Pero, a pesar de usar un cronograma objetivo para dirigir el trabajo, siempre pueden aparecer complicaciones que implican esfuerzo adicional para tratar con mayores duraciones, poniendo en peligro la conclusión del proyecto a tiempo.

Es más, el trabajo adicional ocasiona que el contratista subcontrate los trabajos, aumentando las interacciones del contratista con otras organizaciones y los problemas potenciales en el ciclo de vida del proyecto. El planeamiento con este incremento de complejidad e incertidumbre ha hecho más difícil para los contratistas establecer compromisos.

Sin embargo, estos compromisos deben hacerse. Por tanto, los contratistas deben ser cada vez más rigurosos con estos compromisos. Ellos tienen la responsabilidad de coordinar las actividades de las partes para su culminación. Los compromisos deben cubrir todas las eventualidades para asegurar que los requerimientos del proyecto se logren en los plazos estipulados. Las tareas de contingencia, tales como revisiones y cambios deben emplearse en el plan del proyecto.

Un paradigma científico requiere que nos enfoquemos en los motivos que pueden documentarse y evitar conductas que generen congestiones u otras motivaciones subjetivas o difusas (Lichtenberg, 2005). Este es un fuerte arraigo de la enseñanza de ingenieros y economistas, pero a pesar de ser valiosa, no siempre es aplicable a todas las situaciones. Cuando se prepara un presupuesto para cierto proyecto se lidia con información incompleta, especificaciones, etc. Los costos de todo presupuesto se calculan hábil y cuidadosamente en base a información histórica u otra experiencia. Es más, se tiende a

asumir que esta información puede controlarse sin generar mayores problemas. Finalmente, se aplica un factor de seguridad para cualquier contingencia, con un valor arbitrario (generalmente 10%) y sin documentación alguna. Esto, inevitablemente, causa sobrecostos, ya que una gran parte del proyecto no está documentado en esta etapa, cuando se toman decisiones. Además, los presupuestos convencionales generan tolerancias insuficientes para factores que podrían aparecer durante la vida del proyecto, como: caprichos de la naturaleza, fallas humanas, complicaciones, requerimiento, influencias no previstas por las autoridades, propietarios, usuarios, etc. Todo esto, la mayoría de las veces representa más del 10% del presupuesto que se asignó como contingencia (Lichtenberg, 2005).

A partir de esta necesidad nace el análisis de riesgos. Este se ha estudiado y aplicado de forma tácita tiempo atrás. Su aparición fue de forma paralela a la del papel moneda, siendo el riesgo financiero su primera aplicación práctica; aunque también se consideran su origen con el desarrollo de la ingeniería militar y la ingeniería civil, pero es más utilizado en el sector económico – financiero. Sin embargo, esto sería reducir la concepción de riesgo; ya que, si bien se ha usado mayormente en cuantificar el riesgo financiero y económico, también abarca diferentes áreas de ciencia, como la naturaleza, procesos de producción, movimientos del mercado, entornos culturales, etc.

El desarrollo de teorías sobre riesgos en construcción se debió a la falta de flexibilidad de los métodos tradicionales, donde se consideran actividades con naturaleza invariable a lo largo de su desarrollo. Obviamente, esta consideración no se ajusta a la naturaleza del proyecto, y crea escenarios demasiado rígidos y muchas veces conservadores, incapaces de reaccionar ante eventos inesperados con desórdenes presupuestales, como por ejemplo la Opera de Sydney, el Túnel del Canal de La Mancha y los juegos Olímpicos de Atenas. Estudios realizados revelaron que la media presupuestaria en los proyectos de construcción era considerable, es decir, altos costos y plazo adicionales; mientras que un pequeño grupo de proyectos cumplían con los objetivos trazados en su planeamiento. Ante esto nacen las siguientes preguntas ¿Dónde encontraremos financiamiento adicional para los proyectos? ¿Deberíamos continuar con los trabajos, disminuyendo la calidad del trabajo? ¿Debemos declararnos incapaces para el desarrollo de futuras actividades de la compañía? El análisis de riesgos no responde estas preguntas, ya que dependen únicamente de la naturaleza del proyecto, pero da los elementos de juicio necesarios para responderlas (Lichtenberg, 2005).

Capítulo 1

1 Análisis de riesgo y estimación

1.1 Definiciones

1.1.1 Riesgo

La mayoría de personas entienden intuitivamente el concepto de riesgo. En la definición del Webster's Seventh New Collegiate Dictionary, "es la posibilidad de pérdida o daño; un elemento peligroso." Obviamente esta definición tiene una connotación negativa sobre el significado de riesgo. En este trabajo, riesgo se empleará para indicar una potencial circunstancia adversa, expresada principalmente en términos de costos elevados y demoras en los plazos.

Una definición más benigna, puede ser "circunstancias que en algunos elementos de decisión son variables y cuyo grado de variabilidad es conocido en términos probabilísticos." Según Al – Bahar y Crandall (1999) riesgo es la exposición a la posibilidad de ocurrencia de eventos que afecten en forma adversa o favorable a los objetivos de un proyecto, como consecuencia de la incertidumbre existente.

Entre los tipos de riesgos existentes, se creyó conveniente hacer la siguiente agrupación de éstos:

Riesgos según su impacto. Dentro de esta agrupación están los riesgos que podrían afectar a los objetivos del proyecto, tales como cronograma, costo, calidad, medio ambiente y seguridad.

Riesgos según su naturaleza. Estos riesgos aparecen específicamente sobre una especialidad determinada del proyecto. La agrupación que se hizo en este trabajo es la propuesta por DOT, de los Estados Unidos. Estos son: factibilidad, financiamiento, planeamiento, ingeniería, tipo de contrato, acuerdos contractuales, condiciones locales, contratista, cliente, normativa, actos de dios, sitio del proyecto, mano de obra, pérdidas o daños, garantías, tamaño del proyecto, clima, moneda y tecnología de la construcción.

Riesgos según su grado de conocimiento. Hay riesgos conocidos (conocidos desconocidos) son aquellos en los cuales se conoce su aparición mas no su probabilidad de ocurrencia. Los riesgos desconocidos (desconocidos desconocidos) son aquellos que no se conocen ni tampoco puede estimarse su probabilidad de ocurrencia, que son tratados a través de una contingencia general basada en la experiencia del jefe de proyecto.

Riesgos según se naturaleza de manifestación. Existen riesgos estáticos, el cual mantiene sus características invariables a lo largo de su existencia; y riesgos dinámicos, que cambian su probabilidad e impacto durante el ciclo de vida del proyecto.

1.1.2 Evento de riesgo

Un evento de riesgo es la ocurrencia específica de un riesgo o el potencial de esta ocurrencia específica. Por ejemplo, la posibilidad de encontrar mayor infiltración de agua de la esperada en la construcción de un túnel es un evento de riesgo. Cada evento tiene un impacto potencial que se refleja en costo y tiempo, y puede afectar al medio de construcción y sus métodos. Es lo que puede ocurrir, aquellas manifestaciones que pueden generar contratiempos o progresos dentro de un proceso. Además los eventos tienen una forma singular de manifestarse, obedecen a una distribución definida o son aleatorios. Cuando son definidos pueden seguir distribuciones de tipo normal, triangular, lineal, discreta, continua, según su naturaleza.

1.1.3 Incertidumbre

La incertidumbre del evento es la posibilidad de que el evento ocurra, pero sin conocer cómo ni cuándo se manifestará. Por ejemplo, la posibilidad que el evento “lluvia torrencial” ocurra en los meses de verano en Piura es alta, posee una incertidumbre asociada y cuantificada (riesgo); mientras que la ocurrencia de un sismo durante la

ejecución de un proyecto es una incertidumbre constante, ya que no se conoce todas sus formas de manifestación.

Las incertidumbres de un proyecto incluyen tanto eventos adversos como oportunidades. No se puede pensar en situaciones adversas solamente, ya que limitaría la capacidad de gestión para el manejo de contingencias, que incluye aprovechar oportunidades que podrían presentarse durante la ejecución del proyecto.

1.1.4 Impacto

La ganancia/pérdida potencial son las consecuencias de la ocurrencia del evento. Esto también se conoce como impactos producidos por el evento. Tomando el ejemplo del evento “lluvia torrencial”, sus impactos podrían ser la demora de las actividades a las que afecta, el uso adicional de recursos, pérdida de algunas estructuras, etc.

1.1.5 Análisis de Riesgos

El análisis de riesgos consiste en identificar, evaluar y mitigar los probables eventos de riesgo que aparezcan en proyectos, ya sean de construcción o de cualquier otra actividad. Su objetivo principal es brindar al cliente o contratista herramientas necesarias para realizar los proyectos dentro de plazos y costos razonables, además de permitir una visión más real del proyecto.

Sin embargo, el análisis de riesgos no sólo está asociado a circunstancias adversas; no sólo como eventos que pueden afectar negativamente la capacidad del equipo para terminar el proyecto a tiempo y dentro del costo meta, sino que pueden aparecer eventos que no se tomaron en cuenta y los cuales brindan oportunidades para terminar de forma rápida el proyecto a bajo costo. Por ejemplo, una técnica nueva de diseño que reduzca costos de material y el tiempo de construcción. Estas oportunidades, o beneficios potenciales pueden compensar (que no significa mitigar) los impactos del riesgo. El análisis de riesgos, por tanto, debe identificar oportunidades para sacar provecho de ellas así como de las circunstancias adversas para evitarlas o minimizarlas.

Los riesgos deben estar completamente definidos para lograr una acción acertada de mitigación o aprovechamiento. El objetivo de la evaluación de riesgos es un mejor entendimiento de los riesgos y oportunidades del proyecto y cuantificar su potencial impacto sobre el cronograma y su costo.

Para propósitos de este trabajo, cuando se hable de análisis de riesgo, se intentará integrar tanto oportunidades como riesgos, aunque el término "riesgo" sea el que se use.

1.1.6 Evaluación de Riesgos

La evaluación de riesgos se define como la identificación de riesgos en términos de probabilidad de ocurrencia o consecuencias probables. La probabilidad de ocurrencia y su consecuencia asociada puede expresarse cualitativa o cuantitativamente. Si los riesgos pueden cuantificarse es más fácil comprender los efectos sobre el proyecto y determinar si sus recursos – tiempo, dinero, o otros propósitos – pueden aplicarse efectivamente e influir sobre los eventos de riesgo. Como ejemplo, para los riesgos de infiltración excesiva y ruidos no deseados en la construcción de un túnel, la evaluación de riesgos debe cuantificar la probabilidad que el evento pase y cuánto afectaría eso al proceso de construcción del túnel si éstos ocurrieran.

1.1.7 Manejo de Riesgos

El manejo de riesgos, o gerencia de riesgos, consiste en tomar decisiones que influyan sobre los riesgos, tomando acciones efectivas para reducir circunstancias adversas y aprovechar las oportunidades. El proceso involucra la preparación de un plan de acción que priorice riesgos y describa formas de cambiar la probabilidad de los eventos de riesgo y sus potenciales impactos en el tiempo y costo. Este plan de acción se refiere al **plan de manejo de riesgos**, que es el resultado tangible más importante de todo el proceso de análisis de riesgos.

1.1.8 Planeamiento de mitigación de riesgos

El planeamiento de mitigación de riesgos es otro término usado para describir al manejo de riesgos. Aunque tiene la connotación que todos los riesgos son adversos y deben evitarse, no es así. Los riesgos, como ya se explicó anteriormente, pueden ser provechosos para el proyecto si se poseen las herramientas adecuadas de gestión. Un ejemplo para entender la mitigación de riesgos es el siguiente: para mitigar la infiltración excesiva de agua en el túnel serían necesarias mayores investigaciones geotécnicas para reducir la probabilidad de ser sorprendidos por flujos excesivos y prepararnos para infiltraciones altas en lugares específicos. Para prevenir la molestia causada por el ruido, deben hacerse mediciones adicionales sobre el nivel de ruido cerca de la construcción, y coordinar con el contratista ciertas medidas sobre el uso de su maquinaria (horarios, sistemas de aislamientos, etc.). En cada caso, los posibles impactos en costo y tiempo podrían resultar si ocurre el evento de riesgo y serían contrastados con las medidas que se adoptaron a través de una comparación

de costo – beneficio. Esta comparación ayudará a decidir si es mejor aceptar o mitigar el riesgo.

1.2 Análisis de Riesgos

Cuando se prepara el cronograma de un proyecto, se hacen estimaciones sobre los factores que pueden afectarlo. Estas consideraciones se pueden hacer de 3 formas elementales:

- Se estima costo y duración totales, cada valor por separado. Estas estimaciones incluyen incertidumbres, factores no especificados, así como conocidos.
- Se estima el costo base o duración más una contingencia específica, donde la base cubre todo lo conocido en el proyecto, mientras que la contingencia es un adicional para los aspectos desconocidos del proyecto.
- Se estima el costo base o duración más riesgos detallados, los cuales también incluyen todo lo conocido; pero cuantifica los valores desconocidos en riesgo, que se adicionan a la base.

El propósito del análisis de riesgos es que el costo y la duración del proyecto se establezcan usando la tercera vía de estimación o, si dentro de la estimación se incluye una contingencia, que ésta sea validada mediante un análisis de riesgos. El beneficio de una evaluación sistemática de los riesgos de un proyecto es que el cliente puede tener más confianza acerca de los costos en los que deberá incurrir y las tolerancias que su programa de obra le ofrece; y como resultado, el proyecto tiene mayor probabilidad de terminarse a tiempo y dentro del presupuesto.

1.2.1 Etapas del análisis

El Departamento de Transporte de los Estados Unidos (US DOT) propone seis pasos básicos para el análisis de riesgos. Estos se muestran en la Figura 1.1. Para propósitos de este trabajo estos pasos se dividen en dos partes:

- El primero concierne con identificar los riesgos y sus potenciales impactos en relación a ciertas condiciones – desde la validación de las condiciones base hasta la modelación (Figura 1.1). Las condiciones base se refieren al alcance, cronograma y costo del proyecto antes que se hagan asignaciones debido a circunstancias no definidas o desconocidas – contingencias, todo en términos de la construcción. La primera parte también incluye una revisión de las conclusiones con la partes involucradas en el

proceso – Revisión/ Discusión – y establecer quién sería el responsable de mitigar los impactos de riesgos más significativos. Para efectos de este trabajo, esta etapa se refiere a la Evaluación de Riesgos.

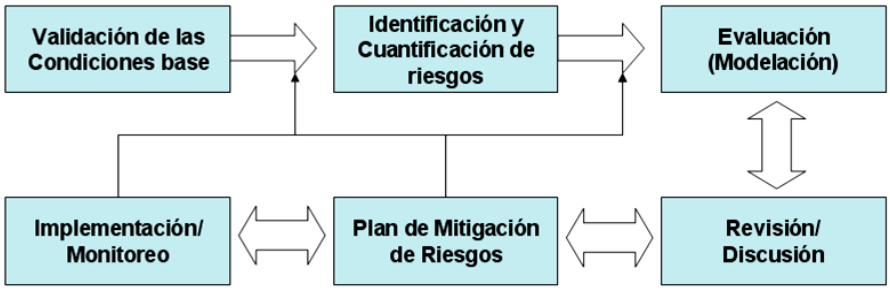


Figura 1.1. Seis pasos básicos propuestos por el Departamento de Transporte de Estados Unidos (US DOT) para el Análisis de Riesgo.

– La mitigación de riesgos, que involucra el desarrollo e implementación de un plan de manejo de riesgos (Plan de Mitigación de Riesgos) y monitoreo de las respuestas al plan (Implementación/ Monitoreo). Esta segunda parte del proceso se refiere al Manejo de Riesgos.

Evaluación y Manejo de Riesgos se combinan para formar el Análisis de Riesgos. Como se muestra en la Figura 1.1, las flechas indican una reevaluación permanente durante todo el proceso, ya que durante el desarrollo del proyecto pueden aparecer nuevos riesgos y sus impactos deben evaluarse sistemáticamente para no alterar significativamente al proyecto.

Un aspecto importante del análisis de riesgo es cuándo y cómo debe ejecutarse. Esta estrategia, incluyendo el método analítico que se use, puede diferir de alguna manera dependiendo del tipo de proyecto o la etapa en la que se encuentre pero su uso da valor al desarrollo del proyecto independientemente de la forma de aplicación: en la etapa de diseño, durante la ingeniería básica, durante la construcción o al final de ésta.

Algunos aspectos a tomar en cuenta en relación a la aplicación del análisis de riesgos son:

– Las conclusiones influyen en el proceso de presupuesto y programación, y revaloran la ingeniería. Esto con el fin de lograr aprendizaje continuo en el equipo del proyecto.
– Los miembros del equipo deben tener la destreza suficiente en campos técnicos y de gestión, expertos preparados son fundamentales. Con el fin de obtener resultados válidos, el equipo también debe poner mucho esfuerzo en las diversas etapas del proceso.

– Antes de realizar la evaluación de riesgos; hay que identificar la situación que mejor lleve a cabo los objetivos estudiados; para esto debe contarse con recursos e información disponible, evitando errores.

1.2.2 Objetivos esperados del análisis de riesgos

El Análisis de Riesgos pretende ofrecer una aproximación al costo y tiempo reales del proyecto de manera efectiva. Este proceso brinda valiosa información acerca del proyecto. Además de dar un mejor entendimiento del proyecto y las incertidumbres que lo afectarían, este proceso ofrece otros beneficios. Entre estos tenemos:

– Mejora la comunicación entre los miembros del proyecto, ya que fuerza a los miembros del equipo del proyecto a mantener atención durante la ejecución de las actividades y comunicando los resultados de éstos al gerente de obra.

– Mejora la comunicación externa al proyecto. Esto es especialmente importante cuando se desea publicar información relativa al proyecto.

– Mejor entendimiento en el proceso de desarrollo del proyecto, ya que justifica la naturaleza de cada actividad y su forma de realizarse.

– Estimaciones más realistas de tiempo y costo de las actividades. Esto debido a las actualizaciones constantes durante el proceso por medio de formatos (registros, documentos formales, etc.).

– Mejor entendimiento de los planes de contingencia, si son suficientes o se necesitan recursos adicionales.

– Genera información que puede ser útil para proyectos o actividades futuras.

– Mejora el proceso de estimación, tanto en costo como en tiempo.

1.2.3 Resultados esperados del análisis de riesgos

De los resultados que genera el análisis de riesgos tenemos los siguientes:

– Estimaciones probabilísticas de costo y presupuesto, considerando todas las incertidumbres.

- Listas priorizadas de riesgos, incluyendo su probabilidad de ocurrencia y los impactos sobre el proyecto. Estas listas enumeran los riesgos más significativos y permiten tomar acciones de mitigación contra ellos.
- Estimación del costo de cada riesgo y sus potenciales efectos sobre los componentes del cronograma.
- Estimación de los efectos de los riesgos sobre el costo total y el cronograma en conjunto.
- Priorización de estrategias para mitigar riesgos, incluyendo su implementación.

La estimación de costo y presupuesto son un rango de valores probables. Esto refleja el hecho que ambos incorporan las incertidumbres del proyecto respecto de costo y tiempo, y variarán dependiendo de la ocurrencia de los riesgos identificado en el proceso.

1.2.4 Participación en el análisis de riesgo

El proceso involucra un escrutinio intensivo en todos los aspectos del proyecto desde todos los puntos de vista razonables. Se necesita un rango de disciplinas – técnicas, gerencial, políticas – para hacer exitoso el proceso. El dueño del proyecto (cliente) debería ser un participante activo y ser representado en la mayoría de disciplinas posibles. Sin embargo, su participación debe limitarse a proveer información y revisar los resultados.

La identificación y cuantificación de riesgos recae en individuos con un claro entendimiento del proyecto. Su conocimiento debe ofrecer la experiencia necesaria para los diferentes tipos de riesgo y afrontarlos durante el desarrollo del proyecto. Los expertos, en la etapa de evaluación de riesgos, deben abarcar, principalmente, las áreas de planeamiento y diseño, tales como: procesos de implementación, financiamiento, cuestiones ambientales y políticas y una base amplia de ingeniería. Expertos en disciplinas técnicas son menos importantes, ya que las estimaciones de costo, diseño y cronograma, están definidas en esta etapa del proyecto. Estos expertos deben ser independientes del equipo del proyecto, para que el proceso sea lo más claro posible.

Para proyectos con diseños ya desarrollados y a punto de construirse sería mejor contar con profesionales que incluyan las áreas de gerencia de proyectos y gerencia de construcción, así como en todas las disciplinas relevantes (civil, estructural, geotécnica, sistemas, etc.).

La Figura 1.2 ofrece una lista de las disciplinas clave que deben incluirse en el análisis de riesgo. No todas las disciplinas están enumeradas. Dependiendo de las circunstancias, se puede agregar otras, tal como cuestiones de políticas institucionales/ públicas. El primero

se requerirá en cualquier fase de la implementación del proyecto; el último, en cambio, en el diseño final o durante la construcción para solucionar algún problema específico.

Discipline	Conceptual Design*	Preliminary Engineering	Final Design	Construction
Implementation Planning	●	●	○	
Environmental Planning	●	●	○	○
Funding/Approvals	●	●	○	
Project Management	●	●	●	●
Engineering	●	●	●	●
Civil, Structural, Systems		○	●	●
Architectural Design		●	●	○
Cost Estimating	○	●	●	●
Scheduling	○	●	●	●
Budgeting/Controls		○	●	○
Real Estate	○	●	●	○
Construction Management/Oversight			●	●
Constructibility/Contractor			○	●
Operations	●	●	●	●
Other Technical (e.g., Legal, Permitting, Procurement)	○	●	●	●
Risk Facilitation	●	●	●	○

* Includes FTA systems planning and alternatives analysis.

● Highly desirable

○ Desirable but optional depending upon circumstances

Figura 1.2. Lista de miembros clave para la evaluación de riesgos[1], según la Agencia Federal de Transportes de Los Estados Unidos de América (FTA).

1.2.5 Validación del alcance, costo y cronograma

Cuando se analizan los efectos potenciales de riesgos e incertidumbres, el proyecto se divide en dos partes. El primer elemento es la base del proyecto que está descrita por:

– Adoptar un alcance del proyecto, documentado en detalle dentro de los planos, o en la información correspondiente (estudios de impacto ambiental (EIA), expediente técnico, etc.).

– Un costo base del proyecto, que excluye las contingencias producidas por los riesgos.

– Cronograma de proyecto, que se estima con los tiempos de cada una de las actividades.

[1] Office Project Management Process Improvement, *Project Risk Management Handbook,* junio 2003.

El segundo elemento incluye las incertidumbres que podrían adicionarse a los elementos antes mencionados. Esta es la esencia del riesgo dentro del proyecto.

La Figura 1.3 muestra esta relación desde la perspectiva del costo del proyecto. Los costos base tienden a ser grandes y relativamente bien definidos. Los costos de riesgo tienden a ser más pequeños que los anteriores y varían considerablemente. El costo total es simplemente la suma de estos elementos y se muestran como funciones de distribución, porque en la evaluación de riesgos ambos elementos representan incertidumbre. Incluso cuando el costo base tiene cierto grado de incertidumbre, las estimaciones que se hagan con las mismas suposiciones podrían variar.

Los conceptos de costo base, alcance y cronograma son centrales para la evaluación de riesgos. Este esquema no difiere mucho del desarrollo tradicional de costo y cronograma. Pero en la evaluación de riesgos, hay un costo y un cronograma – el mejor tiempo y costo estimados antes que las contingencias sean aplicadas – y luego se adicionan tiempo y costo como contingencias por riesgos, dando como resultado la estimación total del proyecto.

El primer paso en la evaluación de riesgo es establecer alcance, costo y cronograma razonables. Sin una base sólida, es difícil cuantificar el impacto del riesgo. Una base con vacíos o imprecisiones puede ser indicativo de riesgos mayores – en el diseño, en la cantidad de recursos, en el precios de insumos. Tales incertidumbres deben tomarse en cuenta dentro del proyecto. Por ejemplo, si se comienza con valores demasiado altos o demasiado bajos, incurriremos en una estimación imprecisa del proyecto sin importar cuán precisa sea la evaluación de riesgos.

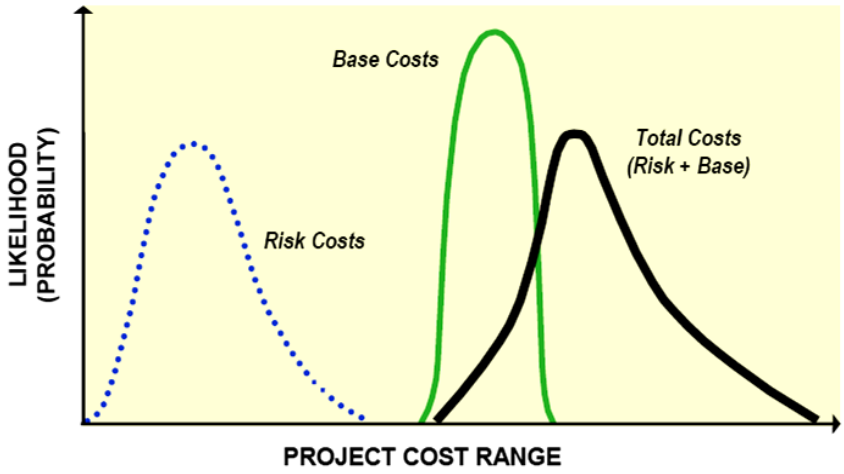


Figura 1.3 Distribución de costo base, costo de riesgo y costo total

La revisión de las condiciones base debería solucionar este problema. Tanto el costo como el cronograma deben ser, por tanto, estimados de forma precisa e implementarse de acuerdo al plan de proyecto.

Entre las actividades de revisión más importante tenemos las siguientes:

- Remover todas las contingencias asumidas en las estimaciones de costo y tiempo. Usualmente, las contingencias asignadas a los componentes del proyecto están claramente identificadas. Aquel que revisa las condiciones iniciales debe entender qué se incluye en las contingencias. Si una de éstas (o parte) corresponde con ítems que van a incluirse en el proyecto y no fueron cuantificadas en el momento de la estimación, deberían mantenerse esta consideración como parte de las condiciones iniciales.
- Revisar planes, costos base y el cronograma para lograr una precisión completa y general. En proyectos grandes se recomienda el muestreo de los ítems. Esta revisión no está concebida como un estudio externo al equipo, por un ingeniero externo e independiente a éste. Generalmente, esta cantidad de esfuerzo no debería darse, al menos en proyecto grandes. Una razón para estratificar es que ciertas actividades del proyecto puede garantizar un mayor cuidado que otras, debido a sus efectos o sus relaciones con otras actividades. Aplicado al análisis de riesgos, la Ley de Pareto[2] sugiere que alrededor del 20 % de los componentes del proyecto generarán, por lo menos, el 80 % de los mayores riesgos en el proyecto. Es razonable, por tanto, concentrarse en aquellas actividades con la mayor incertidumbre y los mayores efectos potenciales sobre todo el proyecto. La revisión de las otras actividades se puede hacer de manera rápida y sensata.
- Preparar una estimación objetiva de los costos y duraciones que deberían añadirse o quitarse de la base inicial. Esto produce una base revisada, que debe estar, además, dentro del consenso del equipo.

Los aspectos en que se deben enfocar, como parte de este proceso en el alcance, costo y cronograma son:

Alcance

- Consistencia en la información del proyecto que incluya documentos sobre el medioambiente (EIAs).
- Cantidades en el diseño y su correspondencia con los costos estimados.

Costo

- Fuentes de información.

[2] Wilfredo Pareto, *Cours d'économie politique* (Droz, Geneva, 1896 { 1965).

– Fecha de la información.
– Suposiciones escaladas en orden de importancia.

Cronograma

– Las dependencias del tiempo entre los componentes del proyecto.
– El cronograma de obra y las actividades en la ruta crítica (los pasos en el desarrollo del proyecto y sus duraciones que establezcan el tiempo mínimo en el que se completaría el proyecto).
– Concesiones de tiempo adicionales para las actividades (holguras).
– Todos los mecanismos del cronograma.

La orientación específica es provechosa para personas que desarrollan revisiones técnicas de los alcance, costo y cronograma. Esta orientación los ayuda a enfocarse en aspectos importantes y conlleva a la generación de reportes uniformes – así como su interpretación – de las conclusiones. Su objetivo es formar una lista de chequeo o plantilla, donde estén todos los riesgo que afectan al costo, cronograma y alcance. La Figura 1.4 es un ejemplo de una plantilla usada para determinar el índice de complejidad de proyectos; la idea es mostrar el tipo de documentación que se genera luego de validar alcance, costo y cronograma. Más adelante se explicará su uso y aplicación concreta.

1.2.6 Identificación y cuantificación de riesgos

El siguiente paso en la evaluación de riesgos es la identificación de riesgos que podrían afectar al alcance, el costo y el cronograma bases (Figura 1.1). Estos cambios también se cuantifican, tanto en términos de probabilidad de ocurrencia como impactos probables.

La identificación de riesgos no debe ser algo forzoso. Es necesario concebir todos los riesgos que estén dentro de los alcance, costo y cronograma bases; por tanto, se prefiere una lista larga a una corta con riesgos detallados. Esta lista larga puede tener riesgos que quepan en diferentes áreas, por lo que conforme se avance en el proceso estos "traslapes" deben corregirse, tratando de enfocarse en los componentes del proyecto. Si se intenta realizar una lista corta, es muy posible que se pasen por alto áreas con riesgos potenciales.

1.2.7 Componentes del proyecto (WP)

Es provechoso pensar en los riesgos como parte de los componentes de un proyecto. Componentes del proyecto son todas aquellas partes que forman parte del proyecto, es

decir, la actividad o la agrupación de éstas por especialidad. Estos componentes son importantes para entender cómo un riesgo específico puede afectar el presupuesto y el cronograma, no sólo a nivel general del proyecto sino dentro de áreas específicas del manejo de construcción. La organización y el enlace del riesgo a este nivel es importante para lograr una efectiva gerencia de riesgos a través de modificaciones en el diseño y gestión contractual.

Una manera conveniente de asociar el riesgo a los componentes del proyecto es mediante la creación de una red de trabajo. En esta red se pueden identificar las relaciones entre los componentes y sus secuencias, y sirve como resumen de los mayores componentes del proyecto. La Figura 1.5 muestra una red de un proyecto de transporte en los Estados Unidos. El proyecto consta de la instalación de equipos para una vía férrea[3].

Cuestionario para la determinación de la complejidad de proyectos de construcción			
Proyecto:	**Cód: alumina**		
Factor (descripción abreviada)	**valor**	**peso**	**v*p**
Entorno: complejidad directa			
variedad de conflictos socio-políticos que afectan al proyecto e interrelación entre los mismos	0,5	3	1,5
diversidad e interrelación de la legislación y normativa aplicable	1,5	1	1,5
diversidad de elementos de la construcción que implican impacto medioambiental	1	1	1
diversidad de impactos medioambientales	1	1	1
diversidad de competidores para quien acomete el proyecto	2,5	1	2,5
diversidad de problemas con origen en la localización del proyecto	2	1	2
diversidad de accesos, abastecimiento de energía, campamentos, oficinas, almacenes o talleres, entre otros	1,5	1	1,5
Entorno: complejidad indirecta			
intensidad de los conflictos socio-políticos que afectan al proyecto y nivel de presión e incertidumbre que añaden	1	3	3
nivel de exigencia de la legislación y normativa que afecta al proyecto (por ejemplo, en centrales nucleares)	1,5	1	1,5
preocupación en materia ambiental existente y nivel de presión ejercido sobre el proyecto	1,5	3	4,5
grado de competitividad de los diversos competidores	3	3	9
necesidad de respuestas rápidas a condiciones cambiantes (por ejemplo, cambios bruscos organizativos)	1	3	3
periodos económicos muy cortos, grandes oscilaciones en los mercados, en general, inestabilidad de la economía	2,5	3	7,5
Sistema a construir: complejidad directa			
gran cantidad de unidades de obra diferentes muy interrelacionadas entre sí	3	2	6
gran cantidad de productos a fabricar por la planta o de servicios a prestar por el complejo que se construye	1	2	2
instalaciones importantes a integrar en construcciones ya existentes sin detener su funcionamiento	0	2,5	0
existencia de subproyectos con heterogeneidad relativa a diferencias de tamaño, de urgencia y/o de tecnología	1	2	2
Sistema a construir: complejidad indirecta			
criticidad de la necesidad de integración de la nueva instalación en las existentes y de la no interrupción	0	3	0

Figura 1.4 Plantilla para establecer el índice de complejidad de un proyecto.

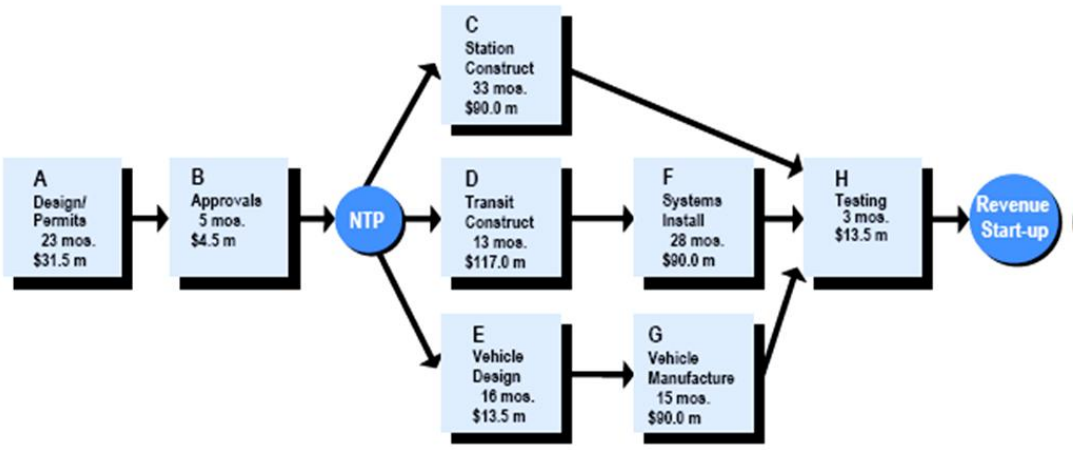


Figura 1.5. Red de trabajo de un proyecto férreo en los Estados Unidos.

[3] Análisis de Riesgo y Procedimiento, Departamento de transportes de Estados Unidos, Ali Touran & Golder Asociados, 2004.

Esta red ayuda en el entendimiento de las relaciones que se dan en el proyecto. El cronograma y el diseño se van detallando a medida que se avanza desde el diseño preliminar hasta el final, estableciendo el nivel apropiado de detalle para la definición de riesgos.

Otra manera de esquematizar los riesgos en los componentes del proyecto es hacer formatos tabulares con los componentes del proyecto con sus respectivos riesgos asignados. Es en realidad una forma de describir riesgos, su probabilidad de ocurrencia, sus potenciales costos e impactos sobre el cronograma cuando la identificación de riesgos ha progresado al punto donde comienza su cuantificación.

1.2.8 Lista de riesgos

Las mejores fuentes de información a partir de las cuales se puede crear listas de riesgos son los reportes o información de proyectos similares, fuera de los expertos que están en condiciones de generar estas listas o de experiencias anteriores. Investigar sobre proyectos similares es un poco limitado, ya que esta corriente sobre análisis de riesgos es nueva. Con más proyectos, en los que se desarrollen evaluaciones de riesgos y con el intercambio de información a través de organismos competentes o el internet, la base de datos sobre riesgos crecerá.

Las conclusiones de la revisión de condiciones base deben incluir todas la interrogantes y preocupaciones de los expertos que las han revisado, convirtiéndose en situaciones de potencial riesgo. Por ejemplo, si en los planos se encuentra omisiones de detalles importantes del proyecto, entonces existe el riesgo potencial de cometer errores u omisiones que afectarían la calidad del proyecto, incluyendo la documentación que se genera. Si existe incertidumbre sobre los precios unitarios o cantidades a incorporar dentro de las estimaciones, entonces también existe un riesgo de tener sobrecostos en el presupuesto y los consiguientes reclamos en la etapa de construcción.

Toda esta información debe revisarse para identificar los riesgos del proyecto. La información subjetiva proporciona una fuente de información secundaria. Ésta incluye opiniones de expertos, juicios de valor o experiencia. Entre las fuentes de esta información tenemos al propietario, paneles de expertos, entre otros.

1.2.9 Cuantificación de riesgos

Una vez que todos los riesgos han sido identificados, se cuantifican sus potenciales efectos en términos de costo y tiempo. Como ya se mencionó, los riesgos son parte de la incertidumbre que envuelve al proyecto. No son valores determinísticos; al contrario, cada riesgo representa un rango de posibilidades. De hecho, los riesgos se expresan en términos de posibilidades – cuán posible es que ocurran y cómo afectarían al costo y duración. Las posibilidades se expresan matemáticamente como probabilidades; por consiguiente, los riesgos pueden definirse por probabilidades de ocurrencia (frecuencia) y sus impactos probables sobre costo y tiempo.

El registro de riesgos (ver Tabla 1.1) incluye una estimación de "Probabilidades de Ocurrencia" para cada riesgo y sus impactos en tiempo y dinero; es decir, da una idea de la cantidad de recursos que se deben estimar para mitigar el evento, en caso de aparecer. Algunos riesgos se presentan en un rango de posibles impactos en costo y duración, reflejando cierta incertidumbre de su magnitud. Los valores esperados de impactos, tanto en tiempo como en costo, pueden calcularse de la siguiente manera:

Valor esperado **=** ***Probabilidad de ocurrencia * Estimación*** *Ec. 1.1*

Para caracterizar los riesgos de esta manera, los responsables deben pensar en términos probabilísticos. Como base para la cuantificación de riesgos, se ha creído conveniente mencionar algunos conceptos de probabilidad.

1.2.10 Discriminación de riesgos significativos

Cuando los riesgos han sido identificados y cuantificados según la información disponible, la larga lista de riesgo se depura, quedando sólo aquéllos riesgos significativos para el proyecto. El nivel de significancia se determina estableciendo un umbral de impactos potenciales, tanto en tiempo como en dinero. Así pues, por ejemplo, para proyectos grandes un sobrecosto de $ 500,000 ó $ 1, 000,000 puede clasificarse como significativo, mientras que cuatro o más semanas adicionales también serían significativas. Los riesgos inaceptables deben analizarse con mayor detenimiento. Asimismo, los riesgos menores pueden ser dejados de lado, ya continúan afectando al costo y tiempo del proyecto.

Tabla 1.1. Registro de riesgos de proyecto férreo.

ID	Risk/Opportunity	Description of Issue	Affected Project Component	Correlation Among Dependent Components	Probability of Risk Occurring	Risk Cost		Risk Duration	
						Distribution	Expected Value[1]	Distribution	Expected Value of Delay[1]
Risk 1.	**Permitting and Interagency Agreements:**	Permits required from approval agencies could be delayed; intergovernmental agreements between grantee and other agencies might not be concluded on schedule.	**A. Design & Permitting** **D. Transit Construction**	Positive between Cost and Schedule (i.e., Duration) of Both Components A & D	25% (0.25)	Triangular (see *Fig 4-7 'C'*)	A. $ 2.2 m D. $21.6 m	Triangular (see *Fig. 4-7 'C'*)	A. 7 mos. D. 4 mos.
Risk 2.	**FFGA Approval:**	Grantee documentation of readiness to enter into full funding grant agreement; negotiations with FTA might require further revisions, thereby delaying the anticipated FFGA approval date.	**B. FFGA Approval**		10%	No Significant Effect	No Significant Effect	Discrete (see *Fig 4-6 'B'*) 1 mos. = 50% 2 mos. = 30% 4 mos. = 20%	2 mos.
Risk 3.	**Station Design:**	Changes in stations features could occur late in final design and/or during early construction due to community concerns, requiring additional design effort and delaying start of certain construction activites.	**C. Station Construction**	Positive between Cost and Schedule (Delay=Higher Costs	30%	Exponential (*Fig. 4-7 'F'*)	$10.0 m	Lognormal (*Fig. 4-7 'E'*)	5 mos.
Risk 4.	**Right-of-Way Cost and Availability:**	Property costs are uncertain and possibly higher than anticipated; the acquisition schedule, including obtaining of construction easements, could be extended.	**D. Transit Construction**	Positive between Cost and Schedule	50%	Lognormal (*Fig. 4-7 'E'*)	$30.0 m	Lognormal (*Fig. 4-7 'E'*)	6 mos.
Risk 5.	**Utility Relocations:**	Locations of certain utilities are unknown and their relocation could be required.	**D. Transit Construction**		20%	Lognormal (*Fig. 4-7 'E'*)	$5.0 m	Uniform (*Fig. 4-7 'A'*)	6 mos.
Risk 6.	**Changing Market Conditions:**	The construction market is changing, with bid prices on similar work components on other projects varying considerably. Procurement costs for major project components could be higher than estimated.	**C. Station Construction** **D. Transit Construction** **E. Vehicle Design** **F. Systems Installation** **G. Vehicle Manufacture**	Positive among Costs of Components C-G	100%	Normal (*Figure 4-7 'D'*)	C. $4.6 m D. $5.9 m E. $0.7 m F. $4.5 m G. $4.5 m	No Significant Effect	No Significant Effect
Risk 7.	**Light Rail Vehicles Price:**	With vehicles likely to be supplied by firms based outside the U.S., prices could fluctuate significantly in response to changing dollar exchange rates.	**E. Vehicle Design** **G. Vehicle Manufacture**	Positive between Cost and Schedule of Both Components E & G	10%	Lognormal (*Fig. 4-7 'E'*)	E. $ 2.0 m G. $20.0 m	Lognormal (*Fig. 4-7 'E'*)	E. 4 mos. G. 4 mos.
Risk 8.	**Systems Equipment Integration:**	Problems installing and testing of complex systems equipment and controls (signals, communications, tractions power, fare collection, etc.) could add to costs and delay the revenue operations date.	**H. Testing**	Positive between Cost and Schedule	50%	Lognormal (*Fig. 4-7 'E'*)	$5.0 m	Lognormal (*Fig. 4-7 'E'*)	6 mos.
Risk 9.	**Contractor Incentive Payment:**	Construction contract for primary general contractor includes an incentive payment of $10 million if work is completed ahead of grantee's base schedule.	**H. Testing**[2]		50%	Single Value	$10.0 m	No Significant Effect	No Significant Effect
Risk 10.	**Grantee Administrative Costs:**	Should project construction be extended, grantee administrative costs, including costs for construction management and design support during construction, will increase proportionately.	**H. Testing**[2]	Directly Proportional to Delay if Project Duration Over 72 Months	100%	Multiplicative[3]	Months of Delay X $0.5 m per Month	No Significant Effect	No Significant Effect

[1] Calculated or simulated expected value for individual risk event; does not account for possible effects of correlations with other components/risks, escalation effects, etc.

[2] Impacts assigned to final project component although the risk does not only apply to Testing component.

[3] Estimated project duration is 80 months. Total Admin. Cost Calculated as (80+Months Delay)/80 X Base Administrative Cost.

1.3 Métodos para evaluación de riesgos

1.3.1 Posibles enfoques

Como ya se explicó la cuantificación de riesgos en costo y tiempo empieza con un registro de riesgos. Si el registro fue preparado correcta y cuidadosamente se tiene un resumen de varios eventos de riesgo y sus respectivos impactos. La evaluación de riesgos es el proceso de combinar estos riesgos identificados con una base matemática adecuada para lograr comprender el efecto de estos eventos sobre el proyecto (componentes mayores del proyecto). Este ejercicio no es una simple suma, como se notó previamente. Los impactos del riesgo se caracterizan como variables determinísticas o probabilísticas.

Cuando se realiza una estimación determinística, tan sólo se calcula un valor de ocurrencia. Esto puede aplicarse con cierta confianza cuando se estiman costos o duraciones de las actividades; mas no dan un valor preciso cuando se quieren evaluar riesgos. Su uso en riesgos puede darse en la medida que el equipo posea la experiencia suficiente o que el proceso esté tan controlado que no requiera otro tipo de estimación.

Como oposición a la estimación de valores individuales o determinísticos, que se basan en varias suposiciones que pueden ser o no ciertas, las estimaciones probabilísticas consideran todas las posibilidades. El enfoque probabilístico básico de la evaluación se discutirá en los párrafos siguientes.

Independientemente del enfoque, las incertidumbres en el costo y duración totales se determinan como función de incertidumbres en las estimaciones de varios parámetros subyacentes, tales como los componentes del proyecto. En el contexto del análisis de riesgos, éstos son los componentes de costo y duraciones por riesgos y los componentes base de costo y duración. Las incertidumbres para un costo y duración particulares podrían evaluarse directamente usando métodos estadísticos adecuados, si hay adecuada y suficiente información disponible. Las incertidumbres incluso, podrían evaluarse subjetivamente, consistente con toda la información disponible o como función de otros parámetros.

Esta reunión de información y análisis puede ser significativa. Sin embargo, para reducir esfuerzos, se debe estimar la incertidumbre sólo en aquellos parámetros importantes y luego extrapolarlos hacia los demás (muestreo estadístico). O puede tomarse la incertidumbre en los parámetros menores, por ejemplo la determinación de riesgos con baja probabilidad de ocurrencia y modestos impactos; pueden combinarse en un parámetro y evaluarlo de esa forma.

Ambas estimaciones, probabilística y valores individuales (determinística) siguen el mismo enfoque básico. La estimación se prepara con la determinación de costos en varios componentes y combinándolos de manera apropiada (o sumándolos o combinándolos usando una relación matemática apropiada). La principal diferencia en la estimación probabilística es que considera explícitamente el hecho que algunos componentes de costo no son valores individuales sino un rango de valores modelados, usando las distribuciones estadísticas apropiadas.

La matemática de combinar estos componentes consiste en tratar con rangos de data más que con valores individuales de datos. Suma, resta, multiplicación y las demás operaciones matemáticas se presentan como rangos de datos y requiere el uso de la teoría de probabilidades.

En ciertos casos esta manipulación matemática se vuelve poco manejable e inflexible debido a la complejidad del problema. La única manera lógica para presentar el análisis es simular los datos de acuerdo a distribuciones estadísticas especificadas en el modelo y combinar esta muestra de valores usando un enfoque determinístico. Cada vez que se toman muestras de las distribuciones, el costo total y el cronograma se calculan determinísticamente. Por repetición del proceso de muestreo de las distribuciones y el cálculo del costo total y cronograma, con un número adecuado de repeticiones (usualmente un par de miles), se obtiene una distribución para cada uno. Esta distribución proporciona todos los valores posibles para costo o duración e identifica sus probabilidades.

Ya que este análisis tiene la flexibilidad para la modelación de costo y cronograma, se debe asegurar que ítems importantes no sean pasados por alto y puedan incluirse en el registro de riesgos. De esta manera, el proceso de validación se hace más fácil y eficiente.

Existen varias formas de llegar a estimar el costo y la duración del cronograma en un proyecto. La aproximación apropiada depende del propósito de la evaluación y ciertos factores:

- Variables de salida interesantes, que muestren el costo total del proyecto o la duración total del cronograma, es decir, que sean valores que se ajusten a la realidad del proyecto y sobre todo al medio en el que se llevará a cabo el proyecto.
- Precisión y confianza en los resultados, incluyendo el nivel de incertidumbre en los resultados y el grado de independencia requerido. Esto requiere esfuerzo por parte del estimador, ya que sus propuestas, tanto en costo como en duración, deben dar la firmeza necesaria al proyecto para que se desarrolle normalmente.
- Disponibilidad del presupuesto y cronograma para hacer predicciones, así como la capacidad para hacer esas predicciones. Algunos métodos requieren cierta habilidad y herramientas especiales.

– Información disponible. La evaluación debe ser consistente con los datos disponibles.

El acceso a la evaluación de riesgos se describe como combinación de los siguientes pasos:

– Los costos y duración del proyecto se determinan como valores individuales o en un rango de posibles valores. Una aproximación probabilística cuantifica la incertidumbre y permite confiabilidad en la determinación de valores, aunque requiere mayor esfuerzo y experiencia. Si se estima probabilísticamente, el costo y la duración del cronograma su pueden determinar mediante métodos "sin simulación" o por "simulación", aunque los primeros no son muy prácticos para estos casos.

– El costo y duración del cronograma en el proyecto puede estimarse a nivel total del proyecto o analizando los diferentes componentes que lo constituyen hasta obtener el total. Esto refiere a una descomposición, que consiste (1) identificar los componentes del proyecto a diferentes niveles de detalle, (2) estimando costo y duración de cada componente y (3) combinando las estimaciones. Esto incrementa la precisión de los resultados.

– Si se descompone a nivel de componentes, se pueden determinar el costo y la duración del proyecto independientemente o en forma integrada. Las determinaciones independientes adicionan los componentes de costo juntos para estimar el costo total del proyecto y de manera similar adiciona los componente de duración para estimar la duración total del proyecto. Los costos no incorporan los impactos en el cronograma directamente, excepto en el caso que los componentes en el cronograma estén estimados en valores llevados al año y se sumen de esta forma. La asignación integrada de costo y cronograma cuenta directamente el efecto del tiempo en los costos; el incremento se determina directamente. Por ello la estimación del costo del proyecto incluye los impactos del cronograma.

Los resultados de la descomposición, integración y listados por ítems se pueden ilustrar como se muestra en la Figura 1.6, el costo del proyecto podría determinarse separadamente del cronograma en varios niveles de detalle. El costo del proyecto es la suma de los costos componentes que, en tal sentido, se estiman de dos maneras: directamente o como la suma de los componentes de costo base y los costos de riesgo.

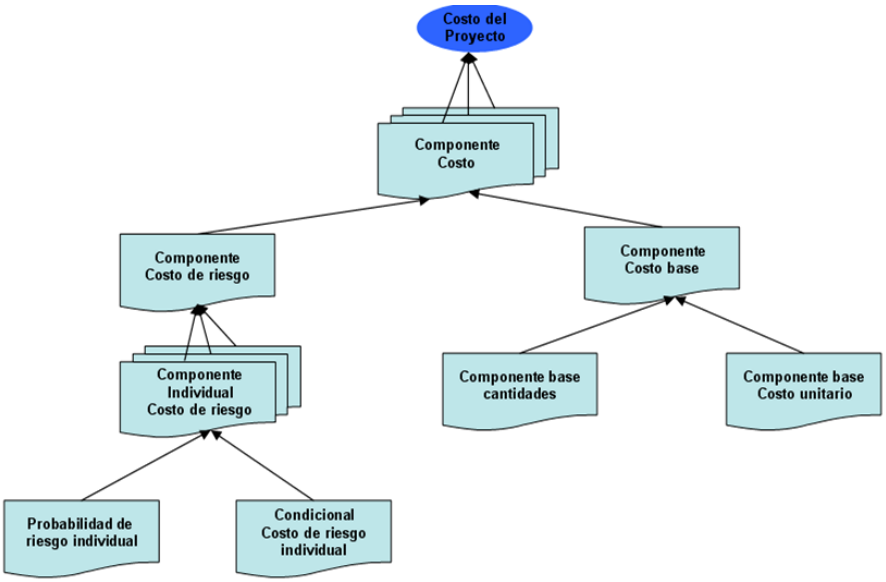


Figura 1.6. Niveles de detalle para la estimación de costos.

La duración del proyecto se determina de manera similar, como se muestra en la Figura 1.7. La duración del proyecto se estima como función de la duración de los componentes, por ejemplo, la suma de los componentes en la ruta crítica. La duración para cada componente se estima directamente o se determina como la suma de la duración base más la demora por riesgo integrada. Finalmente, la demora por riesgo individual, para un componente, puede estimarse directamente o como función de su probabilidad de ocurrencia y su demora condicional.

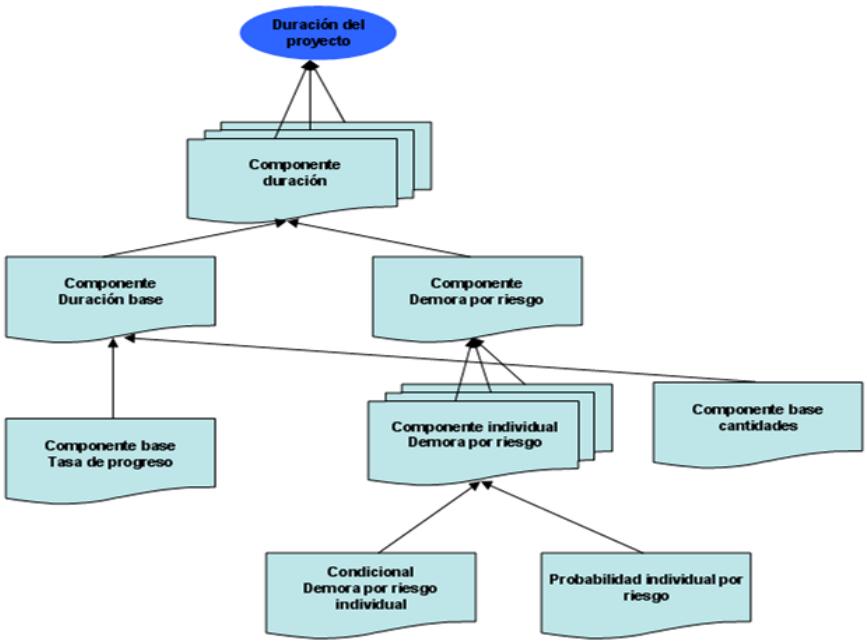


Figura 1.7. Estimación de la duración del proyecto.

El costo del proyecto y su duración pueden también determinarse de forma integrada con varios niveles de detalle. Se determinan de la misma manera, como si fueran independientes. Sin embargo, los componentes iguales o compatibles de riesgo se usan para ambos, costo y duración. La conexión entre costo y duración permite la intensificación del flujo de caja y algunos cronogramas indirectos – relacionados con costos a determinar.

1.3.2 Métodos de no – simulación

Los métodos de no – simulación para la determinación de incertidumbres en los costos y duraciones del proyecto consisten, primordialmente, en lo siguiente:

– Métodos de Primer Orden – Segundo Momento (FOSM). El FOSM es el análisis de la media y la covarianza de una función aleatoria basada en la función de expansión de Taylor de primer orden. Presume que los parámetros estadísticos antes mencionados son suficientes para caracterizar la distribución de probabilidad de variables dependientes, esto es, normalmente distribuidos con las perturbaciones alrededor de la media aproximadas a funciones lineales[4]. Estos métodos son apropiados para determinar la incertidumbre en el costo del proyecto sólo en valor presente. Son parcialmente apropiados para la determinación de la duración en el cronograma de proyecto e incluso, menos apropiados para la determinación de costo y cronograma en conjunto.

– Árboles de probabilidad. Este método se usa para transformar un riesgo individual, cada uno con un impacto esperado y su probabilidad de ocurrencia, en una distribución de probabilidad para riesgos colectivos. El proceso consiste en ir condicionando ciertos eventos a otros, de modo que existan correlaciones. Estas correlaciones deben tener sentido lógico respecto del problema que se desee analizar. Sin embargo, son poco prácticos incluso con un número moderado de eventos de riesgo porque el número de salidas aumenta exponencialmente con el número de eventos de riesgo.

Estos métodos se usan para determinar la incertidumbre del costo en términos de dinero actual, donde éste está formado por varios parámetros desconocidos y correlacionados. Hay mayores limitaciones en el uso de métodos de no – simulación tales como la capacidad de modelar el costo total como la suma de sus componentes del proyecto. Cuando el costo puede modelarse como la suma de algunos componentes, su puede emplear el Teorema de Límite Central para obtener una distribución del costo total. El costo total debería seguir una distribución normal y su media y varianza se calculan como la suma de medias y varianzas de los componentes de costo individuales.

[4] http://www-esd.lbl.gov/ITOUGH2/Command/FOSM_3.HTML.

El método de no – simulación puede aplicarse con cualquier enfoque para determinar la duración del cronograma cuando la ruta crítica es "estable", es decir, si no cambia a lo largo del proyecto. En este caso, la duración total del proyecto es simplemente la suma de las duraciones de las actividades componentes de la ruta crítica, proceso similar al usado para determinar el costo total, pero tomando sólo el subconjunto de componentes que representan la ruta crítica. Si la ruta crítica no es estable se subestimarán los percentiles (y por tanto la media) de la duración del proyecto. Como es una forma de estimar la duración del cronograma, podría utilizarse como técnica de estimación preliminar, para obtener un alcance previo de la duración del proyecto; mas no como una forma de estimación detallada por considerar a la ruta crítica estable. En proyectos con actividades muy controladas y bien conocidas podría usarse esta técnica.

1.3.3 Métodos de simulación

Los métodos de simulación para determinar la incertidumbre en costo y duración del proyecto consisten principalmente en la simulación de Monte Carlo (MC). Estos métodos son generalmente apropiados para determinar los costos del proyecto (en dinero actual), la incertidumbre en la duración del proyecto y, con alguna dificultad, el costo y cronograma del proyecto juntos. En la simulación de Monte Carlo, el modelador muestrea distribuciones estadísticas representando variables aleatorias con el uso de una computadora.

Recientemente algunas compañías de software han promocionado programas especializados que permiten al usuario el uso de la simulación Monte Carlo sobre el método de ruta crítica (CPM) o en una hoja de cálculo[5]. La mayoría de estos programas permiten al usuario definir la duración de las actividades, costos o recursos (mano de obra, equipo, materiales) como variables aleatorias. Asume, por ejemplo, que el usuario ha definido todos los costos por riesgo como variables aleatorias mediante una distribución específica y posibles rangos o parámetros de distribución. La simulación genera números aleatorios para estos costos (duraciones) de acuerdo a las distribuciones ingresadas y calcula el costo (duración) total. Este proceso se repite cientos o miles de veces. El número de iteraciones depende de la confianza deseada en los intervalos para los resultados. Cada iteración produce un valor para el costo (duración) total y se organizan en un histograma. Usando el histograma se genera una función de densidad de probabilidad (PDF) y una distribución acumulativa (CDF). Estas distribuciones pueden usarse para evaluar la probabilidad de sobrecostos para cada evento de riesgo. Se usa también para determinar costos de contingencias razonables para el proyecto.

Los impactos por riesgos sobre el cronograma se evalúan similarmente con el uso de un software, como el @Risk o CrystalBall, aunque la duración total del proyecto es una función del tiempo requerido para completar los componentes de la ruta crítica. Por tanto,

[5] Palisade, @Risk, http://palisade.com.

el software debe calcular la ruta crítica a través del cronograma de obra durante cada iteración de los impactos por riesgos sobre el cronograma de obra.

1.3.4 Técnicas de análisis cualitativas y cuantitativas

Esta agrupación de métodos de evaluación es por la naturaleza de la evaluación. Las técnicas de análisis se deben escoger de acuerdo al proyecto, de sus factores determinantes y del tipo de análisis que se llevará a cabo (rentabilidad, tiempo, costo, entre otros). Cualquier recomendación resultaría rígida y sería algo absurdo. Entre las principales técnicas cualitativas para el análisis de riesgos (Simon en 1997; de la Cruz en 1998; del Caño y de la Cruz en 1998; PMI en el 2000; entre otros) actualmente usados tenemos:

- Lista de chequeo;
- Análisis de suposición;
- Ranking de precisión de datos, para revisar la extensión que comprende un riesgo, la información disponible acerca de éste y la confiabilidad de los datos para evaluar el grado de utilidad de éstos;
- Descripción de probabilidad e impacto, para describir esos parámetros en términos cualitativos (muy alto, alto, moderado y así sucesivamente);
- Tablas de graduación de impactos – probabilidades de riesgos, en las cuales se asigna valores de grado (muy bajo, bajo, moderado, etc.) a los riesgos sobre combinaciones de probabilidad y escalas cualitativas de impactos;
- Diagramas de causa – efecto, también llamados diagramas Ishikawa o de pescado. Sirven para ilustrar las interrelaciones entre los riesgos y sus causas, incluyendo el efecto dominó;
- Diagramas de flujo o diagramas de influencia, como gráficos que reflejen las interrelaciones entre riesgos, actividades y respuestas; y
- Árboles de evento y falla, que son usados en análisis de riesgos de sistemas de ingeniería (plantas nucleares y petroquímicas) y que también se usan en gerencia de proyectos.

Entre las principales técnicas cuantitativas (Simon en 1997; de la Cruz en 1998; del Caño y de la Cruz en 1998; PMI en el 2000; entre otros) tenemos:

- Análisis de sensibilidad, para descubrir cuán críticos son algunos parámetros;
- Tablas de valor esperado, para comparar los valores esperados para diferentes respuestas ante riesgos;
- Estimaciones triples y sumas probabilísticas, para obtener estimaciones de costo y tiempo;

- Árboles de decisión para ayudar al equipo en situaciones donde hay respuestas con incertidumbres;
- Monte Carlo para obtener la distribución de probabilidad acumulativa de los objetivos del proyecto;
- Diagramas de influencia probabilísticas combinándolos con Monte Carlo para simular algunos aspectos del proyecto;
- Métodos de ayuda para decisiones multicriterio para tomar opciones entre demandas opuestas;
- Procesos de simulación, usando variedad de técnicas para procesos específicos del proyecto;
- Sistemas dinámicos, combinando los diagramas de influencia con marcos matemáticos complejos para simular dinámicamente la selección entre las diferentes acciones y simular, también, parámetros específicos del proyecto; y
- Lógica difusa, con un gran potencial en programación de obra, control de costos y selección multicriterio entre varias alternativas.

La mejor manera de empezar desde cero es hacerlo por medio de técnicas cualitativas e ir progresivamente aumentando la complejidad de la técnica conforme se gana un mayor nivel de madurez en temas de riesgo.

1.4 Mitigación de riesgos

Algunas veces el cliente tiende a mitigar riesgos en su proyecto a través de decisiones en ingeniería o a través de arreglos en el contrato. Pero, como se ha discutido, varios riesgos no se comprenden totalmente o no son bien cuantificados y con frecuencia la mitigación de riesgos se concibe como la combinación de concesiones generales del diseño y provisiones de contingencia. Una identificación sistemática de riesgos junto con sus causas permite al cliente desarrollar estrategias mejor dirigidas para la mitigación de riesgos. Algunas acciones para lograr esta mitigación pueden ser eliminar el riesgo mediante cambios en el diseño del proyecto o en su manejo; reduciendo su potencial daño con acciones que aplaquen la severidad del evento; transfiriendo el riesgo a partes menos críticas del proyecto, por medio de cambios en el cronograma o en la gestión (se parece mucho a la eliminación de riesgos, aunque aquí el riesgo aparece pero sobre otros componentes) y aceptando el riesgo, posiblemente sin mayores acciones o quizás con la inversión de un seguro para cubrir el monto que la ocurrencia del riesgo implica.

Así como existen varias formas para desarrollar una evaluación de riesgos, también lo hay para establecer estrategias contra riesgos. Para los riesgos de planeamiento, diseño y construcción que están dentro de la influencia del cliente, el enfoque recomendado es similar al de la evaluación de riesgos: con un proceso de colaboración donde el equipo para el análisis de riesgos, compuesto por expertos y cliente, identifican las medidas de

mitigación apropiadas. El grupo de trabajo es una manera efectiva de llevar a cabo, o al menos revisar las causas de los eventos de riesgo. Lo que está claro, para las acciones del grupo de trabajo o cualquier otro enfoque a usar, es que el cliente debe tener un rol primordial desarrollando medidas de mitigación. Es él quien debe implementar las medidas adoptadas o disponer los recursos necesarios para que se implementen.

El proceso de colaboración puede no ser aplicable para ciertas estrategias de mitigación de riesgos, en particular para riesgos significativos con políticas públicas. En el proceso de implementación de acciones previas preparadas para el cliente del proyecto, la transferencia y la aceptación de riesgos siempre involucrarán decisiones gerenciales o consideraciones de tipo legal. Las políticas para eliminar los riesgos también requieren decisiones gerenciales. Puede que el panel de expertos no sea la entidad apropiada para determinar qué políticas, tipo de financiamiento o consideraciones deben ser tomadas por el cliente. La única ayuda que puede brindar el panel de expertos, para situaciones como ésta, es facilitar información técnica útil.

1.4.1 Registros de mitigación

Un enfoque razonable para documentar las estrategias de mitigación y sus impactos estimados es desarrollar un registro de mitigaciones. El formato es similar al registro de riesgos mencionado anteriormente (Tabla 1.1). Este registro contiene sólo los riesgos que han sido mitigados. Como se explicó, los riesgos se colocan en orden de importancia según su impacto; por tanto, el grupo de expertos debe tomar este ranking y formular las estrategias de mitigación.

Con este tipo de registros el equipo puede ver los riesgos que serán mitigados y bajo qué medidas. Además, el registro de mitigación debe dar información de cuánto costará implementar el "plan" y su tiempo de duración, así como un rango de probabilidades en el cumplimiento de éste. Esto, con el fin de conocer el ahorro que supondría la implementación del plan.

a. ***Registros de Mitigación versus Costos.*** El costo de mitigación es una consideración importante. El cliente, junto con el grupo de trabajo, deben estimar los costos de implementación para tener un alcance más claro de los riesgos a mitigar.

Los beneficios se pueden comparar con los costos mediante una relación de costo - beneficio. Esta relación no debe exceder a 1.0 para que sea apropiada. Una relación aceptable supone una decisión bien tomada. Por conveniencia, la comparación puede hacerse usando el valor esperado de los beneficios de mitigación y los costos de mitigación estimados.

Para determinar el cambio en el costo total del proyecto o su duración, es recomendable volver a correr los modelos de costo y duración. Luego, hacer una comparación entre el modelo inicial y el nuevo con las implementaciones de mitigación.

Por el lado del costo, es una simple comparación entre ahorros resultantes de la mitigación y costos incurridos por la mitigación. Con respecto al cronograma, sólo los ahorros de tiempo sobre la ruta crítica afectarán la duración total del proyecto.

Además, los cambios en la red de duración del proyecto necesitan expresarse como recursos requeridos, adicionales de ser el caso, para implementar la mitigación. Esto es, simplemente, con el fin de dar una mejor óptica de las formas de mitigación de riesgos y que el equipo tome conciencia de la magnitud de los eventos que pudieran presentarse durante la vida del proyecto. Es mejor convertir los cambios en el cronograma a costo. Puede hacerse con la observación del cambio en costo a tiempo futuro del proyecto, producto de la reducción de riesgos en el cronograma. Esto genera un valor de cambios en la duración del proyecto, que puede compararse con los costos de implementación de medidas de mitigación en el cronograma.

b. ***Otras consideraciones.*** Otros factores a considerar en el desarrollo de la mitigación de riesgos son:

- Tiempo de implementación y factibilidad, es decir, discutir y analizar si las medidas se pueden implementar dentro de un plazo lógico, de tal manera que no afecte al cronograma de obra;
- Riesgos de implementación, para tomar las acciones adecuadas al momento de realizar las implementaciones y no generen eventos no previstos;
- Partes responsables, de modo que se deleguen responsabilidades y se cubra la mayor parte de las actividades a mitigar en el menos tiempo posible;
- Aptitudes para implementar partes que aseguren el normal desempeño de las actividades del proyecto. Esto se refiere a la destreza y experiencia para adecuar las mitigaciones dentro del cronograma de obra y;
- Posibles consecuencias no pretendidas (costos adicionales como disputas, cambios en la ruta crítica, efectos por terceros).

El tiempo requerido para la implementación también es importante. Demorar el proyecto debido al desarrollo de estrategias de mitigación puede indirectamente, generar costos y otras complicaciones que pueden contrarrestar los beneficios directos esperados por la mitigación.

La mitigación pretende reducir la variación considerable en el costo del proyecto. La Figura 1.8 muestra el efecto de la mitigación en los costos. La línea continua representa el rango probable del costo total sin mitigaciones. La línea punteada representa el efecto de reducción de riesgos de alto impacto o riesgos importantes en el proyecto. Como se discutió, la mitigación trae consigo costos y esto podría incluso provocar un costo ligeramente más alto que el caso sin mitigación. Sin embargo, el rango de costo asociado con estos riesgos se reduce sustancialmente. Como resultado, hay un alto nivel de confianza en el costo total y el tiempo será menor que si las medidas no hubieran sido adoptadas.

La posición preferida por el cliente sobre la culminación del análisis de riesgo se representa con la línea punteada. Una mitigación integral de riesgos reduce la variación total del costo y permite un costo más probable mediante la eliminación de riesgos, con estrategias de mitigación efectivas y tomando ventaja de las oportunidades para reducir los costos. Por tanto, la prioridad de la mitigación de riesgo debe ser (1) centrarse en los riesgos inaceptables y (2) generar la mejor reducción de costos con una mitigación de riesgos adecuada.

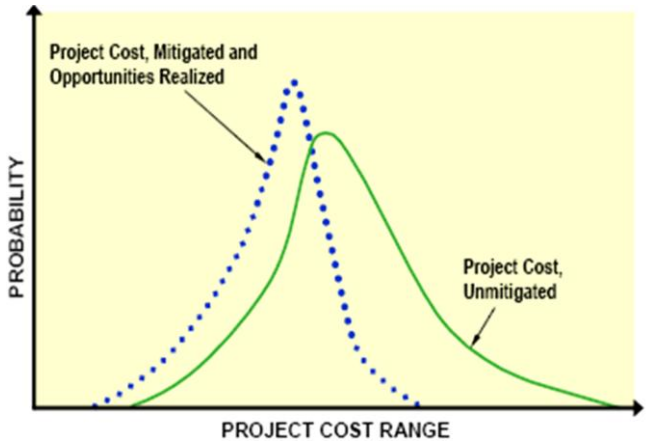


Figura 1.8. Variación del costo del proyecto con implementación de mitigaciones.

1.4.2 Asignación de responsabilidades

Las medidas de alta prioridad deben ser implementables, es decir, deben representar actividades capaces de ser realizadas y no medidas descabelladas, aplicables a la realidad del proyecto. La mayor consideración para esto es determinar quién es el responsable. El cliente debería identificar qué entidades o personas llevarán a cabo estas medidas, así como su establecimiento en el proyecto. Esta responsabilidad debería está formada por el cliente (para mitigaciones de tipo administrativo), el diseñador (para cambios en el diseño), el constructor (quien debe seguir las especificaciones del contrato con respecto a materiales, métodos, calidad, control, etc.) u otra entidad. La capacidad de las personas para implementar las acciones recomendadas debe evaluarse antes de asignarle responsabilidades.

La asignación de responsabilidades para la mitigación de riesgos es parte de la asignación de riesgos. Es simplemente eso: asignar riesgos a las diferentes partes involucradas en el desarrollo del proyecto. La asignación puede basarse en quién es responsable de la creación del riesgo, el mejor estimador disponible para gestionar el riesgo o una combinación de ambos. Esta asignación es casi siempre una prerrogativa del cliente, ya que él carga con las consecuencias de los riesgos. En la mayoría de casos, hay un considerable beneficio para el cliente cuando se asignan los riesgos.

Información considerable acerca de los principios y prácticas de la asignación de riesgos están disponible en literatura de carácter académico, la industria de la construcción u otra organización. Por esta razón, en la tesis no se tratará el tema en profundidad. Es importante anotar que la información disponible trata, principalmente, con asignaciones de riesgos entre clientes y constructores, es decir repartir qué riesgos afrontará cada parte. Esto es entendible, ya que frecuentemente los riesgos de construcción reciben mayor atención en el análisis de riesgo tradicional, por afectar directamente al cronograma y al tiempo. Sin embargo, la asignación de riesgo en otras partes del proyecto es también interesante e importante.

Los principios de la asignación de riesgos se mantienen en todas las fases del proyecto. Incluye lo siguiente:

- Asignar el riesgo a la parte que mejor pueda controlarlo, que tenga la disponibilidad y conocimiento necesario de afrontarlo en caso de ocurrir;
- Considerar las consecuencias de la parte receptora, de modo que éste sea capaz de lidiar con los eventos de riesgo y programe las tareas planificadas por el equipo de trabajo;
- Considerar si el costo incurrido es aceptable. Las actividades de mitigación costosas no son las mejores;
- Evaluar el potencial de nuevos riesgos, nuevamente transferidos al cliente.

Cuando un proyecto empieza a construirse, el método de gestión, el tipo de contrato y los documentos de la construcción son mecanismos importantes para la asignación de riesgos. Ciertos métodos de gestión, tal como diseño – construcción, son explícitamente diseñados para transferir al constructor el riesgo adicional, tanto en el diseño como en la construcción. El método CMGC (construction manager/ general contractor) asigna subcontratos y toda la responsabilidad de gestión al constructor. En el tradicional método diseño – propuesta – construcción, el cliente es responsable de completar el diseño y contratar la administración de posibles constructores.

La cantidad de riesgo que el cliente asume durante la construcción depende de la administración contractual. Así como otros métodos de gestión, el cliente puede pretender cargar todo al constructor o la mayoría de la carga producida por riesgo. La asignación de riesgos y la gerencia de riesgos en las relaciones contractuales se discuten en la bibliografía de esta tesis.

Una información importante que conviene tener en cuenta a los contratistas, que esperan asumir la mayor parte de los riesgos del proyecto, incluiría lo siguiente:

- Los objetivos de la gerencia de riesgos en los proyectos, por parte del cliente, tanto generales como específicos. Es decir, que la gerencia defina de forma concreta los riesgos por parte del cliente y su forma de mitigación, para que sean de conocimiento del contratista;
- Descripción general de los riesgos percibidos. Esto supone la elaboración del registro de riesgos y el plan de mitigación. Los riesgos se definen completamente para su total entendimiento con respecto a su magnitud e impactos sobre el proyecto;
- Estrategia del cliente para la gerencia de riesgos, incluyendo sus políticas y criterio de aceptación al riesgo, y propuestas para las actividades. Esto es muy importante porque da inicio a la parte de negocio entre el contratista y el cliente, todo en temas de riesgos. Se definen umbrales aceptables para aceptar riesgos, actividades a realizar, plazos, costos, etc.;
- El rol del cliente en la gerencia de riesgos durante la construcción y el proceso de discusión de los eventos de riesgo. Es particularmente importante definir este punto por la sencilla razón que el cliente debe tomar sólo parte de las decisiones que afecten al proyecto. El contratista tiene que conocer hasta qué punto el cliente tiene ingerencia dentro de las actividades de mitigación de riesgos.

1.5 Implementación y monitoreo

Cuando las mitigaciones de riesgos se establecen y se asignan a las partes responsables, el cliente debe dar su aprobación final para implementar las medidas recomendadas y financiarlas. La estrategia total de mitigación de riesgos podría necesitar modificaciones finales pero luego se implementa a través de los mecanismos citados, tales como cambios en el diseño, contratos de construcción y cambios en la construcción. Las aprobaciones y los cambios en el proceso de implementación deben iniciarse tan pronto como sea posible para minimizar su costo, que probablemente incrementará con el avance del proyecto.

El cliente debe monitorear el proceso de implementación y su desempeño – su costo actual y sus consecuencias – de las mitigaciones establecidas. La reevaluación de la mitigación de riesgos previene que los riesgos aparezcan durante la construcción.

1.6 Plan de gerencia de riesgos

Un plan de gerencia de riesgos obtiene información de la evaluación de riesgos y del proceso de mitigación. Debería incluir información del registro de riesgos (el diagnóstico de problemas potenciales) y el registro de mitigación de riesgos (soluciones propuestas). También identifica la implementación y asignación de estrategias contra riesgos. El plan estaría completo con la obtención de la aprobación final del programa de mitigación al comienzo de la construcción. Este plan describe el programa por el cual se pide la aprobación de gerencia. El plan debería incluir lo siguiente:

- Objetivos del plan de gerencia para riesgos, en el cual se determinen los umbrales aceptables, metas a corto y largo plazo, entre otros.
- Lista de prioridad y descripción de los riesgos objetivo de la mitigación. Se hace con el fin que el equipo pueda ver con claridad qué riesgos son de mayor importancia y sobre cuáles se deben disponer los recursos adecuados.
- Medidas de mitigación de riesgos, sus costos y beneficios; que permitan establecer compromisos entre las personas involucradas en el proyecto para asumir la distribución de recursos en las medidas.
- Descripciones de las responsabilidades en la gerencia de riesgos, el cliente versus el constructor, con el fin de hacer una delimitación entre las atribuciones de cada parte responsable y evitar las interferencias u omisiones.
- Descripción de las acciones para cada parte responsable. Esto es especialmente importante porque toma carácter legal. Tanto contratista como cliente deben llegar a un acuerdo (inclusión en el contrato) sobre las acciones a asumir y realizar; por tanto, una descripción detallada de cada acción puede resolver disputas y facilitar el trabajo en las acciones de mitigación.
- Programa de monitoreo y proceso de reiteración o acciones correctiva adicionales. El programa debe asegurar que la información se obtiene para evaluar los beneficios actuales de la mitigación implementada.
- Cronograma de implementación; todos los impactos de costo y tiempo del plan de mitigación sobre los objetivos del proyecto.

El plan para la gerencia de riesgos finaliza con la aprobación de gerencia (cliente). Se recomienda que forme parte del plan de gerencia del proyecto, el documento guía para la implementación en el proyecto. También debe ser parte de la documentación para el análisis de riesgo del proyecto.

En eventos con cambios significativos, circunstancias riesgosas como procedimientos de implementación, incluidas a través de la fase de construcción, el plan para la gerencia de riesgos debería actualizarse para hacerse más preciso. El monitoreo del desempeño del plan es la clave para determinar los beneficios del análisis de riesgos. Esta es la

responsabilidad del cliente. Las mitigaciones pueden incluirse durante todas las fases del proyecto: planeamiento, diseño o construcción.

Incorporando las lecciones aprendidas durante la vida del proyecto, el plan para la gestión de riesgos sería provechoso. Este plan se transformará en una fuente valiosa para el próximo proyecto del cliente.

1.7 Riesgos en Construcción

1.7.1 Riesgos más comunes

Existen varias fuentes que generan riesgo durante todo el proceso de construcción:

- Riesgos socio – políticos.
- Riesgos financieros.
- Riesgos de planeamiento y diseño.
- Asuntos ambientales.
- Adquisición del derecho de vía.
- Requerimientos para permisos.
- Acuerdos con terceros
- Disponibilidad, confiabilidad y aplicación de tecnologías.
- Requisitos de adquisición (vehículos, infraestructura, equipamiento de sistemas, materiales).
- Riesgos en la construcción, incluyendo el mantenimiento del tráfico, condiciones cambiantes, condiciones del terreno, etc.
- Otros riesgos como el clima, cambios en el mercado, etc.

Algunos riesgos no están directamente bajo control del gerente del proyecto. A estos riesgos se les conoce como externos. Estos, generalmente, están en la categoría de los socio – políticos, y también de “otros riesgos” tal como lo son el clima y los cambios en el mercado. Los riesgos que están dentro del control del encargado son los llamados internos. Entre estos tenemos los riesgos en el planeamiento, en la construcción y en la gestión. Debe entenderse qué tipos de riesgos encaran al proyecto y a quiénes puede influir su probabilidad de ocurrencia, para poder asignarlos a las partes correspondientes durante la ejecución del proyecto, de modo que se evite el gasto desmedido de recursos.

1.7.2 Estimación Independiente de costo

Como un proyecto es propenso a enfrentar diversos riesgos, los componentes individuales del proyecto pueden poseer riesgos múltiples que afectarían los costos. Para obtener el costo total del proyecto, el cual es la combinación de riesgos y los costos base de todos los componentes, deben determinarse los costos de los componentes individuales. Esto se hace con la combinación de los costos para los riesgos relevantes de los componentes del proyecto. La Figura 1.9 muestra esquemáticamente este concepto de combinar los costos por riesgo al nivel de componentes. $P(R_1)$, $P(R_2)$ y $P(R_3)$ son los probabilidades de los riesgos R_1, R_2 y R_3 respectivamente. $R1, $R2, $R3 son los impactos de estos riesgos, si estos ocurren. $TR es la expectativa total de los costos por riesgo. Es necesario notar que el costo por riesgo combinado que afecta al componente A es una función de las probabilidades de ocurrencia de cada factor de riesgo.

Una consideración importante es la potencial correlación entre eventos de riesgo, los cuales pueden afectar los riesgos significativamente. Si se ignoran las correlaciones, entonces los resultados de la simulación estarán subestimados, como se indica en la figura. Hay varios métodos analíticos para tratar con estas correlaciones. Los softwares disponibles para análisis de riesgos requieren especificar la relación entre riesgos.

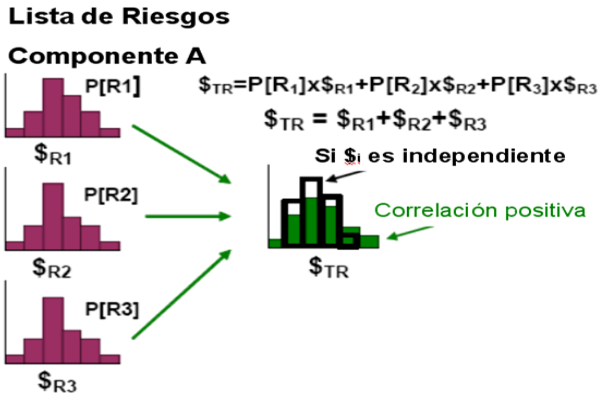


Figura 1.9. Costos por riesgo combinados.

Es posible simplificar este costo combinando las distribuciones del riesgo, a este u otros niveles, ignorando el rango de incertidumbre, si es insignificante. Como ejemplo, si $R1 es relativamente pequeño, puede usarse el valor esperado en lugar de las distribuciones de costo base. Esto también se aplica para distribuciones de riesgos combinados y de costo base, si al final se estiman como distribución de probabilidad en lugar de la estimación de un valor individual.

Como se muestra en la Figura 1.10, el componente individual de costo es simplemente la suma de los costos por riesgo combinados más el costo base. La figura también muestra el proceso para determinar la duración y costo totales del proyecto, ya que es la suma de todos los componentes base y costos por riesgo combinados.

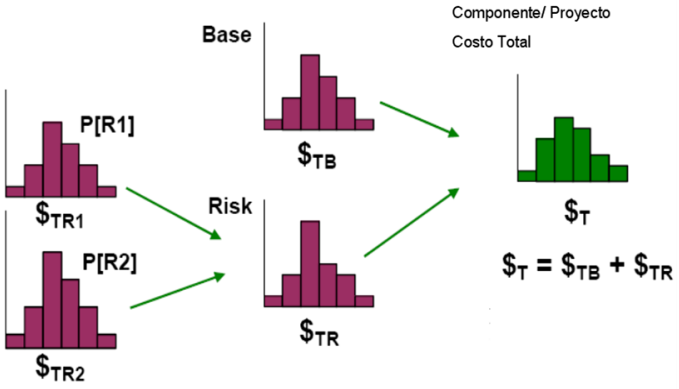


Figura 1.10. Análisis de incertidumbre para costos base y costos por riesgo.

Las incertidumbres en los costos base y por riesgos individuales, los cuales se deben a incertidumbres de que cada uno ocurra con sus respectivos impactos de costo, se traducen en incertidumbres en los costos de los componentes del proyecto y en el costos totales de éste. En la Figura 1.10, por ejemplo, $P(R_1)$ y $P(R_2)$ son probabilidades para los riesgos R_1 y R_2 respectivamente. $TB y $TR son los costos totales base y por riesgos, respectivamente. Los costos por riesgos combinados se estiman de la siguiente manera:

$$\$TR = P[R1] \times \$TR1 + P[R2] \times \$TR2 \qquad Ec.\ 1.2$$

Como ejemplo de análisis de riesgo de costo independiente, se hizo una evaluación del ejemplo del proyecto férreo mencionado anteriormente y sus riesgos identificados en la Tabla 1.1 (siete de los riesgos identificados son en realidad riesgos de costo independientes de los riesgos de cronograma). Para el ejemplo, el proyecto tiene un costo base de $ 450 millones de dólares actuales (ésta se basa en un valor determinístico). Combinando los costos por riesgo resulta la distribución del costo total del proyecto, como se muestra en la Figura 1.11.

La media o valor esperado del proyecto es aproximadamente $ 400 millones. El costo del proyecto debe estar en un rango superior e inferior a este valor esperado. Un costo optimista puede ser el 10 % de la curva de probabilidad, que sería aproximadamente $ 200 millones; mientras que un valor pesimista con 90 % de probabilidad, de $ 560 millones.

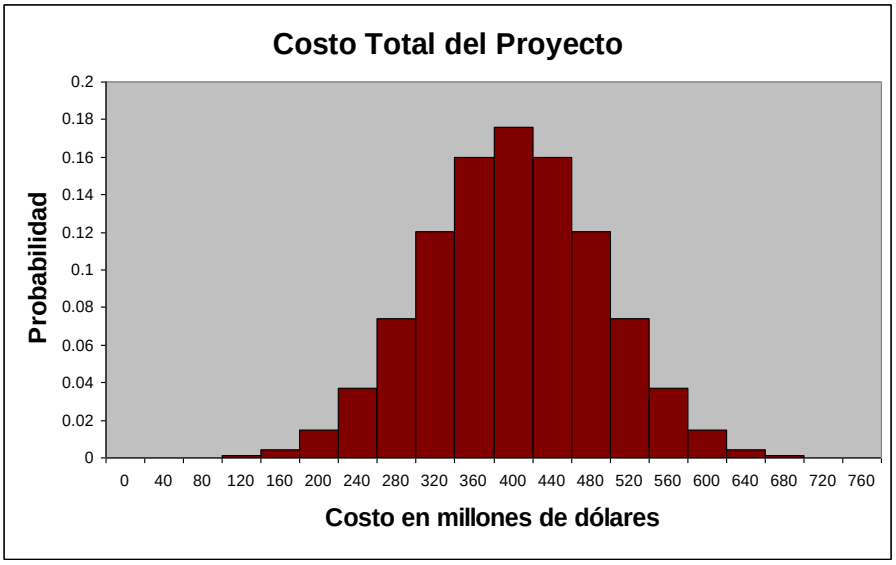


Figura 1.11. Costo total del proyecto férreo en Estados Unidos.

Los costos pueden incrementarse al año de valorización (YOE). Esto podría hacerse mediante una evaluación del cronograma del proyecto y determinar el punto medio de gasto para cada componente principal del proyecto, luego incrementar los costos actuales con una tasa adecuada para el crecimiento del costo. En el ejemplo, la tasa anual de incremento de costo en el proyecto se asume como 3 %. Dentro de tres años en el futuro se asume como punto medio de seis años de construcción (mes 72) para el cronograma base. Esto resulta en un costo medio YOE total de $ 600 millones aproximadamente.

1.7.3 Estimación independiente del cronograma

La evaluación de la duración de un riesgo sobre el costo total del proyecto es similar a la evaluación de costo por riesgo. Se determinan los impactos por riesgo para los componentes de duración. Las correlaciones entre duraciones por riesgo y la duración de los componentes necesitan considerarse como se hizo con las correlaciones entre costos. Las duraciones por riesgo y base se combinan para dar el componente total de la duración. Las duraciones de componentes se combinan para estimar la duración total del proyecto o el cronograma. Esta duración también es una distribución de probabilidad, resultado del hecho que las duraciones componentes son desconocidas como los resultados de los impactos por riesgo.

En la Figura 1.12 se muestra, esquemáticamente, cada componente (o actividad) en una red simple, con una distribución asociada del tiempo que probablemente necesitaría para completarse. Esta duración comprende: duración por riesgo y del cronograma base. Por simplificación, sólo se desarrolla el caso para el componente C, pero la mayoría de éstos podrían experimentar riesgos en su desarrollo.

Una distinción importante con los impactos en la duración es que afectan de forma adversa a la duración total del proyecto sólo si se extienden sobre la ruta crítica y consumen su holgura.

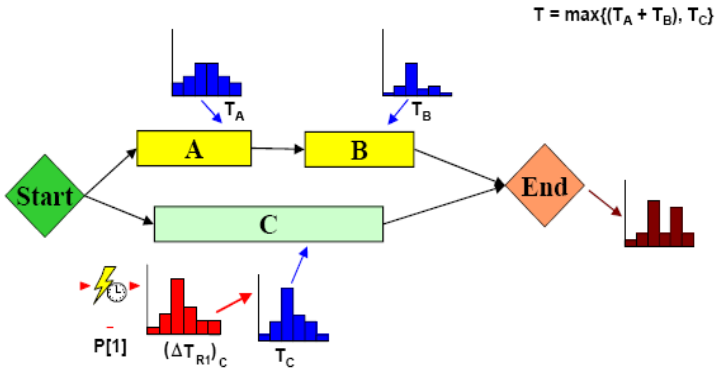


Figura 1.12. Análisis de Incertidumbre de la duraciones base y por riesgo.

Otra consideración en la evaluación es que los componentes críticos pueden cambiar si un impacto incrementa la duración de un componente no crítico. El tiempo mínimo para completar el proyecto puede incluir, ahora, la duración esperada para esta actividad. El cronograma es dinámico y el enfoque de su análisis debe ser flexible para tomar en cuenta, directa e indirecta, las consecuencias de los cambios en su ruta crítica. Algunas herramientas de análisis no son tan flexibles y es bueno que el analista evalúe los resultados y el momento en que pueden ocurrir estos cambios.

1.7.4 Principio de sucesión de Lichtenberg

El principio de sucesión puede definirse mediante dos actividades básicas: "*(1) el trabajo desde lo más general hasta lo particular y (2) hacer análisis sucesivos hasta tener una lista confiable de eventos de riesgo que afecten al proyecto"* (Lichtenberg, 2005). Todo el principio implica una serie de pasos que se detallan más adelante, pasos que Lichtenberg recomienda. Un elemento clave es dejar que un grupo balanceado de personas, con una combinación de experiencia y conocimiento, dirijan algunas reuniones, durante las cuales deben identificar y luego organizar todas las fuentes de posibles incertidumbres – incluyendo las más difusas. Luego, operar "top down" detallando sistemáticamente los eventos más importantes durante pasos sucesivos de análisis. El análisis de grupo permite evaluaciones sin prejuicio de los impactos en el resultado, produciendo una lista con las fuentes de incertidumbre más críticas. Lichtenberg recomienda una lista con los diez riesgos más críticos; sin embargo, no es una regla inflexible, ya que depende en gran medida de la naturaleza del proyecto.

Lichtenberg le da mucha confianza al elemento humano como base de juicio y análisis, su principio pone mucho esfuerzo en desarrollar lazos de conocimiento fuertes en el equipo de trabajo. Esto permite a los miembros del equipo tener un amplio campo de visión sobre el proyecto a lo largo del proceso, enfocándose en los aspectos realmente importantes y evitando la pérdida de recursos en situaciones menores. Otro aspecto importante es el arreglo de todas las incertidumbres en elementos discretos estadísticamente independientes y trabajar con la incertidumbre condicional[6] de cada una de los elementos. Esto permite una precisión suficiente en los cálculos estadísticos al momento de realizar los cálculos de tiempos y costo de cada evento de riesgo.

Las herramientas que usa este principio para realizar la evaluación de riesgos son las siguientes:

- Herramientas de la ingeniería de costos o sistemas económicos, tales como el concepto de valor presente, el método de la ruta crítica, desglose del trabajo, etc. El método de la ruta crítica se explica con mayor detalle en el Anexo B.
- Teoría estadística de Bayes.
- El uso de la sinergia del grupo para un análisis interno y balanceado de los miembros. Es decir, contar siempre con un grupo de personas que pongan esfuerzo, énfasis y su experiencia para los análisis correspondientes.
- Asegurar la suficiente independencia estadística entre los factores de riesgo.
- El uso de la estimación triple[7], la cual toma en cuenta muchos peligros en el proyecto.
- Con el uso de una lista con los riesgos más críticos durante el proceso sucesivo, como resultado clave.

1.7.4.1 Proceso práctico

El procedimiento del Principio de Lichtenberg se describirá brevemente dado que no es objeto de la tesis. Sin embargo, si se requiere mayor información sobre el tema se puede consultar la bibliografía[8]. Se organiza en los siguientes ocho pasos:

Paso A. Establecer el grupo más adecuado. Este grupo debe formarse de acuerdo a los propósitos del análisis. Además, deben representar las áreas claves del proyecto, con individuos que den al grupo elementos de creatividad, olfato y holgura; incluyendo gente

[6] La incertidumbre condicional es la incertidumbre de datos bajo la firme condición que cualquier otra incertidumbre no existe.
[7] Consiste en estimar tres valores: el optimista, el pesimista y el más probable.
[8] Lichtenberg, Steen. *Gerencia Preactiva de Incertidumbres – usando el principio de sucesión.* Dinamarca, 2000; 334 páginas.

joven como madura, a fin de representar “ambos lóbulos del cerebro” (Lichtenberg, 2005); incluso, un miembro que haga las veces de “abogado de diablo” cuando existe exceso de optimismo en el grupo.

Paso B. Esclarecer las metas y objetivos, así como cualquier condición previa. El equipo tendrá que preparar un bosquejo para darlo a conocer antes de la primera sesión. Esto debe discutirse adecuadamente y hacer los ajustes hasta que se alcance completamente el consenso y entendimiento total del grupo.

Paso C. Identificar todas las situaciones de potencial importancia. La identificación de estas situaciones, generalmente, se logran con una “tormenta de ideas”. Es importante que las situaciones identificadas representen todas las condiciones del proyecto.

Paso D. Organizar los diferentes eventos. Agrupar los eventos en grupos estadísticamente independientes (entre 8 y 12). Definir una posición simple y clara para cada grupo y también cómo podría cambiar ésta, si para mejorar o empeorar.

Paso E. Cuantificar, usando la estimación triple y técnicas de análisis adecuadas. Debe escogerse una red del cronograma que mejor represente al proyecto o una estructura de cálculo adecuada. A cada actividad se le cuantifican los riesgos usando la estimación triple.

Paso F. Calcular el resultado total y completar la lista con las actividades más críticas. Para reducir cualquier dependencia estadística se puede usar el concepto de incertidumbre condicional. Esto brinda una precisión estadística adecuada. Se calcula el resultado de las evaluaciones anteriores, en este caso con la teoría de Bayes. Los resultados finales muestran las fuentes de incertidumbre más críticas e importantes.

Paso G. Especificar los elementos más críticos en los pasos sucesivos. Esta estimación se detalla ahora en pasos sucesivos, con los aspectos más importantes en cada paso. Esto da un desglose del cronograma adecuado y permite evaluar sólo aquellos elementos importantes en cada actividad.

Paso H. Luego de lograr el resultado final, el proceso culmina con un plan de acción adecuado. Después de un número de ciclos aparecen los elementos que poseen mayor incertidumbre: después de 6 ó 10 ciclos, generalmente, suman entre el 80 y 90 % de la incertidumbre total. Como acción final, el grupo debe sugerir un plan de acción basado en la lista de eventos más críticos; que contenga procedimientos para aprovechar las oportunidades, proteger las actividades contra riesgos o simplemente reducir la incertidumbre.

Capítulo 2

2 Metodología PUMA (Project Uncertainty MAnagement)

2.1 Introducción

El proceso de análisis de riesgos se definió en el capítulo anterior de forma amplia y completa. Básicamente, es el proceso sistemático de planeamiento mediante el cual se ejecutan acciones de identificación, análisis, respuesta y control ante eventos que afecten el normal desarrollo del proyecto. Este proceso tiene en cuenta técnicas y herramientas que buscan obtener el máximo provecho de probabilidades y eventos positivos; así como minimizar probabilidades y eventos adversos.

Tiene como objetivo ayudar a las partes involucradas en el proyecto, de modo que se tomen las decisiones correctas respecto a las alternativas que ofrece el proyecto. Por tanto, un proyecto con adecuado manejo de riesgo podrá afrontar la aparición de eventos adversos de manera eficaz, sin causar demoras en el cronograma de obra ni excesivos sobrecostos en el presupuesto, aumentan las productividades de los procesos, y mejoran la disposición de trabajo en el personal.

De primera instancia, le parecerá al lector que la metodología es parecida a la teoría mencionada en el capítulo anterior. Se parece en forma básica, aunque PUMA va más allá. Los manuales norteamericanos, por ejemplo, presentan manuales de riesgos con diferencias particulares según sea el proyecto que se desarrolle. Esta metodología recoge aspectos esenciales de otros modelos y recomendaciones, tales como el DOT americano o

el ICE británico, haciéndola flexible y de uso amplio; es decir, aplicable a varios tipos de proyectos de construcción.

Un paso previo para iniciar cualquier proceso en el análisis de riesgos es determinar la complejidad del proyecto. PUMA introduce este concepto con el fin de establecer desde el principio la naturaleza del proyecto. Es decir, es necesario determinar la complejidad del proyecto, de modo que se tenga una idea preliminar acerca de las particularidades de las partes del proyecto. Este paso inicial requiere de mucho esfuerzo por parte del equipo del proyecto, ya que son necesarias la experiencia y capacidad de éstos para reconocer verdaderamente las necesidades, bondades y posibles adversidades que el proyecto les imponga.

En este sentido es necesario reconocer dos tipos de complejidad: directa e indirecta. La directa tiene que ver con la diferenciación e interdependencia entre los elementos del sistema. Por ejemplo, el proyecto de una planta nuclear es, técnicamente hablando, mucho más compleja que una autopista, incluso cuando ambas manejen presupuestos similares. La indirecta, en cambio, se relaciona con los factores que, además de la interdependencia y diferenciación, llevan a altos niveles de interdependencia entre elementos del sistema. Un ejemplo de esto son las incertidumbres que aparecen en el proyecto, excesivos requerimientos de calidad, entre otros. La Figura 2.1 muestra un cuestionario para determinar la complejidad de un proyecto de construcción, evaluando tanto la complejidad directa como indirecta en base a diferentes factores. El procedimiento completo se muestra en el Anexo C, Tabla C-1, de este trabajo.

Cuestionario para la determinación de la complejidad de proyectos de construcción			
Proyecto:	**Cód: alumina**		
Factor (descripción abreviada)	**valor**	**peso**	**v*p**
Entorno: complejidad directa			
variedad de conflictos socio-políticos que afectan al proyecto e interrelación entre los mismos	0,5	3	1,5
diversidad e interrelación de la legislación y normativa aplicable	1,5	1	1,5
diversidad de elementos de la construcción que implican impacto medioambiental	1	1	1
diversidad de impactos medioambientales	1	1	1
diversidad de competidores para quien acomete el proyecto	2,5	1	2,5
diversidad de problemas con origen en la localización del proyecto	2	1	2
diversidad de accesos, abastecimiento de energía, campamentos, oficinas, almacenes o talleres, entre otros	1,5	1	1,5
Entorno: complejidad indirecta			
intensidad de los conflictos socio-políticos que afectan al proyecto y nivel de presión e incertidumbre que añaden	1	3	3
nivel de exigencia de la legislación y normativa que afecta al proyecto (por ejemplo, en centrales nucleares)	1,5	1	1,5
preocupación en materia ambiental existente y nivel de presión ejercido sobre el proyecto	1,5	3	4,5
grado de competitividad de los diversos competidores	3	3	9
necesidad de respuestas rápidas a condiciones cambiantes (por ejemplo, cambios bruscos organizativos)	1	3	3
periodos económicos muy cortos, grandes oscilaciones en los mercados, en general, inestabilidad de la economía	2,5	3	7,5
Sistema a construir: complejidad directa			
gran cantidad de unidades de obra diferentes muy interrelacionadas entre sí	3	2	6
gran cantidad de productos a fabricar por la planta o de servicios a prestar por el complejo que se construye	1	2	2
instalaciones importantes a integrar en construcciones ya existentes sin detener su funcionamiento	0	2,5	0
existencia de subproyectos con heterogeneidad relativa a diferencias de tamaño, de urgencia y/o de tecnología	1	2	2

Figura 2.1. Tabla para determinar el índice de complejidad de un proyecto de construcción.

Esta complejidad puede medirse a través de una evaluación subjetiva del proyecto. La evaluación consiste en un cuestionario donde se abarcan los temas que afectan al proyecto: entorno, sistema a construir, técnica y tecnología, organización, objetivos, información y cultura; y todo esto desde los dos tipos de complejidad. Este cuestionario[9] que consta de 69 preguntas, tiene una escala de respuestas desde 0 hasta 3 (0 para la pregunta que no es aplicable, y de 1 a 3 para respuestas positivas). Al mismo tiempo, cada pregunta tiene una ponderación o nivel de importancia (también entre cero y tres). El índice de complejidad es la suma de los productos entre las ponderaciones y las calificaciones de cada respuesta.

Dos valores teóricos se pueden obtener mediante esta evaluación: 0 y 100 %, incluso cuando no es posible alcanzar estos valores tan extremos. En términos reales, los valores extremos fluctúan entre 5 y 60 %; sin embargo, se consideran proyectos de bajo riesgo aquellos que están por debajo del 15% y de alto riesgo cuando los índices están arriba de 30 %.

2.2 Proceso de PUMA

Los procesos dentro del análisis de riesgos son fases claramente definidas que el equipo realiza de modo que sea una práctica ordenada, sistemática y retroactiva. Estos pasos pueden variar según la metodología del análisis, la entidad que la realiza, el tipo de proyecto, su tamaño, el costo, etc. Sin embargo, existen ciertos pasos "hito" que están presentes en todos los procesos de la gerencia de riesgos de riesgo, tales como la identificación, modelación, evaluación, mitigación.

En esta tesis se muestra la metodología propuesta por Alfredo del Caño y Pilar de la Cruz, llamada PUMA. Se basa en numerosos manuales referidos al Manejo de Proyectos en los Estados Unidos, como el U.S. Department of Defense (DSMC 2000), el U.S. Department of Transportation (DOT 2000, manuales británicos de ICE), entre otros. Además recoge la experiencia europea de Steen Lichtenberg y su principio de sucesión. Como se ha dicho en párrafos anteriores, PUMA recoge aspectos esenciales de varias metodologías, ampliando su espectro de aplicación de proyectos de construcción con diversa naturaleza.

[9] Alfredo del Caño, P.E. M.ASCE y M. Pilar de la Cruz, P.E., *Integrated Metodology for Project Risk Management*, journal of Construction Engineering and Management ASCE, noviembre/ diciembre 2002.

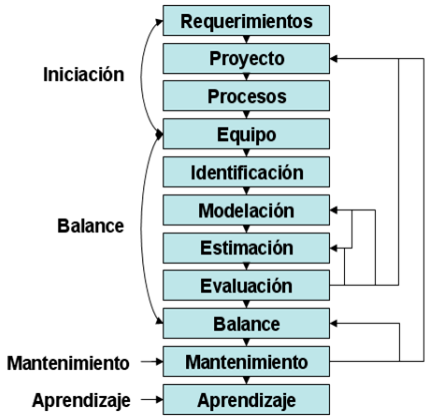


Figura 2.2. Fases de la metodología PUMA.

El método se esquematiza en la Figura 2.2. Posee cuatro niveles básicos de trabajo. El primero, donde se ubican los cuatro procesos mayores del método o fases, como los llama PUMA: Iniciación, Balance, Mantenimiento y Aprendizaje. El segundo nivel despliega los procesos anteriores en una serie de etapas que hacen un total de once; las etapas se componen de actividades (tercer nivel), y éstas de sub – actividades (cuarto nivel). Mantener estas cuatro dimensiones o niveles es importante, ya que le dan rigor a la metodología y mantienen el orden a lo largo de todo el proceso. Como se verá más adelante, según el nivel de madurez del equipo en temas de riesgo, se pueden hacer excepciones en las etapas, manteniendo siempre las cuatro fases del primer nivel. Esto es lo que Alfredo del Caño y Pilar de la Cruz llaman simplificación del proceso general.

Hay varios factores para realizar simplificaciones en el proceso general PUMA. Uno es el rol (propietario, ingeniero, constructor, etc.) que se asume en el proceso. Otros aspectos tienen que ver con el nivel de madurez, el tamaño relativo del proyecto y su complejidad. La Figura 2.3 ofrece una clasificación de los proyectos en términos de proceso de análisis de riesgos por parte de la compañía que desarrolla el proyecto.

Tamaño Relativo			Pequeño	Mediano	Grande
Madurez	Alto nivel	Alta Complejidad	zona M3	zona M4	zona M5
		Mediana Complejidad	zona M2	zona M3	zona M4
		Baja Complejidad	zona M1	zona M2	zona M3
	Bajo nivel	Alta Complejidad	zona m3	zona m4	zona m5
		Mediana Complejidad	zona m2	zona m3	zona m4
		Baja Complejidad	zona m1	zona m2	zona m3

Figura 2.3. Clasificación de proyectos de acuerdo a sus complejidades.

Respecto del tamaño relativo del proyecto, el criterio es comparar el presupuesto del proyecto con la capitalización de la compañía. Por ejemplo, podemos decir que un proyecto es pequeño, mediano o grande cuando su presupuesto es del orden de 1/100, 1/10, ó 1/1 de la capitalización de la compañía respectivamente.

Existe otra forma de clasificar los proyectos como se muestra en la Figura 2.4. La única variación es el criterio de selección del tamaño del proyecto. Aquí el tamaño es absoluto, se determina en función de una comparación con los presupuestos de proyectos similares. Por ejemplo, podemos decir que un proyecto es pequeño mediano, o grande cuando sus presupuestos está alrededor de 25, 25 y 100, o mayores que 100 millones de dólares respectivamente (información de proyectos en los Estados Unidos).

Tamaño Absoluto			Pequeño	Mediano	Grande
Madurez	Alto nivel	Alta Complejidad	zona MC	zona MD	zona ME
		Mediana Complejidad	zona MB	zona MC	zona MD
		Baja Complejidad	zona MA	zona MB	zona MC
	Bajo nivel	Alta Complejidad	zona mc	zona md	zona me
		Mediana Complejidad	zona mb	zona mc	zona md
		Baja Complejidad	zona ma	zona mb	zona mc

Figura 2.4. Clasificación de proyectos en base a su tamaño absoluto.

2.2.1 Aplicación y recursos necesarios

Algunos autores (Ward y Chapman, 1997, entre otros) han estudiado el desarrollo del proceso de gerencia de riesgos (PRM) a lo largo de diversas etapas en proyectos de construcción. Desde el punto de vista del cliente y del proceso de análisis de riesgos, el ciclo de vida de un proyecto poco complejo, con un forma de contrato de diseño/ propuesta/ construcción, posee diez etapas: factibilidad, financiamiento, planeamiento, asignación de ingeniería (contratar los servicios de ingeniería), diseño, asignación de la construcción (contratar constructores), construcción, transferencia, revisión y soporte. Sin embargo, es importante anotar que toda la gerencia del proyecto debe tomar en cuenta la operación subsiguiente y encaminar las etapas de producción, incluyendo la disposición de instalaciones. Algunas de las etapas de producción y del proyecto se “traslapan”, como es el caso de la construcción y la transferencia, o el soporte con la operación. Por otro lado, los problemas podrían resultar en un retorno a las etapas previas.

El ciclo de vida del proyecto (PLC) debe ser los más simple posible en el caso de contratos diseño – construcción. Sin embargo, pueden tornarse más complicados cuando es necesario desempeñar tareas de gestión para la ingeniería de detalle. Bajo esta situación, el PLC tiene

doce etapas: factibilidad, financiamiento, planeamiento, asignación de ingeniería, diseño básico, adquisiciones, diseño detallado, asignación de construcción, construcción, transferencia, revisión y soporte. Estas etapas pueden variar en su complejidad e importancia, dependiendo del tipo y características del proyecto, la organización del contratista y la del cliente. Por ejemplo, la etapa de financiamiento puede ser casi inexistente en el caso de financiamiento interno o muy importante y compleja en el caso de proyecto tipo construcción – operación – transferencia (BOT), desde el punto de vista de licencias; de la misma manera, en algunos proyectos el diseño los realizará el cliente sin contratar los servicios de un ingeniero, mientras que en otras circunstancias podría contratársele.

Raramente sólo una persona maneja directamente todas las etapas de producción y del proyecto; en varios casos, tres personas son responsables directas de estas etapas: el gerente de desarrollo impulsa el proyecto, conduciendo las etapas de factibilidad y financiamiento e incluso la de planeamiento; el gerente de proyecto es responsable desde las etapas de planeamiento hasta soporte; y la tercera persona es el gerente que está a cargo de las etapas de operación y dirección. En casos particulares, personas diferentes pueden estar a cargo de la disposición de instalaciones. Ocasionalmente, el gerente de proyecto debería llevar todas las etapas del proyecto.

Los niveles de incertidumbre y riesgo son altos en las etapas tempranas del proyecto, así como los objetivos y criterios de desempeño son vagos. Estos objetivos se aclararán progresivamente y se refinan desde la etapa de factibilidad hasta la de diseño. Entretanto, los niveles de riesgo e incertidumbre decrecen paulatinamente durante el curso del proyecto. Por ello, cuánto más temprana sea la etapa, más importante es el PRM. Al menos las fases de iniciación y balance deben desarrollarse en la etapa de factibilidad y volverlas a desarrollar durante la etapa de planeamiento. En proyectos complejos es necesario llevar a cabo el proceso de gerencia de riesgos durante la fase de factibilidad. La fase de mantenimiento en el PRM se lleva a cabo durante las etapas de asignación de ingeniería hasta la transferencia y la fase de aprendizaje, durante la etapa de revisión.

Durante la fase de operación se debe empezar un nuevo proceso de análisis de riesgos. Es caso específicos de importante peligro ambiental durante la disposición de instalaciones, la etapa de cierre de proyecto su culminación, porque un PRM tiene que desarrollarse. La función del PRM es especialmente importante en el caso de proyectos rápidos (Chapman y Ward, 1997), excepto cuando el diseño de los primeros elementos construidos no son dependientes de elementos subsiguientes.

En la etapa de factibilidad, el proceso de análisis de riesgos debe tener un alcance amplio, predictivo en su naturaleza e involucrado por las utilidades que el proyecto debe generar (o beneficios, en el caso de infraestructura pública). También se considerarán las cuestiones de factibilidad técnica, tal como el desempeño potencial del proceso industrial, los riesgos por seguridad y riesgos ambientales causados por fallas en el diseño.

No puede esperarse que todos los riesgos relevantes a lo largo PLC se evalúen satisfactoriamente en este punto. El propósito del análisis de riesgos hasta este punto es evaluar la concepción del proyecto y ayudar a definir el concepto y los objetivos del proyecto. El modelo de riesgo a usar no debería estar relacionado con el valor presente (NPV o tasa interna de retorno). En tal sentido, pueden estudiarse varias configuraciones del proyecto, como el tamaño, tecnología, o incluso en diferentes proyectos (alternativas) para lograr los mismos objetivos. Se pueden construir algunos submodelos de NPV, como aquellos relacionados con la ubicación futura de las instalaciones, costos capitales y de operación, estudios de mercado.

El propósito de la etapa de financiamiento es contrastar los resultados de las etapas previas, haciendo mejoras y usando (nuevamente) el NPV para analizar el riesgo asociado con cada alternativa financiera. En la etapa de planeamiento, el PRM debe enfocarse en la evaluación del plan de proyecto. Los modelos pueden construirse o mejorarse y ser usados como aquellos relacionados a activos y tiempo. Con respecto de las etapas de asignación (tanto de ingeniería como de construcción y la etapa de compra), el propósito es evaluar los acuerdos listos para ser firmados, analizando riesgos de costo, tiempo, calidad asociados con la contratación de cada compañía. La información relacionada a estos riesgos puede ser modelos de duración usados anteriormente en la empresa. En la etapa de diseño, el propósito principal es evaluar el diseño (particularmente su calidad) y contrastar sus estimaciones de duración con las del proceso de riesgos.

En los casos que compañías de ingeniería trabajen en paralelo para el proyecto (Proyectos Fast Track), la gerencia de riesgos debe tener en cuenta aspectos de coordinación. Las áreas principales relacionadas con el proceso de análisis de riesgos son la de calidad, dependiendo del sistema de contrato, coordinación y salud ocupacional y medio ambiente.

El propósito principal de la etapa de transferencia es que el desempeño actual de las nuevas instalaciones sea como lo esperado o al menos lo suficientemente buena para que se desarrolle la etapa de operación, logrando sus objetivos sin peligros por salud, seguridad o contaminación. Obviamente, se pueden usar nuevamente modelos para riesgos, para conocer aquellos que estén relacionados con estas etapas. En las etapas de revisión y soporte, el PRM está dirigido a asegurar que todas la lecciones importantes se aprendan y documenten; adicionalmente, su propósito es detectar nuevos problemas.

Una cuestión importante son el tiempo y el equipo necesarios para que el equipo desarrolle el PRM, junto con el costo que implica esto. Con respecto al equipo, sería costoso tener un equipo externo para proyectos pequeños y con bajo nivel de madurez en temas de riesgo; el equipo de proyecto puede desarrollar esta función sin ningún inconveniente. Para proyectos medianos y grandes, se recomienda que el gerente de análisis de riesgos sea quien planifique, establezca y supervise el PRM; apoyándose de diversos analistas. En casos específicos, el equipo puede contar con elementos dedicados exclusivamente a recopilar y documentar información. Obviamente, se debe que contar con los encargados

del proyecto (diseñadores, contratistas, compañías de seguros, clientes, etc.). Para lograr buenos resultados, el gerente de PRM debe tener un profundo conocimiento del proceso del proyecto y amplia experiencia en proyecto similares; también son necesarias aptitudes como la imaginación, creatividad y buena comunicación. Esta persona debería ser independiente del equipo del proyecto para asegurar la independencia de los resultados, asegurar su objetividad y se pueda dedicar exclusivamente al análisis de riesgos. Esto permite un desempeño efectivo del PRM, incluso en proyectos pequeños, a un costo bajo.

El tiempo necesario para desarrollar el PRM depende de varios factores, tales con su alcance, los clientes, disponibilidad de información, recursos humanos, entre otros. Puede llevar desde una hora hasta meses, incluso (Chapman y Ward, 1997). Las dos primeras fases deberían tomar entre 2 y 5 días como mínimo, para que se puedan realizar las etapas de manera eficiente y correcta. Dependiendo de los factores mencionados arriba, un PUMA detallado y completo puede durar desde 15 días hasta 3 meses (trabajando en paralelo con la fase de planeamiento del proyecto).

Finalmente, el costo del proceso tiene un rango que va entre 5 al 10 por ciento de los costos de gerencia. Teniendo en cuenta que los costo de gerencia van entre 5 y 10 por ciento del costo del proyecto (Alfredo del Caño y Pilar de la Cruz, 2002), el costo del proceso estaría entre el 0.5 y 1 por ciento del costo del proyecto, dependiendo de los factores mencionados arriba.

2.2.2 Etapas de PUMA

Los *Requerimientos* son el punto inicial del proceso. Involucra a las personas con mayor responsabilidad en el proyecto, los clientes, gerentes de obra y sus acreedores. Esta relación de las partes es muchas veces de manera informal y permite recoger un mínimo de información del proyecto; pero sobre todo, las necesidades de los clientes. Este tipo de información define claramente el alcance del proyecto, sin dejar cosas al azar o la improvisación, cumpliendo con las expectativas del cliente y generando utilidades para los participantes del proyecto.

Después de la recopilación de información se hace un análisis comparativo del avance; si se tiene la base suficiente entonces se puede proseguir con la siguiente etapa; si no, se debe revisar la información y complementarla. El objetivo de la etapa de Requerimientos es evitar perder tiempo en etapas posteriores con respecto a las necesidades del cliente, del proyecto, información básica, etc. Un ejemplo claro de estos acuerdos con clientes es cuando se quiere hacer una vivienda o un conjunto habitacional. Lo que el cliente busca es muy variado, por ejemplo: aprovechar el máximo de espacio para lograr la mayor cantidad de departamentos, tener habitaciones amplias, arquitectura caprichosa, nuevos sistemas domésticos, acabados sencillos y no redundantes, entre otros. Lo que se quiere dar a entender es que las necesidades del cliente y sus requisitos de calidad no necesariamente

coinciden con los del contratista, por lo tanto deben esclarecerse en las etapas previas para evitar contratiempos.

En la etapa de *Proyecto* se hace un estudio detallado del proyecto y cómo se lograrán las necesidades del cliente. Implica una familiarización con el proyecto; que consiste en una recopilación y resumen de la información existente hasta el momento. A diferencia de la etapa anterior, aquí se recogen además datos claves del proyecto, tales como costos de operación, situación del mercado, etc. Otra diferencia sustancial es que el trabajo lo realiza el equipo para el manejo de riesgos del proyecto, quienes hacen las veces de guardianes y sabuesos, procurando crear las bases para lograr los objetivos definidos en la etapa anterior para todas las partes involucradas. El objetivo del equipo es proponer posibles cambios en el proyecto y establecer sistema de comunicación formal; es decir, que se creen documentos y declaraciones de política, de modo que se dé un marco de sustento para el equipo y para el desarrollo del proyecto a realizar. De ser necesario, la información histórica debe revisarse, como proyectos anteriores, proyectos similares, datos del medio, etc. Como parte final, debe hacerse una evaluación para verificar el buen funcionamiento del proceso o si se requieren algunas consideraciones adicionales.

Procesos incluye un estudio de factibilidad del manejo de riesgos en el proyecto y su planeamiento. A diferencia de la primera etapa, aquí el equipo para el manejo de riesgos prepara la información necesaria. Otra diferencia es que el proceso se lleva a cabo paralelo al planeamiento del proyecto. Esto permite determinar qué riesgos se pueden manejar dentro de las posibilidades del proyecto, y qué riesgos deben ser tratados por especialistas (alcance metodológico, técnicas a emplear, recursos, plazos, etc.). El análisis de costo/beneficio permite tomar decisiones respecto de un posible replanteo o abandono del proceso.

El paso siguiente es establecer y documentar todo lo mencionado arriba y también observar los efectos de la definición de tareas en el proceso y cómo se relacionan con las tareas del proyecto; establecimiento de roles y responsabilidades; definición de los umbrales de riesgo aceptables; definición detallada del alcance del proceso (técnicas, herramientas, etc.). Este alcance no sólo incluye herramientas y técnicas, sino el criterio y la información necesarios para el uso de éstas; estimación de costos y definición del programa de trabajo para el proceso, así como la obtención de los resultados formales para el proceso (registro de riesgos y otros documentos).

En la etapa de *Equipo* se identifican a los participantes claves del proceso; no sólo los que trabajan activamente en el equipo para el manejo de riesgo, sino también aquellos que pueden ofrecer información valiosa para el proceso (diseñadores, usuarios, personales de mantenimiento, cliente, etc.). Se debe recordar que el equipo es el ente ejecutor del proceso PUMA; por tanto, roles y responsabilidades deben ser identificados claramente, su función comunicadora debe ser eficaz y llegar a todo el grupo humano envuelto en el proyecto. El paso siguiente es comunicar los resultados de la fase de iniciación, identificación de la

necesidad de recursos externos, selección del equipo, contratación de recursos externos (si son necesarios), designación de roles y responsabilidades. Finalmente deben identificarse las necesidades de entrenamiento e integración del equipo para realizar el análisis.

Esta etapa marca el fin de todas las acciones de establecimiento del equipo para el manejo de riesgos. A esta altura del proceso, ya se establecieron las políticas, documentación, fechas, alcances y todas las herramientas que necesita el equipo para meterse en el análisis de riesgo propiamente dicho.

La *Identificación* no sólo incluye la identificación de riesgos (oportunidades y amenazas), sino la capacidad de respuesta y la forma de tomar ventaja contra las amenazas. Esta es una diferencia sustancial respecto de otras metodologías para el análisis de riesgos, ya que al incluir las respuestas frente a los eventos se puede también prever la aparición de riesgos adicionales. Cobra mayor fuerza aún cuando se tratan proyectos con presupuesto grandes, donde sus partes son sensibles a diversas variaciones. Con un modelo correcto de identificación de riesgos, que incluya tanto riesgos como respuestas; siendo necesario varias respuestas ante un riesgo en particular para ampliar la capacidad de decisión. Por ejemplo, un contrato tipo "llave en mano" reduce el riesgo de sobrecostos para el cliente, pero los riesgos de calidad se incrementan.

Primero, el equipo debe establecer las actividades del proyecto que se van a considerar en el proceso para el manejo de riesgos. Para el caso de costo, es conveniente tomar actividades que demanden alto uso de recursos, tales como mano de obra, equipos, materiales; aquellas que plantean el uso de nuevas tecnologías; etc. Para el caso de tiempos, es importante considerar aquellas actividades que están en la ruta crítica y también las que inciden sobre la ruta crítica. Esto es especialmente importante para proyectos grandes, donde hay entre 30 y 50 actividades. Al mismo tiempo, en el ámbito de identificación de respuestas deben definirse, incluyendo políticas de asignación de riesgos existentes, la identificación de las partes interesadas del proyecto que pudieran generar riesgo y posibles tipos de contrato a usar en el caso que sea necesario.

El próximo paso es identificar los riesgos primarios, que son los que aparecen en primera instancia, sus causas, sus características, consecuencias y posibles responsables. Es fundamental, también, identificar y clasificar respuestas primarias. Además, identificar los riesgos secundarios, que aparecen como consecuencia de la aparición de los primarios, sus causas, características, consecuencias y respuestas. También es necesario considerar el plan de proyecto (incluye estimaciones, recursos y planes de gestión), la estructura del trabajo y la estructura organizacional, ya que son elementos puntuales que sirven para promover la reflexión sobre el trabajo a realizar e identificar, a través de ellas, riesgos.

PUMA no hace hincapié en el uso de técnicas en particular, ya que depende mucho del grado de madurez del equipo en temas de riesgo y de la naturaleza del proyecto. Una buena

práctica para identificar riesgos es la propuesta por Patrick X. W. Zou, Guomin Zhang y Jia- Yuan Wang[10]. Esta consiste en el uso de cuestionarios para que el medio identifique los riesgos más importantes que afectan a los diversos proyectos de construcción. Estos cuestionarios se envían por correo a diversas instituciones relacionadas con el ambiente de la construcción.

El cuestionario consta de dos secciones. La sección 1 solicita información general acerca del entrevistado. La sección 2 consta de un cuestionario con 88 riesgos asociados con proyectos de construcción, la indicación de su probabilidad de ocurrencia (altamente probable, probable, poco probable) y el impacto de éstos en cada uno de los objetivos del proyecto (alto, medio y bajo). Estos riesgos fueron recogidos principalmente de Ahmed y otros (1999), Chapman (2001) y Wang y Liu (2004), puestos en nueve categorías con 8 riesgos relacionados con clientes, 8 con diseñadores, 40 con contratistas, 6 con subcontratistas, 5 con cuerpos gubernamentales, 16 con eventos externos (éstas son circunstancias económicas, ambiente físico de trabajo y medio social).

Como ya se mencionó el cuestionario consta de grupos de datos, la probabilidad de ocurrencia de cada riesgo y su nivel de impacto en los objetivos del proyecto en términos de costo, tiempo, calidad, medio y seguridad. El índice de significancia de este análisis lo desarrolló Shen (2001). Este índice se muestra a continuación:

$$r^{k}_{ij} = \alpha_{ij} * \beta^{k}_{ij} \qquad \text{Ec. 2.1}$$

Donde r^{k}_{ij} es el índice de significancia del individuo ***j*** para el impacto ***i*** en el objetivo ***k***; ***i*** es el número de riesgo, que son como máximo 88; ***k*** es el objetivo del proyecto, que son como máximo 5; ***j*** es el número de cuestionarios válidos, como máximo n; n es el número de cuestionarios válidos para el riesgo ***i***; α_{ij} es la probabilidad de ocurrencia del riesgo ***i***; β^{k}_{ij} es el nivel de impacto del riesgo ***i***, evaluado por el individuo ***j***.

La puntuación promedio para cada riesgo en un objetivo del proyecto se calcula de la siguiente manera:

$$R_i^k = \frac{\sum_{j=1}^{n} r_{ij}^k}{n} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} \alpha_{ij}\beta_{ij}^k \qquad \text{Ec. 2.2}$$

Donde R^{k}_{i} es la puntuación del riesgo ***i*** en el objetivo ***k***.

[10] Indentifying Key Risks in Construction Projects: Life Cycle and Stakeholder Perspectives, 2005

Las tres escalas de α (altamente probable, probable y menos probable) y β (alto nivel de impacto, medio nivel de impacto y bajo nivel de impacto) necesitan convertirse en escalas numéricas. De acuerdo con Shen y otros (2001) y Wang y Liu (2004), "alto" toma el valor de 1, "medio" toma el valor de 0.5 y "menor" o "bajo" el de 0.1. La matriz que se presenta a continuación ilustra mejor el cálculo del índice de significancia.

Tabla 2.1.Matriz para calcular el índice de significancia.

β / α	Alto nivel de impacto (1.0)	Medio nivel de impacto (0.5)	Bajo nivel de impacto (0.1)
Altamente probable (1.0)	1.00	0.50	0.10
Probable (0.5)	0.50	0.25	0.05
Menos Probable (0.1)	0.10	0.05	0.01

Esta técnica de identificación fue puesta en práctica por los autores en Australia. Hicieron un sondeo a las 60 mejores empresas de este país, verificando que todas tengan amplia experiencia en el medio de la construcción. Si bien la muestra era pequeña y podría debilitar la confianza de los resultados, la selectividad empleada para los cuestionarios compensaba esta probable falta de confianza. Todos los riesgos observados en el cuestionario pueden pasar en cualquier proyecto de construcción. El principal propósito de la investigación no fue identificar una lista de riesgos sino verificar qué riesgos influyen significativamente en un proyecto de construcción. Por lo tanto, sólo los diez riesgos con mejor puntuación son riesgos claves en cada objetivo del proyecto.

Prescindiendo de la categoría de los riesgos, éstos se ordenan de acuerdo con las puntuaciones obtenidas dentro de costo, tiempo, calidad, ambiente y seguridad. Para hacer esto, hay dos formas: (1) ordenarlos por puntaje en todos los objetivos del proyecto y (2) ordenarlos por puntaje en cada objetivo del proyecto. Para la primera forma, los riesgos con impactos significativos sobre un objetivo particular son desatendidos porque su impacto sobre los otros objetivos es bajo. En la segunda forma, en cambio, no sólo se identifican los riesgos que corresponden a cada objetivo, sino que contiene una lista más completa. Los resultados de esta agrupación se presentan en la Tabla 2.2.

Este tipo de análisis es significativo porque permite al equipo concentrarse en aquellos riesgos con mayor incidencia en los objetivos del proyecto, evitando el desperdicio de recursos valiosos durante el proceso. Un aporte importante del estudio es que permite comparar los impactos de los riesgos entre países desarrollados y países en vías de desarrollo, aparte de compararlos en el medio local. Por ejemplo, se puede recrear la investigación y comparar los riesgos encontrados en nuestro medio; incluso, adaptar la lista de riesgos, ya que la naturaleza de algunos de éstos depende de muchos factores humanos envueltos en los proyectos (huelgas, habilidad en el trabajo, etc.).

Tabla 2.2. Ranking de riesgos según los objetivos del proyecto según Patrick X. W. Zou, Guomin Zhang y Jia- Yuan Wang .

Ranking de riesgos	**Índice de significancia**
Riesgos por Costo	
Cronograma ajustado del proyecto	0.67
Variaciones en el diseño	0.49
Variaciones del cliente	0.46
Planeamiento inadecuado	0.42
Ocurrencia de disputas	0.42
Inflación en el precio de los materiales	0.41
Excesivas aprobaciones en los departamentos del gobierno	0.40
Aprobaciones o documentos incompletos	0.39
Estimación de costos imprecisa o incompleta	0.38
Programación de cronograma inadecuada	0.38
Riesgos por Tiempo	
Cronograma ajustado del proyecto	0.57
Variaciones en el diseño	0.48
Excesivas aprobaciones en los departamentos del gobierno	0.48
Variaciones del cliente	0.47
Aprobaciones o documentos incompletos	0.45
Programación de cronograma inadecuada	0.45
Planeamiento inadecuado	0.42
Burocracia del gobierno	0.39
Alto desempeño o expectativas de calidad	0.38
Variaciones en el programa de construcción	0.38
Riesgos por Calidad	
Cronograma ajustado del proyecto	0.56
Programación de cronograma inadecuada	0.41
Planeamiento inadecuado	0.38
Estimación de costos imprecisa o incompleta	0.38
Poca competencia de los subcontratistas	0.36
Alto desempeño o expectativas de calidad	0.35
Variaciones en el programa de construcción	0.35
Falta de disponibilidad para mano de obra calificada	0.31
Variaciones en el diseño	0.30
Falta de coordinación entre las partes del proyecto	0.29
Riesgos por el ambiente	
Cronograma ajustado del proyecto	0.39
Variaciones en el programa de construcción	0.28
Falta de disponibilidad de gerentes de obra y profesionales	0.27
Excesivas aprobaciones en los departamentos del gobierno	0.27
Variaciones del cliente	0.25
Inadecuada o insuficiente información del sitio (estudio de suelos y levantamientos topográficos)	0.25
Poca competencia de los subcontratistas	0.24
Alto desempeño o expectativas de calidad	0.24
Programación de cronograma inadecuada	0.23
Contaminación acústica causada por la construcción	0.23
Riesgos por Seguridad	

Cronograma ajustado del proyecto	0.45
Poca competencia de los subcontratistas	0.37
Planeamiento inadecuado	0.33
Variaciones en el programa de construcción	0.30
Seguridad contra la ocurrencia de accidentes	0.30
Alto desempeño o expectativas de calidad	0.27
Variaciones en el diseño	0.26
Falta de coordinación entre las partes del proyecto	0.26
Excesivas aprobaciones en los departamentos del gobierno	0.25
Falta de disponibilidad para mano de obra calificada	0.24
Falta de disponibilidad de gerentes de obra y profesionales	0.24

El paso siguiente es realizar un análisis que contraste la información del equipo. De preferencia, el análisis debería realizarse por personas externas al equipo ya que permitirá descubrir posibles riesgos ocultos o no previstos. Entre las técnicas para realizarlos están las entrevistas, Delphi[11], paneles de expertos, tormentas de ideas.

La *Modelación* es un análisis profundo de los riesgos y respuestas, que implica el desarrollo de un modelo que sirve como base para la etapa de evaluación. El primer paso es definir el problema, es decir, definir cómo será la modelación. Entonces pueden esclarecerse el propósito de esta etapa y sus restricciones y dar una idea a priori del probable desempeño del proyecto. Luego se realiza un análisis para decidir qué riesgos deben incluirse en el modelo o qué modelos se desarrollarán. Estos modelos van desde tablas que resumen actividades, riesgos, respuestas e interrelaciones importantes; hasta modelos con sistemas complejos.

En esta fase es donde se define el uso de una técnica en particular, ya que no todas las técnicas de análisis son aplicables a todos los casos. Esto es particularmente importante, ya que muchos manuales recomiendan el uso de tal o cual técnica de modelación. Hacer de este paso un procedimiento rígido sería absurdo y, en el peor de los casos, contraproducente para el proyecto. En proyectos donde hay suficiente información, los modelos estándar pueden ser utilizados. Además depende mucho del grado de madurez del equipo y del grado de precisión que éste ha definido en etapas previas de la metodología. Su estructura debe definirse sobre cómo se dan las interrelaciones siguientes:

- Actividades del proyecto;
- Actividades y riesgos primarios;
- Riesgos primarios y sus respuestas;

[11] El análisis Delphi consiste en validar estudios por medio de las apreciaciones de expertos con formatos de evaluación. Generalmente se usa cuando no hay forma objetiva de evaluar un estudio. Para más información visite http://www.iit.edu/~it/delphi.html.

- Respuestas primarias y riesgos secundarios;
- Riesgos secundarios y sus respuestas;
- Riesgos generales y sus consecuencias; y
- Respuestas y consecuencias.

Más aún, son necesarios las relaciones riesgo – riesgo y repuesta – respuesta. Para terminar, es necesario integrar toda esta información para generar el modelo. Una vez logrado un modelo adecuado es conveniente contrastar su desarrollo con opiniones externas al equipo. Esto puede hacerse a través de entrevistas, delphi, tormenta de ideas, paneles de expertos, etc.

Nuevamente PUMA da al equipo la potestad de definir la técnica de modelar el cronograma. Sin embargo, se ha creído conveniente presentar el uso de diagramas de precedencia para modelar eventos de riesgo en cronogramas de obra, ya que es una forma bastante didáctica e ilustrativa de ver las actividades riesgosas dentro del cronograma de obra y además se acomoda perfectamente al propósito de la tesis.

El uso de actividades de contingencia mediante diagramas de precedencia es una técnica propuesta por Li – Cheng Chao y Sung – Li Hsueh. Esta técnica responde a la necesidad por una manera práctica de evaluar los cronogramas de obra, dar mayor importancia a las actividades de contingencia y generar rutas alternativas para la completar el proyecto. A continuación se darán los pasos de esta técnica.

Las dos suposiciones siguientes sirven como punto de partida para el enfoque propuesto: (1) los componentes esenciales del proyectos se colocan de acuerdo a la especificaciones del proyecto. Esto puede representarse mediante una serie de actividades base con relaciones de precedencia en el plan del proyecto. Incluso, las actividades de contingencia se colocan tanto como se necesitan, la lógica del plan se mantiene en su sentido más amplio; y (2) cuando se incluye una tarea de contingencia deben considerarse las implicaciones de los recursos requeridos, por ejemplo: mano de obra, equipos, materiales y espacio.

El enfoque propuesto se compone de tres pasos. El primero consiste en modular un plan de actividades base (o componentes base) en una serie de paquetes de trabajo, de acuerdo con la relación entre las actividades base. Cada paquete de trabajo se considera como una unidad del proyecto y se modela como un subred. Se usa una red maestra para incluir todos los paquetes de trabajo y mostrar la lógica general del plan.

En el segundo paso se hace lo siguiente. Para cada subred definida en el paso anterior, se produce una *red de precedencias extendida* mediante la adición de las tareas de contingencia para el paquete de trabajo. Estas tareas pueden ser desconocidas o condicionales y se adicionan distintivamente y donde sea necesario. Las subredes, junto con la red maestra, forman un sistema probabilístico particular donde se reúnen todos los escenarios del plan.

Como paso final se necesita traducir la situación riesgosa definida por los diagramas lógicos desarrollados en el paso anterior, de una base "uno a uno" a un set de módulos, compuestos por hojas de cálculo. Estos módulos están ligados entre sí para la simulación de ocurrencias y tiempos, con el fin de establecer distribuciones probabilísticas de las fechas hito y la duración del proyecto.

En la realización del paso dos se usa toda la simbología del método de diagramas de precedencia (PDM)[12]. Así pues, los nodos en la forma de caja representan una actividad y las flechas indican precedencia. Además se usa un símbolo adicional, el círculo, para representar: (1) la oportunidad de un nodo, con una probabilidad asignada para cada actividad que le suceda; (2) o un nodo de condición, sin una probabilidad asignada, pero con algunas actividades que le suceden adjuntas a éste por un conector de condición (denotado por la línea punteada) a una actividad previa. Esta flexibilidad para el uso del círculo permita la modelación tanto de actividades inciertas como actividades condicionales. Se ve que sólo una ruta tendrá lugar después del círculo.

Los resultados obtenidos de la simulación se utilizan para evaluar el cronograma de obra. Si el riesgo es demasiado alto, entonces el plan del proyecto es revisado y los pasos dos y tres se repiten. En los párrafos siguientes se detallará mejor este enfoque.

La Figura 2.2 (a) y (b) ilustran el uso de estos símbolos. La red en la Figura 2.2 (a) muestra que sobre la terminación de la actividad 10 hay un 50% de oportunidades que una actividad extra 11 necesita para realizarse antes que la actividad 20 empiece. Se advierte, que la línea desde la actividad 11 se asocia en la línea que une las actividades 10 y 20, indicando que la actividad 20 sigue luego que cualquiera de las actividades 10 u 11. La red en la Figura 2.2 (b) muestra que si la actividad 11 sucede después que la actividad 10, la actividad 21 se llevará a cabo en lugar de la actividad 20. Esto es así porque aunque las actividades 20 y 21 son alternativas entre sí, la ocurrencia de la actividad 21 está condicionada por la actividad 11. La línea punteada que une las actividades 11 y 21 indica esta condición.

[12] Ver Anexo B para Diagramas de Precedencia y otros métodos de programación.

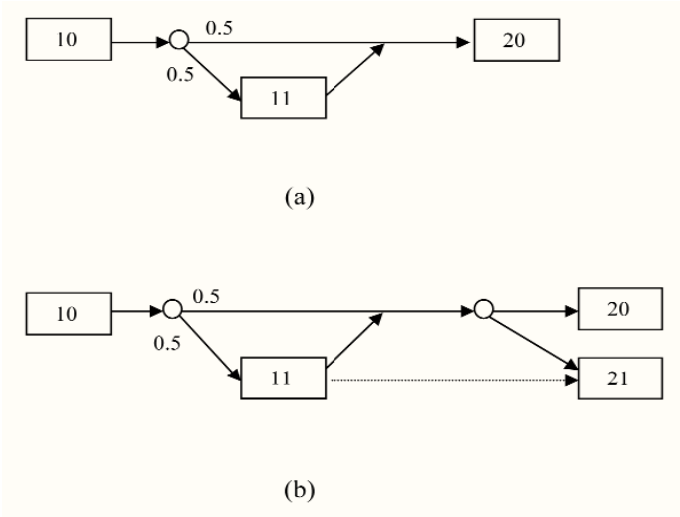


Figura 2.2. Modelación de actividades de contingencia: (a) actividad incierta; (b) actividad condicional.

Finalmente, se propone el uso de series de distintas actividades en lugar de actividades repetitivas para modelar repeticiones probables; por ejemplo, la reelaboración debido a fallas o rechazos. Aunque la repetición en la Figura 2.3 (a) tiene el beneficio de ser simple en su concepto, usando las series como en la Figura 2.3 (b) permite diferentes atributos, tales como la variación de probabilidades, asignar actividades separadas en las series, etc.

La extensión requerida de las series o el número de veces que la actividad puede repetirse con una oportunidad significativa se espera que sea limitada. Por ejemplo, en la Figura 2.3 (b) las oportunidades de repetición disminuyen tan rápido que la probabilidad global de ocurrencia, esto es que la actividad 10 se repita tres veces, es insignificante al 0.3*0.2*0.1= 0.006.

Otra práctica de modelación adecuada puede ser la propuesta por Lev Virine. El uso de la cadena de eventos es una técnica que tiene la ventaja de visualizar en qué momento se presenta algún evento de riesgo dentro de la actividad (el momento más probable) y permite establecer una cadena de eventos, en caso ocurran. Además, evita el recargo del cronograma, evitando la adición de actividades de contingencia y recargándolo, haciéndolo fácil de visualizar y entender. En los párrafos siguientes se mostrará en qué consiste esta técnica.

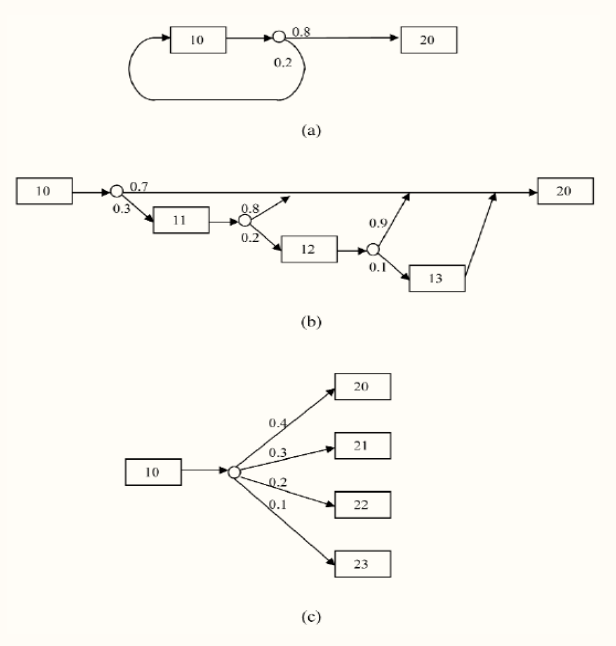


Figura 2.3. Tipos de modelación de nodos: (a) repetitiva; (b) serie; (c) ramas.

Una vez que se tiene la información del proyecto, se desarrolla un análisis cuantitativo y se determinan como afectarán las incertidumbres en cada una de las actividades y en los parámetros del proyecto, como tiempo, costo, tasa de rendimiento, etc. Sin embargo, los proyectos reales son complejos; tienen múltiples riesgos y pueden ocasionar otros riesgos. Los resultados de los riesgos; en un escenario pueden generar una demora, mientras que en otro el mismo puede cancelarla. Adicionalmente, algunos riegos se relacionan con otros. Por tanto, el problema radica en cómo modelar este complejo proceso para hacerlo práctico para propósitos de gestión.

La cadena de eventos propone resolver este problema. Es importante notar que no es un método de análisis de riesgos o un simulador. Se basa en metodologías existentes, tales como Monte Carlo, el enfoque Bayesiano, entre otros. La cadena de eventos es una técnica para modelar incertidumbres para diferentes procesos relacionados con el tiempo de los negocios y aspectos tecnológicos, incluyendo la gerencia de proyectos de construcción. Se basa en seis principios básicos.

Una actividad (tarea), en los procesos de la vida real, no es un procedimiento continuo ni uniforme. Esta afectado por eventos externos, los cuales la transforman de un estado a otro. Es importante anotar que estos eventos ocurren durante el curso de la actividad. El momento en que ocurren es, en la mayoría de los casos, probabilístico y se puede definir con el uso de distribuciones estadísticas. Los eventos (riesgos) pueden tener un impacto negativo sobre el proyecto. Por ejemplo, el evento “demora por clima” podría causar una demora en la actividad. Sin embargo, lo opuesto es también cierto, los eventos pueden afectar positivamente a la actividad, como la reducción de costos.

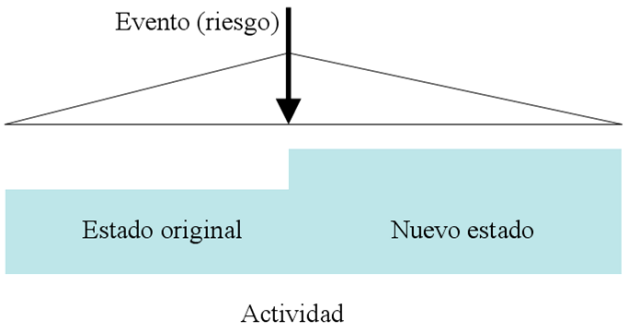


Figura 2.4. Naturaleza de la actividad a lo largo de su duración.

Los eventos pueden causar otros eventos, los cuales crearían una cadena de eventos. Estas cadenas podrían afectar significativamente el curso del proyecto. Por ejemplo, cambios en los requerimientos, pueden causar la demora de una actividad. Para acelerarla, se asigna recursos de otra actividad; lo cual lleva a no cumplir en la fecha establecida y eventualmente, a la demora total del proyecto. Los eventos pueden instantáneamente provocar otros eventos o transformar el estado de la actividad. La noción de estado es muy importante, ya que los estados pueden servir como precondición para otros eventos. Por ejemplo, si un cambio en los requerimientos causa una demora, entonces transforma la actividad en un estado diferente. En este estado, el evento "reasignación de recursos" puede ocurrir. Alternativamente, el evento puede ocurrir si la actividad está en cierto estado.

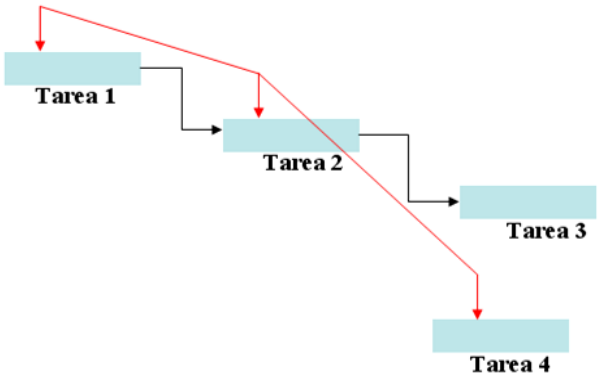


Figura 2.5. Cadena de eventos en un cronograma de obra.

Una vez que las cadenas de eventos están totalmente definidas, se puede desarrollar un análisis cuantitativo usando una simulación para determinar incertidumbres y cuantificar los impactos acumulados de los eventos. Algunas veces, se puede suplementar la información de las incertidumbres expresando los eventos como distribuciones de probabilidad relacionadas con el tiempo de inicio, costo y otros parámetros, tal como se hace en las simulaciones con Monte Carlo. Sin embargo, es importante discriminar entre los factores que contribuyen a la distribución y los resultados de los eventos para evitar la doble cuenta de factores.

Las cadenas de eventos que tienen el mayor potencial de afectar al proyecto son las "cadenas críticas de eventos". Mediante la identificación de las cadenas de eventos críticos, se pueden mitigar sus efectos negativos y aprovechar sus oportunidades. Estas cadenas pueden identificarse analizando las relaciones que hay entre los objetivos del proyecto, tales como tiempo, costo, entre otros. Los eventos o cadenas de eventos críticos se pueden mostrar en gráfico de tornado, donde los eventos críticos aparecerían arriba.

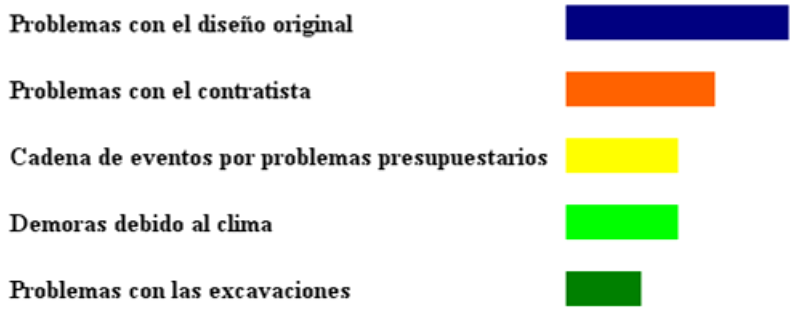


Figura 2.6. Gráfico de tornado para eventos o cadenas de eventos críticos.

Las probabilidades y los impactos de estos eventos se obtienen de datos históricos. El monitoreo del progreso de las actividades asegura el uso de información actualizada para el desempeño del análisis. En muchos proyectos de construcción es difícil determinar si los datos históricos deberían usarse en análisis futuros. Por ejemplo, en lo que respecta a investigación y desarrollo, los proyectos nuevos difieren de los antiguos. Se puede lograr la selección apropiada de analogías en la información histórica mediante el uso del enfoque Bayesiano. Además, durante el curso del proyecto, se puede recalcular la probabilidad y el tiempo de los eventos basados en la información actual.

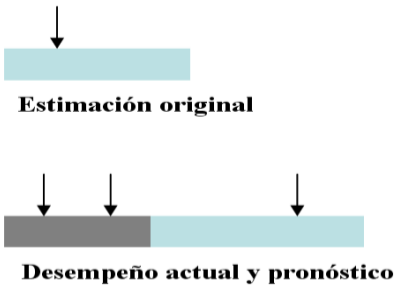


Figura 2.7. Replanteo de la actividades en base a los resultados del análisis.

Las cadenas de eventos son visualizaciones que muestran las relaciones entre eventos y tareas y cómo estos eventos se afectan unos a otros. Mediante el uso de cadenas de eventos, se puede simplificar la modelación y el análisis de riesgos e incertidumbres.

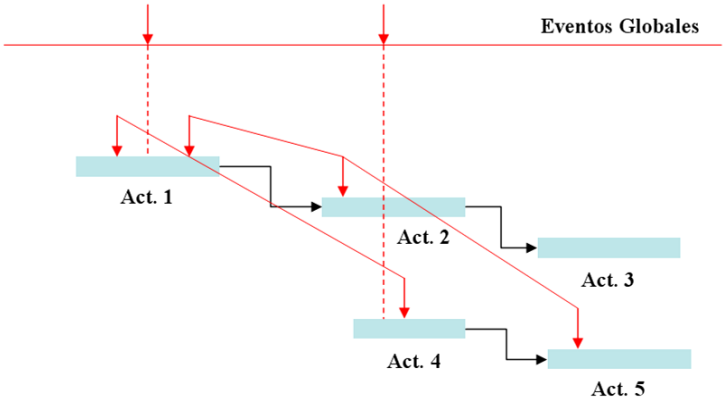


Figura 2.8. Visualización de cadenas de eventos en un cronograma de obra.

La aplicación de esta técnica causa algunos fenómenos interesantes. A continuación se muestran algunos ejemplos:

A veces los eventos causan el comienzo de una actividad que ya ha sido completada. Este escenarios es común en la vida práctica; actividades previas deben repetirse basadas en los resultados de las actividades que le suceden. Modelar este escenario es muy simple. No se tiene que actualizar el cronograma original, sino tan sólo crear un evento y asignarlo a una actividad que apunte a la actividad previa. Además, se necesita definir el número de veces que la actividad puede repetirse.

Figura 2.9. Uso de eventos para actividades repetitivas.

Los eventos pueden generar otras actividades que no están en el cronograma original. Estas actividades están relacionadas con el plan de mitigación del proyecto. Se modelan fuera del cronograma original y son asignadas a un evento. El cronograma original aumenta cuando estos eventos ocurren.

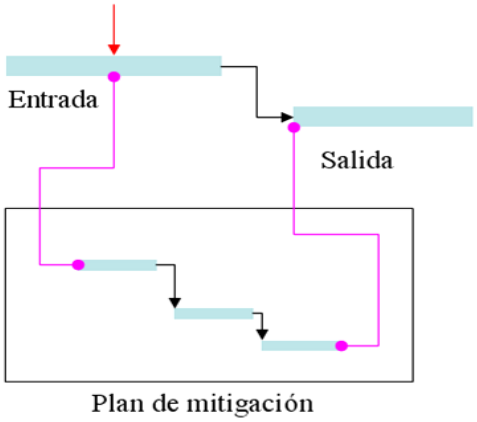


Figura 2.10. Adiciones al cronograma mediante la asignación de eventos.

Un evento potencial es la reasignación de recursos desde una actividad a otra, el cual puede ocurrir bajo ciertas condiciones. Por ejemplo, si una actividad requiere mayores recursos para completarse dentro del período establecido, iniciará otro evento y habrá una reasignación de recursos de la otra actividad. La reasignación de recursos puede también ocurrir cuando una actividad alcanza cierto plazo límite o su costo excede cierto valor. Los eventos pueden usarse para modelar diferentes situaciones con recursos, tales como: abandono temporal, enfermedades, vacaciones, etc. En algunos casos esto puede crear una cadena de eventos: debido a una enfermedad, los recursos de otra actividad deben tomarse prestados para completar una tarea específica.

Los eventos pueden causar otros eventos que aparecen inmediatamente o con cierta demora. La demora es una propiedad del evento. Puede ser determinística, pero en la mayoría de casos es probabilística. Si se sabe el tiempo original del evento y su demora, es posible determinar cuando un nuevo evento podría ocurrir y bajo qué condiciones, con la actividad que está asociado a él.

En la etapa de *Estimación* se intenta calcular el grado de incertidumbre asociado a cada riesgo. Frecuentemente sólo se lleva a cabo una evaluación cualitativa; sin embargo, esto no es una regla general, ya que depende mucho del grado de madurez del equipo, la confianza de sus estimaciones, entre otros. Luego que se ha decidido qué método se usará (cualitativo o cuantitativo), se procede a estimar una probabilidad preliminar e impactos (negativos o positivos) para los diferentes escenarios de cada riesgo. Típicamente hay tres escenarios: uno pesimista, con impactos máximos sobre el proyecto; uno optimista, donde los impactos no son severos; y un intermedio, el más probable de los tres. No obstante, a pesar de ser una evaluación cualitativa, debe cuantificarse en rango de valores (máximos y mínimos) para establecer planes de contingencia.

Debe recalcarse que el objetivo del análisis cuantitativo es proporcionar oportunidades para la reflexión a los participantes del proyecto y para hacer de estas incertidumbres tan

patentes como sea posible a los participantes. Esta manera de formar conciencia, debe a su vez hacerse extensiva a todo el equipo de trabajo, desde gerentes hasta obreros, de modo que el proceso se fortalezca por todas sus partes. Sin embargo, este tipo de análisis no debe ser idolatrado; al contrario, debe ser un análisis riguroso y serio, llevado a cabo con prudencia, principalmente como una herramienta de comunicación.

El paso siguiente es un afinamiento de la estimación de los riesgos que se han considerado. Este afinamiento puede pasar por un recálculo de la estimación inicial, una mejor distribución de probabilidad, una mejor definición de probabilidades o la suma de éstas. Si se ha escogido información histórica y se combina con información subjetiva, sería recomendable multiplicar esta información por un factor cuyo valor dependerá mucho de la experiencia del equipo (Chapman y Ward, 1997).

Aquí también se decide la necesidad de llevar a cabo un desglose sucesivo del cronograma para reducir las incertidumbres en la estimación de riesgos críticos con variaciones inaceptables, trabajar desde lo particular hasta lo general (desviación típica en el caso de un análisis cualitativo, o cualquier distancia excesiva entre impactos mínimo – máximo en el análisis cuantitativo). Esta reducción puede lograrse aplicando el Principio de Sucesión de Lichtenberg[13], dividiendo los eventos en partes y estimando el impacto de algunos de sus componentes hasta tener una lista significativa (probabilidad, en caso de un análisis cuantitativo). Esta división debe continuar hasta que se logren niveles restantes con incertidumbre aceptable. El paso siguiente es estimar el tiempo de cobertura para riesgos asegurables y compararlos con su valor esperado; es decir, conocer el exceso en tiempo en caso la aparición de eventos. Para terminar es conveniente actualizar el registro de riesgo priorizando los riesgos aquí desarrollados.

En esta etapa surgen diversas interrogantes ¿Qué distribución debería utilizar? ¿Qué hace el equipo cuando no se poseen registros adecuados, o simplemente no hay registros? La naturaleza del riesgo determinará el uso de cierta distribución. Por ejemplo, un evento de riesgo que posea un comportamiento constante a lo largo de cierto período tendrá una distribución constante[14]. Cuando se tenga información faltante o no se tenga, como el caso de la mayoría de empresas constructoras en nuestro medio, lo mejor es acudir a expertos. Estos darán un rango de probabilidades, las cuales deben tomarse con prudencia y en consenso de equipo.

La etapa de *Evaluación* implica introducir las estimaciones de la etapa previa dentro del modelo para evaluar el riesgo del proyecto. Luego de introducir las estimaciones en el modelo se lleva a cabo los cálculos parciales y globales, gráficos, posibles reestructuraciones y diagnosis del plan del proyecto, incluyendo un análisis de sensibilidad. Luego las causas se identifican de manera definitiva. Cuando los umbrales de riesgo se definen, se hace una evaluación final para tomar oportunidades que permitan

[13] Revisar el Principio de Sucesión de Lichtenberg explicado en el Apartado 1.7.4.
[14] Revisar en el Anexo A los tipos de probabilidades propuestas por el DOT para Análisis de Riesgos.

sacar ventaja o ignorar ciertos riesgos, así como las amenazas para responder ante éstas o aceptarlas y el ranking total del proyecto, que incluya tanto riesgos, oportunidades y posibles acciones de mitigación. Esta etapa es esencialmente cuantitativa, puede ocupar la mayor parte de las actividades y el resto del proceso se llevará a cabo de la manera más sencilla posible.

El *Balance* abarca el planeamiento global del proyecto y las etapas siguientes del proceso para el manejo de riesgo (lo que el DOT llama Risk Management). El plan debe realizarse en dos o tres niveles de trabajo (Chapman y Ward, 1997), dependiendo de la duración del proyecto. Siempre habrá un planeamiento global a nivel de detalle (primer nivel). Más allá de esto, habrá un planeamiento mucho más detallado sobre duración del proyecto (segundo nivel), con plazos mejor definidos. Este planeamiento tomará lugar en diferentes etapas del proyecto en forma dinámica; que pueden coincidir o no con las fases del proyecto. Finalmente el planeamiento con el máximo detalle (tercer nivel) se hará en diferentes fases del proyecto para fortalecer el trabajo del segundo nivel. Junto con otras ventajas, este trabajo sucesivo previene el irrealismo del proyecto, evitando la pérdida de tiempo y esfuerzo, junto con confusiones, desacuerdo pérdidas de motivación, etc.

El riesgo de las partes puede ser también una oportunidad de fortalecer al proyecto ante adversidades. El primer paso en la etapa de balance es la definición de las políticas o lineamientos para la asignación de riesgos. El paso siguiente es identificar qué riesgos se asignan a determinadas personas u organizaciones para que sean los encargados de gestionarlos y resistir su impacto en caso que ocurran. El tercer paso implica planear los términos del contrato según su tipo (tradicional, llave en mano, entre otros), la definición de sus cláusulas, y finalmente, plazos e hitos contractuales; en el caso de un contratista le permite oponerse o favorecer cierta forma de contratación, según sus intereses. Luego, el cuarto paso es confirmar lo anterior con las partes involucradas, realizar cambios necesarios, y verificar si todo se ha logrado hasta el momento, de forma coherente y legalmente correcta.

El quinto paso es resumir, recopilar verificar y documentar el plan global de trabajo. Más aún, el registro de riesgos debe actualizarse incluyendo el trabajo que se ha llevado a cabo hasta el momento, y las lecciones aprendidas. El sexto paso es definir las líneas de tiempo para cualquier otro planeamiento del proyecto, de modo que el equipo pueda establecer plazos coherentes a futuro. El séptimo es llevar a cabo el planeamiento del proyecto al segundo nivel y el primer planeamiento detallado de éste. En el octavo paso se establecerán los mecanismos de retroalimentación y contingencia para minimizar el impacto de los riesgos si las respuestas planeadas fallan cuando el evento ocurre. Luego de comunicar los resultados de esta etapa, se deben implementar acciones en el plan del proyecto que incluyan oportunidades para el riesgo y sus causas.

El *Mantenimiento* pretende mantener el equilibrio en el ambiente de los riesgos del proyecto. En esta fase hay un monitoreo general, que incluye al proyecto (así como sus

objetivos y suposiciones) y la programación. Conllevará al monitoreo de los factores de riesgo, causas, respuestas (su implementación y efectividad) y otros aspectos del ambiente de riesgo, junto con la liberación de contingencia como se requieran, detección de tendencias en el proceso PRM y actualización del registro de riesgos. Otra tarea de mantenimiento es el monitoreo periódico, excepcional o especial de ciertos eventos; que incluye la revisión de riesgos respuestas, modelos y evaluaciones. Los riesgos identificados en un principio pueden desaparecer y unos nuevos, aparecer. Esta es la razón de los monitoreos periódicos, excepcionales o especiales.

Junto con lo mencionado, se debe desarrollar e implementar un planeamiento detallado del proyecto en los niveles segundo y tercero. De aparecer unas crisis, será necesario tomar algunos pasos para reestablecer el balance en el ambiente del proyecto (crisis de manejo). Para esto se debe confirmar la presencia de las causas del desequilibrio y si es que han sido anticipadas por el equipo. Luego el equipo debe analizar la crisis y tomar acciones correctivas; y si fuese necesario, tomar acciones preventivas para evitar crisis similares en otras áreas del proyecto, o incluso en otros proyectos (efecto dominó).

Después se deben implementar respuestas urgentes no previstas ni planeadas y actualizar los registros. De la experiencia ganada puede revisarse las etapas previas del proceso y afinar su funcionamiento. Esto puede llevar, entre otras cosas, aún modificación del plan del proyecto. El ciclo normal de las actividades en esta etapa se repetirá hasta que el proyecto entre a la recta final.

El *Aprendizaje*, a través de la experiencia, trata de mejorar la actividad del equipo y fortalecer el conocimiento de éste. Primero, el alcance de esta fase debe definirse y planearse. Luego, hay una recolección final de información relacionada con el manejo de riesgo para este proyecto, adicionándolos al registro. El paso final es hacer un análisis de la información, incluyendo los objetivos logrados y una comparación entre los riesgos esperados y los actuales. Luego, puede valorarse el proceso de PRM y su información se actualiza para la compañía de forma adecuada. Debe realizarse un reporte final sobre el manejo de riesgo a lo largo del proyecto. Esta fase no sólo es para proyectos que han llegado a la etapa final, sino también para aquellos que se cancelaron prematuramente.

Según la zona donde se encuentre nuestro proyecto se puede obviar algunos pasos de la metodología, ya sea por la falta de conocimiento en temas de riesgo o por sobrada experiencia en estos temas. Lo que pretende la metodología es flexibilizarse ante todo tipo de equipo de trabajo, ser fácil de usar bajo cualquier condición de conocimiento del grupo humano que la desarrolle. A continuación se mencionarán las simplificaciones que ofrece esta metodología, según el nivel de complejidad del proyecto, madurez del equipo en temas de riesgo y el tamaño relativo del proyecto.

Zona m1 & m2. En esta zona existe un bajo nivel de madurez en temas de riesgo, con un tamaño relativo pequeño y baja complejidad. Sería provechoso contratar consultores externos (cuidadosamente seleccionados) o tener en el staff profesionales de otras compañías con alto nivel de madurez en temas de riesgo. Se necesita capacitar al personal en temas de riesgo. Es importante generar procedimientos con tendencias a que el personal adquiera conocimiento en temas de gerencia de riesgos. El equipo para el manejo de riesgos, generalmente, es el equipo del proyecto. Sus evaluaciones deben incluir un registro de riesgos (muy simple), que incluya riesgos, evaluaciones de probabilidad cualitativas y evaluaciones cuantitativas de los impactos. Sólo se llevarían a cabo cuatro fases con siete etapas: proyecto, identificación, estimación, balance, mantenimiento y aprendizaje. Es casi inevitable que se presenten problemas respecto de la información disponible, el tipo de técnica que debe utilizarse, entre otros.

Zona m2 & m3. En esta zona están aquellos proyectos con tamaño medio, cierto nivel de complejidad y bajo nivel de madurez en temas de riesgo. Aquí ya son necesarias algunas consideraciones adicionales respecto de la zona anterior. Aún son indispensables expertos externos para manejar el tema de riesgos, el equipo está formado por los miembros del proyecto, aunque podría formarse un grupo para el manejo de riesgos externo debido a la complejidad del proyecto. Entre la documentación que se debería generar están el registro de riesgo, planes de mitigación, formatos de comunicación, normativas, entre otros.

Se realizarán las cuatro fases de PUMA pero sólo con nueve etapas: requerimientos, proyecto, procesos, equipo, identificación, estimación, balance, mantenimiento, aprendizaje. En esta zona deben optimizarse los procesos, ya que se posee un grado de madurez superior a la zona anterior. Los procesos deben ser optimizados, los resultados deben contribuir a un enriquecimiento del equipo del proyecto y aumentar su conocimiento en análisis de riesgos.

Zona m3 & m4. Esta zona pertenece a los proyectos de tamaños relativos medio y grande, con niveles de complejidad medios, pero aún un bajo nivel de madurez. Esta zona es muy parecida a la zona anterior, con la diferencia que los proceso requieren cada vez mayor cuidado. Se realizan las mismas nueve etapas de la zona anterior, teniendo en cuenta métodos de estimación más certeros y confiables. El equipo para el manejo de riesgos debe ser externo al equipo del proyecto, debido a las responsabilidades en las que se incurren en los temas de gestión. La documentación que se genera debe ser la primera herramienta de comunicación entre los diferentes entes del proyecto: el equipo para el manejo de riesgos, equipo del proyecto y cliente. Los resultados deben ser confiables y reflejar la naturaleza de las actividades donde se presentarían los eventos de riesgo, de modo que las acciones de mitigación permitan un rápido actuar. Se puede visualizar mejor la situación del proyecto con una modelación preliminar (aunque no se realiza como una etapa propiamente dicha), para establecer posibles relaciones entre los eventos de riesgo.

Zona m4 & m5. Esta zona es exclusiva de los proyectos grandes con nivel medio de madurez en temas de riesgo y alta complejidad. En esta zona estarían la mayoría de proyectos en nuestro país. Aquí se incluyen a la etapas de modelación y de evaluación (se realizan las todas la etapas), que cobran especial importancia por ser de gran ayuda como herramienta de simplificación durante la fase de balance. Además, permite al equipo para el manejo de riesgos el uso de técnicas más rigurosas para la etapa de identificación, tales como el uso de encuestas, listas de chequeo complejas, entre otras. Es quizá aquí donde se "explota" la capacidad del equipo para la identificación de riesgos, es decir, que el equipo debe invertir mucho esfuerzo en identificar la mayoría de riesgos junto con sus respuestas.

Como ya se mencionó, en esta zona se incluyen las dos etapas faltantes. La modelación puede hacerse con técnicas sencillas como árboles de decisión, diagramas de precedencia, cadena de eventos, tablas de actividades, entre otras. Es importante aquí, revisar meticulosamente la información que se ingresa al modelo, de modo que no se incurran en repeticiones ni omisiones. También es importante el papel que desarrolla el cliente a partir de esta zona en adelante. Su desempeño como regulador y responsable de ciertos eventos, lo vuelven una parte más activa de todo el proceso.

Zona M1 & M2 – Zona M2 & M3. Se ha decidido agrupar estas dos zonas porque ambas poseen casi las mismas características. La única diferencia entre éstas radica en la complejidad y en el tamaño (en ciertas ocasiones) del proyecto. Estas zonas ya poseen un alto nivel madurez de conocimiento en temas de riesgos, por lo que el equipo debe estar apto para enfrentar los diversos eventos que se presenten a lo largo de la ejecución del proyecto.

Todas las partes deben tener canales de comunicación formal, de modo que esta información pueda ser referente para futuras eventualidades dentro del proyecto o en proyectos posteriores. Documentación como registros de riesgos, tablas de identificación, cuadros de resultados, registros de mitigación son muy importantes para las partes involucradas en el proyecto; por tanto, deben contener información confiable, bien estimada y de fácil apreciación.

En estas zonas ya se pueden emplear técnicas complejas para las diferentes etapas del proceso: simulaciones con softwares especializados, paneles de expertos, análisis de sensibilidad, entre otras. La idea es simplificar el trabajo de cálculo debido a la complejidad del proyecto: gran cantidad de actividades, sensibilidad en la variación de los recursos, etc.; y concentrar el esfuerzo del equipo en tareas como los planes de mitigación, balances, aprendizaje, comunicación, mantenimiento.

Zona M3 & M4 – Zona M4 & M5. En estas dos zonas el proceso se cumple rigurosamente. Se desarrolla el proceso en sus cuatro dimensiones: fase, etapas, actividades y sub – actividades. Estas dos etapas son especiales para el equipo porque además del esfuerzo

para llevar a cabo el proceso de la mejor manera, le permite investigar sobre fenómenos que se dan solamente en proyecto de esta naturaleza y alimentar la experiencia de éstos. En el Perú tenemos proyectos que podrían cumplir estas características: El trasvase de Olmos, la carretera interoceánica, el proyecto del Alto Piura, que son proyectos con mucha ingeniería de detalle, rodeados de elementos políticos y con alta incidencia sobre la zona donde se desarrollan.

La Tabla 2.3 muestra unas recomendaciones hechas por Alfredo del Caño y Pilar de la Cruz para el uso de técnicas según criterios la complejidad, tamaño del proyecto y el nivel de madurez que tiene el equipo de temas de riesgos. Esta tabla es sólo una guía, no pretende ser un paso obligado para quien lleve a cabo el proceso, ya que forzar su uso, nuevamente, será absurdo.

Tabla 2.3. Recomendación de técnicas a usar en función de la madurez del equipo, complejidad y tamaño del proyecto.

Técnicas de análisis		Zonas																					
		mA	mB	mC	mD	mE	MA	MB	MC	MD	ME	m1	m2	m3	m4	m5	M1	M2	M3	M4	M5
técnicas cualitativas	Descripción de impacto y probabilidad	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Análisis de suposición	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Listas de chequeo	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1
	Tablas de probabilidad - impacto	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1
	Ranking de precisión de datos	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1
	Diagramas de flujo			2	2	2		2	2	2	2			2	2	2		2	2	2	2
	Diagramas de influencia			2	2	2		2	2	2	2			2	2	2		2	2	2	2
	Diagramas causa - efecto				2	2			2	2	2				2	2			2	2	2
	Arboles de evento y falla				3	3				2	2				3	3				2	2
técnicas cuantitativas	Análisis de sensibilidad	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Sumas probabilísticas		2	2	2	2	2	2	1	1	1			2	2	2		2	2	1	1
	Simulación Monte Carlo			3	3	3	2	2	1	1	1				3	3			2	1	1
	Diagramas de influencia probabilíticos			3	3	3	2	2	1	1	1				3	3			2	1	1
	Tablas de valor esperado			2	2	2	2	2	2	2	2				2	2			2	2	2
	Arboles de decisión				3	3				2	2					2				2	2
	Arboles de evento y falla				3	3				2	2					2				2	2
	Análisis multicriterio				3	3				2	2					2				2	2
	Lógica difusa										3										3
	Proceso de simulación										3										3
	Sistemas dinámicos										3										3

Leyenda

1 uso más frecuente

2 para propósito específico

3 posible uso con ayuda externa

Capítulo 3

3 Diseño del plan de construcción

3.1 Aspectos generales del proyecto

En los capítulos anteriores se introdujo al análisis de riesgos y, específicamente, en la metodología PUMA. De primera intención, resultaría ocioso todo ese repaso; sin embargo, se ha considerado necesario por la sencilla razón que el tema es, prácticamente, desconocido y su uso, casi nulo en nuestro medio. Este capítulo pretende mostrar la aplicación de PUMA, que es la recopilación de diversas prácticas de análisis de riesgos, en un proyecto de construcción; limitándonos al cronograma de obra.

El proyecto de construcción es un auditorio ubicado en la Universidad de Piura. El proyecto fue propuesto en el año 2003, como proyecto de tesis (Correa, 2003). Se cuenta con los datos suficientes para realizar un análisis de riesgos aceptable, que brindaría a las partes involucradas los criterios adecuados para tomar decisiones respecto de este proyecto. En los párrafos siguientes, se tratará de proporcionar la información necesaria para que el lector pueda seguir el proceso PUMA de manera adecuada y sencilla, de modo que se convierta en una práctica continua dentro del proceso constructivo en nuestro medio.

El auditorio quedaría ubicado dentro del campus de la Universidad de Piura; precisamente, detrás de la biblioteca central. La propuesta justifica esta ubicación porque: (1) no interrumpe de manera crítica el normal desempeño de las clases, (2) se facilita el acceso desde la playa de estacionamiento y (3) se integra la zona de la Ermita hacia las facultades de la Universidad. La construcción del auditorio incluye el equipamiento de una sub – estación para dar suministro de energía al auditorio (Correa, 2003).

***Figura 3.1. Ubicación del auditorio*[15].**

El edificio ocupa un área de 1360 m^2, con grandes luces, por lo que se concibió en su diseño una estructura liviana hecha de perfiles de acero. El sistema consta de cuatro zonas bien definidas: el ingreso, la zona de butacas, el escenario y la zona de circulación en el edificio. Estas zonas hacen un total de 9 ejes longitudinales y 10 ejes transversales. La particularidad del diseño son las luces considerables y la ondulación del techo. Posee un sistema de pórticos que asumen casi la totalidad de la rigidez longitudinal, con arcos principales triangulares y pórticos de viga cuadradas y el pórtico posterior con su vigueta en la dirección transversal.

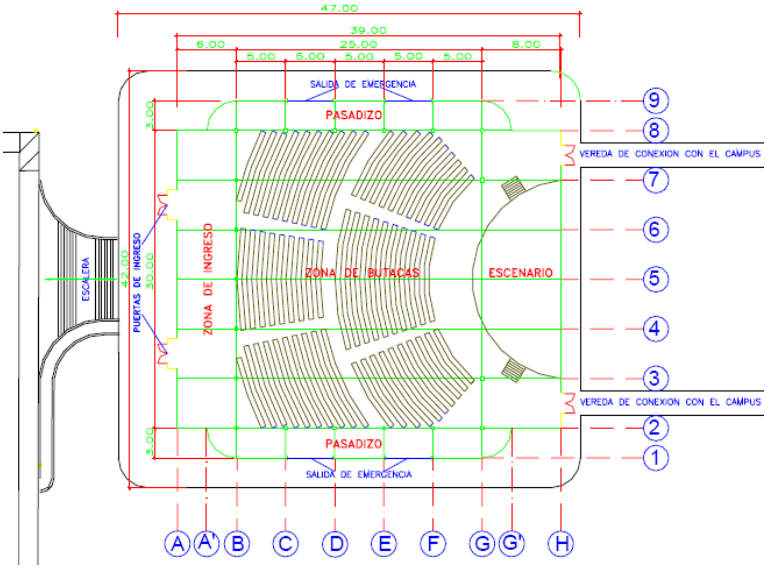


Figura 3.2. Disposición de ejes en el auditorio.

[15] Gráficos extraídos de la tesis *"Diseño estructural de un auditorio con estructuras metálicas"*, Javier Correa, 2003.

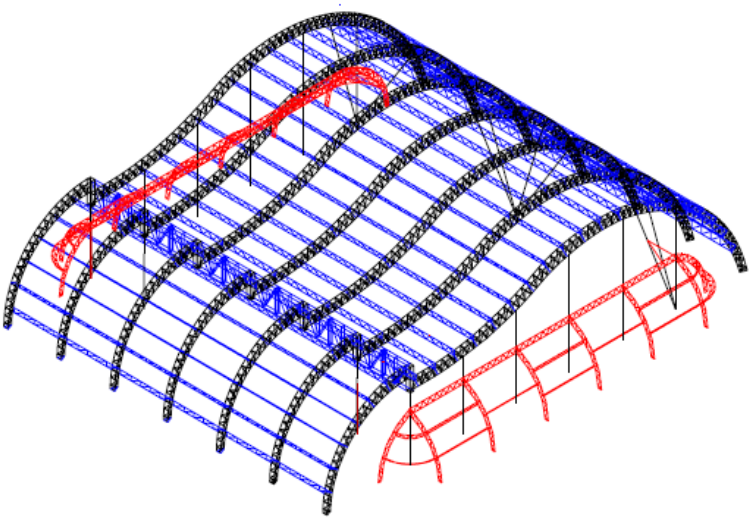


Figura 3.3. Elementos que brindan rigidez longitudinal de la edificación (color negro).

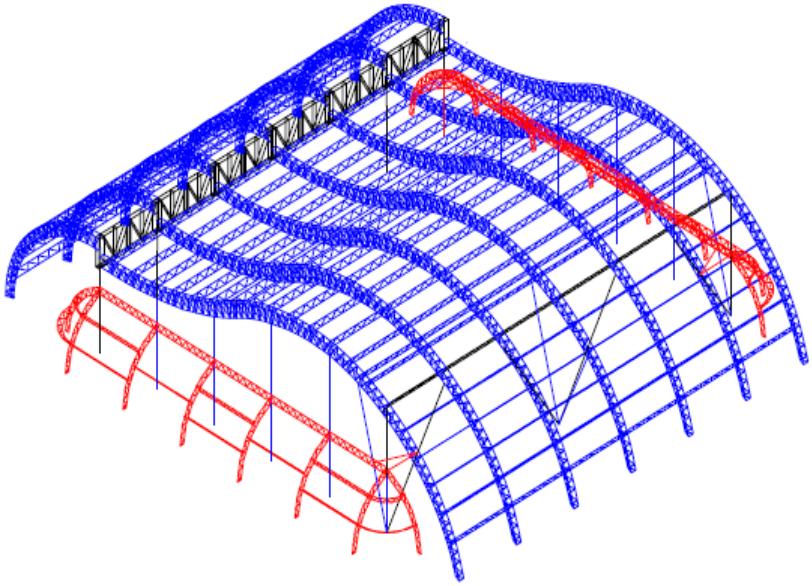


Figura 3.4. Elementos que brindan rigidez transversal (color negro).

La cobertura del techo se hará con una calamina de aluminio de forma trapezoidal, mientras que las partes laterales y antesalas del auditorio serán cubiertas con drywall, instalados en perfiles de acero galvanizado (Figuras 3.5 y 3.6).

Debido al clima, caluroso la mayor parte del año, el diseñador resolvió colocar ductos amplios en el techo, dejando descubierto el espacio lateral superior para que circule el aire libremente (Figura 3.7).

Figura 3.5. Calamina para cobertura de techo.

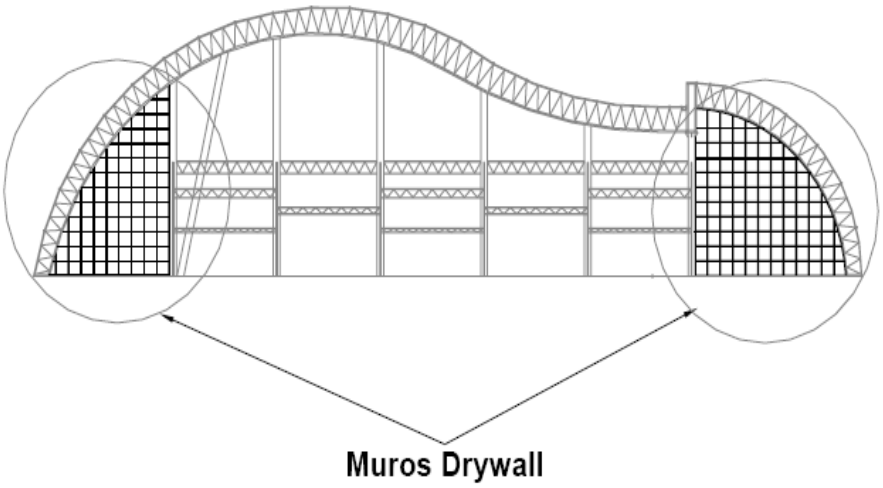


Figura 3.6. Ubicación de los muros de drywall.

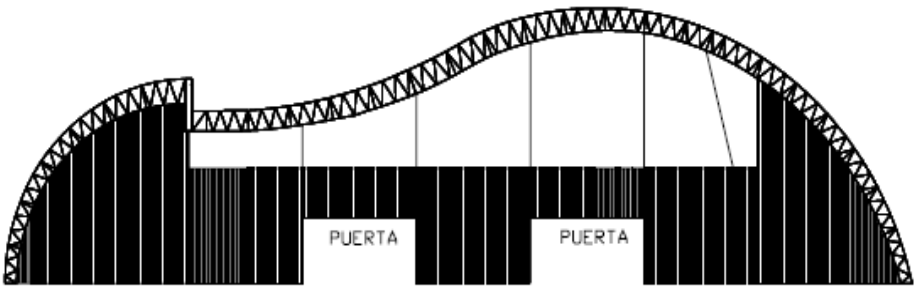


Figura 3.7. Disposición de ductos de ventilación para el auditorio.

3.2 Diseño del plan de construcción

El aporte de este plan de construcción es que permite ver todo el proceso de construcción del proyecto, de modo que sirva como base para los futuros análisis que se requieran en la construcción. Para el caso concreto del análisis de riesgos, posibilita una clara visión de aquellos eventos que podrían presentarse (riesgos y oportunidades) y permite una identificación preliminar y muy importante para este proceso.

Para hacer el análisis de riesgos es necesario hacer un detalle de las actividades que involucran al proyecto. Se observa pues, una marcada diferencia entre las etapas de la construcción del proyecto, por ejemplo, entre el movimiento de tierras y la cimentación. Por esta razón se creyó conveniente agrupar las actividades en componentes de trabajo o fases, denominados con las siglas WP. Estos componentes son independientes del plan de construcción, en el sentido que se detallan para dar alcance de los trabajos que implica el proyecto, mas no establece una secuencia a seguir.

Para el Plan de construcción se agruparon las tareas por especialidad, como componentes principales o fases, que son: obras provisionales, movimiento de tierras, construcción de pavimento de circulación, construcción de veredas, construcción de rampas y accesos, estructura metálica, carpintería de madera e instalaciones eléctricas. A continuación se detallan la composición de cada una de estas fases.

3.2.1 Fase WP1, Obras preliminares

Esta fase comprende las actividades de almacén de obra y cerco perimétrico del área de trabajo, además de la limpieza de obra. Es conveniente realizar este cerco de protección porque ayudaría a evitar la polución de polvo hacia la biblioteca, especialmente durante las tareas de movimiento de tierras y también evitaría el acceso de personal ajeno a la construcción, así como animales existentes en el campus. El almacén, por su parte, haría las veces también de caseta de vigilancia durante las noches, para evitar pérdidas y tener un control riguroso de las actividades.

3.2.2 Fase WP2, Movimiento de Tierras

Esta fase abarca desde las actividades de replanteo hasta la conformación de rellenos para una subrasante adecuada. La mayoría de actividades se harían mediante el uso del siguiente equipo: un tractor D6, un rodillo vibratorio de 5 ton, planchas compactadoras, cisterna, una retroexcavadora, un volquete, ya que el área de trabajo es considerable y resultaría mucho

mejor emplear maquinaria que mano de obra. Las subfases que se han considerado para esta fase son: trazo y replanteo; tala de árboles; movilización y desmovilización; corte con maquinaria; conformación de subrasante y relleno con material (propio y de préstamo).

3.2.3 Fase WP3, Cimentación adecuada para el proyecto

Al momento de realizar este trabajo no se conocía aún el sistema de cimentación que se emplearía para la construcción del auditorio. Esto se debe a que, si bien es cierto el proyecto posee un estudio de suelos, éste no contempla el peligro de licuación en la zona. Por tanto, el sistema de cimentación propuesta en el proyecto no sería el adecuado y sería necesario modificar el diseño. Para realizar las etapas del análisis de riesgos, por tanto, se consideraría a esta actividad como variable, es decir, que su duración está dentro de un rango definido y asociado a probabilidades de ocurrencia. Con esta forma de estimación se puede asegurar, de cierto modo, que este problema tendrá un impacto muy alto en la normal ejecución del proyecto.

Según las alternativas de solución que consideren sobre esta fase, se podrían asignar recursos. Por ejemplo, si la excavación es pequeña, se puede usar un minicargador con sus accesorios de lampón, retro o martillo, según sea el caso; mientras que para excavaciones masivas, una retroexcavadora.

Esta fase concluye con la instalación de los sistemas de sujeción para las columnas y arcos de la estructura metálica. El sistema se muestra a continuación y requiere cuidado al momento de instalarse para evitar que los arcos y columnas presenten desniveles considerables.

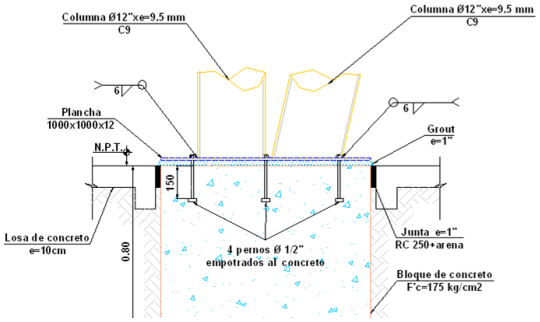


Figura 3.8. Disposición del sistema de anclajes para elementos metálicos, columna BC4[16].

[16] Figura obtenida del plano E – 05, Correa, 2003.

3.2.4 Fase WP4, Instalaciones eléctricas

Esta fase es especialmente importante porque incluye la instalación de una subestación, que servirá para alimentar de energía al proyecto durante las tareas de soldado de la estructura metálica. También están las tareas de tendido de cables, puntos de energía, tanto del interior del auditorio como de los postes que iluminarán su ingreso. Además, está la puesta a tierra del sistema que debe realizarse correctamente para evitar retrasos por falla en las pruebas. Tanto el montaje de la subestación como su conexión a la red serán supervisadas por personal calificado y requerirán equipo especial de izaje, como un camión HIAB y anclaje que éstos poseen. Las demás actividades son bastante comunes en el ámbito de edificaciones, por lo que no se hablará de ellas en este trabajo.

3.2.5 Fase WP5, losa de concreto

Esta fase abarca todas las actividades que sirvan para conformar la losa de tránsito, así como las aceras perimetrales del auditorio. Se llevaría a cabo en dos subfases bien diferenciadas, la losa y los accesos perimetrales.

La losa de concreto cumpliría la función de soportar la carga de tránsito en el auditorio. Para ello, la losa está reforzada con una malla de acero prefabricada, en paños de 5x5 m^2, de tipo damero, por lo que su conformación sería en dos etapas, finalizando con el sello de juntas con brea. Su acabado será de cemento pulido y recubierta con un tapizón para soportar alto tránsito.

Los accesos perimetrales serán de concreto, con 10 cm por encima del nivel de la losa. Se harán en una sola etapa y con acabado de cemento pulido. Este sistema perimetral tendrá una junta de brea con la losa.

3.2.6 Fases WP6 y WP7, Veredas y Rampas y escaleras

Estas fases son especialmente sencillas. Abarcarían las actividades que conforman la construcción de las veredas de conexión desde el camino que une desde la Ermita hasta el auditorio, a la altura de la biblioteca, así como las rampas de acceso y escalera desde la playa de estacionamiento 1 al auditorio. Sus procedimientos de construcción son convencionales y bien conocidos en el medio, por lo que no se detallará más de estos componentes en este trabajo. Estos componentes pueden visualizarse en la Figura 3.2.

3.2.7 Fase WP8, Estructura metálica

La estructura metálica merece un tratamiento especial en este trabajo por ser un trabajo de precisión y por el diseño mismo del proyecto. Los planos del proyecto son claros en cuanto a forma, tipo de unión, diámetros y demás consideraciones en la estructura metálica; mas no lo es en el proceso constructivo del sistema.

De primera intención, la posición oblicua de algunas columnas, los radios de curvatura con ángulos poco conocidos, entre otras consideraciones, harían su ejecución poco práctica. Para minimizar este efecto, pueden tomarse ciertas consideraciones preliminares, de modo que se controlen la aparición de riesgos por falta de planeamiento. Una alternativa es la fabricación de las estructuras por partes y con un código para ensamblar la estructura a manera de un "rompecabezas", conforme se desarrolla el proceso constructivo del auditorio. Técnicas similares se emplean para elementos de encofrado, andamios o losas prefabricadas en el mercado, permitiendo que se conozcan las dimensiones de las piezas o pesos para el transporte respectivo.

A continuación, se indica una secuencia de piezas y montaje de la estructura metálica; sin embargo, el especialista encargado de estos trabajos sería quien, finalmente, opte por la mejor alternativa de montaje de la estructura. Los códigos de estos elementos metálicos son los propuestos en los planos de estructuras del proyecto (ver Anexo C):

- Montaje de las columnas de toda la estructura, denominadas con la simbología BC1 a BC6;
- Montaje de los arcos tipo E, ubicados en la zona del estrado del auditorio y van desde los Ejes 2 al 8, entre los ejes G y H; esto hace un total de 7 arcos.
- Montaje de la viga VR, ubicada en el eje G, que une el extremo de los arcos tipo E entre sí. Se colocarán en 6 secciones, definidas por cada arco tipo E que unirá; desde la sección VR2 hasta la VR8. Esto permitirá la posterior unión de los arcos AB con las vigas E anteriores;
- Montaje en dos frentes de los arcos tipo AB, ubicados en los ejes 2 a 8, entre los ejes A hasta G. Estos arcos podrían dividirse en siete secciones; de este modo se han denominado, por los ejes a los que pertenece el arco: por ejemplo el arco AB6 – CD, sería la sección de arco ubicado en el eje 6, comprendida entre los ejes C y D. Esto daría como resultado 49 piezas entre los ejes 2 – 8 y A – G. La ubicación de los cortes de los arcos se harían en la unión con las viguetas V1 y V2. Esto debido a que la unión de estos elementos sería por medio de soldadura y con una platina de refuerzo. Se debería tener en cuenta un traslape en la longitud de las secciones entre los ejes C y E, que podrían corregir cualquier imperfección en la instalación de los arcos;
- Montaje de las viguetas y arriostres transversales entre los arcos AB, de tipos V1, V2 y X.;

– Montaje de los arcos P, construidos de una sola pieza. Serían 12 arcos con códigos similares a los AB; por ejemplo: el arco P8 – D pertenecería a la intersección de los ejes 8 y D;
– El montaje de las viguetas del sistema estructuras lateral formado por los arcos P, tipo VP1 y VP2.

Todo el montaje del sistema estructural se haría por medio de encofrados metálicos; en nuestro medio, empresas Unispan[17], Layer o Ulma hacen este tipo de trabajos y brinda la asesoría necesaria para su instalación y uso. El izaje sería por medio de un winche o grúas, como el que se muestra en la Figura 3.9. Estas medidas reducirían la exposición del personal a accidentes y hacen las actividades de montaje y soldado mucho más rápidas. Estas actividades deben pasar por un estricto control de nivelación y calidad de la soldadura; errores groseros en estos puntos y cordones podría ocasionar demoras inesperadas, que sólo el contratista se vería obligado a costear. Todas las piezas y la disposición de estás sobre la estructura se encuentran en los planos propuestos para el proyecto y serían el punto de inicio el plan de montaje de esta estructura (Correa, 2003).

Figura 3.9.Equipos para actividades de izaje de estructuras metálicas.

3.2.8 Fase WP9, Carpintería y tabiquería

Esta fase es la más sencilla de todas. Comprende las actividades de confección y colocación de puertas en el auditorio (16 en total), así como la colocación de tabiques de drywall en las zonas laterales posterior y anterior de la edificación, tal como se muestra en la Figura 3.6. Para instalar este sistema drywall se requiere crear una armazón que sujete a las placas. Este armazón está formado por canaletas de acero galvanizado y ángulos del mismo material sujetos mediante tornillos al piso del auditorio. La Figura 3.10 muestra la disposición de este sistema de sujeción.

[17] Unispan, http://www.unispan.com.pe

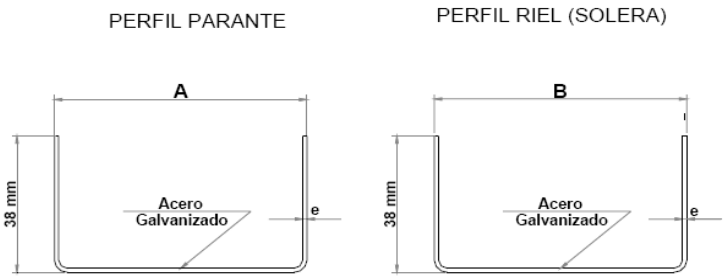


Figura 3.10. Sistemas de sujeción de planchas de drywall.

Lo enunciado anteriormente es un preliminar del plan de construcción que plasma los requerimientos generales del cliente. A medida que se recogen y comparten experiencias con el equipo de proyecto se podrían adicionar requerimientos particulares. El aporte vendría de diferentes áreas del equipo, como producción, costos, ingeniería, gerencia e, incluso, el cliente. Este plan es variable porque depende de los criterios del equipo de trabajo. Por ello la importancia de la conformación de un equipo que reúna la experiencia suficiente o que haya experimentado un proyecto de características similares.

3.3 Estimación del cronograma de obra

Con una clara concepción de los trabajos que implica construir el auditorio, entonces se procede a estimar cuánto tiempo se empleará en su construcción. Para estimar, el diseñador puede emplear métodos determinísticos y probabilísticos. Una estimación determinística de la duración de actividades posee, por sí misma, gran incertidumbre, ya que no toma en cuenta que los valores estimados son sólo referenciales y, a pesar es esto, es una práctica muy común en nuestro medio. Mientras que una estimación probabilística contempla valores esperados asociados a ciertos valores de probabilidad, se necesitan datos pasados para realizar una buena estimación o el estimador debe poseer la experiencia suficiente para hacerlo. La elección de qué técnica emplear dependerá en gran medida de lo que pretenda el diseñador y la naturaleza del proyecto. A continuación se muestran algunos criterios para emplear estas técnicas:

- Para la estimación asumiendo una distribución normal hacen falta registros de proyectos anteriores, con actividades parecidas. Su desventaja radica en que no todas las actividades se comportan de forma normal y se podría caer en una subestimación o sobreestimación de tiempos, dependiendo de los intervalos de confianza que se tomen. Sin embargo, cuando se posee la información necesaria, su uso es muy útil.
- El uso de datos determinísticos, es decir, estimaciones puntuales, posee la desventaja de llevar consigo gran grado de incertidumbre, por lo que el diseñador opta por adicionar un porcentaje que muchas veces no representa la proporción adecuada para la tarea, cayendo en sobreestimación.
- La estimación triangular, requiere información anterior y parecida a las actividades del proyecto a realizar. Sin embargo, también pueden hacerse estimación mediante la

experiencia de personal involucrado en el negocio de la construcción. Además, es mucho más flexible que la distribución normal. Su desventaja es que, por su naturaleza, encierra el valor más probable dentro de dos extremos, donde el diseñador puede considerar contingencias y sobrestimar el cálculo.

Para este trabajo se decidió emplear una estimación determinística porque no hay registros; pero para suplir esta incertidumbre, usualmente se adiciona, un 3% del tiempo estimado. Esta decisión sería adecuada porque; sin introducir un factor más de incertidumbre al hacer las estimaciones probabilísticas, permitirá ver cuánto inciden los factores de riesgos sobre las actividades en particular. Las fuentes de referencia para la estimación de tiempos en la construcción del auditorio son las revistas de construcción del entorno (COSTOS, Constructivo, CAPECO, etc.), así como la base de datos del Gobierno Regional de Piura actualizada a noviembre de 2006.

Además se presentan dos alternativas de cronogramas, ambas extremas entre sí. El propósito de este ejercicio es observar el comportamiento de los posibles plazos extremos que tendría la ejecución del proyecto. Sin embargo, esto no fuerza al proyecto a adoptar una de las dos propuestas, ya que habría disposiciones intermedias; al contrario, pretende brindar una visión de los umbrales de programación en el proyecto para tomar o diseñar una alternativa que se acomode mejor a las necesidades, tanto de la Universidad como del contratista.

Por ejemplo, se podría hacer un cronograma en donde el contratista subcontrate toda la estructura metálica, a los diferentes talleres de la localidad o fuera de ésta, originando consecuencias únicas para este tipo de acción: mayores costos de supervisión, mayores costos de transporte, entre otros. Esto le permitiría al contratista asegurar su utilidad, reduciendo sus costos en esta fase a sólo supervisión; no hay una transferencia y disminución drástica de los eventos de riesgos (transferencia al tercero, pero el contratista sigue asumiendo esa proporción del riesgo), ya que se ejercería un mayor control en el cumplimiento del alcance de esta fase.

También podría ejecutarlo todo el contratista in situ o en su taller. Sin embargo, por el tipo de obras que se ejecutan en la localidad, no existiría ninguna contratista capaz de asegurar la calidad necesaria en la forma y soldado para que la estructura sea como exige el cliente. Esto aumentaría la probabilidad de eventos de riesgo, porque se generaría una ruta crítica que abarque la mayoría de actividades de esta fase; pero también involucra más al cliente en la tarea de asumir ciertos riesgos, mayores exigencias en temas de calidad que, bajo otras condiciones serían asumidos por el contratista. Existen empresas que cuentan con personal calificado para realizar este tipo de trabajos, pero al no ser locales, aumentarían los costos del proyecto de forma importante.

Esta incertidumbre, de qué secuencia en los trabajos debe seguirse, es una decisión vital. Por ello, PUMA también es una herramienta que da parámetros de comparación entre diferentes alternativas de programación y brindaría una visión mucho más amplia de lo trabajos, mejorando el entendimiento de las partes involucradas sobre éste.

Capítulo 4

4 Proceso de Análisis de Riesgos para la construcción del auditorio

Al finalizar el Capítulo 3 se mencionaron dos alternativas en la elaboración del cronograma. Estas alternativas, que se verán con detalle más adelante, se diferencian en la forma de la secuencia de actividades; sin embargo, los riesgos identificados son los mismos (ya que la naturaleza del proyecto no cambia), al igual que sus impactos producidos en estas actividades. Dichas alternativas buscan dar luces de situaciones opuestas para mejorar el criterio de decisión y ampliar la visión del proyecto. Para la comparación de alternativas se asumió que: Las actividades tienen una duración fija, es decir, que siguen una distribución constante para facilitar la modelación, limitando el uso de distribuciones de probabilidad a los riesgos que se identifiquen en el proceso.

Para realizar el proceso de análisis de riesgos primero se debe definir el grado de complejidad. Este paso previo, como se mencionó en el capítulo 2, servirá para dar un alcance preliminar al equipo del proyecto sobre las posibles dificultades que implicará la construcción del auditorio. Este índice de complejidad está en función de valores esperados que miden complejidades directas e indirectas, desde los aspectos técnicos hasta el entorno cultural del proyecto. La determinación de este índice para el presente proyecto se resume en la tabla C.1 del anexo C.

El valor obtenido del índice de complejidad para el proyecto del auditorio fue de 48[18]. Esto se debe a que el proyecto tendría valores de complejidad altos en lo que respecta a la complejidad directa durante su construcción, tales como la gran cantidad de elementos a

[18] Véase el rango de complejidades citado en el Apartado 2.1, pág. 43.

fabricar, instalaciones importantes a integrar en construcciones ya importantes, necesidad de muchos procesos diferentes de diseño y cíclicos, alto grado de interrelación entre disciplinas tecnológicas de diseño y ejecución, entre otras. La técnica para determinar este grado de complejidad se explica al detalle en el capítulo 2 y forma parte de la metodología propuesta en este trabajo. Con el índice de complejidad se puede acceder a la Figura 2.3, donde se aprecia que el proyecto estaría entre las zonas m4 & m5 y un nivel medio de madurez en temas de riesgo. La recomendación que hace PUMA es la realización de todas las etapas (once) para el análisis de riesgos y que se mencionan a continuación.

4.1 Iniciación

Requerimientos. La metodología se inició definiendo la concepción que tiene el cliente acerca del proyecto. Para esto, se consultó con personal encargado de estos temas en la Oficina de Servicios Técnicos (OST) de la Universidad de Piura y se revisó toda la información disponible del proyecto. En este caso, la universidad no cuenta con un auditorio para realizar eventos con aforos importantes (relativos a la población universitaria), por lo que su construcción facilitaría el mayor desarrollo de actividades de este tipo para sus estudiantes. El auditorio que se requiere, es una edificación que cumpla con las condiciones de funcionalidad y servicio; es decir, que albergue de manera segura cierta cantidad de asistentes y cumpliendo las condiciones para las que fue concebido, funcionalidad y serviciabilidad. Además, el auditorio debe cumplir con exigencias de acabados, tales como: (1) escenario con una superficie bien nivelada para celebrar actos de diversa índole; (2) accesos y salidas, para un ingreso y evacuación rápidos de la instalación; (3) sistemas de comunicación, iluminación y suministro de energía, para potenciar su uso, (4) colocación correcta de la cobertura (calamina y drywall), ya que las coberturas son “caravista” y deben brindar la sensación de uniformidad, espacio amplio y armonía entre sus partes.

Todas las especificaciones del auditorio fueron desarrolladas en un trabajo de tesis (Correa, 2003), donde se refieren las consideraciones del diseño, su uso, ventajas y desventajas de su construcción. Además de esto, la universidad necesita que la construcción se desarrolle sin afectar el normal desenvolvimiento de las clases; los estudiantes no deben verse afectados durante el tiempo que tome la ejecución de estos trabajos; por ejemplo, en temas como ruido, polvo, accesos peligrosos, entre otros.

Otro de los requerimientos que exige la universidad es la seguridad, tanto de los alumnos como del personal que ejecute el proyecto. Para solucionar este tema, se coordinarían los permisos de ingreso para el personal, incluyendo los días sábado y domingo. Además, se exige que el personal obrero tenga lugares apropiados para cubrir sus necesidades, tales como lugares adecuados para tomar refrigerios, baños, duchas, etc., que éste lleve vestimenta acorde con el lugar de trabajo: ropa adecuada, cascos, guantes, lentes protectores, arneses, barbiquejo. Por último, la universidad exige del contratista pagos justos y programados, beneficios, horas extras, pólizas de seguros, etc.

Con esta serie de requerimientos mínimos identificados para llevar cabo el proyecto y con la información del diseño del auditorio se puede proceder a la siguiente etapa de esta fase.

Proyecto. Como ya se mencionó, toda la información mínima se encuentra disponible. El proyecto cuenta con estudios de suelos, consideraciones por efectos del viento, acústica, accesos adecuados al área de trabajo, etc. Además, hay planos detallados de las formas de anclaje y sujeción de los sistemas estructurales del auditorio. Sin embargo, existe una discrepancia con respecto a la cimentación del auditorio que, hasta la fecha de redacción de este trabajo, aún no estaba resuelto. Hay un problema de licuación de suelos y no ha sido considerado en el estudio, pudiendo causar daños severos a la estructura, en caso se presente. Por tanto, sería necesario que el proyectista proponga una solución adecuada para este tema y eliminar la incertidumbre que representa este fenómeno sobre el cronograma de obra.

También es importante tratar el tema de ruido, polvo y accesos. Establecer un área de trabajo con acceso sólo a personal autorizado, cuyo objetivo sería aislar completamente el área de trabajo. Esta comprendería un cerco que va desde el local de SERPOST, pasando por el perímetro posterior de la biblioteca hasta la playa de estacionamiento uno, siguiendo paralelo a la vereda hasta 15 m después de ésta, para llegar perpendicularmente hasta la vereda de la Ermita y seguir esa proyección hasta el punto de inicio. El área abarcaría 4900 m^2, área suficiente para brindar un ambiente de trabajo adecuado para las actividades que se realizarán durante la construcción del auditorio. El acceso de todos los estudiantes sería por las veredas que llegan hasta la playa uno. El acceso a la Ermita será por estas mismas veredas. En la Figura 4.1 se muestra el área de trabajo.

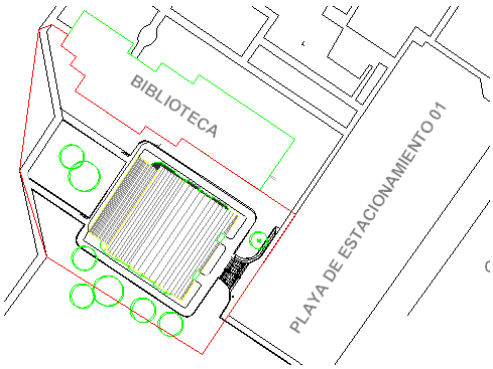


Figura 4.1. Área de trabajo, indicada en rojo, para la construcción del auditorio.

Otro aspecto es el sistema de comunicación con la Universidad. Para esto, se creyó conveniente elaborar una serie de formatos que permitan al cliente ver, criticar y controlar el avance y resultados durante todo su desempeño. Estos formatos son un plan de construcción, listas de chequeo para la identificación de riesgos en el proyecto, el registro de riesgos, los cuadros de resultados de la evaluación y el plan de mitigación con sus

respectivas conclusiones. Conforme se desarrolle este capítulo, se mostrarán los formatos con sus respectivos ítems llenos de acuerdo al proyecto.

Procesos. En este punto de análisis de riesgos es crítico realizar una serie de preguntas que permitan conocer los umbrales de riesgo a las que el proyecto, desde el punto de vista de la Universidad, estaría sometido ¿Qué riesgos está dispuesta a asumir la UDEP? ¿Cuál es el umbral de riesgos para la construcción del auditorio? Estas interrogantes corresponden a la factibilidad del análisis de riesgos del proyecto y se discutieron con la Universidad para fortalecer las consideraciones iniciales encontradas en la etapa previa.

El no alterar el equilibrio de la Universidad es responsabilidad del contratista, por lo que se sugirieron procedimientos para asegurarlo, como por ejemplo: apoyo en acciones de limpieza y orden dentro de la zona de trabajo, horarios de trabajo adecuados y coordinados para actividades particulares, buen almacenamiento de materiales para evitar su daño y adecuado flujo de materiales al almacén de obra, entre otros.

Por otro parte, la Universidad puede asegurar el cumplimiento de este requerimiento mediante la forma de contratación de Administración Controlada, es decir, que controla el flujo de caja al contratista, las planillas y materiales son provistos por la Universidad, la forma cómo se llevan los trabajos, el desenvolvimiento del personal durante las actividades, posibles cambios durante la ejecución (nunca significativos), etc. Este método de contrata le ha funcionado a la Universidad en los últimos proyectos que se realizaron dentro del campus, por lo que lo mantendría para la construcción del auditorio.

A partir de esto se definió, de cierta manera, el grado de ingerencia de la Universidad en el proyecto. Puede prescindir de personal si es que éstos no se desempeñan adecuadamente o no contribuyen al normal desarrollo del proyecto y su entorno, etc. Su política es hacer las cosas de modo que se limiten los costos adicionales, a excepción de cambios en el alcance del proyecto. Esta ligera flexibilidad brinda pues la oportunidad que se implanten medidas que conlleven a cumplir con los plazos establecidos.

A primera vista, la complejidad del auditorio radica en la construcción y montaje de su estructura metálica. Esto dio indicio de dónde pueden impactar los factores de riesgo, sobre procesos constructivos no convencionales (o muy poco frecuente en la zona). No obstante, el diseñador especificó muy bien los sistemas de anclaje, así como los detalles de su forma[19]. Por lo tanto, sólo sería una supervisión adecuada que exijan al contratista a cumplir con lo especificado en su alcance.

[19] Esta información se encuentra disponible en los planos de la tesis “Diseño estructural de un auditorio con estructuras metálicas”, Javier Correa, 2003.

Una vez definidos los umbrales de riesgo, se procedió a determinar las herramientas que se usarán durante el proceso y los roles de los miembros del proyecto en este proceso. Esta herramientas serían: el plan de construcción que permita la inclusión de un análisis de riesgos, formatos de registro de procesos del proyecto que permitan identificar puntos de control de los procesos, el simulador @Risk para la fase de evaluación de riesgos y el cronograma de obra; esto, además de las herramientas convencionales como: planos, expedientes técnicos, definición de contratos, bibliografía, etc.

El plan de construcción podría contener los siguientes puntos:

Enfoque general del proyecto que mostraría dimensiones generales del auditorio, como son alturas, ancho, largo, características acústicas, de ventilación, uso, entre otros;

Alcance de obra que detalla cada uno de los entregables del proyecto, tal como las fases mencionadas en el Capítulo 3 de este trabajo;

Plan de ejecución de trabajos a realizar, los cuales mostrarían los procesos que integren los entregables del alcance. En este trabajo se propuso un despiece de la estructura metálica, un plan de transportes de materiales y asignación de áreas de trabajo para las diferentes especialidades dentro del proyecto;

Cronograma, que fije fechas y plazos definidos para la entrega de las partes del proyecto;

Presupuesto meta, que es un estimado interno como meta del equipo de proyecto. Esto se debe a que, con frecuencia, las ofertas difieren de los costos y/o márgenes que se obtienen durante la ejecución del proyecto;

Cronograma de equipos, materiales y mano de obra; que permita visualizar el flujo de estos recursos a lo largo del desarrollo del proyecto;

Flujo de caja, donde se plasmen los desembolsos del equipo y verificar si sería necesario financiamiento del proyecto.

Entre los registro que sugieren están los de control topográfico, de vaciado de concreto, acabados húmedos y acabados secos. Estos registros serían para verificar que los subproductos o resultados de las diferentes fases del proyecto guarden las especificaciones que requiere el proyecto. Estos registros se muestran en el Anexo C de este trabajo.

Equipo. En esta etapa se buscó asignar y/o definir roles de los involucrados en el proceso. Estos roles fueron: gerencia de proyecto, de obra, jefaturas y cliente. Cada uno de estos involucrados se detalla a continuación:

La gerencia de proyecto sería la encargada de manejar a nivel macro (avance, valorizaciones, adicionales, llegada de materiales importantes a obra, hitos) el desarrollo del proyecto, donde el gerente sería el encargado, por parte del contratista, de responder a las inquietudes y necesidades del Cliente.

La gerencia de obra se encargaría de aspectos tales como la producción de las diferentes fases, cumplimiento de las disposiciones de la gerencia de proyecto, autorización de pagos a proveedores y/o valorizaciones de contratistas, etc.

Las jefaturas ven a nivel específico cada uno de los aspectos del proyecto y en la actualidad se presentan las siguientes áreas: producción, calidad/seguridad, ingeniería, administración.

El cliente, es quien recepciona el producto final de las diferentes fases del proyecto, aprueba y/o desaprueba cualquier cambio en el proyecto, valorizaciones, penalizaciones y bonos.

Todo este equipo necesita mucho dinamismo e interacción, con reuniones periódicas para discutir el avance de obra, establecer planes o poner en marcha acciones concebidas para mitigar eventualidades, proponer metas a corto y largo plazo dentro del alcance del proyecto, hacer un seguimiento de acuerdos y acciones tomadas, etc. Su posición debería ser reflexiva, entendiendo que el desarrollo del proyecto está afecto a situaciones que lo retrasarían y que su análisis busca en todo momento reducir las posibilidades de que ocurran los riesgos al seguir un plan de construcción que ha incluido el diseño de acciones concretas para culminar el proyecto dentro de los costos y plazos establecidos.

4.2 Balance

Identificación. Durante la revisión de la naturaleza del proyecto y mediante el uso de la lista de chequeo propuesta por el DOT, que se encuentra en los anexos de este trabajo, se pudieron identificar 51 riesgos en los diferentes grupos: factibilidad del proyecto, financiamiento, planeamiento, tipos de contrato, ingeniería, acuerdos contractuales, confiabilidad del contratista, implicación del cliente, sitio, mano de obra, pérdidas o daños, garantías, tamaño del proyecto, clima, moneda, habilidad en el desempeño, factores de tiempo, factores del cliente, materiales, factores de la maquinaria, factores del subcontratista, cuidado y custodia. Además, hay riesgos ocultos que dependen mucho de la fecha de inicio de las actividades, como serían los potenciales de clima extremo, sismos, etc. La lista de chequeo para la construcción del proyecto se encuentra en la Tabla C.2 del Anexo C.

Además de esta identificación, se creyó conveniente agrupar los riesgos de acuerdo a los componentes principales del proyecto. Estos componentes son los mencionados en el apartado 3.2. Como se aprecia en la Tabla C.3 del Anexo C, hay riesgos agrupados según componentes del proyecto y algunos se repiten en los diferentes componentes. Esto se debe a que su probabilidad de ocurrencia no es única a lo largo de la ejecución, ni mucho menos focalizada sobre un componente en especial.

La ocurrencia de muchos riesgos identificados podría no afectar significativamente al proyecto. Tomar acciones sobre los 51 riesgos identificados sería absurdo porque dilataría innecesariamente tanto los costos como el tiempo de ejecución del proyecto, además del proceso de análisis de riesgos. Para efectos prácticos, tomando en cuenta el principio de sucesión de Lichtenberg y como se explicó en el Capítulo 2, sólo se evaluaron aquellos riesgos que se presentaron sobre actividades críticas y aquellos que ocurrirían en actividades que puedan afectar a la ruta crítica.

Una ayuda para la identificación hecha con la lista de chequeo sería emplear el método que se mostró en el Apartado 2.2.2. Este método, como ya se explicó, es una encuesta que permite evaluar cómo percibe el mercado de construcción los riesgos que se presentarían en los proyectos locales. Este ranking es sólo referencial pero muy útil, porque permite revisar su identificación y complementarla. Sin embargo, para este trabajo sólo se contará con la información de la Tabla 2.2.

Entonces, tanto con los riesgos identificados con la lista de chequeo y los resultados de la Tabla 2.2, se pudo establecer un ranking de riesgos que tendrían probabilidades de ocurrencia sobre las actividades críticas del cronograma. Dicho ranking se menciona a continuación:

Riesgos en el componente estructura metálica. En este componente es donde se presentan los riesgos más críticos y donde se requirió mayor esfuerzo para que las cosas se hagan de manera correcta. Entre los riesgos encontramos: fuentes de financiamiento para confeccionar y montar la estructura; la complejidad que supondría su fabricación; accidentes en la realización de la actividades de montaje y soldadura; niveles de habilidad para la conformación de la estructura; un cronograma ajustado o se vuelve ajustado por acción de otros riesgos; familiaridad con el tipo de trabajo. Las actividades que se verían afectadas por estos factores son las relacionadas con el montaje de las piezas.

Un riesgo particular es el que concierne a la cimentación. Como al momento de realizar este trabajo aún no se conocía el tipo de cimentación a utilizar, se ha creído conveniente asociar el factor de incertidumbre en el diseño. Además la actividad será modelada con una distribución de probabilidad (Apartado 3.2.3), dado que no se conoce con certeza su duración.

En total, son 9 riesgos concretos que aparecerían durante la realización del proyecto y podrían ocasionar estragos en el cronograma de obra. Sobre estos debe concentrarse los esfuerzos para conocer la magnitud de impacto y proponer soluciones adecuadas y coherentes con la realidad del proyecto.

Siguiendo el alcance de este trabajo, sólo se identificaron riesgos e impactos que afectan a la duración del proyecto, es decir, aquellos que afectan la ruta crítica y los que no afectan la ruta crítica puedan hacerla variar, tal como se ha explicó en el Capítulo 1. Por tanto, los impactos serían básicamente demoras o adicionales de plazo en las actividades sobre las cuales se manifiesten los eventos.

Modelación. Para desarrollar este punto se hicieron algunas comparaciones entre alternativas de programación propuestas durante el desarrollo de este trabajo. En el Apartado 3.2, del Capítulo 3, se explica que el plan de construcción podría darse de varias formas, ya que depende mucho de la concepción que se tenga de la ejecución de los trabajos. Durante este trabajo, se desarrollaron dos alternativas para el plan de construcción del auditorio. Cada una de ellas representaría el caso límite en el modo de trabajar del constructor. Ambas alternativas poseen los mismos plazos de ejecución para cada una de sus actividades, es decir, que se respetaron rendimientos y dimensionamiento de las cuadrillas, diferenciando la forma cómo se realizarían los trabajos, su precedencia.

a) **Alternativa 1.** Consideró la ejecución de las piezas metálicas en forma simultánea, desde el comienzo del proyecto con relaciones de precedencia tipo comienzo – comienzo y en ciertos casos desfases. Esto supone la necesidad de contar, al momento de la fabricación de piezas, un taller suficientemente amplio y soldadores calificados que cumplan con las especificaciones que el proyecto requiere. Empresas que realicen montaje de diversos tipos, podrían realizar la fase de estructura metálica con esta disposición de actividades. El tiempo se reduce a 135 días hábiles, que son aproximadamente 5,6 meses. Bajo esta configuración, la fase de estructura metálica tendría una duración de 135 días, exactamente la duración del proyecto; por tanto, los riesgos que incidan sobre las actividades de montaje, producirán retrasos en el plazo de ejecución, siendo el componente con mayores restricciones a salvar.

b) **Alternativa 2.** Toda la fase de estructura metálica tiene actividades con relación de precedencia de fin – comienzo, es decir, que se fabricarían las piezas en el orden que las requiera el proyecto, razón por la cual la duración de esta fase fue de 231 días hábiles (9,6 meses aproximadamente); mientras que el proyecto tiene una duración de 250 días (10,5 meses aproximadamente). Esto supone que toda la fabricación se realizaría en un solo taller, al mismo tiempo que se habilitan zonas de trabajo in situ para la fabricación de piezas de menor tamaño. La idea de esta forma de programación es que se habilite la zona de la losa central del auditorio, de modo que sirva como patio de soldadura para la fase de estructura metálica y poder

tener un mejor control de calidad del proceso de fabricación. Sin embargo, supone que la obra debería tener la potencia instalada para las actividades de soldadura.

Identificados los riesgos, el modelo que los incluye dentro del cronograma tuvo en cuenta las actividades y las relaciones riesgo – actividad o riesgo – riesgo que ocurrirían en el proyecto. Es decir, que los riesgos se asocien a las diferentes actividades para conocer los efectos que causa la relación de las variables arriba mencionadas y poder establecer acciones de mitigación que no generen riesgos colaterales.

La Tabla 4.1 muestra la estructura del modelo que se utilizó en este trabajo. A continuación se explica cada una de las columnas de esta tabla:

- La columna A muestra cada unos de los ítems, que serían códigos de cada una de las actividades. Algunos programas de computadoras, como el MS Project que se usó para este trabajo, emplean numeración ascendente; otros, como Primavera P6 emplean códigos personalizados por el usuario;

- La columna B describe cada una de las actividades del modelo, que son las actividades del proyecto, según como se concibieron para este trabajo;

- La columna C muestra la precondición para que la columna B pueda realizarse, es decir, una condición previa para que la actividad pueda adicionar o disminuir plazo dentro del programa de obra del proyecto. Por ejemplo, en la Tabla 4.1 se muestra que la actividad 76.2, Paralización parcial de la obra, se realizaría el 50% de las veces, ya que la actividad 76.1 tiene una probabilidad de ocurrencia de 50%; por tanto la precondición sería 1-0.5=0.5 veces;

- La columna D es la probabilidad de ocurrencia de cada uno de los riesgos e impactos identificados en este trabajo. Se podría, incluso, modelar las actividades a manera de distribuciones de probabilidad, sin embargo, esto no es alcance de este trabajo y se asignarán probabilidades sólo a eventos por riegos e impactos;

- La duración de la actividad se muestra a través de la columna E. Para las actividades del cronograma de obra esta duración se daría como valores discretos, ya que no es objeto de este trabajo estimarlos como distribución de probabilidad, mientras que para los riesgos sí. Es importante resaltar que en el modelo empleado para el trabajo se han considerado duraciones para los impactos que produciría la ocurrencia de los eventos de riesgo, cuya comprobación en el modelo se daría por medio de la columna B. En la Tabla 4.1 la ocurrencia del impacto 76.2 estaría determinado por una distribución de probabilidad y la precondición del evento 76.1; además, se le disminuye la acción del impacto, también determinado por una distribución de probabilidad;

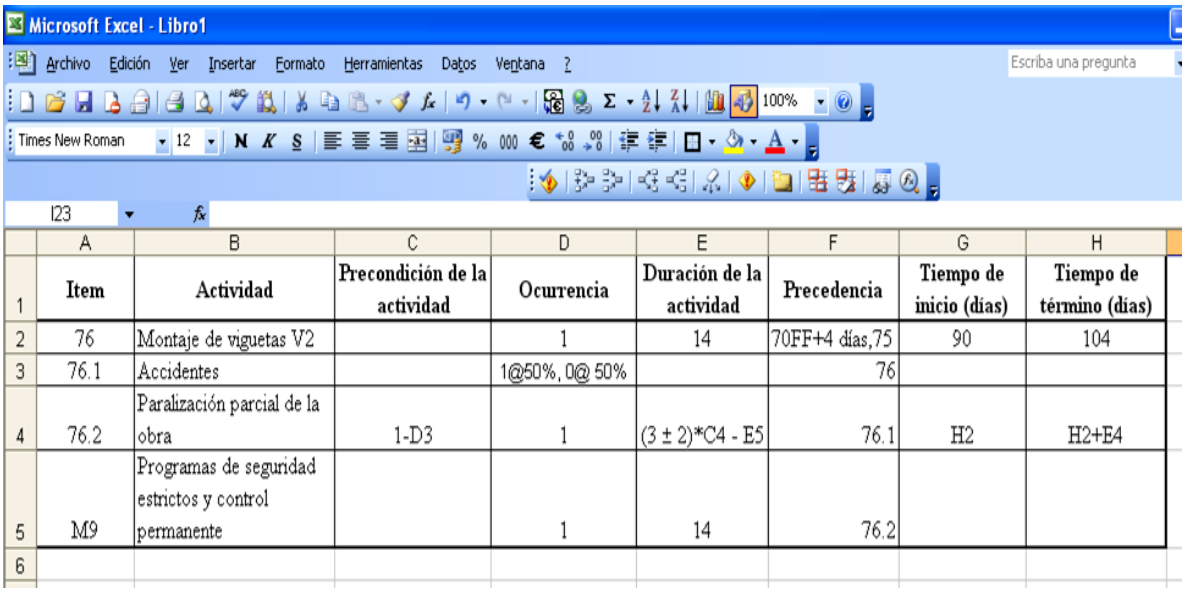
- La precedencia, que muestra en la columna F, viene dada por las diferentes relaciones entre cada una de las actividades, riesgos, impactos y mitigaciones. Programas de programación como MS Project y Primavera P6 muestran estas

relaciones. Es importante resaltar que el método de programación de obra usado en este trabajo fue de redes de precedencia y se detalla en el Anexo B de éste;

- Finalmente, la columnas G y H muestran los tiempos de inicio y término de cada uno de las actividades, impactos y mitigaciones. Para el caso en que la actividad esté relacionada con otras actividades y determine su inicio y/o finalización, se usaría la función MAX de MS Excel, permitiendo que impactos y mitigaciones se incluyan dentro de los plazos del proyecto. Esto se realizó con la ayuda de la columna F, que muestra la precedencia de estos ítems.

Es importante tener en cuenta, que durante la ejecución de este modelo se respetó el concepto de valor esperado, que sería de la siguiente manera: *ocurrencia*duración probable*.

Tabla 4.1. Modelo sugerido para realizar análisis de riesgos.



	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Item	Actividad	Precondición de la actividad	Ocurrencia	Duración de la actividad	Precedencia	Tiempo de inicio (días)	Tiempo de término (días)
2	76	Montaje de viguetas V2		1	14	70FF+4 días,75	90	104
3	76.1	Accidentes		1@50%, 0@ 50%		76		
4	76.2	Paralización parcial de la obra	1-D3	1	(3 ± 2)*C4 - E5	76.1	H2	H2+E4
5	M9	Programas de seguridad estrictos y control permanente		1	14	76.2		
6								

Los riesgos, dentro del modelo, se colocaron como eventos con una determinada probabilidad de ocurrencia. Esto, le permitiría al modelo flexibilizarse y tomar todos los caminos posibles de evaluación al momento de realizar la simulación. Hasta el momento, sólo se ha mencionado la modelación de actividades y riesgos, pero se modelaron además acciones de mitigación, que serán analizadas más adelante en los resultados.

Entre las actividades producidas por la ocurrencia de eventos de riesgo tenemos los mostrados en la siguiente tabla. Los riesgos afectados en cada componente del proyecto se muestran en el Anexo C de este trabajo:

Tabla 4.2. Tabla de eventos de riesgo e impactos producidos.

Componente del proyecto	Impactos producidos
Estructura metálica _ Fuentes de financiamiento. _ Complejidad. _ Accidentes. _ Niveles de habilidad. _ Cronograma. _ Familiaridad con el tipo de trabajo. _ Incertidumbre en la entrega.	_ Paralización en la fabricación o montaje de la estructura metálica por falta de recursos. _ Demoras en la fabricación debido a bajo rendimientos de la mano de obra. _ Paralización de la obra por falta de seguridad. _ Bajos rendimiento por inexperiencia de la mano de obra. _ Culminación de actividades con apuro. _ Excesivo tiempo en tareas de gestión por falta de conocimiento del tipo de trabajo. _ Demora en el comienzo de actividades siguientes.
Instalaciones Eléctricas _ Pruebas e inspecciones. _ Niveles de habilidad. _ Expectativas de calidad del cliente.	_ Realización de tareas adicionales para corregir las imperfecciones del tendido de puntos de electricidad.

Durante toda la realización de la estructura metálica están presentes dos riesgos globales: las fuentes de financiamiento y las pruebas e inspecciones. Ambos son una constante durante toda la actividad. Obviamente, cuando se refiere a estos riesgos, son las circunstancias adversas que éstos implican. Para la modelación, se modelará comenzando este componente principal.

Estimación. En esta fase se procedió a estimar los valores de probabilidad de todos los riesgos identificados y modelados. Para este trabajo se modelaron todas las actividades con incertidumbre a través de una distribución triangular, por ser una distribución que se amolda a cualquier naturaleza de eventos. Su flexibilidad permitió que esta distribución tenga un amplio rango de aplicación en este trabajo.

Como no se poseían datos anteriores o registros sobre la ocurrencia de eventos de riesgo, se recurrió a profesionales involucrados en el ambiente de la construcción. Se recurrió al cliente para conocer su apreciación de los eventos identificados en el proyecto y sobre su probable ocurrencia durante la ejecución de éste.

En la Tabla 4.3 se muestra la fase correspondiente a la estructura metálica, ya que sería la más crítica de todas. Los números en los recuadros representan las actividades del componente, mientras que aquellos con las formas XX.1 y XX.2 son riesgos e impactos respectivamente. De la Figura 4.2 se muestra un esquema del cronograma de obra en la alternativa 1, con los riesgos e impactos identificados, pero agrupados por componentes principales o fases (WP).

Tabla 4.3. Descripción de actividades en la fase de estructura metálica para la Alternativa 1 del cronograma.

Item	**Actividad**
61	Estructura metálica
61.1	Fuentes de Financiamiento
61.2	Paralización total de la obra
62	Montaje de encofrado metálico
63	Fabricación de columnas
64	Montaje de columnas
65	Fabricación de viga VR
66	Montaje de viga VR
67	Fabricación de arcos E
68	Montaje de arcos E
69	Fabricación de Arcos AB
69.1	Familiaridad con el tipo de trabajo
69.2	Supervisión adicional en la fabricación de los arcos
69.3	Complejidad
69.4	Demora en la entrega de arcos
70	Montaje de arcos AB
70.1	Incertidumbre en la entrega
70.2	Retraso en el montaje
70.3	Accidentes
70.4	Paralización parcial de la obra
70.5	Cronograma
70.6	Adicionales de plazo
71	Fabricación de canaleta semicircular
72	Instalación de canaleta semicircular
73	Fabricación de viguetas V1

74	Montaje de viguetas V1
74.1	Accidentes
74.2	Paralización parcial de la obra
75	Fabricación de viguetas V2
76	Montaje de viguetas V2
76.1	Accidentes
76.2	Paralización parcial de la obra
77	Fabricación de arriostres diagonales
78	Montaje de arriostres diagonales
79	Fabricación de arriostres en "x"
79.1	Accidentes
79.2	Paralización parcial de la obra
80	Montaje de arriostres en "x"
80.1	Accidentes
80.2	Paralización parcial de la obra
81	Fabricación de arcos P
82	Montaje de arcos P
82.1	Accidentes
82.2	Paralización parcial de la obra
83	Fabricación de viguetas VP1
84	Montaje de viguetas VP1
84.1	Accidentes
84.2	Paralización parcial de la obra
85	Fabricación de viguetas VP2
86	Montaje de viguetas VP2
86.1	Accidentes
86.2	Paralización parcial de la obra
87	Colocación de cobertura de aluminio
87.1	Accidentes
87.2	Paralización parcial de la obra

En la Figura 4.2 se aprecia la secuencia y relación de actividades y riesgos dentro del componente WP8 o fase estructura metálica. En el diagrama de precedencias de la figura mencionada se observa la importancia de las actividades 69, 70, 74 y 76. Las dos primeras generan los eventos de riesgo y las dos últimas reciben los impactos de estos eventos. Por ejemplo, el impacto 70.2 aparece cuando el evento de riesgo 70.1 se manifiesta en la actividad 70 y afectaría a las actividades 74 y 76. Asimismo, se observa como el riesgo 70.3 podría desencadenar en otro riesgo 70.5 y afectando, también, a las actividades 74 y 76.

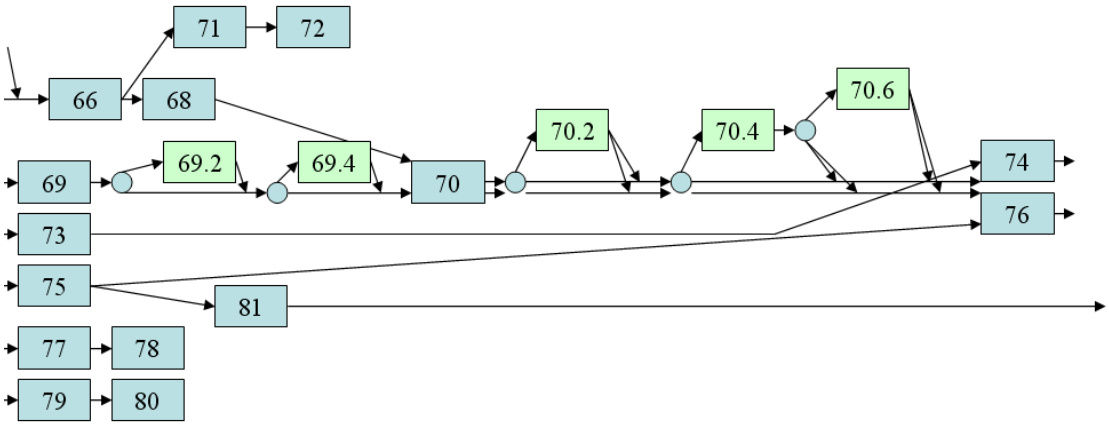


Figura 4.2. Red de componente principal WP8, estructura metálica – Alternativa 1.

La siguiente tabla muestra las actividades críticas en la fase de la estructura metálica para la segunda alternativa de evaluación. Se puede apreciar en la tabla que hay más elementos críticos y por lo tanto, la ocurrencia de impactos por la aparición de eventos de riesgo sería mayor. Esta diferencia con respecto a la alternativa anterior sería, básicamente, por la forma en que se concibió la Alternativa 2.

Tabla 4.4. Descripción de actividades en la fase de estructura metálica para la Alternativa 2 del cronograma.

Item	Actividad
61	**Estructura metálica**
61.1	Fuentes de Financiamiento
61.2	Paralización total de la obra
61.3	Cronograma
61.4	Retrasos en el cumplimiento de plazos
62	Montaje de encofrado metálico
63	Fabricación de columnas
64	Montaje de columnas
65	Fabricación de viga VR
66	Montaje de viga VR
67	Fabricación de arcos E
67.1	Expectativas de calidad del cliente
67.2	No conformidades y levantamiento de observaciones
68	Montaje de arcos E
69	Fabricación de arcos AB
69.1	Expectativas de calidad del cliente
69.2	No conformidades y levantamiento de observaciones
69.3	Familiaridad con el tipo de trabajo

69.4	Bajos rendimiento en la producción de piezas
70	Montaje de Arcos AB
70.1	Accidentes
70.2	Paralización parcial de la obra y reinducción del personal obrero
71	Fabricación de canaleta semicircular
72	Instalación de canaleta semicircular
72.1	Accidentes
72.2	Paralización parcial de la obra y reinducción del personal obrero
73	Fabricación de viguetas V1
74	Montaje de viguetas V1
74.1	Accidentes
74.2	Paralización parcial de la obra y reinducción del personal obrero
75	Fabricación de viguetas V2
76	Montaje de viguetas V2
76.1	Accidentes
76.2	Paralización parcial de la obra y reinducción del personal obrero
77	Fabricación de arriostres diagonales
78	Montaje de arriostres diagonales
78.1	Accidentes
78.2	Paralización parcial de la obra y reinducción del personal obrero
79	Fabricación de arriostres en "x"
80	Montaje de arriostres en "x"
80.1	Accidentes
80.2	Paralización parcial de la obra y reinducción del personal obrero
81	Fabricación de arcos P
82	Montaje de arcos P
83	Fabricación de viguetas VP1
84	Montaje de viguetas VP1
85	Fabricación de viguetas VP2
86	Montaje de viguetas VP2
87	Colocación de cobertura de aluminio
87.1	Accidentes
87.2	Paralización parcial de la obra y reinducción del personal obrero
87.3	Familiaridad con el tipo de trabajo
87.4	Bajos rendimientos en la colocación de piezas

Para terminar con esta fase, se asignaron las probabilidades a las actividades, riesgos e impactos analizados. Como se ha mencionado anteriormente, se empleó el software @Risk de Palisade Corporation. Las probabilidades asignadas se explicarán a continuación:

- En el componente WP5, losa de concreto se observó la intervención del sindicato. Esto es una acción muy común en nuestro medio, ya que los líderes sindicales pretenden colocar a su personal por todos los medio posibles, incluso por la fuerza, llegando a sabotajes. Es por eso que se decidió asignar una distribución de probabilidad discreta de 50% de éxito y 50% de fracaso. Información proporcionada por el cliente afirma que en obras anteriores, se produjeron paralizaciones entre 2 a 5 días; por tanto, el impacto tendría una distribución triangular[20] de a = 2, c = 3 y b = 5 días para el modelo.
- En el componente WP8, estructura metálica se observó un riesgo de tipo global. Las fuentes de financiamiento se decidieron colocar al comienzo de este componente dado que hay gran cantidad de dinero de por medio. Antes de iniciar las actividades de este componente, el cliente debe asegurarse que posee los fondos necesarios para costear toda la estructura metálica. Por su naturaleza, se aplica una distribución discreta de 50% para éxito y 50 % para fracaso. Su ocurrencia podría producir una paralización total del proyecto. Según experiencias pasadas en la Universidad, se han paralizado los trabajos hasta una semana, por lo que el impacto tendría una distribución triangular de a = 1, c = 3, b = 5 días para el modelo.
- Cuando se habla de pruebas e inspecciones, se refiere a la no aprobación de los resultados en cierta tarea. Este riesgo se encontró solamente en las actividades involucradas con el montaje de la subestación eléctrica, en el WP4. Los valores asignados fueron 70% éxito en la prueba y 30% fracaso para ésta, produciendo un impacto con valores de a = 0.5, c = 1 y b = 2 días. Si bien esta actividad no es crítica, se evaluó porque de ella dependen las actividades de montaje de la estructura metálica.
- Respecto de la familiaridad con el tipo de trabajo, su ocurrencia se debió a una distribución discreta, con valores de 50% de éxito y 50% de fracaso. Este factor apareció debido a la forma de la estructura metálica y al tipo de trabajo, que es poco frecuente en la zona. Este evento genera la necesidad de supervisión adicional a los encargados del componente estructura metálica, con valores de a = 2, c = 3 y b = 5 días, adicionales sobre la tarea de fabricación.
- La complejidad supone mucho esfuerzo por parte de los encargados, especialmente en la fabricación de los arcos. Supuso un éxito de 60% y 40% de fracaso; es decir, que hay un 60% de probabilidad que los soldadores desarrollen la actividad sin ningún problema. El impacto que generó el fracaso es que se produzcan demoras en la entrega de los arcos, pudiendo ir desde un par de días hasta una semana. Por tanto, su valores de distribución triangular se estimaron a = 1, c = 3 y b = 5 días.
- La incertidumbre en la entrega obedece a factores como: eventualidades en el transporte, falta de capacidad para transportar las piezas, entre otros. Para modelar este evento se eligió una distribución que modele su aparición durante toda la actividad de montaje. Su impacto, retraso en el montaje, también tendría una distribución triangular con valores de a = 1, b = 5 y c = 3 días.
- El evento accidentes tuvo una probabilidad de ocurrencia que estaría dentro de la duración de la actividad; por lo tanto, tendría la misma forma del evento de riesgo anterior, con valores de 50% para éxito y fracaso. Puede producir como impacto la paralización de la obra hasta un máximo de tres días, en caso el accidente sea grave.
- Como consecuencia de los riesgos anteriores, podría generarse uno nuevo. Este riesgo llamado Cronograma en el presente trabajo, representa la posibilidad de tener un

[20] Las variables a y b representan los valores extremos y la variable c, el valor más probable. Véase el Anexo A, Distribución Triangular, pág. A-10.

cronograma ajustado, cuyo plazo en el tiempo requiere mantenerse inalterable para el Cliente. Con este planteamiento, el mismo plazo de ejecución resulta ser un riesgo para el éxito del proyecto. Su ocurrencia está ligada al riesgo Accidentes y posee una distribución discreta con 30% de éxito y 70% de fracaso, generando adicionales de plazo para la culminación de tareas.

– Las expectativas de calidad del cliente se refieren al cumplimiento de los requisitos del cliente en relación al producto final o alguno de sus componentes. Se ha planteado como una distribución discreta con 60% de éxito y 40% para fracaso, ocasionando tareas adicionales para la corrección de imperfecciones.

Evaluación. En esta etapa se presentaron los resultados de la simulación. Se hizo una comparación entre el cronograma ideal y el cronograma con los probables riesgos e impactos que ocurrirían durante su ejecución. Más adelante, se contrastará esta información con las medidas de mitigación sugeridas.

La evaluación se hizo con la ayuda del software @Risk. Es un programa que funciona como complemento de Excel (aunque también lo puede hacer como complemento de MS Project) y su uso es muy simple. Posee la característica de crear funciones de probabilidad según la naturaleza del evento que se pretenda simular, por ejemplo normal, discreta, poisson, beta, triangular, etc. Las distribuciones usadas para este trabajo fueron discretas y triangulares. Las entradas de la simulación de ambas alternativas correspondieron a todas las distribuciones de probabilidad de riesgos e impactos, referentes a las columnas de ocurrencia y duración. En cambio, las salidas correspondieron a los tiempos de término de los impactos y el tiempo de término total del proyecto.

El modo de formular una función de probabilidad, con el uso de @Risk es como sigue:

$$\textbf{\textit{=RiskDiscrete(\{1,0\},\{0.25,0.75\})}}^{21} \qquad \text{Ec. 4.1}$$

El texto indica que se trata de una distribución discreta, con éxito (1) para el 25%, y fracaso (0) para el 75% de las veces. Así pues, si se tratara de una distribución triangular diría *=RiskTriang*, con los valores de a, b y c para el pesimista, optimista y más probable, respectivamente.

Los resultados que arroja el programa son tablas con valores percentiles, parámetros estadísticos, histogramas de cada una de las salidas del modelo, curvas de probabilidad acumulada, resultado de cada iteración, gráficos tornado, análisis de sensibilidad y de escenarios. Todos estos resultados se generaron en un libro de Excel, por lo que su

[21] Nomenclatura utilizada por el software @Risk de Palisade Corporation.

accesibilidad no es complicada. A continuación se muestran los resultados para cada una de las alternativas diseñadas para la ejecución del proyecto.

4.2.1 Alternativa 1

En la Tabla 4.4 se aprecia claramente los resultados de la simulación para la alternativa 1. La variable de salida, Tiempo de término, con resumen de estadísticas, muestra cómo influyeron los eventos de riesgo sobre el plazo para la construcción del auditorio. Así pues, si se quisiera un 50% de confianza en los resultados obtenidos, el tiempo de ejecución sería alrededor de 155 días, mientras que con un 80% de probabilidad de aparición de los eventos de riesgo, la ejecución tomaría 158 días.

Tabla 4.4. Cuadro de resultado de la simulación para el cronograma con riesgo e impactos.

@RISK - Informe de detalles de salida

Estadística de salida

Salidas	Tiempo de término (días)
Simulación	1
Estadística / Celda	H121
Mínimo	149
Máximo	163.3906403
Media	154.890717
Desviación estándar	2.991598755
Varianza	8.949663114
Desviación	-0.126467343
Curtosis	2.438255118
Número de errores	0
Moda	149
5.0%	149
10.0%	151.0160675
15.0%	151.8729858
20.0%	152.3032684
25.0%	152.6912231
30.0%	153.110199
35.0%	153.5992584
40.0%	154.1277618
45.0%	154.6075287
50.0%	155.0462952
55.0%	155.4817657
60.0%	155.8652954
65.0%	156.284317
70.0%	156.7284393
75.0%	157.1165924
80.0%	157.541275
85.0%	158.0666046
90.0%	158.7436676
95.0%	159.5583191

En la Figura 4.3 se aprecia mejor los tiempos de ejecución. Para efectos de este trabajo se tomó el cronograma con un 80% de probabilidad, es decir, un plazo de ejecución de 158 días. Generalmente, cuando se tiene incertidumbre en el plazo de un proyecto se opta por adicionar lo que se conocen como “colchones” o contingencias escondidas en las estimaciones o simplemente, una contingencia global sobre cada una de las estimaciones.

Esta práctica funciona para proyectos pequeños, tanto en monto como en plazo; más no cuando se trata de proyectos en los cuales, pequeñas variaciones en los plazos de las tareas o costos producen variaciones significativas en los alcances del proyecto. Sin embargo, el ejercicio planteado en este trabajo serviría para indicar la cuantificación de estas contingencias, independiente del tamaño del proyecto. El mayor plazo resulta en un 17% por sobre el plazo original, con lo que se tendrían costos adicionales por 23 días de retraso que generarían los eventos de riesgo. Ahora, tanto el contratista como la Universidad conocerían qué eventos podrían generarse, qué tipo de demoras podrían producirse y sus causas y cómo se relacionan estos eventos.

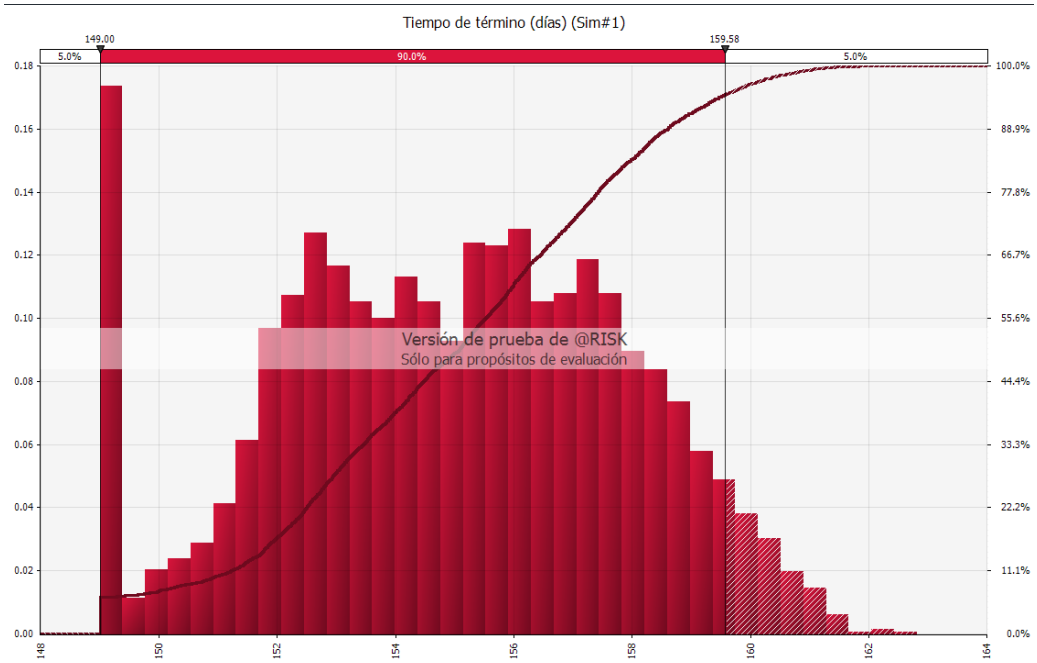


Figura 4.3. Distribuciones de probabilidad para el tiempo de ejecución del proyecto.[22]

Haciendo la analogía con el costo del proyecto podría haber una variación, tanto en el costo directo como en el gasto general. En el directo por asumir trabajo no contributivo debido a los eventos de riesgo, mientras que en el general, se tendrían más gastos de servicios, planillas de empleados, economatos, transporte, entre otros. Si se hubiese optado por el plan de 10% adicional debido a contingencias, el proyecto se hubiera sobrestimado en 5% de contingencia. Esta diferencia podría convertirse en un margen a favor de la gestión del proyecto, siempre y cuando se detecten los eventos de riesgo a tiempo.

En la Figura 4.4 se aprecia claramente la relación existente entre el resultado de la simulación y los impactos generados por la probable aparición de eventos de riesgos. Los códigos de letras y números corresponden a las celdas del modelo. Así pues H121 corresponde a la salida Tiempo de término. La ocurrencia del riesgo Accidentes en el

[22] Gráficos generados por @Risk Excel 4.5.

montaje de los arcos AB tiene una relación directa con el plazo total, así como el impacto Adicionales de plazo producido por el riesgo Cronograma.

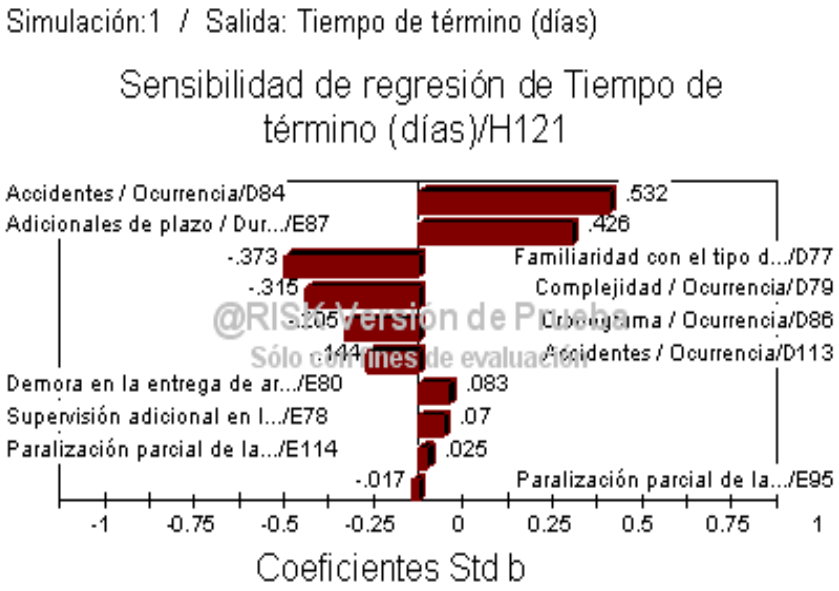


Figura 4.4. Análisis de correlación de las entradas con la salida Tiempo de término, a través de un diagrama de tornado.

Este comportamiento, indicaría que son precisamente el montaje de los arcos AB una actividad fundamental bajo esta concepción del plan de construcción y más aún, que su impacto obedece a factores de condiciones inseguras, como son los trabajos en altura. Por otro lado, el evento Cronograma complicaría la culminación de los trabajos dentro de los plazos establecidos, al ser un elemento sin holguras, sobretodo en la estructura metálica mencionada anteriormente.

Los demás diagramas de tornado se encuentran disponibles en el Anexo C, desde la Figura C.1 hasta la Figura C.6, para la alternativa 1. Para terminar esta etapa, se procedió a generar el registro de riesgos. Este registro contiene los riesgos evaluados, así como su probabilidad de ocurrencia, correlaciones, entre otros. Este formato es una herramienta de comunicación y debe ser los más instructivo posible.

Análisis de escenarios. Este análisis sirve para establecer tolerancias aceptables a la realidad del proyecto, donde el equipo de proyecto encuentre posibles formas en las cuales el proyecto se desenvuelva. Además, permitiría realizar una especie de envolvente de proyecto y da herramientas suficientes para proponer medidas de mitigación, de ser el caso. Sin embargo, estos pronósticos deberían tomarse con cautela, ya que sirven, precisamente, para delimitar campos de acción dentro del proyecto y no determinar una

forma de trabajo debido a que se busca optimizar procesos y mejores réditos durante su ejecución.

Este análisis, que se lleva a cabo en los objetivos de una variable de salida, se basa en el análisis de una media condicional. Al realizar el análisis de escenarios, lo primero que @Risk realiza es la agrupación de aquellas entradas que cumplen el objetivo y luego analiza los valores de muestra de cada variable de entrada de cada iteración, calculando la media de cado uno de estos "subgrupos" y los compara con la media general del análisis. El objetivo es hallar una diferencia significativa entre la media de cada subgrupo y la media general de la simulación. La columna bajo el nombre "Real" indica la media real de cada subgrupo de entradas; la columna "Percentil" muestra la media percentil respecto de la media general de la simulación y la columna "Mediada SD" muestra el índice de variación mencionado en el párrafo anterior. Los tres valores estadísticos permitieron establecer ciertos lineamientos respecto de los eventos que serían significativos.

El primer escenario, busca evaluar si la variable de salida Tiempo de término es mayor al 75% de ésta, es decir, mayor a 120 días. En la Tabla 4.5 se aprecia que las ocurrencias de los eventos de riesgo Fuentes de financiamiento, Familiaridad con el tipo de trabajo y Complejidad tienen significancia con una media real de cero para estos valores; es decir, que existiría un 49.7%, 39,54% y 39,9% de probabilidad respectivamente que ocurran estos eventos bajo este escenario. Para el caso de la duración del impacto Adicionales de plazo, se tiene una media de 10 días con una media percentil de 76,33 %, lo que haría de este impacto especialmente significativo para cumplir con el objetivo del escenario.

Tabla 4.5. Resultado para el primer escenario, con objetivo > 75% - Alternativa 1.

Escenarios

Celda	Nombre	Real	Percentil	MedianaSD
		Sim 1para Tiempo de término (días)con objetivo>75%		
D67	Fuentes de Financiamiento / Ocurrencia	0	49.7400%	-1.999827
E68	Paralización total de la obra / Duración de la actividad	-	-	-
D77	Familiaridad con el tipo de trabajo / Ocurrencia	0	39.5400%	-2.045051
E78	Supervisión adicional en la fabricación de los arcos / Duración	-	-	-
D79	Complejidad / Ocurrencia	0	39.9000%	-2.041893
E87	Adicionales de plazo / Duración de la actividad	9.9233408	76.3300%	0.855249

Se debería tener en cuenta los eventos que generan estos impactos. La forma cómo se concibieron las actividades para esta alternativa produciría interrelaciones muy estrechas entre actividades, incluso de diferentes fases, propiciando la generación de estos eventos. Se recuerda que este análisis se basa en aquellas actividades críticas y las que podrían afectar la ruta crítica, tal como se explicó en el Capítulo 2. Considerando la condición de

una ejecución mayor a 120 días, es importante tener en consideración la variabilidad que generaría la estructura metálica en el plazo de ejecución del proyecto.

En el segundo escenario, con el objetivo <25% de la variable de salida Tiempo de término, como se muestra en la Tabla 4.6, se apreció un comportamiento distinto. En este escenario se muestra la evolución del proyecto con un objetivo de cumplimiento menor a 40 días. Aunque este escenario sería improbable porque las demoras tecnológicas y la propia naturaleza del proyecto hacen que no se ejecute en un tiempo menor al mencionado, se podría lograr poniendo especial atención a dos puntos críticos: las pruebas e inspecciones y los Accidentes.

Tabla 4.6. Resultado para el segundo escenario, con objetivo <25%.

Escenarios

Celda	Nombre	Real	Percentil	MedianaSD
		Sim 1para Tiempo de término (días)con objetivo<25%		
D22	Pruebas e inspecciones / Ocurrencia	0	49.4200%	-1.999935
D84	Accidentes / Ocurrencia	0	30.5600%	-2.170576
E87	Adicionales de plazo / Duración de la actividad	7.6954203	29.8000%	-0.503487

La ocurrencia de los eventos Pruebas e inspecciones y Accidentes son los que tendrían significancia para este escenario, con valores de cero días (ocurrencia exitosa) para valores de percentiles de 49,42% y 30,56% respectivamente, siendo el segundo evento más significativo que el primero. La ocurrencia de adicionales de plazo, con media real de 7 días y una media percentil 29,80%. Esto significaría que estos eventos de media inferior a la media general podrían favorecer al cumplimiento del objetivo, a pesar de los adicionales que se plantean en el escenario mostrado.

En el tercer escenario, con objetivo de la salida Tiempo de término >90%, como se muestra en la Tabla 4.7, se observaron ocurrencias de los siguientes eventos de riesgo: Fuentes de Financiamiento, Familiaridad con el tipo de trabajo, Complejidad y el impacto Adicionales de plazo; todos con percentiles de 49,7%; 39,54%; 39,9% y 87,83% respectivamente. Este escenario, con un objetivo de cumplimiento mayor que 144 días, sería el más probable para esta alternativa. Esto se debe a la combinación de eventos que se presentan, arrojando un plazo más razonable para la ejecución del proyecto; donde se tendría a un ejecutor que solicite ampliaciones de plazo, retrasos por falta de experiencia en actividades críticas para el proyecto, posiblemente falta de liquidez para completar los trabajos, originando disminución de recursos en los procesos productivos, entre otros.

Observando el comportamiento de estos escenarios, se podría aseverar que eventos como las Fuentes de financiamiento del proyecto, Familiaridad con el tipo de trabajo y la Complejidad serían críticos para el normal desarrollo del proyecto. Como se mencionó en su momento, estos eventos originarían impactos como paralizaciones parciales o totales de obra, bajos rendimientos o adicionales de plazo asumidos por el contratista debido a la falta de previsión de estos eventos. Estos eventos, pues, deberían ser de conocimiento de todo el equipo de construcción del proyecto, tanto para el cliente como para el contratista y poder aunar esfuerzos para reducir los impactos de estos eventos.

Tabla 4.7. Resultado para el tercer escenario, con objetivo >90%, alternativa 1.

Escenarios

Celda	Nombre	Real	Percentil	MedianaSD
		Sim 1para Tiempo de término (días)con objetivo>90%		
D67	Fuentes de Financiamiento / Ocurrencia	0	49.7400%	-1.999827
D77	Familiaridad con el tipo de trabajo / Ocurrencia	0	39.5400%	-2.045051
D79	Complejidad / Ocurrencia	0	39.9000%	-2.041893
E87	Adicionales de plazo / Duración de la actividad	10.792842	87.8387%	1.3855294

Como se mencionó en el Capítulo 2, se elaboró el Registro de Riesgos. Este registro es parte vital del plan de construcción; a partir de éste se elaboran acciones de mitigación que debería complementar el planeamiento del proyecto, sustentado en su plan de construcción. El Registro de Riesgos sería el catalizador para que los involucrados del proyecto desarrollen una actitud reflexiva frente a los diferentes eventos probables durante la ejecución de las diferentes actividades y se plasmen en el Plan de Mitigación de Riesgos. Este registro, para la alternativa 1, se muestra en la Tabla 4.8. Esta tabla agrupa de manera muy simple los riesgos significativos, sus ocurrencias, correlaciones con otros eventos y eventuales impactos.

4.2.2 Alternativa 2

En la Tabla 4.9 se aprecian los resultados de la alternativa 2. Como se mencionó, esta alternativa difiere de la primera en sentido que la precedencia en sus actividades no posee posposiciones, modelando la condición en la cual el contratista ejecuta los trabajos sin necesidad de recurrir a subcontratos, sobretodo en la estructura metálica. PUMA, permitiría pues, en base a un análisis estadístico, dar mayores elementos de juicio para decidir entre qué alternativas se acomoda el proyecto, según su naturaleza.

Tabla 4.8. Registro de riesgos para la construcción del auditorio – Alternativa 1.

						Duración del riesgo	
Item	**Riesgo/ Oporunidad**	**Descripción del evento**	**Componente afectado del proyecto**	**Correlación entre otros componentes**	**Probabilidad de ocurrencia**	**Distribución**	**Valor esperado**
Riesgo 1	Expectativas de calidad del cliente	No pasar las pruebas de control que el Cliente exige.	Instalación de superboard; losa de concreto.	ninguna.	50%	discreta.	-
Riesgo 2	Sindicatos	Acción del sindicato sobre la mano de obra en el proyecto.	Losa de concreto	ninguna.	50%	discreta.	-
Riesgo 3	Fuentes de financiamiento	Falta de financiamiento para realizar las actividades.	Estructura metálica	positiva, con la paralización total del proyecto.	50%	discreta.	-
Riesgo 4	Familiaridad con el tipo de trabajo	El contratista no sabe cómo llevar a cabo la actividad.	Arcos AB	positiva, con posibles supervisiones adicionales y retraso en tareas siguientes.	50%	discreta.	-
Riesgo 5	Complejidad	La actividad presenta demasiados detalles para ser culminada.	Arcos AB	positiva, con demoras en las entregas de piezas al proyecto.	40%	discreta.	-
Riesgo 6	Incertidumbre en la entrega	El cliente desconfía de la entrega a tiempo de las piezas de los arcos.	Montaje de arcos AB	positiva, retraso en el montaje de los arcos y culminación de tareas sucesoras.	40%	discreta.	-
Riesgo 7	Accidentes	Daño leve o severo al personal del proyecto.	Montaje de arcos AB, viguetas y arcos P	positiva, con paralizaciones temporales del proyecto	20 y 30 %	discreta.	-
Riesgo 8	Cronograma	Cuando el cronograma es demasiado ajustado para la naturaleza del proyecto.	Montaje de los arcos AB y actividades sucesoras	positiva, produciendo adicionales de plazo.	25%	discreta.	-
Riesgo 9	Expectativas de calidad del cliente	Que los acabados no cumplan con las exigencias del cliente.	Colocación de superboard como tabiquería.	positiva, produciendo actividades adicionales de resane.	25%	discreta.	-

Tabla 4.9. Resumen de resultados para la Alternativa 2.

@RISK - Informe de detalles de salida

Estadística de salida

Salidas	**Tiempo de término (días)**
Simulación	**1**
Estadística / Celda	**H131**
Mínimo	276.5
Máximo	296.1645813
Media	281.5855205
Desviación estándar	3.235419564
Varianza	10.46793976
Desviación	0.672603014
Curtosis	3.214540364
Número de errores	0
Moda	276.5
5.0%	277.1013184
10.0%	277.6382446
15.0%	278.0795288
20.0%	278.5914917
25.0%	279.0918579
30.0%	279.5931091
35.0%	280.0639954
40.0%	280.4760742
45.0%	280.8786316
50.0%	281.2548218
55.0%	281.633667
60.0%	281.9934387
65.0%	282.459137
70.0%	282.9916992
75.0%	283.5076904
80.0%	284.0878296
85.0%	284.9067383
90.0%	286.0516968
95.0%	287.7004089

Se aprecia que para la media, la duración del proyecto con esta alternativa es de 282 días hábiles (11 meses), mientras que con el percentil 80% se tiene una duración de 284 días hábiles. Este resultado muestra muy poca variación entre este intervalo de percentiles, lo que haría suponer un alto impacto de los eventos de riesgo sobre esta alternativa de trabajo. Cabe recordar que la duración original se estimó en 250 días hábiles y el resultado arrojaría un incremento del orden de 14% sobre el plazo original. En la Figura 4.5 se aprecia la curva de distribución de probabilidad para esta alternativa.

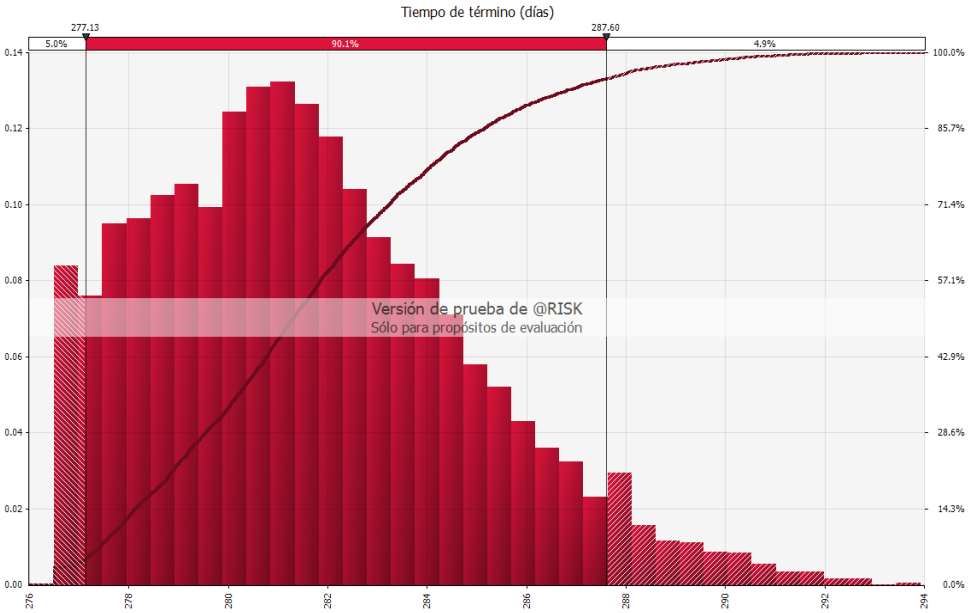


Figura 4.5. Curva de distribución de probabilidad para la alternativa 2 del proyecto.

Esta extensión de plazo a 284 días hábiles representaría sobrecostos, tanto en el directo como en el indirecto. Así pues, en el directo habría un sobrecosto en planillas por HH improductivas o reprocesos, horas de *stand by* por equipos parados, trabajos ejecutados no valorizados por incumplimiento de plazos, entre otros. Se estima que este sobrecosto ascendería a 13.60% sobre el costo estimado. Mientras que en el indirecto representaría tres meses más de gastos de diversa índole que el contratista tenga, tal como: servicios, movilidad, pago de empleados, fianzas, seguros, etc. Por tanto, si se hubiera asumido una contingencia de 10%, nuevamente el proyecto se hubiera subestimado en 3.60%, equivalente a 97,521 nuevos soles aproximadamente. Este cálculo proviene de estimar el costo diario del la alternativa en función de su duración, 284 días.

Es importante apreciar cómo la metodología, tanto en esta alternativa como en la primera, brinda una fuente de información para poder cuantificar cuánto podría ser el valor de la contingencia y poder proyectarla en el tiempo que dure el proyecto. Además, a diferencia de la metodología tradicional que pone todo lo desconocido en una "gran bolsa", PUMA daría un alcance de qué eventos son los que estarían contemplados en los valores de contingencia, previamente identificados en etapas anteriores de la metodología.

En la Figura 4.6 se aprecia la correlación entre la duración del proyecto respecto a la duración de los impactos por eventos de riesgos. Cada evento de riesgo está representado por la letra E, acompañada de un número, según el orden en el listado de la simulación. El coeficiente graficado representa el grado de correlación de las duraciones correspondientes a impactos. Una correlación positiva indica que habrá un incremento en la duración del proyecto, mientras que una duración negativa, una disminución del mismo. Los impactos más significativos en la Figura 4.6 son: Bajos rendimientos en la fabricación de piezas, Paralización por reclamos y protestas, Paralización de los trabajos y reinducción del personal, No conformidades y levantamiento de observaciones y Sistema de cimentación adecuado para el terreno.

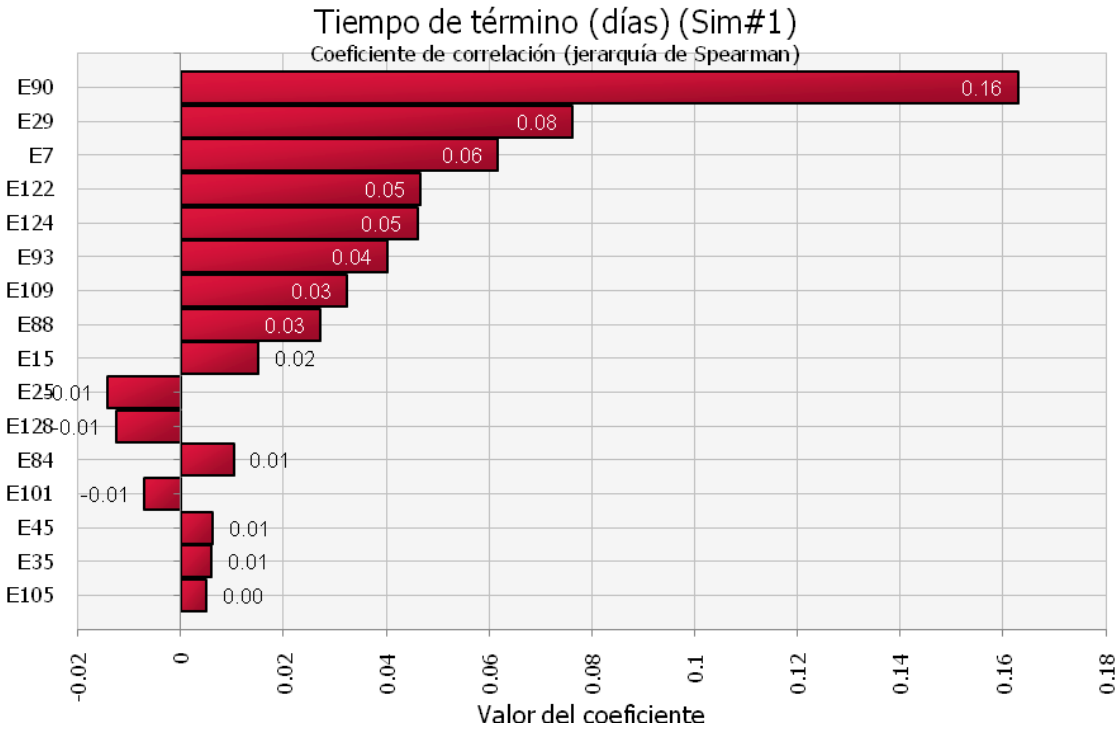


Figura 4.6. Gráfico de tornado para la duración total del proyecto, alternativa 2.

Todos estos impactos anteriormente pertenecen a los riesgos Familiaridad con el tipo de trabajo y Accidentes; sólo una cimentación adecuada para el tipo de terreno es una actividad, que está pendiente, y que posee una correlación baja en relación con el Tiempo de término del proyecto. Estos eventos serían sobre los cuales deberían ponerse mayores esfuerzos para que sus impactos sean los menores posibles.

Análisis de escenarios. En las siguientes tablas se muestran los análisis de escenarios para la Alternativa 2 de programación del proyecto. El criterio de evaluación e incidencia son los mismos que se explicaron para la Alternativa 1. El evento Expectativas de calidad del cliente se presentaría en la colocación del superboard, siendo este evento crítico para evitar reprocesos, ya que estas planchas de yeso presentan ondulaciones y bombeos no deseados,

los cuales deben ser tratados con empastes y/o masillas. La Familiaridad con el tipo de trabajo en la colocación de la cobertura y en la fabricación de los arcos AB serían eventos a reducir su probabilidad de ocurrencia, ya que por ser un trabajo en altura y en caliente, la ejecución debería ser supervisada con cuidado.

Tabla 4.10. Análisis de escenarios para el Tiempo de término (días) con objetivo >75%.

@RISK - Informe de escenario

Escenarios

Celda	Nombre	Real	Percentil	MedianaSD
		Sim 1para Tiempo de término (días)con objetivo>75%		
D89	Familiaridad con el tipo de trabajo / Ocurrencia	0	30.5600%	-2.170576
D123	Familiaridad con el tipo de trabajo / Ocurrencia	0	49.1400%	-2.000096
D127	Expectativas de calidad del cliente / Ocurrencia	0	49.7800%	-1.999819

Para el objetivo con tiempo de término <25% de la Tabla 4.11 se observó una combinación más favorable para el proyecto. Aquí se aprecia que la intervención del sindicato no representaría ningún problema para lograr el objetivo del escenario; mientras que las Expectativas de calidad del cliente en la losa de concreto tienen un percentil alto de ocurrencia y podría originar reprocesos en la actividad de la losa de concreto para el piso del auditorio.

Tabla 4.11. Análisis de escenarios para el Tiempo de término (días) con objetivo <25%

@RISK - Informe de escenario

Escenarios

Celda	Nombre	Real	Percentil	MedianaSD
		Sim 1para Tiempo de término (días)con objetivo<25%		
D28	Sindicato / Ocurrencia	1	100.0000%	1.9998921
E29	Paralización de los trabajos por reclamos y protesta	-	-	-
D34	Expectativas de calidad del cliente / Ocurrencia	0	49.6400%	-1.999852

Finalmente, en el escenario para objetivo con tiempo de término >90% de la Tabla 4.12, se obtuvieron eventos con significancia moderada, tales como Expectativas de calidad del cliente en la losa de concreto del auditorio; Familiaridad con el tipo de trabajo en la

fabricación de los arcos AB y en la colocación de la cobertura de superboard. Además, en este escenario el impacto de bajos rendimientos en la producción de piezas sería causa directa del evento antes mencionado y originaría un retraso de 6 días en este proceso, ya que su percentil, al igual que su significancia, fue alto.

Tabla 4.12. Análisis de escenarios para el Tiempo de término (días) con objetivo >90%.

@RISK - Informe de escenario

Escenarios

Celda	Nombre	Real	Percentil	MedianaSD
		Sim 1para Tiempo de término (días)con objetivo>90%		
D34	Expectativas de calidad del cliente / Ocurrencia	0	49.6400%	-1.999852
D89	Familiaridad con el tipo de trabajo / Ocurrencia	0	30.5600%	-2.170576
E90	Bajos rendmientos en la producción de piezas / Du	6.2816114	77.0075%	0.8389379
D123	Familiaridad con el tipo de trabajo / Ocurrencia	0	49.1400%	-2.000096

Los riesgos más significativos, con sus impactos y probabilidades de ocurrencia para la alternativa 2 se resumen en el Registro de Riesgos, tal como se muestra en la Tabla 4.13.

Tabla 4.13. Registro de Riesgos para la construcción del auditorio – Alternativa 2.

				Beneficios de la Mitigación		
Item	**Riesgo/ Oporunidad**	**Impacto estimado (valor esperado, fecha de inicio)**	**Mitigación propuesta**	**Probabilidad de éxito**	**Distribución**	**Costo de implementación**
Riesgo 1	Familiaridad con el tipo de trabajo	130	Contratación de personal con experiencia en trabajos de soldadura. Establecer puntos de inspección en el proceso de construcción de estructura metálica.	80%	Discreta	Ninguno. Está dentro del costo directo y la fase planeamiento.
Riesgo 2	Expectativas de calidad del cliente	58	Involucrar al cliente, que posee las herramientas para controlar la calidad de los procesos durante todo el proyecto.	90%	Discreta	Ninguno
Riesgo 3	Sindicato	10	Contratación de mano de obra de confianza del contratista. Trato directo con miembros del sindicato y reconocimiento de jornales adecuados.	100%	Discreta	Ninguno. Está dentro del costo directo.

Balance. Una vez que se generaron los probables eventos en cada una de las alternativas del proyecto, se procedió a establecer medidas de mitigación que contemplen las dos alternativas de programación. Esto se hizo debido a que no fue propósito de este trabajo establecer un cronograma, sino establecer dos posiciones completamente distintas, cada una con sus respectivos eventos de riesgo para generar recomendaciones generales sobre el proyecto en conjunto. Se han propuesto acciones contra la aparición de eventos de riesgos durante la construcción auditorio y se buscó que satisfagan los requerimientos del proyecto, tanto para el contratista como para el cliente.

4.3 Asignación de riesgos y medidas de mitigación en la etapa de Balance

Como cada alternativa muestra dos posiciones opuestas, de modo que representan los límites extremos en cuanto a procesos y secuencia de trabajos, la asignación de riesgos consistió en discriminar los riesgos más importantes de la simulación de ambas alternativas y atribuirlos a cada responsable del proyecto. En tal virtud, los riesgos mencionados a continuación fueron clasificados según la responsabilidad de cada responsable.

Finalmente, cuando los riesgos fueron asignados a las partes involucradas del proyecto, las acciones de mitigación se orientan para: eliminar, disminuir, transferir o aceptar cada evento y/o impactos que se generan en el desarrollo del proyecto. Según esta asignación, se han agrupado los riesgos en 3 categorías:

Riesgos compartidos, que son aquellos que atañen a todos los involucrados en el proyecto y designados en la etapa de *equipo* de la metodología;

Riesgos del cliente, que son aquellos en los que el Cliente estaría directamente involucrado y en los cuales la interferencia de éste genere impactos de mayor plazo y/o costo y;

Riesgos del contratista, que son aquellos en los que el contratista se ve involucrado directamente, ya sea por procesos ineficientes, descuidos en la construcción, omisiones, etc.

4.3.1 Riesgos compartidos

Los riesgos compartidos fueron: Las fuentes de financiamiento y la intervención del sindicato. Se habla de compartir, porque debe ser una acción conjunta entre contratista y cliente, a fin de evitar paralizaciones, disturbios y malestares que alteren las condiciones que se buscan. Se sugirieren, para estos riesgos compartidos, algunas acciones de mitigación:

– Un cronograma de desembolsos, coordinado entre la Universidad y el contratista, de modo que se planteen objetivos favorables para ambas partes. El cliente debería tener un flujo de caja para este proyecto que sea compatible con las necesidades del contratista. Para lograr esto, el contratista debería presentar un flujo de caja inicial y actualizarlo periódicamente, para que ambos puedan provisionar los recursos adecuados en las fechas previstas, sin contratiempos. En algunos proyectos se completan porcentajes de avance, como objetivo para ejecutar desembolsos. Este es un procedimiento que permitiría establecer plazos más reales de trabajo y es una práctica muy eficaz de control de flujo de dinero; por ejemplo, empresas como COSAPI, GYM, SAGITARIO, JJC, emplean este sistema que se incluye en un informe de control mensual. Sin necesidad de llegar al grado que comprometan información confidencial para la empresa, como pueden ser rendimientos, costos, entre otros, un informe de

resultado de la gestión mensual del proyecto serviría para que todas las partes del proyecto se enteren del desarrollo del proyecto, tanto en operatividad como en consumo de recursos.

– Respecto de la intervención del sindicato, la administración controlada ayudaría mucho a mitigar este problema que podría reducirse si toman las medidas de comunicación correctas con el sindicato, tales como rotaciones de personal (siempre que sea necesario), trato justo a los obreros y exigencia de cumplimiento al contratista. Pero debe haber, por encima de todo, la disposición de tratar con el personal del sindicato y buscar, siempre dentro de los límites permisibles, acuerdos comunes favorables para los trabajadores y para el proyecto. Finalmente el cliente, debe ser el promotor y el elemento de control para que ambas parte encaminen acuerdos correctos y no se produzcan altercados que alteren el normal desarrollo del proyecto.

4.3.2 Riesgos del Cliente (Universidad)

El riesgo del Cliente serían las Fuentes de financiamiento. Sin embargo, se creyó conveniente compartirlo por la siguiente razón: Si bien es cierto, el Cliente sería el encargado de pagar mes a mes la venta que hace el contratista por la ejecución del proyecto y que implica que se posea de caja para efectuar dicho pago, también es responsabilidad del contratista que se proyecto sea financieramente estable en el tiempo.

4.3.3 Riesgos del contratista

Los riesgos asignados al contratista son: Pruebas e inspecciones, Familiaridad con el tipo de trabajo, Complejidad, Incertidumbre en la entrega, Cronograma, Accidentes y Expectativas de calidad del cliente. A continuación se sugieren posibles acciones de mitigación:

– Como ya se ha mencionado, la Pruebas e inspecciones se realizarían con el fin de verificar ciertos requerimientos, ya sea calidad, seguridad, aspecto o forma, etc.; por tanto, el contratista reduciría la aparición de este tipo de riesgos revisando toda la documentación presentada por el cliente, generando instrucciones precisas para cada una de las fases del proyecto y documentando toda instrucción al personal (instrucciones de trabajo escritas), de cualquier tipo, para identificar las causas de las posibles apariciones de este evento de riesgo. La aclaración de dudas en las partes iniciales del proyecto y contratación de personal calificado para las tareas que requieran especial cuidado, además de una supervisión adecuada y continua a lo largo de la ejecución. Estas medidas son una buena práctica para reducir estos defectos por malos procesos constructivos y sobretodo contribuyen de manera formidable a mantener ratios de producción altos y constantes en el tiempo. Aparentemente, sería una generación de documentación excesiva y adicional; sin embargo busca, por un lado, una exigencia

hacia el contratista acerca del conocimiento de los procesos que su personal desarrollará; por otro lado, daría al cliente la certeza que el contratista realiza capacitaciones e instrucciones para que los procesos críticos del proyecto se realizan de forma correcta, asegurando calidad del producto a entregar, seguridad en su proceso de elaboración e índices de producción constantes.

- La Familiaridad con el tipo de trabajo y la Complejidad se pueden eliminar con la contratación de personal calificado para las tareas críticas del proyecto; es decir, aquellas tareas que requieran un especial cuidado con respecto al producto que se entrega al cliente. Aunque esto suponga un mayor pago de jornales, reduce la posibilidad de sobrecostos en otros rubros. De la experiencia recogida en el medio, se conoce que los márgenes en los proyectos se obtienen mejorando el proceso constructivo, mas no, mezquinando en recursos para conseguir el producto terminado. Por ejemplo, el contratar un soldador poco calificado para la fabricación de piezas de los arcos AB podría significar un ahorro inicial considerable, pero la falta de experiencia de este recurso develaría piezas mal hechas, ensamblajes incorrectos y retrasos con tiempos improductivos en correcciones, posibles paralizaciones, etc. Entonces, los recursos que se inviertan en las actividades del proyecto deberían ser idóneos, sin discriminación del costo en que se incurriría.
- La Incertidumbre en la entrega, puede eliminarse con una adecuada movilización, concebida en las primeras fases del proyecto y que contemple procedimientos de carga, transporte y descarga, de los elementos del arco. En este trabajo se detallarán rutas de movilización, ya que dependen mucho de la fecha en que se programe la ejecución.
- El riesgo Cronograma es una consecuencia de los accidentes. Por lo tanto, se podría eliminar con un estricto programa de seguridad dentro de la obra. Acciones como el uso de elementos protección personal (arneses, chalecos, lentes, guantes, cascos, etc.), ayudarían a mitigar los accidentes. Esto debe estar acompañado de la señalización correspondiente, los lugares de desecho de materiales en la obra, limpieza del lugar de trabajo, uso de equipo especial en zonas que se indiquen, entre otros. Una buena práctica para lograr que el personal se identifique con los programas de seguridad es a través de charlas de sensibilización semanales y charlas diarias al momento de comenzar la jornada de trabajo. Esto permitiría al personal conocer los riesgos sobre salud que implica el trabajo que van a realizar y crearían una conciencia de seguridad difundida sobre todas las áreas de trabajo. El cliente debe ser, en este caso, un elemento de presión hacia el contratista exigiendo un plan de seguridad antes de iniciar los trabajos y verificar que éste se cumpla. En caso de ocurrir algún accidente, el contratista debería invertir mayores recursos para culminar dentro de la fecha revista o prever un adicional de plazo con el sustento respectivo.
- El riesgo Expectativas de calidad se puede eliminar con una adecuada comunicación entre el contratista y el cliente. Cabe recordar que la concepción de calidad del contratista difiere de la concepción de calidad del cliente, por lo que estos aspectos deben resolverse en la fase de planeamiento del proyecto. Con un conocimiento claro sobre qué es lo que quiere el cliente, el contratista puede exigir a su personal realizar las tareas de manera correcta. Sin embargo, es conveniente que se reanalicen las necesidades del cliente durante la ejecución y antes de ejecutar la tarea para ultimar detalles y realizar modificaciones (en caso las hubiera). Además, el contratista debería cumplir con la normativa correspondiente en lo referente a temas de calidad, como son ensayos de concreto, calidad de la soldadura, entre otros.

4.3.4 Planes de mitigación para impactos de riesgos

Informe sobre la solución de dudas entre contratista y cliente. Este informe tiene como objeto dejar constancia sobre los acuerdos entre los responsables acerca de los errores que pueda presentar el proyecto en su fase de diseño. Es una tarea adicional pero necesaria para evitar demoras posteriores.

Cuando el proyecto está en su fase de planeamiento, el contratista debe invertir esfuerzos para aclarar la mayor cantidad de dudas que se presenten en el proyecto. Para esto, se pueden concertar reuniones con el cliente para resolver las dudas y llegar a acuerdos que beneficien a ambas partes.

Un claro ejemplo de esto es el tema de las estructuras metálicas, la instalación de equipos eléctricos, entre otros. El informe debe contener, con detalle, todas las observaciones que el contratista formule durante la revisión del proyecto; los acuerdos a los que se llegó con el cliente respecto de estos temas, ya sea modificación de planos, trabajos adicionales, modificación del expediente técnico y conclusiones a las que llegaron ambas partes. Esta información debería estar presente al momento de plasmar el presupuesto meta del proyecto.

Este informe no debería usarse como un elemento de disputa, sino como una herramienta para evitar contratiempos durante la ejecución de actividades, que pudieron evitarse y para dejar constancia de los acuerdos a que las partes llegaron para sacar adelante el proyecto. Si surgieran dudas sobre un proceso durante la ejecución del proyecto, una solicitud de información (RFI’s) podría ser una herramienta muy útil para aclararlas de forma rápida y técnica. En el Anexo C de este trabajo se muestra un formato de solicitud de información.

Plan de movilización y alternativa de fabricación de piezas metálicas in situ. El plan de transporte consiste en una serie de recomendaciones que el contratista adoptaría al momento de trasladar las piezas desde el taller hasta la obra, con el fin de reducir las demoras por incertidumbre en la entrega. Se aplica sólo si se decidiera ejecutar la alternativa 1 de programación de obra.

Este plan lo haría el contratista y lo revisaría el cliente, de manera que ambos tengan conocimiento acerca de la forma, hora y cantidad de transporte que sería necesario para trasladar la estructura metálica. En este trabajo no se detallará este plan, porque, como se mencionó anteriormente, depende mucho de dónde tenga su taller el contratista. Sin embargo, sería una buena práctica utilizar transportes medianos, como plataformas de 15 ton o camiones HIAB y rutas de tránsito pesado, como son la Av. Progreso, Av. Panamericana, entre otras. La movilización debería hacerse según el cronograma de confección de las piezas del apartado anterior y la liberación de éstas, tanto del contratista como del cliente.

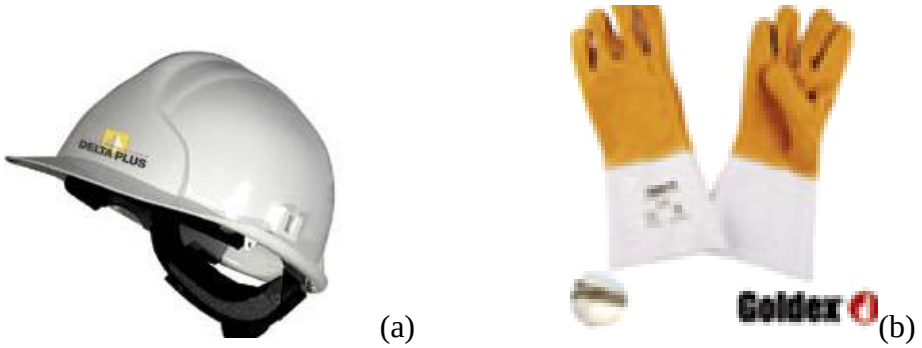
El inicio de las actividades de montaje estaría previsto para el día 48 del proyecto (alternativa 1) y todas las piezas estarían fabricadas, a excepción de los arcos, cuyo avance sería del 80%. Por lo que se podrían iniciar los trabajos de transporte a partir del día 40 del proyecto para tener holgura en el transporte y proponer cambios en el plan, de ser necesario. El orden en el traslado de las piezas debería coincidir con el orden en que se desarrollan las actividades en el plan de construcción: montaje de columnas, viga VR, arcos E, viguetas V1 y V2, arcos P y viguetas VP1 y VP2.

Respecto de los horarios de transporte, sería conveniente realizar el traslado de las piezas durante la noche, a partir de las 8:00 p.m., ya que en esa hora la universidad casi no tiene alumnos, el tráfico es mucho más fluido y permitiría un transporte seguro hasta la obra, que también estaría descongestionada. La carga y descarga estaría a cargo de dos cuadrillas, dispuestas por el contratista en esas zonas. Para el ingreso a la Universidad, se deben gestionar con los responsables, los ingresos del personal y del camión durante la noche. Se ha estimado el transporte de piezas hasta 13 días después de la fabricación de los últimos elementos metálicos, los arcos AB.

Para ambas alternativas, se debería implementar un programa de pruebas que permita asegurar la calidad del producto. Esto puede ser desde una simple inspección visual hasta complejos ensayos de porosidad de soldadura y su implementación dependerá de las exigencias que el cliente exija. Este plan también debería incluir prueba de niveles para calzar las piezas sobre los dados de los arcos, para las columnas, presión en el torque de los pernos de anclaje, etc. Todas las especificaciones deberían estar incluidas en un expediente técnico o alcances del proyecto.

Programa de seguridad para el personal del proyecto. Este programa es un recordatorio acerca de los aspectos de seguridad básicos que el personal debe practicar para disminuir el riesgo de accidentes y enfermedades por salud ocupacional dentro de la obra. Consta de letreros, equipos de protección adecuados y procedimientos que buscan mantener la integridad de los trabajadores, charlas y registros.

En este trabajo no se detallará más sobre este punto; sin embargo, se puede recurrir a la normativa peruana en temas de seguridad, así como estándares internacionales. Además, el personal debería contar, en todo momento con sus implementos de protección personal. Estos varían según el tipo de tarea que desempeñe. El personal de transporte debe portar guantes, casco, lentes protectores y botas punta de acero para evitar lesiones. El personal a cargo de las tareas de soldadura debe portar casco, visores para soldadura, chalecos, guantes resistentes al fuego, botas punta de acero y sistemas de arneses y líneas de vida, en caso que trabajen en altura.



(a) (b)

Figura 4.7. Equipos de protección personal: (a) cascos; (b) guantes para soldadura.

Entre los procedimientos de seguridad está establecer in situ lugares de circulación, inspección de los sistemas de izaje y de los sistemas de seguridad del personal, tales como cuerdas y arneses, delimitación de áreas de trabajo, restricción de accesos al sitio, trabajos en caliente, en espacios confinados, etc.

(a) (b)

(c) (d)

Figura 4.8. Equipos de protección personal: (a) lentes protectores contra partículas; (b) lentes para soldadura; (c) botas de seguridad; (d) arneses y ganchos para el cuerpo.

Finalmente, en el tema de instrucción el personal se podrían implementar cursos de trabajos en altura, de trabajos en caliente, una inducción general en temas de seguridad antes de comenzar el proyecto (para todo el personal) y, como se mencionó en el Apartado 4.3.3, el uso de charlas de sensibilización, antes del inicio diario de labores, inspecciones

cruzadas en los diferentes frentes de trabajo, entre otros. Es necesario resaltar que el cliente debería ser un participante activo en estas implementaciones, de modo que el personal entienda que tanto el contratista como el cliente velan por su salud. Esto podría lograrse mediante auditorías, participando de las inspecciones, favoreciendo cursos de capacitación (uso de sus instalaciones), etc.

4.4 Verificación del plan de construcción con medidas de mitigación

Con las acciones propuestas se pudieron simular nuevamente ambos modelos para verificar si son, en realidad, efectivas. Con estos resultados se podría plantear mitigaciones adicionales y replantear el modelo, en caso se genere algún riesgo que no se tomó en cuenta. Además, permitiría esclarecer el panorama del proyecto con respecto a las contingencias sobre éste por aparición de eventos de riesgo.

En ambas simulaciones se obtuvo un plazo muy cercano al 14% del tiempo del proyecto para la alternativa 2 y 17% para alternativa 1. Ambas alternativas estarían subestimadas, donde el conocer aquellas contingencias a las que son propensas sería una gran herramienta de control y/o medición para el desarrollo del proyecto. A priori, se podría pensar que las medidas de mitigación serían efectivas y, de hecho, estas cantidades de plazos son importantes, sobretodo en obras de edificación.

Es, precisamente, en esta parte del plan de construcción donde deberían desarrollarse contingencias para el proyecto. Estas contingencias son, en esencia, plazos y costos para terminar el proyecto según su alcance. Debido al objeto de este trabajo, se analizaron sólo contingencias con respecto a plazo, más no de costo.

Esta cantidad de tiempo, una semana, sería pues una contingencia que debería plasmarse como tal durante la ejecución del plan de construcción; es decir, no perderla como desglose de plazos pequeños en cada una de las actividades críticas del proyecto. Podría hacerse de la siguiente manera: Si el planeamiento es bajo programación rítmica, agregar un “buffer” o amortiguador al final del proyecto podría ser lo más conveniente; mientras que si se usara CPM, agregar una actividad al final de la ruta crítica me facilitaría la identificación de esta contingencia. Lo que se busca es que esta contingencia sea claramente identificable y cuantificable en el plan de obra, tal como se hace, por ejemplo, cuando se establecen las contingencias en el resultado operativo (RO). Esto permitiría: un plan de construcción que se acomode a los requerimientos del Cliente, la negociación de bonos y/o penalidades por cumplimiento, generación de información para proyectos futuros. Como se mencionó anteriormente, este tiempo de contingencia debería administrarse íntegro, porque permitiría apreciar actividades en su verdadera magnitud y sin interferencias, que son puntos de análisis al momento de mediciones de productividad, siendo en este proyecto las actividades de montaje un referente a tener un cuenta.

4.5 Mantenimiento y aprendizaje

Estas dos fases, junto con sus etapas no se llevaron a cabo, ya que el proyecto no fue ejecutado hasta la fecha de presentación del trabajo. Sin embargo se plantean algunos lineamientos en las recomendaciones de este trabajo.

Mantenimiento. Esta etapa se pone en práctica las acciones de mitigación. Para hacerlas correctamente, tanto el cliente como el contratista deben sumar esfuerzos para que la construcción del auditorio sea lo más normal y dentro de los plazos establecidos. Ambos deben tener una actitud de monitoreo general hacia el auditorio, sobre todo sobre las actividades en las cuales puedan aparecer eventos de riesgo. Este monitoreo se haría con la supervisión constante de los trabajos y con el detalle en el cuaderno de obra, tanto de las actividades como de las medidas de mitigación que se adopten. Estas acciones de monitoreo deben estar sujetas al plan de construcción para evitar omisiones de supervisión, cruces en los horarios de supervisión, aglomeración de tareas de monitoreo, etc. La generación de la adecuada documentación, en los momentos oportunos, evitaría contratiempos posteriores en el proyecto.

Se propusieron, entonces, dos alternativas con resultados diferentes en cada una de ellas. La alternativa 1 se concibió para recrear el escenario en el que se realizaban actividades paralelas, de modo que se disminuyan costos indirectos como contraparte en el aumento del costo directo. Dentro de este escenario hubiera sido muy probable que se subcontrataran algunos componentes del proyecto, como podría ser el caso de la estructura metálica. Esta alternativa tendría los siguientes riesgos identificados: Expectativas de calidad del cliente, sindicatos, fuentes de financiamiento, familiaridad con el tipo de trabajo, complejidad, incertidumbre en la entrega, accidentes, cronograma. Su duración, luego de integrar los diferentes eventos al cronograma, sería 158 días – 6,6 meses de ejecución del proyecto, tiempo que encajaría en un período no lluvioso, favoreciendo su normal desarrollo.

La alternativa 2 se planteó de manera diferente. Una alternativa que consideró una secuencia de actividades con relaciones de precedencia de fin-comienzo sin traslapes considerables, lo que simularía un escenario donde el contratista tiene experiencia en obras de montaje y lo hace por su cuenta, sin terceros. Los riesgos identificados en esta alternativa fueron los siguientes: Familiaridad con el tipo de trabajo, expectativas de calidad del cliente, sindicato. La duración de esta alternativa, con los eventos de riesgo integrados fue de 284 días – 11.8 meses de trabajo. Podría haber un período de lluvia en el cual el proyecto se desarrolle, por lo que este evento debería ser tomado en cuenta como una contingencia en su plan de construcción.

Las medidas de mitigación que se propusieron para ambas alternativas fueron las siguientes:

- Un informe con respuestas a las consultas sobre compatibilización de planos de las diversas especialidades, que permitan complementar el alcance del contratista y afianzar los requerimientos del cliente.
- Un plan de movilización y alternativa de fabricación de piezas metálicas in situ, que pueda establecer un cronograma de entregas de las piezas sin demoras día a día, dentro de los plazos del plan de construcción.
- Un plan de seguridad, que capacite a todo el personal sobre estándares mínimos de seguridad.

Para ambas alternativas, estas medidas de mitigación se concibieron para revertir todos los riesgos identificados en este trabajo. Con estas medidas, después de la evaluación de riesgos, se lograrían cronogramas con alternativas mucho más reales y acordes con los procesos que en cada una de éstas se presentan.

Para la Alternativa 1, se obtuvo un 17% de plazo mitigado en el proyecto, que implicaría una subestimación de éste si se adicionara un porcentaje de 10% de contingencia (valor usual en planificación de proyectos); mientras que para la Alternativa 2 se obtuvo una mitigación del 10%, que significa un valor usual y que ahora estaría totalmente identificado, permitiendo una optimización de esta contingencia.

El medio local cuenta con personal calificado, pero aún le falta complementar su competencia técnica con temas como la seguridad o el cumplimiento de estándares de calidad. Por otro lado, hay poca tecnología disponible para optimizar los procesos constructivos; los recursos financieros son insuficientes y obligan a los contratistas a reducir costos, quienes optan medidas de gestión empresarial que terminan asfixiando a la mano de obra o los equipos. También es frecuente encontrar proyectos mal estimados, que no reflejan los requerimientos del cliente y terminan originando sobrecostos y cambios de alcance constantemente. En general, se observan muchos proyectos con accidentes de diversa índole, bajos estándares de calidad y que el cliente no aprecia en su producto final, restando valor al proyecto y a la contratista que la ejecuta.

Aparentemente, el medio significaría un obstáculo para la ejecución de estas medidas de mitigación, con lo que el proyecto estaría condenado al fracaso. Sin embargo, se vería como la oportunidad para que cambiar esta situación. El proyecto del auditorio reúne varias especialidades, ya que abarca desde potenciales sistemas de cimentación poco convencionales, losas de concreto, hasta estructuras metálicas con trabajos en altura. Esta forma multidisciplinar del proyecto crearía condiciones propicias para comenzar a implementar un plan de construcción integrado, en el que se realicen los procesos productivos con calidad y seguridad. El costo de estas implementaciones sería, un monitor y/o ingeniero de seguridad, ya que los procesos de calidad y planeamiento deberían desarrollarse a través de los ingenieros de campo. El gasto de papelería, fotocopias, cursos de capacitación, pueden ser asumidos por la contratista, ya que no son significativos. Entonces, se hablaría de un costo, de personal de campo y de seguridad, totalmente

redituable conforme se desarrolle el proyecto y en el que El Cliente tomaría parte activa. Estas medidas representarían un paso importante para un cambio de visión respecto a los proyectos de construcción en la localidad, en el que se usen procesos constructivos con valor agregado y que beneficien a todas las partes involucradas en el proyecto, con una constante actitud monitora y proactiva, que mantenga en equilibrio y bajo control el desarrollo de las diversas fases del proyecto.

Aprendizaje. Esta etapa no se puede llevar a cabo hasta que no desarrolle la construcción del proyecto.

5 Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Se concluye que PUMA sería una herramienta útil para el planeamiento de proyectos de diversa índole. El método integra de manera adecuada a los interesados del proyecto y torna sus requerimientos bajo una sola idea, generando un plan de construcción que incluye una cuantificación de los posibles eventos que lo afecten, de modo que pueden ser tratados individualmente.

El conocimiento de la magnitud de los eventos de riesgo, permite concentrar esfuerzos para reducir sus impactos. De este modo es posible introducir en el plan de construcción las modificaciones necesarias que permiten hacer los impactos controlables o en algunos casos, transformarlos en oportunidades.

La importancia de esta metodología en relación al proceso de planificación es que permite conocer las variaciones en la duración del proyecto como resultado de la aparición de eventos de riesgo. La evidencia de estas variaciones en la duración sería un elemento que justifique el desarrollo de un plan de construcción que plasme de modo más real la naturaleza del proyecto y los requerimientos del cliente.

El método incorpora los eventos de riesgo como actividades independientes dentro del plan, lo cual permite hacer medible su ocurrencia e impacto en el cronograma de obra, sencillo de usar y entender por el usuario.

Con estos resultados mostrados en el Capítulo 4 se concluiría que la metodología es aplicable. No solamente es una metodología de evaluación que permitiría cuantificar los excesos en los plazos por eventos inesperados, sino que también se podrían manejar, involucrando mucho más a las partes del proyecto y dinamizando el proceso de construcción. Como muestra de ello está la elaboración de medidas de mitigación por ambas partes del proyecto, registros, formatos, según los eventos que les hayan sido asignados y a quiénes se hayan asignado. Al poseer herramientas de evaluación y de gestión, se convierte en una metodología poderosa para realizar un análisis completo de cualquier proyecto de construcción.

A lo largo del caso incluido en este trabajo se vio que la metodología PUMA sería fácil de aplicar y desarrollar, incluso con aquellos que no están familiarizados con el análisis de riesgos. La aceptación de esta metodología comenzaría por entender la necesidad de un cronograma que se ajuste más a la realidad de un proyecto. En tal caso, PUMA podría incluirse como una herramienta eficaz a la programación y control de obra.

Para la aplicación del método PUMA en proyectos locales se requeriría que los contratistas locales mejoren técnicamente y superen en muchos casos la informalidad. En las fases iniciales de implementación se incurriría en costos adicionales, pero que podrían ser compensables en relación a los sobrecostos originados por las paralizaciones parciales o totales durante la etapa de construcción. Como se mencionó en el Capítulo 4, el mayor costo obedecería a la capacitación y contratación de personal de campo y mayores horas de trabajo en la fase de planificación, por la necesidad de generar documentación para ser usada durante la ejecución de la obra para la recolección de datos para usarlos como retroalimentación del método.

5.2 Recomendaciones

Después de haber aplicado la metodología y mostrar sus resultados, sería importante rescatar ciertos aspectos que ayudarían a agilizar el proceso de análisis de riesgos y fortalecerlo.

Como primera recomendación, sería importante mencionar la necesidad de generar registros de los eventos de riesgo que permitan al contratista rediseñar sus estimaciones y fortalecer su competencia frente a su cliente, ya que cuanto mejor pueda representar la naturaleza del proyecto ante éste, mayores son las posibilidades de beneficios por gestión. Esta necesidad sería fundamental para que el contratista gane experiencia en temas de esta naturaleza. Un cuaderno de obra sería insuficiente para registrar este tipo de eventos, ya que registra lo más incidente del proyecto y cuestiones de contrato, en tanto que se necesitarían lecciones aprendidas, oportunidades de mejora, información histórica de rendimientos de cada evento.

Teniendo en nuestro medio, proyectos que implican cierto grado complejidad e importancia política, económica, social, etc., se recomendaría usar esta metodología dentro de sus fases de planeamiento, de modo que sea una ayuda para conocer mejor la naturaleza del proyecto y vaya cambiando, de manera gradual, la antigua concepción de considerar cronogramas ideales, que sólo producirían adicionales en desmedro de contratistas y clientes o cronogramas inflados, que lo único que hacen es disminuir la competitividad técnica – económica de las contratistas locales.

Esta herramienta puede ser complementaria dentro de otros temas actuales de gestión de proyectos, como PMI, Lean Construction, valor ganado, normas ISO, muy vigentes actualmente y que podrían ser finalmente cuantificables.

Bibliografía

1. Ahmed, S.M., Ahmad, R. and Saram, D.D., *Risk Management Trends in the Hong Kong Construction Industry: a Comparison of Contractors and Owners Perceptions Engineering*, Construction and Architectural Management, 1999.

2. Ali Touran & Golder Asociados, *Análisis de Riesgo y Procedimiento*, Departamento de Transportes de Estados Unidos, 2004.

3. Análisis FOSM, http://www-esd.lbl.gov/ITOUGH2/Command/FOSM_3.HTML.

4. Cáceres, Karla, *Estimación de costos de proyectos de infraestructura municipal*. Tesis para optar el título de Ingeniera Civil, Universidad de Piura, 2005.

5. Chao, Li – Chung; Hsueh, Sung – Ling, *Assessing Project Schedule Risk with Contingent Task by Spreadsheet – Based Simulation*, Journal Cost Engineering, Vol. 48, No. 3, marzo 2006.

6. Chapman, R.J., *The Controlling Influences on Effective Risk Identification and Assessment for Construction Design Management*, International Journal of Project Management, 2001.

7. Chapman and Ward; *Project Risk Management: Processes, Techniques and Insights;* 1997.

8. Correa Vigo, Javier. *Diseño estructural de un auditorio con estructuras metálicas.* Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad de Piura, 2003.

9. Del Caño, Alfredo; De la Cruz, M. Pilar, *Integrated Methodology for Project Risk Management*, Journal of Construction Engineering and Management ASCE, noviembre/ diciembre 2002.

10. Gobierno Regional de Piura, *Precios unitarios actualizados a noviembre de 2006*.

11. Hinze, Jimmie, *Construction Planning and Scheduling*, segunda edición, Pearson – Prentice Hall, 2004.

12. Lichtenberg, Steen. *Gerencia preactiva de Incertidumbres – usando el principio de sucesión*, Dinamarca, 2000.

13. Lichtenberg, Steen, *How to avoid overruns and delays successfully*, ICEC Internet Journal, octubre 2005.

14. Molenaar, Keith A., *Programmatic Cost Risk Analysis for Highway Megaprojects*, Journal of Construction Engineering and Management ASCE, marzo 2005.

15. Mulholland, B.; Christian, J., *Risk Assessment in Construction Schedules*, Journal of Construction Engineering and Management ASCE, enero/febrero 1999.

16. Office of Project Management Process Improvement, *Project Risk Management Handbook*, junio 2003.

17. Pareto, Wilfredo, *Cours d'économie politique*, Droz, Geneva, 1896.

18. Software *@Risk*, producido y comercializado por Palisade, www.palisade.com.

19. Shen, L.Y., Wu, G.W.C. and Ng, C.S.K., *Risk Assessment for Construction Joint Ventures in China*, Journal of Construction Engineering and Management, 2001.

20. Schexnayder, Clifford J.; Mayo, Robert E., *Construction Management Fundamentals*, McGraw – Hill, 2004.

21. Virine, Lev, *Construction Risk Using Event Chain Methodology*, Journal of Construction Risk, vol. 8, No. 3.

22. Wang, J.Y.; Liu, C.L., *Risk Management for Construction Projects*, Water Publication, China 2004.

23. Zou, Patrick X. W.; Zhang, Guomin; Wang, Jia – Yuan, *Identifying Key Risk in Construction Projects: Life Cycle and Stakeholder Perspectives*, 2005.

Anexo A

Estimación de tiempos en las actividades y fundamentos de probabilidad

Estimación de tiempo de las actividades

La estimación de la duración de cada actividad dependerá en gran manera del tamaño de ésta, es decir, su magnitud en cuanto a volumen de trabajo requerido para ser completada y la cantidad de precisión requerida. Por ejemplo, estimar la duración de la conformación de un relleno de 1000 m3 de material rocoso para una protección ribereña, donde hay accesos en mal estado, requiere una estimación cuidadosa, ya que los costos de maquinaria para la conformación y transporte de material son altos; por tanto, se requerirá cierta investigación.

Hay numerosas formas de estimar la duración de las actividades. Por ejemplo, tomar experiencias de proyectos similares, observación y registro de actividades similares, etc. La observación y las experiencias pasadas son una buena práctica ya que reflejan condiciones adecuadas para la estimación de tiempos en las actividades; sin embargo, deben ir acompañadas de una especial consideración de factores externos asociados a la actividad, por ejemplo: subcontratistas, el clima, la operatividad de la maquinaria al momento de realizar la actividad, etc. Todas estas condiciones deben ser tomadas por el proyectista de modo que la duración de la actividad se realice dentro del plazo estimado sin incurrir en costos adicionales por demoras. Esto demanda cierto grado de experiencia del proyectista para establecer tiempos coherentes con la naturaleza del proyecto; además, demanda una visión amplia y clara de lo que se logrará al final de la ejecución del proyecto.

Factores que influyen en las alternativas de programación

La programación debe satisfacer varias restricciones impuestas por el contrato o por necesidades específicas de la empresa. Como ya se ha dicho antes, la programación implica una variedad de consideraciones y restricciones. En primer lugar, para tener un desarrollo lógico de la programación, deben enfocarse en las restricciones físicas del proyecto. Otras restricciones (recursos, ambiento, seguridad) no son tan importantes para ordenar las actividades; sin embargo, deben tenerse en consideración en etapas posteriores del planeamiento y la programación.

Los tiempos de inicio de las actividades se establecen de tal forma que la programación resultante debe reflejar las restricciones observadas. Por ejemplo, si dos actividades requieren la misma cantidad de equipo y tienen el mismo tiempo de inicio, puede ser posible establecer tiempos de inicio programados para las dos actividades de tal forma que no se interfieran entre sí. Claro que esto dependerá en gran medida de cómo se ordenan estas restricciones respecto de las holguras de las actividades y las implicancias que los tiempos de inicio presentarían.

Una consideración adicional son la entrega y almacenamiento de los materiales. Dosificar la entrega de materiales reduce la congestión del trabajo y simplifica los esfuerzos de coordinación en campo. La demora de materiales puede también disminuir presiones sobre el proyecto cuando el espacio de almacenamiento es limitado. En la mayoría de casos es conveniente basar el flujo de ingreso de materiales respecto de las capacidades de almacenamiento y producción. En otras situaciones el proyectista enfrentará situaciones de incertidumbre inherentes al proyecto. Algunos pueden hacer frente a estas situaciones durante la ejecución del proyecto; sin embargo, la programación de obra debe ser lo más cercana a la realidad.

La selección de las fechas para la programación, por tanto, debe considerar cualquier eventualidad. Una actividad, por ejemplo, puede presentar cierto grado de incertidumbre en su realización. En este caso debe programarse en fecha tal que no perjudique a las demás actividades, o crear procedimientos adecuados para mitigar el potencial daño que produciría la materialización de la incertidumbre.

Clima y cronograma

Las consideraciones del clima u otras contingencias pueden ser tratadas de la forma aquí descrita. Las actividades dependientes del clima deben ser establecidas en el programa de tal manera que terminen lo antes posible y den paso rápidamente a las siguientes actividades. La cantidad de tiempo adicional que podría afectar a la actividad dependerá de la demora y de la extensión de la demora. Por ejemplo, según registros se sabe que el 10 % de las veces la cantidad de lluvia se excede, y dentro del período donde se realizará la actividad el evento puede ocurrir; por tanto, la duración deberá aumentarse en 10%. Esta ponderación del tiempo estimado es una técnica comúnmente usada, sobre todo cuando dentro del contrato las adversidades del clima no han sido contempladas.

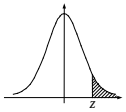
Otro método consiste en la inclusión de actividades en el cronograma llamadas “demoras por clima”. Estas actividades se colocan entre aquellas dependientes del clima. Sin embargo, la dificultad de este método es que muestra un cronograma aparentemente ajustado (menor cantidad de holguras). Si la actividad en la que se considera el clima debe adicionarse, ¿debe hacerse al comienzo de la red o al final de ésta? Esta decisión no debe ser para nada trivial o arbitraria. Si no hay un clima adverso para las fechas revistas, entonces las actividades del clima pueden situarse al final de la red; sin embargo, si el clima afecta de forma temprana, convendría colocar las actividades de clima al principio de la red.

Incertidumbre en la estimación de duraciones

La práctica común para la estimación de actividades asume que estas duraciones encajan en una particular estimación de tiempo. Mientras este enfoque es una práctica estándar, posee un defeco fundamental con la estimación. Este defecto no es fatal y puede corregirse, siempre y cuando la solución no genere un cronograma poco manejable. Sin embargo, es necesario tener una buena apreciación, sobre todo real, de las actividades del proyecto, que refleje un enfoque real de la duración. Esto, por tanto, requiere un conocimiento rudimentario de la estadística.

La siguiente tabla nos da información probabilística asociada a estimaciones en función de su desviación estándar. Los valores en la tabla muestran la cantidad de desviaciones estándar a la derecha de la media. Cuando se selecciona la media, el número de desviaciones estándar es igual a cero y el área bajo la curva equivale a 0.5 ó 50 %. Así pues, con una desviación estándar hay un 84.16 % de oportunidad para acabar a tiempo y con dos desviaciones estándar, 97.72 %.

Tabla A.1 Valores de desviaciones estándar en una curva de distribución normal.



z	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0	0,500000	0,496011	0,492022	0,488033	0,484047	0,480061	0,476078	0,472097	0,468119	0,464144
0,1	0,460172	0,456205	0,452242	0,448283	0,444330	0,440382	0,436441	0,432505	0,428576	0,424655
0,2	0,420740	0,416834	0,412936	0,409046	0,405165	0,401294	0,397432	0,393580	0,389739	0,385908
0,3	0,382089	0,378281	0,374484	0,370700	0,366928	0,363169	0,359424	0,355691	0,351973	0,348268
0,4	0,344578	0,340903	0,337243	0,333598	0,329969	0,326355	0,322758	0,319178	0,315614	0,312067
0,5	0,308538	0,305026	0,301532	0,298056	0,294598	0,291160	0,287740	0,284339	0,280957	0,277595
0,6	0,274253	0,270931	0,267629	0,264347	0,261086	0,257846	0,254627	0,251429	0,248252	0,245097
0,7	0,241964	0,238852	0,235762	0,232695	0,229650	0,226627	0,223627	0,220650	0,217695	0,214764
0,8	0,211855	0,208970	0,206108	0,203269	0,200454	0,197662	0,194894	0,192150	0,189430	0,186733
0,9	0,184060	0,181411	0,178786	0,176186	0,173609	0,171056	0,168528	0,166023	0,163543	0,161087
1	0,158655	0,156248	0,153864	0,151505	0,149170	0,146859	0,144572	0,142310	0,140071	0,137857
1,1	0,135666	0,133500	0,131357	0,129238	0,127143	0,125072	0,123024	0,121001	0,119000	0,117023
1,2	0,115070	0,113140	0,111233	0,109349	0,107488	0,105650	0,103835	0,102042	0,100273	0,098525
1,3	0,096801	0,095098	0,093418	0,091759	0,090123	0,088508	0,086915	0,085344	0,083793	0,082264
1,4	0,080757	0,079270	0,077804	0,076359	0,074934	0,073529	0,072145	0,070781	0,069437	0,068112
1,5	0,066807	0,065522	0,064256	0,063008	0,061780	0,060571	0,059380	0,058208	0,057053	0,055917
1,6	0,054799	0,053699	0,052616	0,051551	0,050503	0,049471	0,048457	0,047460	0,046479	0,045514
1,7	0,044565	0,043633	0,042716	0,041815	0,040929	0,040059	0,039204	0,038364	0,037538	0,036727
1,8	0,035930	0,035148	0,034379	0,033625	0,032884	0,032157	0,031443	0,030742	0,030054	0,029379
1,9	0,028716	0,028067	0,027429	0,026803	0,026190	0,025588	0,024998	0,024419	0,023852	0,023295
2	0,022750	0,022216	0,021692	0,021178	0,020675	0,020182	0,019699	0,019226	0,018763	0,018309
2,1	0,017864	0,017429	0,017003	0,016586	0,016177	0,015778	0,015386	0,015003	0,014629	0,014262
2,2	0,013903	0,013553	0,013209	0,012874	0,012545	0,012224	0,011911	0,011604	0,011304	0,011011
2,3	0,010724	0,010444	0,010170	0,009903	0,009642	0,009387	0,009137	0,008894	0,008656	0,008424
2,4	0,008198	0,007976	0,007760	0,007549	0,007344	0,007143	0,006947	0,006756	0,006569	0,006387
2,5	0,006210	0,006037	0,005868	0,005703	0,005543	0,005386	0,005234	0,005085	0,004940	0,004799
2,6	0,004661	0,004527	0,004397	0,004269	0,004145	0,004025	0,003907	0,003793	0,003681	0,003573

2,7	0,003467	0,003364	0,003264	0,003167	0,003072	0,002980	0,002890	0,002803	0,002718	0,002635
2,8	0,002555	0,002477	0,002401	0,002327	0,002256	0,002186	0,002118	0,002052	0,001988	0,001926
2,9	0,001866	0,001807	0,001750	0,001695	0,001641	0,001589	0,001538	0,001489	0,001441	0,001395
3	0,001350	0,001306	0,001264	0,001223	0,001183	0,001144	0,001107	0,001070	0,001035	0,001001
3,1	0,000968	0,000936	0,000904	0,000874	0,000845	0,000816	0,000789	0,000762	0,000736	0,000711
3,2	0,000687	0,000664	0,000641	0,000619	0,000598	0,000577	0,000557	0,000538	0,000519	0,000501
3,3	0,000483	0,000467	0,000450	0,000434	0,000419	0,000404	0,000390	0,000376	0,000362	0,000350
3,4	0,000337	0,000325	0,000313	0,000302	0,000291	0,000280	0,000270	0,000260	0,000251	0,000242
3,5	0,000233	0,000224	0,000216	0,000208	0,000200	0,000193	0,000185	0,000179	0,000172	0,000165
3,6	0,000159	0,000153	0,000147	0,000142	0,000136	0,000131	0,000126	0,000121	0,000117	0,000112
3,7	0,000108	0,000104	0,000100	0,000096	0,000092	0,000088	0,000085	0,000082	0,000078	0,000075
3,8	0,000072	0,000070	0,000067	0,000064	0,000062	0,000059	0,000057	0,000054	0,000052	0,000050
3,9	0,000048	0,000046	0,000044	0,000042	0,000041	0,000039	0,000037	0,000036	0,000034	0,000033
4	0,000032	0,000030	0,000029	0,000028	0,000027	0,000026	0,000025	0,000024	0,000023	0,000022
4,1	0,000021	0,000020	0,000019	0,000018	0,000017	0,000017	0,000016	0,000015	0,000015	0,000014
4,2	0,000013	0,000013	0,000012	0,000012	0,000011	0,000011	0,000010	0,000010	0,000009	0,000009
4,3	0,000009	0,000008	0,000008	0,000007	0,000007	0,000007	0,000007	0,000006	0,000006	0,000006
4,4	0,000005	0,000005	0,000005	0,000005	0,000005	0,000004	0,000004	0,000004	0,000004	0,000004
4,5	0,000003	0,000003	0,000003	0,000003	0,000003	0,000003	0,000003	0,000002	0,000002	0,000002
4,6	0,000002	0,000002	0,000002	0,000002	0,000002	0,000002	0,000002	0,000002	0,000001	0,000001
4,7	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
4,8	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
4,9	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000

Cuando las estimaciones de las diferentes actividades se consideran bajo el marco de la estadística debe quedar claro que estas estimaciones representan valores a cumplirse en su proximidad. Un contratista verá una duración de X días como un tiempo a cumplirse alrededor de X días. El cliente, por el contrario, ve una duración de X días como un tiempo que debe ser excedido.

Fundamentos de probabilidad

Las probabilidades son el estudio de la incertidumbre. La teoría de probabilidades brinda procedimientos para la cuantificación de posibilidades en varios eventos aleatorios. La probabilidad de un evento se expresa con valores entre 0 y 1. Para un evento E_i, la probabilidad $P(E_i)$ que suceda E_i es:

$$\boldsymbol{0 \leq P(E_i) \leq 1} \qquad (A_1)$$

La probabilidad total de todos los elementos es 1:

$$\boldsymbol{P(A) + P(B) + P(C) = 1} \qquad (A_2)$$

Donde A, B y C son eventos que, colectivamente, definen todas las posibilidades.

Sus aplicaciones en ingeniería tienen que ver con experimentos numéricos Una variable aleatoria se obtiene asignando un valor numérico a un evento probabilístico. Como ejemplo, la probabilidad que el proyecto termine en 10 meses es 0.4 y la probabilidad que termine en 11 meses, 0.6.

Las distribuciones de probabilidad se usan para mostrar un rango de posibles valores. La **función de probabilidad de masa** (PMF) expresa la probabilidad de un valor en un conjunto finito de valores. La PMF se usa cuando la variable es discreta.

Una **función de densidad de probabilidad** (PDF) expresa la posibilidad relativa de un valor en un conjunto infinito de valores. La PDF se usa cuando se trata de una variable continua. Hay formas de PDF para casos concretos, como triangular, uniforme, normal, lognormal, exponencial, entre otras.

La **función de distribución acumulativa** (CDF) expresa la probabilidad de ser menor o igual a cierto valor, en distribuciones discretas o continuas, como se muestra en la Figura A.1. En los párrafos siguientes se explicará acerca de los tipos de distribuciones, según el tipo de variable y según el comportamiento de ésta.

La **moda** de una distribución es el valor más común, como por ejemplo el pico de una PDF o PMF y como se muestra en la Figura A.2.

La **mediana** es el valor que representa al 50 % de la distribución. También se muestra en la Figura A.2.

La **media** es el valor ponderado promedio del conjunto de datos.

La **varianza** es la medida de dispersión de los valores con respecto a la media. Un valor alto implica datos dispersos, mientras que uno bajo, poco dispersos.

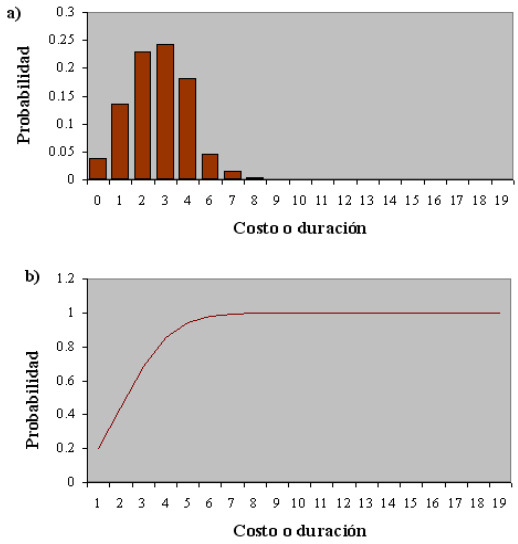


Figura A.1. Distribuciones. a) discreta; b) continua.

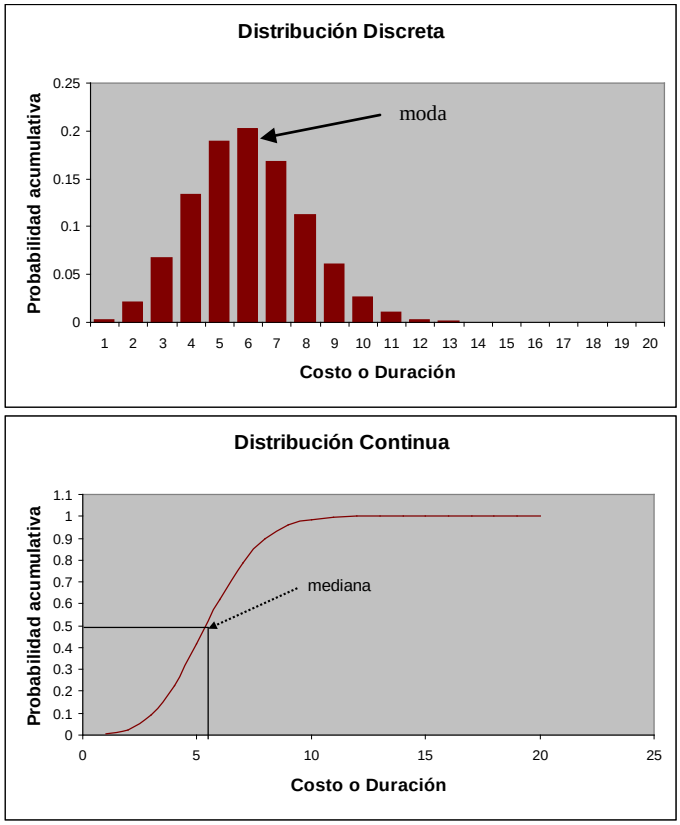


Figura A.2. Valores de moda y mediana en distribuciones discreta y continua.

La **desviación estándar** es simplemente el cuadrado de la varianza.

El **coeficiente de correlación** es la relación lineal entre dos variables cuyo rango va desde – 1.0 hasta + 1.0. Como ejemplo de correlación positiva está la demora que sufren dos proyectos debido al clima; mientras que una correlación negativa sería el movimiento del stock en el mercado con tasas de interés.

Distribuciones de probabilidad para describir impactos de riesgos

Los riesgos se expresan como distribuciones discretas o continuas dentro de ciertos rangos, con valores superiores e inferiores. Con frecuencia están simplificadas, en parte por la información suministrada para su cuantificación y limitando su precisión en función de los esfuerzos puestos en etapas anteriores del proceso. Por ejemplo, se dispone de la ocurrencia de un evento, digamos la falla del suelo, que cuesta y causa demoras en un proyecto de construcción con condicione de suelo similares al del propietario. Pero sería difícil, aún con la información disponible, estimar una distribución específica para el evento en el proyecto del propietario. Sin embargo, sería una evaluación valiosa. Las distribuciones simples son más fáciles de entender y aceptar como aproximaciones razonables de eventos que podrían ocurrir. Esto es especialmente importante si la identificación y cuantificación de riesgos e lleva a cavo por un panel expertos o un grupo de trabajo con varios integrantes. Estos expertos deben tener la capacidad de estimar los valores más óptimos, más probables o pesimistas para determinadas situaciones.

Las distribuciones de probabilidad son simplemente una manera de mostrar este detalle y se prestan, por sí mismas, al análisis estadístico. El tipo de distribución a usar debe ser aquella que mejor refleje los impactos del riesgo.

Tipos de distribuciones

Distribución Discreta. Representa el caso donde los resultados se consideran probables con variables enteras. Quizás lo meses de demoras causadas por el incumplimiento en el plazo para resolver impases contractuales. El gráfico superior de la Figura 1.7 muestra una distribución discreta.

Distribución Uniforme. Representa el caso donde máximo y mínimo pueden ser probabilidades; sin embargo, cualquier variable dentro del rango tiene la misma probabilidad. En otras palabras, debido a la falta de información o por la naturaleza del evento, el análisis no tiene preferencias dentro del máximo y mínimo. Por ejemplo, la demora producida por un factor entre uno y seis meses. En este caso el analista no puede ser más específico debido a la falta de información acerca de la naturaleza en la demora.

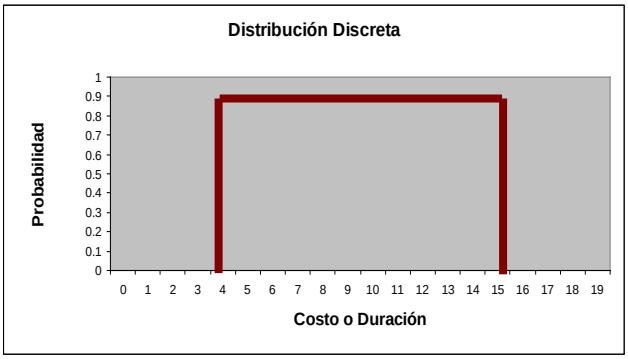


Figura A.3. Distribución discreta uniforme.

Distribución Triangular. Se espera el valor más probable dentro de dos puntos extremos, por tanto es muy útil para modelar riesgos. En la Figura A.4 se muestra una distribución triangular.

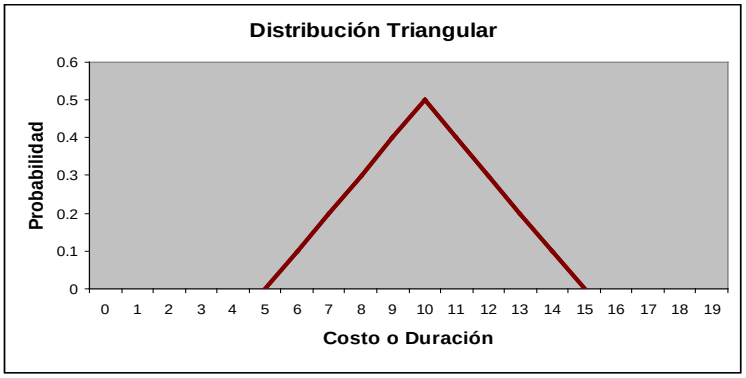


Figura A.4. Distribución triangular

Distribuciones Continuas. Representan toda la cantidad de probabilidades para los impactos de riesgos. Distribuciones como las que se muestran en la Figura A.5, A y C están sesgadas hacia la derecha, representando una característica común en los impactos del riesgo: hay una probabilidad muy baja que puede tener impactos extremos. Por ejemplo, durante la perforación de un túnel, si la perforadora encuentra un estrato no previsto, la producción se reduce aumentando los costos considerablemente.

Los valores esperados para los impactos por riesgo, o las demora o costo promedio si el riesgo ocurre, se calculan mediante herramientas de probabilidad. La estimación representa el impacto de un evento de riesgo sobre componentes afectados. Más de un evento de riesgo puede afectar costo o duración para los componentes del proyecto. Los impactos en el cronograma dependen en cómo afecten los impactos sobre las actividades de la ruta

crítica. Si no es así, el incremento asociado al riesgo se trasladará a la duración total del proyecto.

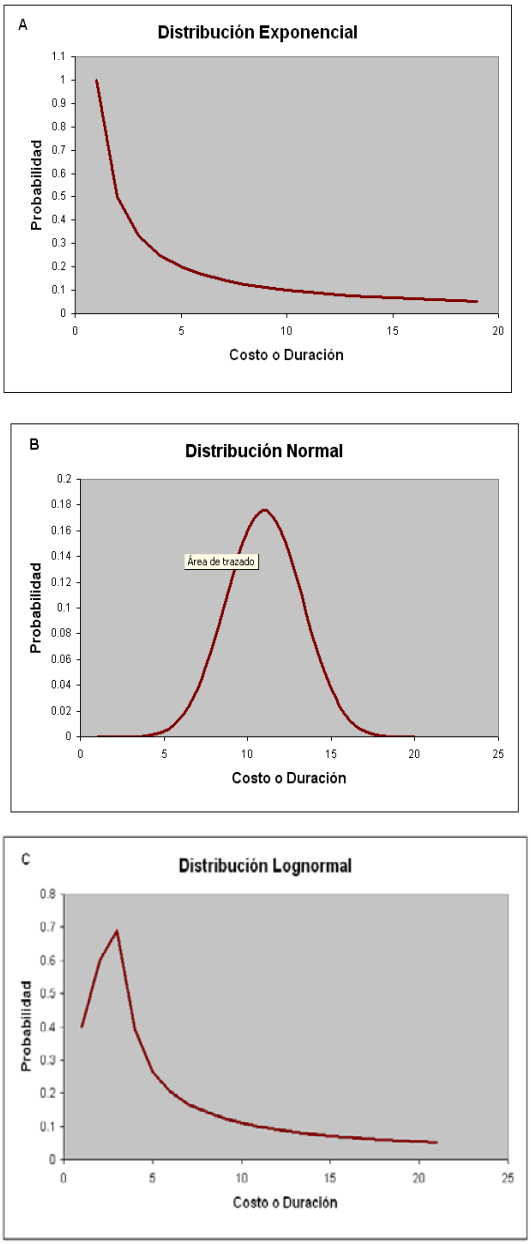


Figura A.5. Distribuciones continuas: A, exponencial; B, normal; C, log – normal.

Anexo B

Métodos de programación de obra

Métodos de programación de obra

Los métodos más usados para programación de obra son la Ruta Crítica (CPM) y el PERT. Desde que ambos están basados en estructuras estáticas, es aparente que ante cualquier cambio en la lógica de trabajo, se necesitaría una red adicional (redes múltiples se requieren para modelar cambios en los escenarios, donde hay tareas de contingencia discretas).

La duración requerida del proyecto en cada escenario se evalúa usando una red por separado. Los resultados, si son determinísticos usando CPM o probabilísticos debido al PERT, se pueden usar para evaluar la oportunidad que se logre el término en la fecha establecida. Usando este enfoque, es posible establecer analíticamente el tiempo factible del proyecto. Sin embargo, las limitaciones del CPM es que no considera la incertidumbre debido a las condiciones de trabajo; por tanto, la evaluación de riesgos no siempre es suficientemente precisa. Por otro lado, PERT, como método simplificador, ignora la oportunidad de cambio en ruta crítica dentro de la red, tendiendo a subestimar la duración requerida. Es más, si hay actividades desconocidas que necesitan ser incluidas, la proliferación de redes puede ser un problema.

Método de la ruta crítica

El método de la ruta crítica o CPM pone atención a las relaciones entre las actividades críticas del proyecto. La evaluación de estas actividades, que controlan la duración, permite determinar el tiempo que tomará la realización del proyecto. Debido al tamaño y a la complejidad de la mayoría de proyectos de construcción, el CPM es mayormente aplicado usando softwares de computadora.

El uso del CPM para el desarrollo de un cronograma requiere de una detallada investigación de todas las tareas identificables para realizar el proyecto. Esto significa que el gerente de obra debe visualizar el proyecto desde el principio hasta el final, y debe estimar el tiempo y recursos para cada tarea. Entre las ventajas que tiene CPM tenemos las siguientes:

- Reduce el riesgo de pasar por alto las actividades esenciales y provee un diseño a largo plazo del proyecto.
- Enfoca al gerente de obra sólo en las tareas esenciales para la culminación del proyecto.

- Genera información del proyecto, por lo que el gerente de obra puede tomar decisiones en caso de aparecer una complicación durante el proyecto.

- Brinda la facilidad para determinar fácilmente qué recursos se necesitan para terminar el proyecto y cuándo éstos deberían estar disponibles.

- Permite determinar rápidamente los recursos que hacen falta para culminar una actividad antes de lo planeado.

- Brinda retroalimentación (feedback) acerca del proyecto que mejora la capacidad de estimación y planeamiento para proyectos futuros.

El CPM no es un método sustituto para el conocimiento de la construcción y el planeamiento, en el sentido que no toma decisiones por el gerente de obra. La gran desventaja de este método es que con programas de computadora modernos es posible para cualquiera construir un cronograma que parezca razonable. Desafortunadamente, no hay manera de diferenciar si un cronograma es físicamente realizable o solamente un atractivo cuadro de barras cuando se le aprecia. Con frecuencia, no hay lógica interna, y por tanto el cronograma es inútil para medir el progreso y control de la obra.

PERT

El PERT es un método que nació alrededor de los años 50 como herramienta de gestión para el proyecto de los sistemas de misiles Polaris. La premisa general de este método es que el enfoque de las duraciones representa incertidumbre y por lo tanto, se pueden modelar como variables aleatorias en lugar de valores determinísticos. Entonces cada actividad puede modelarse como una función de probabilidad. Debido a que la duración total del proyecto se calcula como una variable aleatoria, cualquier duración está asociada a una probabilidad. Es decir, que si con el CPM se tenía una duración X, con PERT se tiene la probabilidad P(X) de terminar el proyecto en X períodos.

La estimación de duraciones es la principal causa de incertidumbre en la actividad y PERT modela estas actividades como rangos en lugar de valores puntuales. Para estos se utiliza la estimación triple de tiempo: estimación optimista (b), el valor más probable (c) y el valor pesimista (a); cuyas definiciones numéricas equivalen al 5%, la moda y 95% de los valores en la función acumulativa de probabilidades, respectivamente.

La distribución que se usa para este método es la beta, debido a que tiene la flexibilidad de modelar varias formas de distribución. Los parámetros estadísticos de esta distribución son la media (t_e), desviación estándar (σ_t) y la varianza (var(t)):

$$t_e = \frac{a + 4m + b}{4} \qquad (B_{1)}$$

$$\sigma_t = \frac{b - a}{3.2} \qquad (B_2)$$

$$\text{var}(t) = \left(\frac{b - a}{3.2} \right)^2 \qquad (B_3)$$

Cuando las actividades son modeladas con la distribución beta, la duración total del proyecto siempre está normalmente distribuida. Esto se debe a que ésta es la suma de los componentes o actividades en la cadena crítica.

De acuerdo con el teorema del límite central, si el número de actividades es mayor a 10 entonces la duración está normalmente distribuida. Además, la suma de n variables aleatorias independientes es una variable independiente que sigue una distribución normal. Por lo tanto, la duración del proyecto será la suma de la duración de sus componentes críticos: la media de la distribución sería la suma de las media críticas de las actividades; la varianza, la suma de las varianzas críticas de las actividades.

Obsérvese que el teorema del límite central funciona adecuadamente cuando las variables aleatorias son independientes. Es por eso que el enfoque debe ser procurando la independencia entre las actividades. Es decir, que la información acerca de la duración de una actividad no debe cambiar la percepción de cualquier duración de otra actividad.

Un problema que presenta este método es la aparición de vicios de cálculo. Cuando se tiene una actividad sobre la que convergen dos redes y una es la crítica sucede un fenómeno interesante, ya que si la varianza de la ruta crítica es parecida a la varianza de la no crítica se podría cambiar la ruta crítica, un hecho que el método no contempla

Diagramas de precedencia

Los diagramas de precedencia son una extensión de la actividad del método de programación por nodos. Permite la superposición de las actividades concurrentes. La

mayoría de softwares para programación permite el uso de diagramas de precedencia. Sus ventajas son las siguientes:

- Las actividades concurrentes pueden modelarse fácilmente sin dividir las actividades de trabajo en actividades discretas.
- El flujo de trabajo de las operaciones continuas está mejor presentado.

Los términos lag y lead se usan para describir la cantidad de tiempo entre el inicio y el final de la actividad predecesora o sucesora. El lag es el tiempo que una actividad demora desde el inicio hasta el final de su predecesor. El lead es el tiempo que la actividad precede el inicio o final del sucesor. Las cuatros relaciones de precedencia son:

- ***Final – principio.*** Implica que la actividad sucesora no podrá comenzar hasta que se culmine la actividad predecesora.
- ***Principio – principio.*** Las actividades sucesoras pueden comenzar luego que parte de las predecesoras se ha realizado.
- ***Final – final.*** La actividad sucesora termina cuando termina la actividad predecesora.
- ***Principio – final.*** La actividad sucesora termina cuando la predecesora comienza. La mayoría de softwares de cronograma no hacen este tipo de relaciones, probablemente por el hecho que otra relación permite la modelación adecuada del proceso[1].

[1] Jimmie Hinze, *Construction Planning and Scheduling*, segunda edición, Pearson – Percentice Hall, 2004. Clifford J. Schexnayder y Robert E. Mayo, *Construction Management Fundamentals*, McGraw – Hill, 2004.

Anexo C

Resultados de la etapa de Evaluación y Balance para el cronograma de obra

Tabla C.1. Determinación del índice de complejidad del proyecto.

Cuestionario para determinar la complejidad de proyectos de construcción			
Proyecto: Construcción de auditorio con estructuras metálicas	**Código:**		
Factor (descripción abreviada)	**Valor**	**Peso**	**v*p**
Entorno: complejidad directa			
Variedad de conflicto socio - políticos que afectan al proyecto e interrelación entre éstos.	0	3	0
Diversidad en interrelación de la legislación y normativa aplicable.	0	1	0
Diversidad de elementos de la construcción que implican impacto medioambiental.	0.5	1	0.5
Diversidad de impactos medioambientales.	0.5	1	0.5
Diversidad de competidores para quien acomete el proyecto.	0	1	0
Diversidad de problemas con origen en la localización del proyecto.	0	1	0
Diversidad de accesos, abastecimiento de energía, campamentos, oficinas, almacenes, entre otros.	0	1	0
Entorno: complejidad indirecta			
Intensidad de los conflictos socio - políticos que afectan al proyecto y su nivel de presión e incertidumbre que añaden.	0	3	0
Nivel de experiencia de la legislación y normativa que afectan al proyecto.	0	1	0
Preocupación en materia ambiental existente y nivel de presión ejercido sobre el proyecto.	0	3	0
Grado de competitividad de los diversos competidores.	0	3	0
Necesidad de repuestas rápidas ante condiciones cambiantes.	0	3	0
Períodos económicos muy cortos, grandes oscilaciones en los mercados, inestabilidad general.	0	3	0
Sistema a construir: complejidad directa			
Gran cantidad de unidades de obra diferentes interrelacionadas entre sí.	0.5	2	1
Gran cantidad de productos a fabricar por la planta o de servicios a prestar por el complejo que se construye.	1.5	2	3
Instalaciones importantes a integrar en construcciones ya existentes sin detener su funcionamiento.	2	2.5	5
Existencia de proyectos con heterogeneidad, relativa a diferencias de tamaño, urgencia y/o tecnología.	0	2	0
Sistema a construir: complejidad indirecta			
Criticidad de la necesidad de integración de la nueva instalación en la existentes y la de no interrupción.	0.5	3	1.5
Ciclos de vida muy cortos de los productos a fabricar del proyecto o los servicios a prestar.	0	2	0
Problemática fuera de lo habitual en construcciones atípicas (organizativa y técnica).	1	2	2
Técnica y tecnología: complejidad directa			
Muchas disciplinas científicas, técnicas y tecnológicas implicadas e interrelacionadas.	1	2	2
Alto grado de interrelación entre las disciplinas tecnológicas de diseño y ejecución.	1.5	2.5	3.8
Necesidad de muchos procesos diferentes en el diseño y cálculo y en la construcción.	2	2	4
Necesidad que los procesos de diseño y/o ejecución sean repetitivos o cíclicos.	2	2.5	5
Diversidad de las instalaciones u/o equipos para el diseño y la construcción.	1	2	2
Técnica y tecnología: complejidad indirecta			
Necesidad de investigación y/o desarrollo, implicación de nuevas tecnologías.	1	3	3
Implicación de alta tecnología.	0	1	0
Gran incertdumbre tecnlógica en proyectos de larga duración (≥5 años) con tecnologías de rápida obselescencia.	0	3	0
Grado insuficiente de desarrollo o de conocimiento de los métodos para el diseño o la construcción.	1	3	3
Organización: complejidad directa			
Múltiples localizaciones o localizaciones muy extensas (gaseoductos, oleoductos).	0	1.5	0
Desarrollo simultáneo de otros proyectos con una cierta complejidad e interrelación entre los diversos proyectos.	0	1.5	0
Alto grado de compartimentación horizontal corporativa con influencia en el proyecto.	0	3	0
Necesidad de varias estructuras organizativas para el proyecto a lo largo de su ciclo de vida.	0	2	0
Diversidad de partes interesadas (estructura de la propiedad, accionariado, patrocinadores, socios, etc.)	0	3	0
Muchas personas instituciones o empresas en cada una de las anteriores categorías o partes interesadas.	0	3	0
Implicación de una gran cantidad de instituciones públicas o privadas en la toma de decisiones.	0	3	0
Diferenciación vertical: muchos niveles jerárquicos (empresas públicas, administración) que afectan al proyecto.	0	3	0
Diversidad de propietarios en caso de grande expropiaciones o compras de terrenos.	0	1.5	0
Diversidad de presupuestos a utilizar para el proyecto (presupuestos internos y/o diferentes entidades financieras).	0.5	1	0.5
Organización: complejidad indirecta			
Gran tradición jerárquica de las principales organizaciones del proyecto, falta de flexibilidad o escasa flexiblidad.	0	2	0
Incertidumbre sobre el comportamieno real de las diferentes estructuras organizativas necesarias para el	0	2	0

proyecto.			
Proyectos de importancia acometidos por organizaciones no orientadas al proyecto y sin apoyo externo.	0	3	0
Proyectos de construcción que implican cambios organizativos.	0	3	0
La orientación del cliente en el proyecto es crítica.	0	1	0
Proyecto con grandes solapes entre ingeniería, compras, ejecución, puesta en marcha y pruebas.	1	2.5	2.5
Condiciones organizativas cambiantes de la principales empresas o instituciones participantes.	0	2.5	0
Contratación que maximiza la rivalidad entre las partes, desiquilibrio en le reparto de los riesgos del proyecto.	0	3	0
Asociaciones temporales o alianzas estratégicas con escaso tiempo para la planificación.	0	2.5	0
Objetivos del proyecto: complejidad directa			
Gran variedad de objetivos y/o condicionantes a éstos, además de los tradiocionales.	0	2	0
Niveles de interrelación entre los objetivos del proyecto más altos de lo habitual.	0	2	0
Objetivos del proyecto: complejidad indirecta			
Largos períodos de gestación y duración del proyecto.	0	3	0
Largos períodos de recuperación del proyecto.	0	3	0
Recursos limitados en proyectos ambiciosos.	0.5	1.5	0.8
Proyectos de muy alto costo.	0.5	3	1.5
La necesidad de cumplir los objetivos de alcance, funcionalidad, prestaciones y calidad es crítica.	1	2	2
La necesidad de cumplir los objetivos de plazo es crítica.	0.5	2	1
La necesidad de cumplir los objetivos de costo es crítica.	1.5	2	3
Falta de flexibilidad en el intercambio entre objetivos, todos ellos son críticos.	0	3	0
Grado insuficiente de definición de los objetivos del proyecto y la jerarquización entre ellos.	0	3	0
Información del proyecto: complejidad directa			
Necesidad de gran cantidad de datos y obtención de gran cantidad de resultados.	0	1	0
Necesidad de una gran variedad de estudios técnicos y económicos.	0.5	1	0.5
Necesidad de adquirir una gran variedad de información para cada tipo de estudio.	0	1	0
Información del proyecto: complejidad indirecta			
Necesidad de adquirir información a gran velocidad para el proyecto.	0	1.5	0
Altos niveles de incertidumbre de la información.	0	3	0
Cutura: complejidad directa			
Diferencias culturales de cualquier tipo (hábitos, costumbres, prácticas, estilo de vida, lenguaje, etc.).	0	2	0
Diferencias en la cultura empresarial en el caso de alianzas estratégicas o de asociaciones temporales.	0	2	0
Necesidad de un alto grado de interacción entre personas con diferencias culturales.	0	2	0
Cutura: complejidad indirecta			
Medios escasos para acomodar y dismunuir diferencias culturales.	0	2	0
Falta de conocimiento o dedicación a la neutralización de diferencias culturales.	0	2	0
Total de complejidad directa			28
Total de complejidad indirecta			20
Índice de complejidad			48

Tabla C.2 Lista de identificación de riesgos para la construcción del auditorio.

Riesgo	Ocurrencia
Factibilidad del Proyecto	
Factibilidad Técnica	x
Viabilidad a largo plazo	
Circunstancias políticas	
Financiamiento	
Fuentes de financiamiento	x
Inflación y tasas de crecimiento	
Precisión de costos y análisis de contingencias	x
Tipo de cambio	
Apropiaciones	
Planeamiento	
Alcance	
Complejidad del proyecto	x
Restriciones técnicas	x
Materiales exclusivos o servicio de proveedores	x
Proceso constructivo	x
Fechas hito	
Reajuste para completar el proyecto	x
Sincronización entre el trabajo y cronograma de pagos	x
Ingeniería	
Estándares y performance del diseño	x
Datos poco confiables	
Diseño incompleto	
Responsabilidad por el diseño	
Tipo de contrato	
Suma alzada	
Precios unitarios	x
Precio de costo más beneficios	
Máxima garantía	
Acuerdos contractuales	
Diseño - Construcción	x
Riesgos compartidos	
Acuerdo con uno o más contratistas	
Diseño - construcción - operación - transferencia	
Diseño - construcción - operación - mantenimiento	
CMGC (gerente de construcción/contructor general)	
Condiciones de Negocios Locales	
Número de postores	
Carga de trabajo de contratistas locales	
Confiabilidad del Contratista	
Capacidad	x
Aptitud	x
Solvencia	x
Implicación del cliente	
Gerencia del proyecto	x

Abastecimiento de material	
Pruebas e inspecciones	x
Programas de seguridad	x
Problemas de comunicación	
Comienzo de las operaciones	
Condiciones de regulación	
Licencias, permisos, aprobaciones	
Requerimientos y regulaciones ambientales	
Impuestos y obligaciones	
Actos de Dios	
Tormentas	
Terremotos	
Innundaciones	
Incendios	
Sitio	
Accesos y salidas	x
Congestión	
Condiciones del suelo	x
Agua	
Servicios (existentes y nuevos)	x
Restos arqueológicos	
Desechos peligrosos	
Ruido, humo, polvo	x
Estructuras contiguas	x
Seguridad	x
Interrupciones para el público	x
Infraestructura adecuada para el personal	x
Topografía/ drenage/ tráfico	
Mano de Obra	
Productividad	x
Huelgas	x
Sabotajes	x
Disponibilidad	
Etica de trabajo/ estándares de productividad	x
Escalas en los salarios	
Abuso de sustancias	
Sindicatos	
Compesación a los trabajadores	
Niveles de habilidad	x
Pérdidas o daños	
Responsabilidades del cliente	
Responsabilidades del contratista	x
Responsabilidades del ingeniero	
Accidentes	x
Reclamos de terceros	
Reclamos del cliente	x
Garantías	
Cronograma	x

Pérdidas críticas	
Compensación por daños	
Tamaño del proyecto	
Area física	x
Población - trabajo manual total e individual	
Claúsulas desfavorables del contrato	
Condiciones de sitio diferentes	
Exención de responsabilidades	
Sin daños por demoras	
Sin subsidios por pérdidas de fuerza mayor	
No responsabilidad por variaciones en las cantidades	
Factores de área	
Geografía/ geología/ altitud	
Condiciones económicas del área	
Ayuda médica, de bomberos y policía	
Medios y vías de comunicación	
Otra infraestructura de ayuda (hospedaje, etc)	
Clima	
Patrones normales de clima	
Potencial de clima extremo	x
Moneda	
Costos de licitación vs. potencial de buena pro	
Indices de costo por área	
Holguras en los pagos	x
Retenciones	
Tiempo importante no presupuestado	
Sobrecostos	x
Penalidades reguladoras	
Habilidad en el desempeño	
Familiaridad con el tipo de trabajo	x
Disponibilidad y calificación del personal clave	x
Conocimiento del área	
Calidad del diseño	x
Disponibilidad para el trabajo cuando se requiere	
Necesidades de trabajo o licencias	
Factores de tiempo	
Disponibilidad de días normales de trabajo	x
Paralizaciones potenciales de otras partes	
Factores del cliente	
Interferencias	x
Expectativas de calidad	x
Diligencia para cumplir con sus obligaciones	
Cambio en las políticas de gerencia	
Factores del contratista - acabados	
Variación en las cantidades	
Calidad	x
Incertidumbres en la entrega	x
Limitaciones de gestión impuestas en el contrato	

Potencial de basura en uso	
Factores de equipos de construcción	
Disponibilidad	x
Costo	
Daño o pérdida	
Cuidado y exposición de custodia	
Instalaciones para la construcción	x
Almacén de materiales, equipos, etc.	x
Total riesgos	50

Tabla C.3. Riesgos agrupados según los componentes principales del proyecto.

Componente	Riesgo
Trazo y replanteo	Pruebas e inspecciones
Moviento de tierras	Precios unitarios Pruebas e inspecciones Accesos y salidas Servicios (existentes y nuevos) Ruido, humo, polvo Interrupciones para el público Infraestructura adecuada para el personal Productividad Cronograma Holguras en los pagos Sobrecostos Instalaciones para la construcción
Obras de concreto	Factibilidad Técnica Fuentes de financiamiento Precisión de costos y análisis de contingencias Restricciones técnicas Proceso constructivo Reajuste para completar el proyecto Sincronización entre el trabajo y cronograma de pagos Estándares y performance del diseño Precios unitarios Capacidad del contratista Aptitud del contratista Solvencia del contratista Gerencia del proyecto Pruebas e inspecciones Programas de seguridad Accesos y salidas Agua Servicios (existentes y nuevos) Estructuras contiguas Interrupciones para el público Infraestructura adecuada para el personal Productividad Huelgas Sabotajes Ética de trabajo/ estándares de productividad Niveles de habilidad Responsabilidades del contratista

	Responsabilidad del contratista en caso de accidentes Reclamos del cliente Área física Potencial de clima extremo Holguras en los pagos Sobrecostos Familiaridad con el tipo de trabajo Disponibilidad y calificación del personal clave Calidad del diseño Interferencias Expectativas de calidad Calidad (acabados) Incertidumbres en la entrega (acabados) Instalaciones para la construcción Almacén de materiales, equipos, etc. Condiciones del suelo
Estructura metálica	Fuentes de financiamiento Precisión de costos y análisis de contingencias Complejidad del proyecto Restricciones técnicas Materiales exclusivos o servicio de proveedores Proceso constructivo Reajuste para completar el proyecto Sincronización entre el trabajo y cronograma de pagos Estándares y performance del diseño Precios unitarios Diseño - Construcción Capacidad (contratista) Aptitud (contratista) Solvencia (contratista) Gerencia del proyecto Pruebas e inspecciones Programas de seguridad Factibilidad Técnica Accesos y salidas Servicios (existentes y nuevos) Ruido, humo, polvo Estructuras contiguas Seguridad Interrupciones para el público Infraestructura adecuada para el personal Productividad

	Huelgas Sabotajes Ética de trabajo/ estándares de productividad Niveles de habilidad Responsabilidades del contratista (pérdidas o daños) Accidentes (pérdidas o daños) Reclamos del cliente (pérdidas o daños) Cronograma Área física Holguras en los pagos Sobrecostos Familiaridad con el tipo de trabajo Disponibilidad y calificación del personal clave Calidad del diseño Disponibilidad de días normales de trabajo Interferencias Expectativas de calidad Calidad (acabados) Incertidumbres en la entrega (acabados) Disponibilidad (equipos de construcción) Instalaciones para la construcción Almacén de materiales, equipos, etc.
Carpintería de madera	Pruebas e inspecciones Niveles de habilidad Expectativas de calidad (cliente) Calidad (contratista)
Instalaciones eléctricas	Pruebas e inspecciones Niveles de habilidad Expectativas de calidad (cliente) Calidad (contratista)

Resultados de la evaluación considerando el cronograma con riesgos

Tabla C.4. Modelo para el cronograma con riesgos e impactos

Item	Actividad	Precondición de la actividad	Ocurrencia	Duración de la actividad	Precedencia	Tiempo de inicio (días)	Tiempo de término (días)
1	**Obras Preliminares**						
2	Almacén de obra		1	3		0.0	3.0
3	Cerco perimétrico en el sitio de construcción		1	3	2CC+2 días	2.0	5.0
4	**Movimiento de Tierras**						
5	Nivelación y replanteo		1	3	2CC	0.0	3.0
6	Tala de árboles		1	1.5	5CC	0.0	1.5
7	Movilización de equipo		1	1	6	1.5	2.5
8	Corte con maquinaria		1	0.5	7	2.5	3.0
9	Conformación de subrasante		1	3	8CC	2.5	5.5
10	Relleno con material seleccionado/ compactado		1	1	9	5.5	6.5
11	**Cimentación Adecuada para el proyecto**						
12	Sistema de cimentación adecuada para el terreno		1	10	10	6.5	16.5
13	Elementos de sujeción provisionales para sistemas de anclaje de columnas		1	2	12	16.5	18.5
14	Curado de sistema de cimentación especial		1	5	12CC+3 días	9.5	14.5
15	**Instalaciones eléctricas**						
16	Salida para centros de luz		1	2	89	127.7	129.7
17	Salida para tomacorrientes		1	2	16	129.7	131.7
18	Postes metálicos de 3" de diámetro		1	2.5	19	127.7	130.2
19	Salida para poste metálico		1	3	16CC	127.7	130.7
20	Subestación o acometida eléctrica		1	10		0.0	10.0
20.1	Pruebas e inspecciones		0				
20.2	Corrección de imperfecciones	1	1	1.166666667	20.2	10.0	11.2
21	Puesta a tierra		1	2	20	11.2	13.2
22	**Losa de concreto**						
22.1	Sindicatos (huelgas)		0				
22.2	Paralización de la obra	1	1	3.333333333	22.1	14.5	17.8
23	Encofrado tipo damero para losa de concreto		1	6	14CC	17.8	23.8
24	Dados separadores		1	2	23FF+1 día	22.8	24.8

25	Colocación de malla electrosoldada primera etapa		1	4.5	24	24.8	29.3
26	Vaciado de concreto f'c = 175 kg/cm2 para losa de concreto - primera etapa		1	4	25	29.3	33.3
27	Curado de losa - primera etapa		1	5	26CC+1 día	30.3	35.3
28	Colocación de malla electrosoldada - segunda etapa		1	4.5	26	33.3	37.8
29	Vaciado de concreto f'c = 175 kg/cm2 para losa de concreto - segunda etapa		1	4	28	35.3	39.3
30	Curado de losa - segunda etapa		1	5	29CC+1 día	36.3	41.3
31	Vaciado de concreto f'c = 175 kg/cm2 para losa de concreto - tercera etapa		1	4	29	39.3	43.3
32	Curado de losa - tercera etapa		1	5	31CC+1 día	40.3	45.3
33	Desencofrado tipo damero para losa de concreto		1	5.5	30FF+1 día	36.8	42.3
34	Acabado de cemento pulido para losa de concreto		1	19	27	35.3	54.3
35	Sellado de juntas para losa de concreto		1	2	34FF+2 días	54.3	56.3
36	**Veredas**						
37	Encofrado de veredas		1	4	33CC	36.8	40.8
38	Vaciado de concreto f'c = 175 kg/cm2 para veredas		1	2	37	40.8	42.8
39	Curado de veredas - primera etapa		1	5	38CC+1 día	41.8	46.8
40	Vaciado de concreto f'c = 175 kg/cm2 para veredas		1	2	38	42.8	44.8
41	Curado de veredas - segunda etapa		1	5	40CC+1 día	43.8	48.8
42	Desencofrado de veredas		1	3.5	41CC+3 días	46.8	50.3
43	Sellado de juntas para veredas		1	0.5	42	50.3	50.8
44	Acabado cemento pulido para veredas		1	3	42CC+3 días	49.8	52.8
45	**Rampas y escaleras**						
46	Relleno con material propio para rampas y escaleras		1	0.5	10CC	5.5	6.0
47	Relleno con material de préstamo para rampas y escaleras		1	0.5	46	6.0	6.5
48	Encofrado de escalera y rampas		1	15	42	50.3	65.3
49	Colocación de dados separadores para escaleras		1	1	48	65.3	66.3
50	Colocación de acero fy = 4200 kg/cm2 para escaleras		1	1	49	66.3	67.3

51	Vaciado de concreto f'c = 175 kg/ cm2 escalera		1	1	50	67.3	68.3
52	Curado de escalera		1	5	51CC+1 día	68.3	73.3
53	Acabado de cemento pulido para escalera		1	1	52	73.3	74.3
54	Vaciado de concreto f'c = 175 kg/ cm2 para descanso de escalera		1	0.5	51	68.3	68.8
55	Curado de descanso de escalera		1	5	54	68.8	73.8
56	Acabado de descanso de escalera		1	1	55	73.8	74.8
57	Vaciado de concreto f'c = 175 kg/ cm2 para rampa		1	1	54	68.8	69.8
58	Curado de rampa		1	5	57	69.8	74.8
59	Acabo de rampa - cemento pulido		1	1	58	74.8	75.8
60	Desencofrado de escalera y rampa		1	4	58FF	70.8	74.8
61	**Estructura metálica**						
61.1	Fuentes de Financiamiento		0				
61.2	Paralización total de la obra	1	1	3	61.1	54.3	57.3
62	Montaje de encofrado metálico		1	7	34FC+2 días	56.3	63.3
63	Fabricación de columnas		1	11		0.0	11.0
64	Montaje de columnas		1	5.5	62CC,21,63	56.3	61.8
65	Fabricación de viga VR		1	15		0.0	15.0
66	Montaje de viga VR		1	6	64,65	61.8	67.8
67	Fabricación de arcos E		1	15		0.0	15.0
68	Montaje de arcos E		1	14	66CC,67	61.8	75.8
69	Fabricación de Arcos AB		1	60		0.0	60.0
69.1	Familiaridad con el tipo de trabajo		1				
69.2	Supervisión adicional en la fabricación de los arcos	0	1	0	69.1	60.0	60.0
69.3	Complejidad		1				
69.4	Demora en la entrega de arcos	0	1	0	69.3	60.0	60.0
70	Montaje de arcos AB		1	40	69	60.0	100.0
70.1	Incertidumbre en la entrega		1				
70.2	Retraso en el montaje	0	1	0	70.1	100.0	100.0
70.3	Accidentes		1				
70.4	Paralización parcial de la obra	0	1	0	70.3	100.0	100.0
70.5	Cronograma		0				
70.6	Adicionales de plazo	1	1	8.666666667	70.5	100.0	108.7
71	Fabricación de canaleta semicircular		1	5	63CC	0.0	5.0
72	Instalación de canaleta semicircular		1	5	71,66	67.8	72.8
73	Fabricación de viguetas V1		1	10	67	15.0	25.0

74	Montaje de viguetas V1		1	11	70FF+4 días,73	97.7	108.7
75	Fabricación de viguetas V2		1	10	73CC	15.0	25.0
76	Montaje de viguetas V2		1	14	70FF+4 días,75	94.7	108.7
76.1	Accidentes		1				
76.2	Paralización parcial de la obra	0	1	0	76.1	108.7	108.7
77	Fabricación de arriotres diagonales		1	5	75CC	15.0	20.0
78	Montaje de arriostres diagonales		1	11	76CC,77	94.7	105.7
79	Fabricación de arriostres en "x"		1	7	77CC	15.0	22.0
80	Montaje de arriostres en "x"		1	11	76CC,79	94.7	105.7
81	Fabricación de arcos P		1	20	75	15.0	35.0
82	Montaje de arcos P		1	8	76FF+4 días,81	104.7	112.7
82.1	Accidentes		1				
82.2	Paralización parcial de la obra	0	1	0	82.1	112.7	112.7
83	Fabricación de viguetas VP1		1	6	81CC	15.0	21.0
84	Montaje de viguetas VP1		1	4	82FF,83	108.7	112.7
84.1	Accidentes		1				
84.2	Paralización parcial de la obra	0	1	0	84.1	112.7	112.7
85	Fabricación de viguetas VP2		1	6	83CC	15.0	21.0
86	Montaje de viguetas VP2		1	1.5	84FF,85	111.2	112.7
86.1	Accidentes		1				
86.2	Paralización parcial de la obra	0	1	0	86.1	112.7	112.7
87	Colocación de cobertura de aluminio		1	45	76CC	108.7	153.7
87.1	Accidentes		1				
87.2	Paralización parcial de la obra	0	1	0	87.1	153.7	153.7
88	**Carpintería y tabiquería**		1				
89	Colocación de superboard de 4x8x12 mm		1	15	86	112.7	127.7
89.1	Expectativas de calidad del cliente		1				
89.1	Corrección de imperfecciones	0	1	0	89.1	127.7	127.7
90	Confección de puertas contraplacadas de madera		1	9	89CC	112.7	121.7
91	Instalación de puertas contraplacadas de madera		1	1.5	90FC+1 día	121.2	122.7

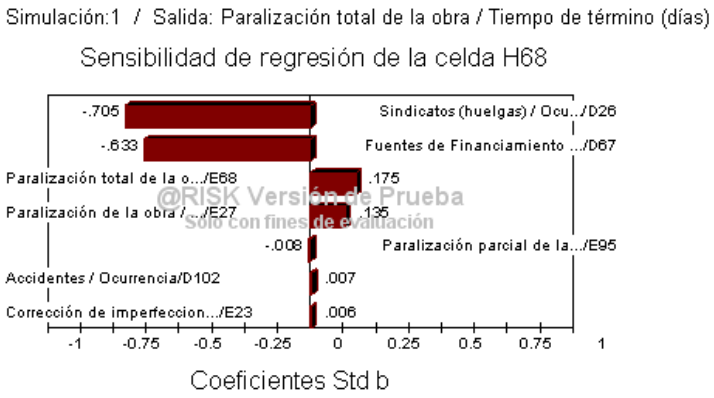


Figura C.1. Diagrama de tornado para el impacto Paralización total de la obra, debido al riesgo Fuentes de Financiamiento.

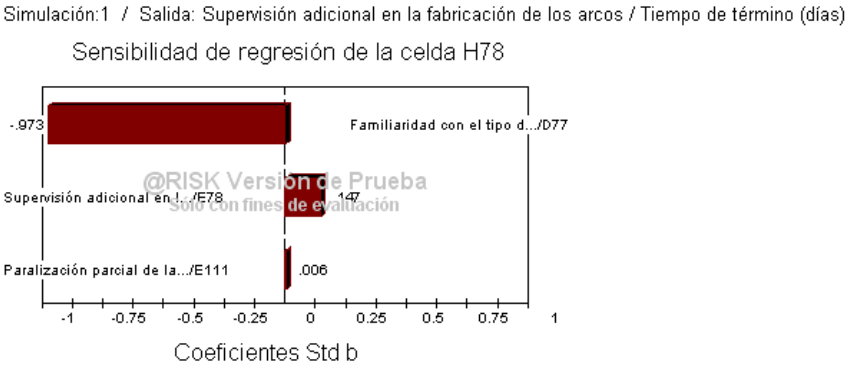


Figura C.2. Diagrama de tornado para el impacto producido por el riesgo Familiaridad con el tipo de trabajo.

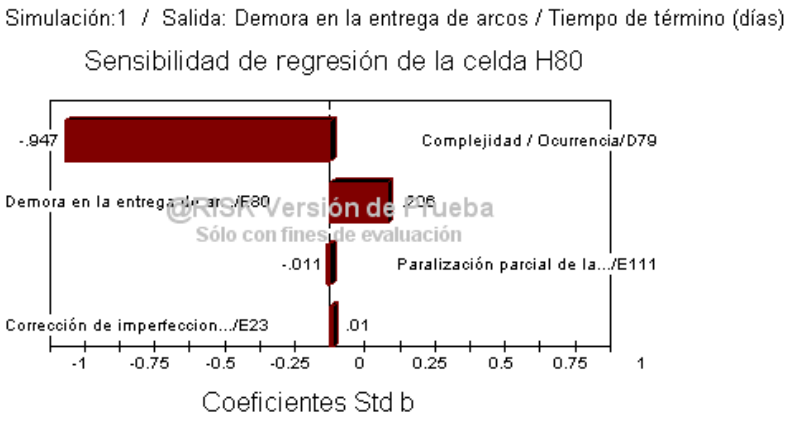


Figura C.3. Diagrama de tornado del impacto producido por el riesgo Complejidad.

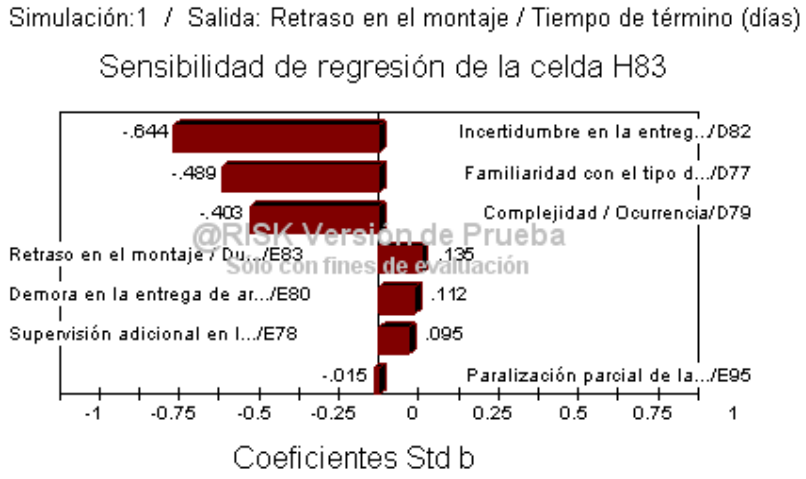


Figura C.4. Diagrama de tornado para el impacto Retraso en el montaje, por incertidumbre en la entrega.

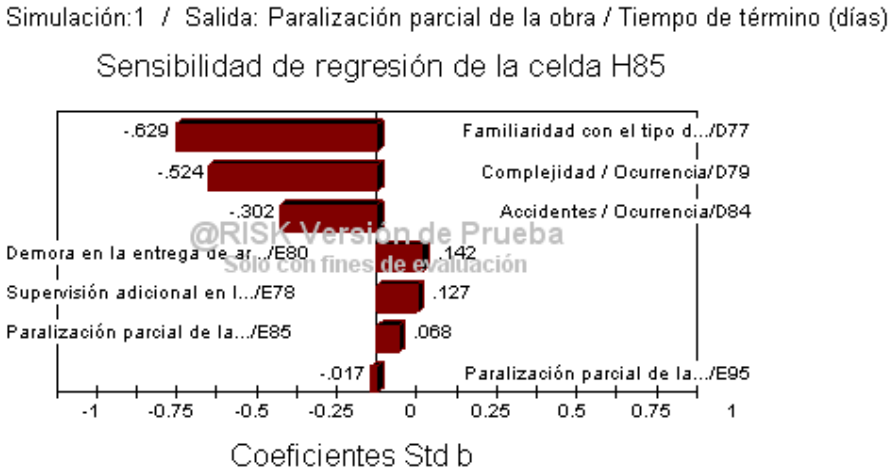


Figura C.5. Diagrama tornado para el impacto Paralización parcial de la obra, producido por el riesgo Accidentes.

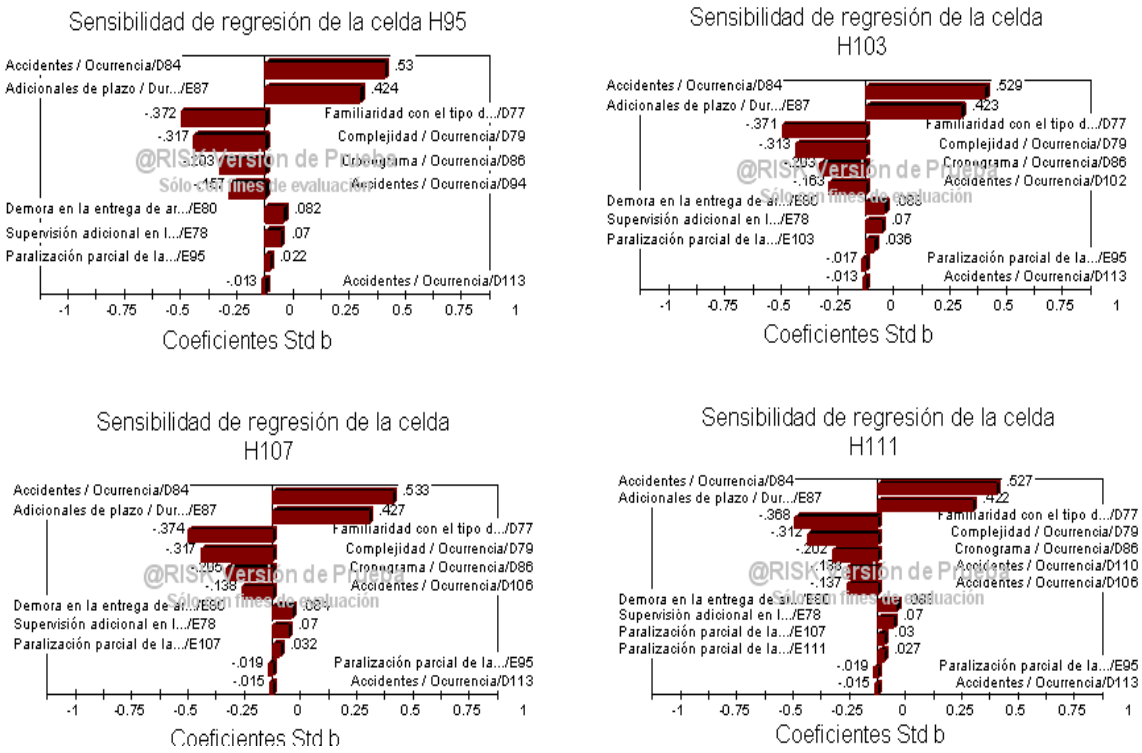


Figura C.6. Diagrama de tornado para los impactos producidos por el riesgo Accidentes.

Tabla C.5. Informe de sensibilidades para el modelo con riesgos e impactos.

Clasificación de sensibilidad
Coeficiente de correlación

Clasificación	Nombre	Celda	Función	Regresión	Correlación
Tiempo de término (días)aH12], para simulación1					
1	Accidentes / Ocurrencia	D84	RiskDiscrete({1,0}, {0.7;0.3})	0.531568692	0.520564799
2	Adicionales de plazo / Duración de la actividad	E87	RiskTriang(5,8,13)*C87	0.425866198	0.433886761
3	Familiaridad con el tipo de trabajo / Ocurrencia	D77	RiskDiscrete({1,0}, {0.6;0.4})	-0.373477844	-0.366149817
4	Complejidad / Ocurrencia	D79	RiskDiscrete({1,0}, {0.6;0.4})	-0.315312204	-0.318179624
5	Cronograma / Ocurrencia	D86	RiskDiscrete({1,0}, {0.75;0.2	-0.204542419	-0.195436685
6	Accidentes / Ocurrencia	D113	RiskDiscrete({1,0}, {0.8;0.2})	-0.144034913	-0.139160582
7	Demora en la entrega de arcos / Duración de la actividad	E80	RiskTriang(1,3,5)*C80	0.082707029	0.090714955
8	Supervisión adicional en la fabricación de los arcos / Duración de la actividad	E78	RiskTriang(2,3,5)*C78	0.06951028	0.067121976
9	Paralización parcial de la obra / Duración de la actividad	E95	RiskTriang(0,1,2)*C95	-0.0168729	-0.033664662
10	Pruebas e inspecciones / Ocurrencia	D22	RiskDiscrete({1,0}, {0.5;0.5})	0	0.024887967
11	Paralización parcial de la obra / Duración de la actividad	E114	RiskTriang(0,1,2)*C114	0.025241721	0.024642553
12	Accidentes / Ocurrencia	D102	RiskDiscrete({1,0}, {0.7;0.3})	0	-0.022517696
13	Paralización parcial de la obra / Duración de la actividad	E85	RiskTriang(0,1.5,2)*C85	0	-0.014548382
14	Sistema de cimentación adecuada para el terreno / Duración de la actividad	E13	RiskTriang(5,10,15)	0	0.01419106
15	Accidentes / Ocurrencia	D110	RiskDiscrete({1,0}, {0.8;0.2})	0	-0.013811131
16	Retraso en el montaje / Duración de la actividad	E83	RiskTriang(1,3,5)*C83	0	0.012553176
17	Paralización de la obra / Duración de la actividad	E27	RiskTriang(2,3,5)*C27	0	-0.012229545
18	Fuentes de Financiamiento / Ocurrencia	D67	RiskDiscrete({1,0}, {0.5;0.5})	0	0.011859208
19	Corrección de imperfecciones / Duración de la actividad	E118	RiskTriang(0,3,5)*C118	0	0.011810323
20	Accidentes / Ocurrencia	D94	RiskDiscrete({1,0}, {0.7;0.3})	0	-0.011205724
21	Paralización parcial de la obra / Duración de la actividad	E111	RiskTriang(0,1,2)*C111	0	-0.010345148
22	Incertidumbre en la entrega / Ocurrencia	D82	RiskDiscrete({1,0}, {0.6;0.4})	0	-0.007060924
23	Paralización parcial de la obra / Duración de la actividad	E103	RiskTriang(0,1,2)*C103	0	-0.006121171
24	Corrección de imperfecciones / Duración de la actividad	E23	RiskTriang(0.5,1,2)*C23	0	-0.006004163
25	Accidentes / Ocurrencia	D106	RiskDiscrete({1,0}, {0.8;0.2})	0	0.004663233
26	Paralización parcial de la obra / Duración de la actividad	E107	RiskTriang(0,1,2)*C107	0	-0.003547771
27	Sindicatos (huelgas) / Ocurrencia	D26	RiskDiscrete({1,0}, {0.5;0.5})	0	0.001657456
28	Expectativas de calidad del cliente / Ocurrencia	D117	RiskDiscrete({1,0}, {0.75;0.2	0	0.001395085
29	Paralización total de la obra / Duración de la actividad	E68	RiskTriang(1,3,5)*C68	0	-0.000582054

Resultados de la evaluación del modelo con riesgos, impactos y mitigaciones

Tabla C.6. Modelo del cronograma con riesgos, impactos y mitigaciones.

Item	Actividad	Precondición de la actividad	Ocurrencia	Duración de la actividad	Precedencia	Tiempo de inicio (días)	Tiempo de término (días)
1	**Obras Preliminares**						
2	Almacén de obra		1	3		0.0	3.0
3	Cerco perimétrico en el sitio de construcción		1	3	2CC+2 días	2.0	5.0
4	**Movimiento de Tierras**			6.5			
5	Nivelación y replanteo		1	3	2CC	0.0	3.0
6	Tala de árboles		1	1.5	5CC	0.0	1.5
7	Movilización de equipo		1	1	6	1.5	2.5
8	Corte con maquinaria		1	0.5	7	2.5	3.0
9	Conformación de subrasante		1	3	8CC	2.5	5.5
10	Relleno con material seleccionado/ compactado		1	1	9	5.5	6.5
11	**Cimentación Adecuada para el proyecto**						
12	Sistema de cimentación adecuada para el terreno		1	10	10	6.5	16.5
13	Elementos de sujeción provisionales para sistemas de anclaje de columnas		1	2	12	16.5	18.5
14	Curado de sistema de cimentación especial		1	5	12CC+3 días	9.5	14.5
15	**Instalaciones eléctricas**			127			
16	Salida para centros de luz		1	2	89	123.0	125.0
17	Salida para tomacorrientes		1	2	16	125.0	127.0
18	Postes metálicos de 3" de diámetro		1	2.5	19	123.0	125.5
19	Salida para poste metálico		1	3	16CC	123.0	126.0
20	Subestación o acometida eléctrica		1	10		0.0	10.0
20.1	Pruebas e inspecciones		0				
20.2	Corrección de imperfecciones	1	1	0	20.1	10.0	10.0
M1	Exigencia de información clara y contratación de mano de obra adecuada		1	1.166666667	20.2		
21	Puesta a tierra		1	2	20	10.0	12.0
22	**Losa de concreto**						
22.1	Sindicatos (huelgas)		0				

22.2	Paralización de la obra	1	1	-4.666666667	22.1	14.5	9.8
M2	Trato con el personal del sindicato sobre rotación laboral		1	8	22.2		
23	Encofrado tipo damero para losa de concreto		1	6	14CC	9.8	15.8
24	Dados separadores		1	2	23FF+1 día	14.8	16.8
25	Colocación de malla electrosoldada primera etapa		1	4.5	24	16.8	21.3
26	Vaciado de concreto f'c = 175 kg/cm2 para losa de concreto - primera etapa		1	4	25	21.3	25.3
27	Curado de losa - primera etapa		1	5	26CC+1 día	22.3	27.3
28	Colocación de malla electrosoldada - segunda etapa		1	4.5	26	25.3	29.8
29	Vaciado de concreto f'c = 175 kg/cm2 para losa de concreto - segunda etapa		1	4	28	27.3	31.3
30	Curado de losa - segunda etapa		1	5	29CC+1 día	28.3	33.3
31	Vaciado de concreto f'c = 175 kg/cm2 para losa de concreto - tercera etapa		1	4	29	31.3	35.3
32	Curado de losa - tercera etapa		1	5	31CC+1 día	32.3	37.3
33	Desencofrado tipo damero para losa de concreto		1	5.5	30FF+1 día	28.8	34.3
34	Acabado de cemento pulido para losa de concreto		1	19	27	27.3	46.3
35	Sellado de juntas para losa de concreto		1	2	34FF+2 días	46.3	48.3
36	**Veredas**						
37	Encofrado de veredas		1	4	33CC	28.8	32.8
38	Vaciado de concreto f'c = 175 kg/cm2 para veredas		1	2	37	32.8	34.8
39	Curado de veredas - primera etapa		1	5	38CC+1 día	33.8	38.8
40	Vaciado de concreto f'c = 175 kg/cm2 para veredas		1	2	38	34.8	36.8
41	Curado de veredas - segunda etapa		1	5	40CC+1 día	35.8	40.8
42	Desencofrado de veredas		1	3.5	41CC+3 días	38.8	42.3
43	Sellado de juntas para veredas		1	0.5	42	42.3	42.8
44	Acabado cemento pulido para veredas		1	3	42CC+3 días	41.8	44.8
45	**Rampas y escaleras**						
46	Relleno con material propio para rampas y escaleras		1	0.5	10CC	5.5	6.0

47	Relleno con material de préstamo para rampas y escaleras		1	0.5	46	6.0	6.5
48	Encofrado de escalera y rampas		1	15	42	42.3	57.3
49	Colocación de dados separadores para escaleras		1	1	48	57.3	58.3
50	Colocación de acero fy = 4200 kg/cm2 para escaleras		1	1	49	58.3	59.3
51	Vaciado de concreto f'c = 175 kg/ cm2 escalera		1	1	50	59.3	60.3
52	Curado de escalera		1	5	51CC+1 día	60.3	65.3
53	Acabado de cemento pulido para escalera		1	1	52	65.3	66.3
54	Vaciado de concreto f'c = 175 kg/ cm2 para descanso de escalera		1	0.5	51	60.3	60.8
55	Curado de descanso de escalera		1	5	54	60.8	65.8
56	Acabado de descanso de escalera		1	1	55	65.8	66.8
57	Vaciado de concreto f'c = 175 kg/ cm2 para rampa		1	1	54	60.8	61.8
58	Curado de rampa		1	5	57	61.8	66.8
59	Acabo de rampa - cemento pulido		1	1	58	66.8	67.8
60	Desencofrado de escalera y rampa		1	4	58FF	62.8	66.8
61	**Estructura metálica**						
61.1	Fuentes de Financiamiento		0				
61.2	Paralización total de la obra	1	1	0.33333333	61.1	46.3	46.7
M3	Plan de desembolsos y coordinaciones con el contratista		1	2.666666667	61.2		
62	Montaje de encofrado metálico		1	7	34FC+2 días	48.3	55.3
63	Fabricación de columnas		1	11		0.0	11.0
64	Montaje de columnas		1	5.5	62CC,21,63	48.3	53.8
65	Fabricación de viga VR		1	15		0.0	15.0
66	Montaje de viga VR		1	6	64,65	53.8	59.8
67	Fabricación de arcos E		1	15		0.0	15.0
68	Montaje de arcos E		1	14	66CC,67	53.8	67.8
69	Fabricación de Arcos AB		1	60		0.0	60.0
69.1	Familiaridad con el tipo de trabajo		0				
69.2	Supervisión adicional en la fabricación de los arcos	1	1	0	69.1	60.0	60.0
M4	Exigencia de información completa y planes de trabajo claros		1	3.333333333	69.2		
69.3	Complejidad		1				
69.4	Demora en la entrega de arcos	0	1	-2.666666667	69.3	60.0	57.3

M5	Exigencia de información completa y planes de trabajo claros		1	2.666666667	69.4		
70	Montaje de arcos AB		1	40	69	60.0	100.0
70.1	Incertidumbre en la entrega		1				
70.2	Retraso en el montaje	0	1	-2.666666667	70.1	100.0	97.3
M6	Plan de transporte y fabricación de piezas in situ		1	2.666666667	70.2		
70.3	Accidentes		1				
70.4	Paralización parcial de la obra	0	1	-40	70.3	100.0	60.0
M7	Programas estrictos de seguridad y control permanente		1	40	70.4		
70.5	Cronograma		0				
70.6	Adicionales de plazo	1	1	0.666666667	70.5	100.0	100.7
M8	Recursos adicionales y coordinación de adicionales de plazo		1	8	70.6		
71	Fabricación de canaleta semicircular		1	5	63CC	0.0	5.0
72	Instalación de canaleta semicircular		1	5	71,66	59.8	64.8
73	Fabricación de viguetas V1		1	10	67	15.0	25.0
74	Montaje de viguetas V1		1	11	70FF+4 días,73	93.0	104.0
75	Fabricación de viguetas V2		1	10	73CC	15.0	25.0
76	Montaje de viguetas V2		1	14	70FF+4 días,75	90.0	104.0
76.1	Accidentes		1				
76.2	Paralización parcial de la obra	0	1	-14	76.1	104.0	90.0
M9	Programas estrictos de seguridad y control permanente		1	14	76.2		
77	Fabricación de arriotres diagonales		1	5	75CC	15.0	20.0
78	Montaje de arriostres diagonales		1	11	76CC,77	90.0	101.0
79	Fabricación de arriostres en "x"		1	7	77CC	15.0	22.0
80	Montaje de arriostres en "x"		1	11	76CC,79	90.0	101.0
81	Fabricación de arcos P		1	20	75	15.0	35.0
82	Montaje de arcos P		1	8	76FF+4 días,81	100.0	108.0
82.1	Accidentes		1				
82.2	Paralización parcial de la obra	0	1	-8	82.1	108.0	100.0
M10	Programas estrictos de seguridad y control permanente		1	8	76.2		
83	Fabricación de viguetas VP1		1	6	81CC	15.0	21.0
84	Montaje de viguetas VP1		1	4	82FF,83	104.0	108.0

84.1	Accidentes		1				
84.2	Paralización parcial de la obra	0	1	-4	84.1	108.0	104.0
M11	Programas estrictos de seguridad y control permanente		1	4	76.2		
85	Fabricación de viguetas VP2		1	6	83CC	15.0	21.0
86	Montaje de viguetas VP2		1	1.5	84FF,85	106.5	108.0
86.1	Accidentes		1				
86.2	Paralización parcial de la obra	0	1	-1.5	86.1	108.0	106.5
M12	Programas estrictos de seguridad y control permanente		1	1.5	76.2		
87	Colocación de cobertura de aluminio		1	45	76CC	104.0	149.0
87.1	Accidentes		1				
87.2	Paralización parcial de la obra	0	1	-45	87.1	149.0	104.0
M13	Programas estrictos de seguridad y control permanente		1	45	76.2		
88	**Carpintería y tabiquería**		1				
89	Colocación de superboard de 4x8x12 mm		1	15	86	108.0	123.0
89.1	Expectativas de calidad del cliente		1				
89.2	Corrección de imperfecciones	0	1	-2.666666667	89.1	123.0	120.3
M14	Establecer acuerdos sobre la calidad de los acabados		1	2.666666667	89.2		
90	Confección de puertas contraplacadas de madera		1	9	89CC	108.0	117.0
91	Instalación de puertas contraplacadas de madera		1	1.5	90FC+1 día	116.5	118.0

@RISK - Informe de sensibilidad

Clasificación de sensibilidad
Regresión por pasos

Clasificación	Nombre	Celda	Función	Regresión	Correlación
Tiempo de término (días)aH135, para simulación1					
1	Recursos adicionales y coordinación de adicionales de plazo / O	D95	RiskDiscrete({1;0}, {90;10})*D92	-0.730493253	-0.422548531
2	Complejidad / Ocurrencia	D83	RiskDiscrete({1;0}, {0.6;0.4})	-0.16747092	-0.373007786
3	Demora en la entrega de arcos / Duración de la actividad	E84	RiskTriang(1,3,5)*C84-E85	0.132746396	0.214929831
4	Accidentes / Ocurrencia	D90	RiskDiscrete({1;0}, {0.7;0.3})	0.126051372	0.09557026
5	Adicionales de plazo / Duración de la actividad	E94	RiskTriang(5,8,13)*C94-E95	0.120577962	0.07688886
6	Familiaridad con el tipo de trabajo / Ocurrencia	D80	RiskDiscrete({1;0}, {0.5;0.5})	-0.105410211	-0.271761736
7	Supervisión adicional en la fabricación de los arcos / Duración de	E81	RiskTriang(2,3,5)*C81-E82	0.103968814	0.200554506
8	Exigencia de información completa y planes de trabajo claros / D	E85	RiskTriang(1,3,4)*D85	-0.095800073	-0.150737606
9	Exigencia de información completa y planes de trabajo claros / D	E82	RiskTriang(2,3,5)*D82	-0.074458919	-0.18877352
10	Cronograma / Ocurrencia	D93	RiskDiscrete({1;0}, {0.75;0.25})*C91	-0.045857159	-0.044512374
11	Recursos adicionales y coordinación de adicionales de plazo / Du	E95	RiskTriang(5,8,11)*D95	-0.030263418	-0.038327103
12	Incertidumbre en la entrega / Ocurrencia	D87	RiskDiscrete({1;0}, {0.6;0.4})	0.021256049	0.010926764
13	Plan de transporte y fabricación de piezas in situ / Ocurrencia	D89	RiskDiscrete({1;0}, {65;35})	-0.01971425	-0.021282724
14	Paralización parcial de la obra / Duración de la actividad	E122	RiskTriang(0,1,2)*C122-E123	-0.016849616	0.006578945
15	Sistema de cimentación adecuada para el terreno / Duración de l	E13	RiskTriang(5,10,15)	0	-0.001739545
16	Pruebas e inspecciones / Ocurrencia	D22	RiskDiscrete({1;0}, {0.5;0.5})	0	0.001451546
17	Corrección de imperfecciones / Duración de la actividad	E23	RiskTriang(0.5,1,2)*C23-E24	0	0.002526127
18	Exigencia de información clara y contratación de mano de obra a	E24	RiskTriang(0.5,1,2)*D24	0	0.017359543
19	Sindicatos (huelgas) / Ocurrencia	D27	RiskDiscrete({1;0}, {0.5;0.5})	0	-0.000260217
20	Paralización de la obra / Duración de la actividad	E28	RiskTriang(2,3,5)*C28-E29	0	0.010540014
21	Trato con el personal del sindicato sobre rotación laboral / Duraci	E29	RiskIntUniform(1, 15)*D29	0	-0.019064473
22	Fuentes de Financiamiento / Ocurrencia	D69	RiskDiscrete({1;0}, {0.5;0.5})	0	0.013616457
23	Paralización total de la obra / Duración de la actividad	E70	RiskTriang(1,3,5)*C70-E71	0	-0.007827618
24	Plan de desembolsos y coordinaciones con el contratista / Durac	E71	RiskTriang(0,3, 5)*D71	0	-0.0052196
25	Retraso en el montaje / Duración de la actividad	E88	RiskTriang(1,3,5)*C88-E89	0	0.022486449
26	Plan de transporte y fabricación de piezas in situ / Duración de la	E89	RiskTriang(1,3,4)*D89	0	0.005841079
27	Paralización parcial de la obra / Duración de la actividad	E91	RiskTriang(0,1.5,2)*C91-E92	0	-0.002144651
28	Accidentes / Ocurrencia	D102	RiskDiscrete({1;0}, {0.7;0.3})	0	-0.016880189
29	Paralización parcial de la obra / Duración de la actividad	E103	RiskTriang(0,1,2)*C103-E104	0	0.001272242

Tabla C.7. Informe de sensibilidades para el modelo con acciones de mitigación.