

ANÁLISIS DE RIESGOS EN LA PROGRAMACIÓN DE PROYECTOS DE
CONSTRUCCIÓN. CASO DE ESTUDIO EN LA SUBSECRETARÍA DE
RENOVACIÓN URBANA Y VIVIENDA DE LA CIUDAD DE PALMIRA

CLAUDIA MARCELA ORTIZ PLATA
NICOLLE ALEXANDRA CRUCES AREVALO



UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PALMIRA
2018

ANÁLISIS DE RIESGOS EN LA PROGRAMACIÓN DE PROYECTOS DE
CONSTRUCCIÓN. CASO DE ESTUDIO EN LA SUBSECRETARÍA DE
RENOVACIÓN URBANA Y VIVIENDA DE LA CIUDAD DE PALMIRA

CLAUDIA MARCELA ORTIZ PLATA
NICOLLE ALEXANDRA CRUCES AREVALO

Director Msc.
Álvaro Julio Cuadros



UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PALMIRA
2018

NOTA DE ACEPTACIÓN

Jurado

Jurado

AGRADECIMIENTOS

A mi padre, que, aunque ya no esté presente ha sido mi mayor motivación e inspiración para la finalización de esta etapa de mi vida. A mi madre, quien gracias a sus grandes esfuerzos y el amor que me brinda a diario me ha permitido culminar este proceso académico con éxito. A mis hermanos por su apoyo constante, y a mi compañera de tesis por su amistad, sabiduría y paciencia.

Claudia Marcela Ortiz Plata

A Dios todopoderoso, por darme sabiduría, ser mi guía espiritual y permitirme alcanzar un triunfo más en mi vida. A mi papito, quien fue mi principal inspiración y apoyo en mi trayectoria académica. A mi mamita, por apoyarme en todos mis estudios y brindarme amor. A mis padres y hermana, por su amor, apoyo incondicional, y comprensión en todo este proceso. A mi compañera de tesis por permitirme ser parte de esta importante etapa, por su amistad, sapiencia y paciencia.

Nicolle Alexandra Cruces Arevalo

A nuestro director Álvaro Julio Cuadros por el compromiso, la paciencia y la disposición para guiarnos en este proceso fundamental para la culminación de nuestra carrera. Al ingeniero Juan Fernando Marulanda, al arquitecto Oscar Mayor Marín y al ingeniero Hebert Palomino, grupo de expertos que nos colaboraron para llevar a cabo con éxito esta investigación, y a todo el cuerpo docente que nos orientaron a lo largo de nuestra trayectoria académica.

Las autoras

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	9
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
2. OBJETIVOS	14
2.1. OBJETIVO GENERAL	14
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
3. MARCO TEÓRICO.....	15
3.1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES	15
3.1.1. Programación de proyectos	15
3.1.2. Gestión de riesgos	15
3.2. ANTECEDENTES.....	16
4. METODOLOGÍA.....	19
5. CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE CONTRATACIÓN PÚBLICA.....	21
5.1. PROCESO DE CONTRATACIÓN SECTOR PÚBLICO	21
5.2. MODELO ESTÁNDAR DE CONTROL INTERNO (MECI)	24
6. IDENTIFICACIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE RIESGOS.....	25
6.1. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS.....	26
6.1.1. Revisión Bibliográfica.....	28
6.1.2. Validación de Expertos	30
6.2. CATEGORIZACIÓN DE RIESGOS	33
7. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA METODOLÓGICA PARA EL ANÁLISIS DE RIESGOS	37
7.1. ANÁLISIS CUALITATIVO DE RIESGOS	38
7.1.1. Métodos de cualificación.....	38
7.1.2. Descripción del Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE)	42
7.2. ANÁLISIS CUANTITATIVO DE RIESGOS	45
7.2.1. Métodos para el Análisis Cuantitativo	45
7.2.2. Metodologías basadas en Simulación Monte Carlo	48
7.2.3. Descripción del Fuzzy Schedule Risk Analysis Model (FSRAM)	53

7.3. ESTRUCTURA METODOLÓGICA PROPUESTA.....	54
8. APLICACIÓN DE LA ESTRUCTURA METODOLÓGICA AL CASO DE ESTUDIO.....	57
8.1. CASO DE ESTUDIO.....	57
8.2. APLICACIÓN DE LA ESTRUCTURA METODOLÓGICA AL CASO DE ESTUDIO.....	59
8.2.1. Análisis Cualitativo de Riesgos.....	59
8.2.1.1. Reunión con expertos.....	60
8.2.1.2. Valoración de la probabilidad, impacto y detección de cada factor de riesgo	60
8.2.1.3. Cálculo del Risk Priority Number (RPN) y Jerarquización de riesgos	61
8.2.1.4. Diagrama de Pareto.....	61
8.2.2. Análisis Cuantitativo de Riesgos.....	63
8.2.2.1. Reunión con expertos.....	63
8.2.2.2. Recolección de los datos de entrada.....	63
8.2.2.3. Construcción del Modelo	67
8.2.2.4. Resultados de la Simulación.....	68
8.2.2.5. Validación del Modelo.....	72
8.2.2.6. Análisis de resultados.....	74
8.2.2.7. Análisis de sensibilidad: Comparación de simulaciones.....	76
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82
ANEXOS.....	86

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1. Metodologías de identificación de riesgos	27
Tabla 2. Artículos de investigación empleados	28
Tabla 3. Perfil de expertos	31
Tabla 4. Categorías de riesgos	33
Tabla 5. Etapas de un proyecto	35
Tabla 6. Métodos de cualificación de riesgos	39
Tabla 7. Escala de calificación asignada para el impacto en la duración del proyecto	43
Tabla 8. Escala de calificación asignada para la probabilidad de ocurrencia	43
Tabla 9. Escala de calificación asignada para la detección del riesgo.....	43
Tabla 10. Herramientas para el análisis cuantitativo.....	45
Tabla 11. Resumen Presupuesto.....	58
Tabla 12. Lista de factores de riesgo prioritarios	62
Tabla 13. Riesgos Correlacionados	64
Tabla 14. Fechas de finalización y duraciones del proyecto.....	73
Tabla 15. Efecto de los riesgos correlacionados con las actividades de la ruta crítica	76
Tabla 16. Duración del proyecto para las diferentes configuraciones del proyecto	77
Tabla 17. Duraciones difusas del proyecto para cada rango de probabilidad con diferentes configuraciones de simulación	77
Tabla 18. Coeficiente de correlación para las diferentes configuraciones del proyecto para el grupo 2	78

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1. Metodología	21
Figura 2. Categorización de riesgos	36
Figura 3. Diagrama de flujo de la operación del CSRAM.....	50
Figura 4. Diagrama de flujo de la operación FSRAM.....	51
Figura 5. Diagrama de flujo de la operación del JRAP	52
Figura 6. Estructura metodológica propuesta	56
Figura 7. Diagrama Pareto.....	61
Figura 8. Ruta crítica del caso de estudio.....	68
Figura 9. Distribución de la probabilidad ajustada del límite inferior difuso de la duración del proyecto.....	68
Figura 10. Distribución de la probabilidad ajustada de la duración difusa promedio del proyecto	69
Figura 11. Distribución de la probabilidad ajustada del límite superior difuso de la duración del proyecto.....	70
Figura 12. Gráfico de tornado de la duración difusa del proyecto.....	71
Figura 13. Duración difusa del proyecto	72

INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción en Colombia está compuesto por dos componentes: La edificación, dedicada a las soluciones de vivienda, y las obras civiles que se encargan de la infraestructura del país. Esta última a su vez, puede estar financiada con recursos provenientes de fuentes de carácter público o privado. Este sector, genera aportes importantes al dinamismo de la actividad económica del país. De hecho, la contribución del sector al PIB en el 2015 superó a actividades importantes como la industria manufacturera, el comercio y al transporte (CAMACOL, 2008).

Los proyectos en este sector, se caracterizan principalmente por las altas inversiones que requieren en términos de tiempo y costo, y por la realización del producto en el mismo lugar del uso (Rebollar Rubio, Lidón López, & Pérez Cebrián, 2012). Estos aspectos están sujetos a una serie de factores que pueden afectar el éxito de los proyectos, llamados riesgos.

En la ciudad de Palmira, los proyectos de construcción relacionados con el desarrollo de la ciudad, están a cargo de la subsecretaría de renovación urbana y vivienda. Esta dependencia de la alcaldía municipal, se encarga de garantizar el desarrollo de la ciudad y el disfrute de la comunidad, mediante la construcción de viviendas y espacios públicos dignos y adecuados, con todos los servicios necesarios en un medio ambiente sano. Debido a ello, esta subsecretaría tiene a cargo una serie de proyectos que buscan mejorar el desarrollo de la ciudad y que requieren de una gran cantidad de recursos para llevar a cabo su ejecución.

De acuerdo a lo indicado por el Ingeniero Juan Fernando Marulanda, subsecretario de renovación urbana y vivienda, una de las falencias principales de esta dependencia es la planeación deficiente que se hace para estimar los costos y tiempos requeridos para el desarrollo de los proyectos, al no considerar ciertos

factores de riesgo comunes en este tipo de proyectos (J. Marulanda, comunicación personal, 15 de septiembre de 2016).

Para que el sector de la construcción cumpla adecuadamente con los lineamientos inicialmente planteados y haga una gestión eficiente de los recursos asignados, se debe realizar una planeación integral que abarque todos los aspectos que tienen influencia de manera directa e indirecta en la consecución de los objetivos del proyecto, considerando además aquellos factores de riesgos comunes, que tienen impacto en la duración y en el presupuesto del mismo. Es por esto, que esta investigación tiene como objetivo la determinación del impacto en términos de tiempo de aquellos factores de riesgos en la ejecución del proyecto.

El contenido de este trabajo se encuentra organizado de la siguiente manera:

En el capítulo 1, se presenta el planteamiento del problema que demuestra la importancia del estudio del análisis de riesgos en este contexto. En el capítulo 2, se definen los objetivos generales y específicos que se cumplirán con el desarrollo del presente trabajo. En el capítulo 3, se abordarán algunos conceptos fundamentales junto con una breve revisión de la literatura, seguido de la metodología que se empleará para el desarrollo de la investigación ubicada en el capítulo 4. En el capítulo 5, se explica brevemente el funcionamiento del proceso de contratación pública, y de otras normativas aplicables al sector de la construcción.

En el capítulo 6, se realizará la identificación de los principales factores de riesgos que afectan los proyectos de construcción en Palmira a través de revisión bibliográfica y juicio de expertos. En el capítulo 7, se realizará el diseño de la estructura metodológica en donde se definirán las herramientas a emplear tanto para el análisis cualitativo como para el cuantitativo. En el capítulo 8 se aplicará la

estructura metodológica definida a un caso de estudio. Posteriormente, luego de obtenidos los resultados, estos serán validados y analizados.

En el capítulo 9, se presentan las conclusiones y algunas recomendaciones para trabajos futuros.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para Colombia, la infraestructura vial reviste una gran importancia en el desarrollo económico y social del país, y esto se debe principalmente a que las carreteras contribuyen al incremento de la accesibilidad y de la competitividad del mismo. De acuerdo a un estudio realizado en España, acerca de la influencia de las carreteras en el desarrollo del país, existe una relación estrecha, entre las carreteras, su nivel de productividad y su nivel de renta (Sánchez Galindo, 1996). Es por ello, que el estudio de la planeación y gestión de los proyectos de construcción es de vital importancia para garantizar que se generen resultados que favorezcan el desarrollo del sector en el país tanto a nivel económico, como a nivel social y cultural.

Dicho lo anterior, es clara la importancia de los proyectos en el sector de la construcción para el desarrollo del país. Este tipo de proyectos a su vez, presentan una serie de inconvenientes que dificulta su adecuada ejecución dentro de los estándares previamente definidos. A continuación, se presentan algunas fuentes y estudios que demuestran la anterior afirmación.

Según un estudio realizado por la Universidad Externado de Colombia, uno de los problemas más frecuentes en la contratación estatal, es considerar la actividad de planeación como sistema estático, ya que al ceñirse al marco normativo vigente confunden tener un plan para contratar (estudios previos, diseño del proyecto,

presupuesto, planos) con planeación. Este concepto, debe ser considerado como un sistema dinámico que se acople a las condiciones únicas de los proyectos, con el fin de cubrir todos los aspectos que repercuten de manera directa e indirecta en todas las fases del ciclo de vida de los proyectos, como los riesgos (Aponte D., 2014).

Un informe emitido por la Cámara Colombiana de la Infraestructura, presenta de igual manera algunos factores que afectan el buen desarrollo de las obras del país, entre los que se encuentra la planeación inadecuada de infraestructura, la insuficiencia de estudios y la no consideración de imprevistos que afectan la adecuada ejecución de los proyectos del país (Cámara Colombiana de la Infraestructura, 2010), estos imprevistos son también llamados riesgos.

Claramente, lo anterior influye de manera directa en las condiciones finales de los proyectos, ocasionando tardanza en la finalización de los mismos, al igual que la generación de costos adicionales. Algunos estudios realizados por la Price Waterhouse Coopers, informes emitidos por INVIAS y otros autores, revelan cifras y datos que son preocupantes en este contexto.

Conforme a lo emitido por INVIAS en un reporte de ejecución con corte al 5 de marzo de 2010, se han presentado obras públicas con desfases presupuestales y retrasos exuberantes en la finalización y ejecución de proyectos de infraestructura vial. Hay proyectos que han alcanzado demoras de hasta un 92% y sobrecostos al estado por más de un billón 300 mil millones de pesos. Esta situación no es ajena a otros países, por ejemplo, en México según un estudio de Price Waterhouse Coopers, el 94% de los proyectos de construcción han experimentado sobrecostos debido a la falta de procesos de administración de riesgos.

La misma firma de consultoría realizó un estudio en Colombia, en dónde se analizaron a 79 empresas en aspectos relacionados con la gerencia de proyectos,

dónde se concluyó que las desviaciones más significativas que se dan en la duración de los proyectos varían en un rango entre 10% y 25% (39,8% de los encuestados señalaron ese rango). Del mismo modo se obtiene que el 40,9% de los encuestados señalaron que las desviaciones están alrededor del 10%, y el 58% de los encuestados manifestaron un desfase en tiempos por debajo del 10%. El estudio también concluyó que la principal razón por la que se retrasan los proyectos se debe al cambio del alcance de los proyectos, y a la no consideración de factores de riesgos, producto de una mala gestión de planeación (Price WaterHouse Coopers, 2011).

Pese a que los sobre costos y retrasos no son un asunto nuevo en proyectos de construcción estatales, los gerentes de proyectos siguen fallando en la gestión al no considerar la importancia y el impacto del riesgo en el cumplimiento de los objetivos de los proyectos. Tal es el caso de los proyectos que se ejecutan por parte de la subsecretaría de renovación urbana y vivienda en la ciudad de Palmira, que sufren grandes desfases en materia de tiempo y costos en la ejecución de sus proyectos. Por ejemplo, en uno de los grandes proyectos municipales de la “ciudadela deportiva”, quienes inicialmente habían presupuestado un total de 13.000 millones de pesos, y finalizó con un desfase económico de un ciento por ciento el valor original. *HSBNoticias.com* (3 de febrero de 2014). Desfases económicos de la Ciudadela Deportiva de Palmira. *HSBNoticias.com*. Recuperado de <http://hsbnoticias.com/noticias/nacional/desfases-econ%C3%B3micos-de-la-ciudadela-deportiva-de-palmira-71990>.

De acuerdo a lo anterior surge el siguiente interrogante: ¿Cuál es el impacto de los riesgos en la programación de proyectos de construcción de la subsecretaría de renovación urbana y vivienda de la ciudad de Palmira?

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el impacto de los riesgos en la programación de proyectos de construcción, en la subsecretaría de renovación urbana y vivienda de la ciudad de Palmira.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los riesgos de programación de proyectos de construcción mediante la revisión en la literatura y consulta de expertos.
- Definir una estructura metodológica para el análisis de los factores de riesgo, a través de la revisión de la literatura sobre análisis cuantitativo de riesgos.
- Validar la estructura metodológica para medir el impacto del riesgo en la duración de proyectos mediante la aplicación en un caso de estudio, que permita disminuir los desfases en la duración de proyectos.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES

3.1.1. Programación de proyectos

La programación es el medio para determinar con precisión la duración de los proyectos, para controlar su progreso y asignar los recursos de manera eficiente, con el fin de lograr una adecuada gestión. Para lograr su éxito, se debe tener en cuenta la singularidad de cada proyecto y para ello, la planeación y programación se convierten en procedimientos vitales (Ökmen & Ötzaş, Construction Project Network Evaluation with Correlated Schedule Risk Analysis Model, 2008). Durante la programación de los proyectos es conveniente considerar todos los factores que de manera directa e indirecta tienen relación con las actividades u objetivos del proyecto con el fin de determinar el grado de influencia que tendrán estos factores, en el tiempo de ejecución y finalización del proyecto.

3.1.2. Gestión de riesgos

La gestión de riesgos abarca todos los procesos requeridos para la planificación de riesgos, así como su identificación, análisis, planificación de respuesta y control de los riesgos de un proyecto. El propósito de la gestión de riesgos es mitigar el impacto de los sucesos negativos y disminuir su probabilidad de ocurrencia, de igual manera, busca incrementar la probabilidad y el impacto de los eventos positivos (Project Management Institute, 2013).

El PMBOK®, dentro de la estructura de la administración de riesgos, plantea seis procesos de gestión:

- Planificar la gestión de riesgos
- Identificar los riesgos
- Análisis cualitativo de riesgos
- Análisis cuantitativo de riesgo
- Planificar la respuesta a los riesgos
- Controlar los riesgos

3.2. ANTECEDENTES

En los últimos años, se han realizado una serie de estudios relacionados con la gestión de riesgos, con el fin de determinar el impacto en los proyectos de construcción, empleando diferentes herramientas y técnicas. En primer lugar, se presentarán algunos estudios realizados en Colombia, y posteriormente algunos hechos en otros países.

A nivel local, Gómez y Orobio en el 2015, realizaron un estudio que tuvo como intención, el análisis de los efectos de la incertidumbre en materia de tiempo y costo, en la programación de proyectos de construcción de carreteras. El objetivo principal de la investigación fue determinar el grado de sensibilidad de los proyectos ante la presencia de algunos factores de riesgos. Los autores en primer lugar, realizaron una jerarquización de los efectos en los proyectos, para lo cual aplicaron un método de análisis cuantitativo con simulación Monte Carlo, sobre los métodos de programación basados en la ruta crítica (CPM). Mediante la SMC, los autores determinaron que los efectos de la incertidumbre en la programación eran muy significativos en la duración de los proyectos, dado que la duración real del proyecto del caso de estudio fue de 194 días, y la duración inicialmente programada fue de 150 días, con una probabilidad de éxito de menos del 10% de cumplimiento. Como se pudo observar en los resultados del estudio anteriormente mencionado, la no consideración de los factores de riesgo puede acarrear errores significativos en la planeación y ejecución de actividades, los cuales tienen efectos en los resultados como desfase en el presupuesto y en la duración de los proyectos.

La situación no es ajena a los proyectos que se han desarrollado en otros países, Assaf y Al-Hejji en el 2006, realizaron una encuesta en diferentes tipos de proyectos de construcción en Arabia Saudita, con el objetivo de determinar las principales causas de los retrasos y su importancia de acuerdo a los distintos participantes en la ejecución del proyecto (el propietario, el consultor y el contratista). Este tipo de estudios demuestran la importancia de una adecuada gestión que permita no solo establecer un tiempo de ejecución, si no que contribuya a plantear un plan de acción que considere todos los factores que influyen en el desarrollo de los proyectos. Adicionalmente, este estudio permitió determinar las causas más comunes de retraso en proyectos de construcción asociados a los distintos participantes, que serán útiles para el cumplimiento del primer objetivo. Estos factores están relacionados con el proyecto, los directivos del proyecto, con el contratista, los consultores, el diseño, la fuerza de trabajo, con la maquinaria y equipos y con el medio ambiente.

En el 2008 se realizó un estudio en el que se analizan las herramientas de gráficos de barras, líneas de balance (LOB), CPM, y PERT, y se propuso una nueva herramienta para la programación de proyectos CSRAM, esta es una herramienta basada en simulación que se desarrolló con el propósito de evaluar las actividades bajo la incertidumbre, cuando la duración de las mismas está relacionada con los factores de riesgo (Ökmen & Ötzaş, Construction Project Network Evaluation with Correlated Schedule Risk Analysis Model, 2008).

De acuerdo a lo anterior, es claro que, para realizar un adecuado análisis del impacto de los riesgos en los proyectos, en primer lugar, se deben identificar y priorizar para posteriormente, de manera cuantitativa determinar el impacto de los riesgos en la programación de los proyectos.

Las herramientas que emplearon los distintos autores en sus estudios, convergen en el mismo punto; mejorar la gestión de los riesgos. En primer lugar, para la

identificación de riesgos, se identificaron en los estudios dos metodologías; la revisión bibliográfica y el juicio de expertos. Ambas metodologías son válidas, pero es conveniente usarlas de manera conjunta para generar mejores resultados.

En la jerarquización de riesgos, el CPM es una herramienta útil, pero cuenta con la limitación de que los tiempos son deterministas, aspecto poco realista en los proyectos de construcción. De ahí nace el PERT, que maneja tiempos estimados a partir de tres tiempos planteados por los expertos (tiempo optimista, más probable y pesimista), esta última herramienta es de mayor utilidad en los proyectos de construcción. Otra metodología empleada para esta etapa de la gestión de riesgos identificada en los estudios previamente definidos, es la Estructura de Desglose de los riesgos planteada por el PMI, que representa de forma detallada y ordenada los riesgos presentes en los proyectos. Las tres herramientas son útiles de acuerdo al contexto del proyecto. Si se conocen los tiempos con precisión por medio de datos históricos, por ejemplo, la mejor herramienta es el CPM, por el contrario, si los tiempos no se conocen con precisión, pero la experiencia de los expertos permite realizar estimaciones aproximadas, la más conveniente es el PERT.

Para la Priorización, se identificó la técnica RFMEA que implica la intervención de expertos en tres dimensiones: probabilidad de ocurrencia, impacto y probabilidad de detección. Esta herramienta se considera más completa que otras técnicas como la matriz de riesgo que solo relaciona la probabilidad de ocurrencia y el impacto.

Por otro lado, para el análisis cuantitativo de riesgos, se identificaron metodologías tales como las redes bayesianas (Luu, Tuan, & Ogunlana, 2009), análisis de sensibilidad (Project Management Institute, 2013), distribuciones de probabilidad (Thaheen, Hurtado, & De Marco, 2012) y la Simulación Monte Carlo (Kwak & Ingall, 2007). Se decidió trabajar con Simulación Monte Carlo, ya que es la más usada porque ha demostrado obtener resultados favorables en el análisis de

riesgos, al representar la realidad a través de un modelo de riesgos matemático. De esta manera, mediante múltiples iteraciones se asignan valores aleatorios a las variables con el fin de obtener diferentes escenarios y resultados.

4. METODOLOGÍA

Para realizar el análisis el impacto de los riesgos en la programación de proyectos, en un caso de estudio de la subsecretaría de renovación urbana y vivienda, se plantea la siguiente metodología para dar cumplimiento a los objetivos de este trabajo.

Primer Objetivo: Para la identificación de riesgos se realizará una búsqueda en las fuentes de información para determinar los factores de riesgo que son más influyentes en los proyectos de construcción, y mediante el juicio de expertos se clasificarán e identificarán los riesgos que son pertinentes en el contexto de los proyectos de obras civiles en la ciudad de Palmira. Las actividades que harán parte de esta fase de investigación son las siguientes:

- Búsqueda de información en las bases de Datos.
- Depuración de información de acuerdo a su grado de pertinencia.
- Identificación de factores de riesgo de la información recolectada de otros casos de estudio.
- Definir expertos que ayudarán a identificar los riesgos.
- Reunión con expertos para definir finalmente los factores de riesgo de acuerdo a su grado de pertinencia en los proyectos de obras civiles en la ciudad de Palmira.

Segundo Objetivo: Una vez identificados los riesgos, estos deben ser analizados con el fin de determinar el impacto en la programación de proyectos, para ello, se planteará una estructura metodológica que defina las herramientas empleadas para

cumplir con el objetivo general del trabajo. Las actividades que se realizarán para dar cumplimiento con este objetivo serán:

- Realizar una búsqueda en las bases de datos, con el fin de encontrar estudios realizados acerca de los riesgos en la gestión de proyectos y las herramientas empleadas para los diferentes análisis.
- Comparar las herramientas y metodologías halladas en la búsqueda bibliográfica.
- Diseñar una estructura metodológica para el análisis cualitativo y cuantitativo de riesgos.

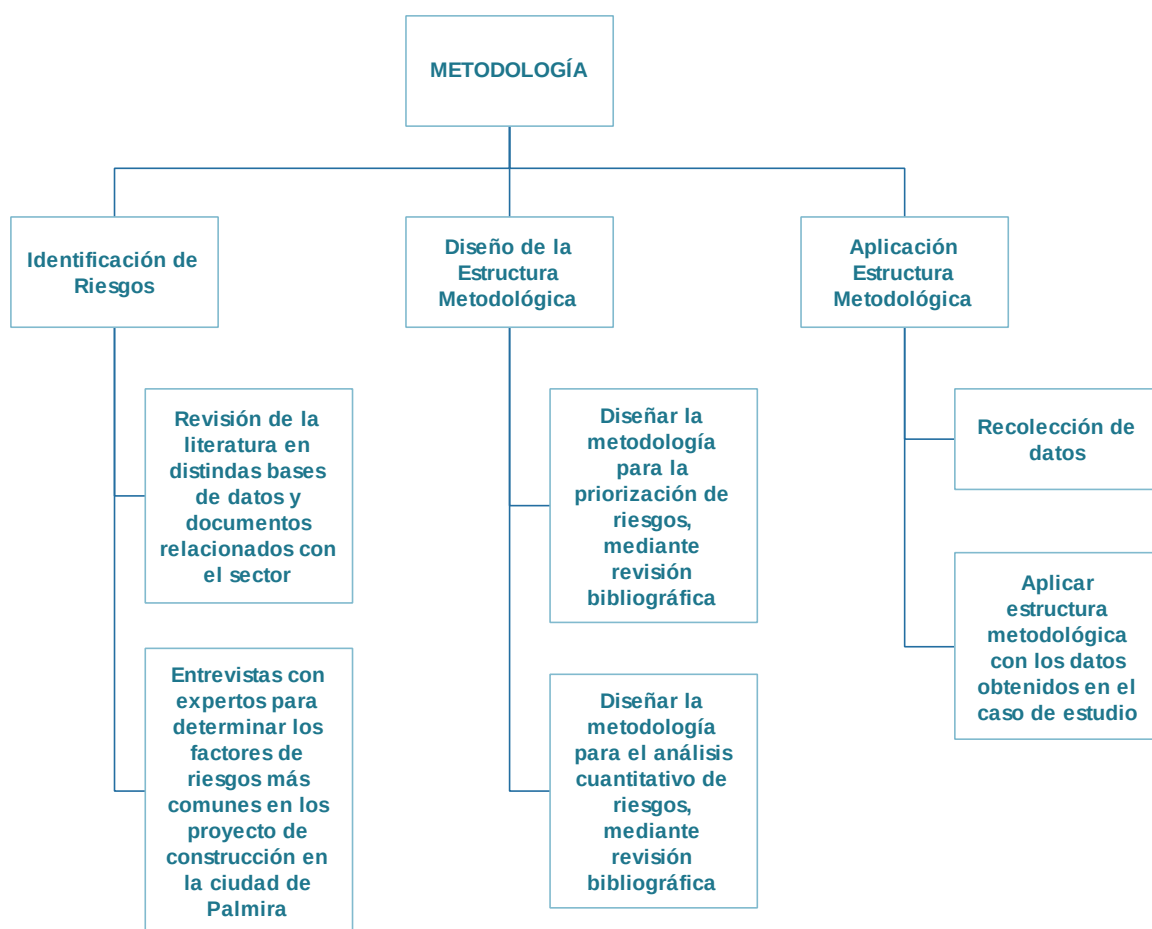
Tercer Objetivo: Con base en el planteamiento de la estructura metodológica resultante del segundo objetivo, y con la información recolectada del caso de estudio, se procede a aplicar dicha metodología para la obtención de los resultados que serán analizados.

Se presentan las siguientes actividades en el marco del cumplimiento del tercer objetivo:

- Recolección de datos de entrada de la metodología en la subsecretaría de renovación urbana y vivienda.
- Aplicar estructura metodológica con los datos recolectados.
- Analizar los resultados.

A grandes rasgos, la metodología empleada se resume en la figura 1.

Figura 1. Metodología



Fuente: Elaboración Propia

5. CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE CONTRATACIÓN PÚBLICA

5.1. PROCESO DE CONTRATACIÓN SECTOR PÚBLICO

Para la obtención de este procedimiento se realizó una reunión con la abogada Lorena Sánchez funcionaria de la dirección de contratación de la alcaldía de Palmira. Adicionalmente, se realizó una lectura minuciosa de: los decretos 2472 de 2008, 2170 de 2002 y 1082 de 2015, la ley 80 de 1993 y la ley 1474 de 2011.

Cabe resaltar que la metodología propuesta en el presente estudio se aplica en la etapa de planeación del proceso de contratación de obras públicas, ya que en la fase inicial de la planeación se requiere la elaboración de estudios y documentos previos en donde se debe considerar el análisis de riesgo y la forma de mitigarlo, adicionalmente, dentro de la planeación se les da la oportunidad a los interesados de hacer comentarios a los pliegos de condiciones propuestos por la subsecretaría de renovación urbana y vivienda por 10 días, con el fin de que entre en consideración los detalles del proyecto que no han sido tenidos en cuenta o que no habían tenido una valoración asertiva; si dichas observaciones son pertinentes, la secretaría debe dar respuesta a las observaciones y luego suscribir el pliego de condiciones definitivo.

A continuación, se da una breve descripción del proceso de contratación pública en Colombia con sus respectivos responsables:

Planeación

1. Realizar los estudios y documentos previos (Secret. de Infraestructura, Renovación Urbana Y Vivienda)
2. Radicar los estudios y documentos previos en la secretaría de planeación.
3. Expedir el certificado de disponibilidad presupuestal (Secret. de hacienda).
4. Revisar y aprobar los estudios y documentos previos (Secret. de planeación).
5. Radicar los estudios y documentos previos en la dirección de contratación (Secret. de planeación).
6. Revisar y aprobar el pliego de condiciones en el SECOP (Dirección de contratación).
7. Publicar el aviso de convocatoria pública en el SECOP (Dirección de contratación).
8. Publicar el pliego de condiciones en el SECOP (Dirección de contratación).

9. Dar plazo para que los interesados aporten observaciones al proyecto de pliegos de condiciones (Dirección de contratación).
10. Responder observaciones (si se presentan) (Dirección de contratación).
11. Ordenar la apertura del proceso de selección (Dirección de contratación).
12. Publicar la resolución de apertura y el pliego de condiciones definitivo en el SECOP (Dirección de contratación).

Selección

13. Realizar audiencia de asignación de riesgos y aclaración de pliegos (Dirección de contratación).
14. Realizar el cierre del proceso para la entrega de propuestas (Dirección de contratación).
15. Hacer audiencia de apertura de propuestas (Dirección de contratación).
16. Determinar la oferta más favorable (Dirección de contratación).
17. Publicar del informe de evaluación de propuestas (Dirección de contratación).
18. Adjudicar el contrato al proponente que ocupe el primer orden de elegibilidad (Dirección de contratación).
19. Dar plazo a los demás proponentes de solicitar copias, realizar revisiones y hacer observaciones (Dirección de contratación).
20. Dar respuesta a las observaciones (Dirección de contratación).
21. Suscribir la resolución de adjudicación del contrato (Dirección de contratación).
22. Suscribir por decreto la minuta (Secret. De Infraestructura, Renovación Urbana Y Vivienda).
23. Solicitar expedición de compromiso presupuestal (Dirección de contratación).
24. Expedición de compromiso presupuestal (Secret. De hacienda).
25. Aprobación de garantías entre contratista y dirección de contratación.

Contratación

26. Celebrar el contrato con el contratista (Dirección de contratación).

27. Publicar todos los documentos que forman parte del proceso contractual en el SECOP (Dirección de contratación).
28. Ejecución.
29. Suscribir un contrato de fiducia mercantil (Contratista).
30. Ejecutar la obra (Contratista).
31. Vigilar permanentemente la correcta ejecución de la obra (interventoría).
32. Cierre de contrato.

La secretaría de Infraestructura, Renovación Urbana y Vivienda, también rige sus procesos bajo el Modelo Estándar de Control Interno MECI y bajo la norma NTCGP 1000 de 2009. A continuación, se da una breve descripción de cada una de ellas.

5.2. MODELO ESTÁNDAR DE CONTROL INTERNO (MECI)

Para todas las entidades que hacen parte del ámbito de aplicación de la ley 87 de 1993, la cual contiene las normas del ejercicio de control interno de las entidades y organismos del estado, se dispone la implementación del Modelo Estándar de Control interno (en adelante MECI), para brindar la estructura y los componentes para el control estratégico de la gestión y evaluación de las entidades del estado (Álvarez, Sánchez, López, & Figueroa, 2013).

El propósito del MECI es lograr el mejoramiento del desempeño de las entidades públicas a través del fortalecimiento del control interno. Para ello, el MECI establece una serie de políticas, acciones, métodos, objetivos, procedimientos, mecanismos de prevención de control y evaluación enfocadas al mejoramiento continuo. Lo anterior con el fin de garantizar una administración transparente y eficiente, el cumplimiento de la constitución y las leyes, la coordinación de las

dependencias y una alta contribución al cumplimiento del objetivo social del estado (Álvarez, Sánchez, López, & Figueroa, 2013).

Dado que el objetivo de este trabajo se basa en la gestión de riesgos, se analizará este componente de la estructura del MECI. La administración de riesgos es uno de los tres componentes del módulo de planeación y gestión, exigidos por la presente normativa que obliga a identificar, evaluar y gestionar los riesgos. (Departamento Administrativo de la Función Pública, 2014). El desarrollo de este trabajo no se ve restringido por el MECI, por el contrario, contribuye al cumplimiento de este componente exigido por la normativa, y a su vez este contribuye al cumplimiento del Modelo Integrado de Planeación y Gestión (MIPG), pues el MECI y el MIPG no entran en detalle de los procedimientos requeridos para su cumplimiento.

6. IDENTIFICACIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE RIESGOS

En este capítulo, se identificó y categorizó los factores de riesgo asociados a la programación de proyectos, bajo la metodología de revisión bibliográfica y juicio de expertos, con el objetivo de determinar aquellos que tienen repercusión en los proyectos de construcción de la subsecretaría de renovación urbana y vivienda (en adelante SDRU).

En la sección 6.1 se detalla el proceso realizado para la obtención de los factores de riesgo, objeto de evaluación. Para ello se emplearon las técnicas de revisión bibliográfica y el juicio de expertos.

- **Revisión Bibliográfica o Documental:** Esta técnica permite identificar las investigaciones elaboradas con anterioridad y sus discusiones, construir premisas de partida, consolidar autores para elaborar una base teórica, hacer

relaciones entre trabajos, categorizar experiencias, entre otras actividades de referencia (Valencia López, s.f.).

- Juicio de Expertos: Este método tiene como finalidad recopilar opiniones de expertos sobre un tema en particular y conseguir un consenso a través de su convergencia (Listone A. & Murray, 2002).

Del mismo modo, en la sección 6.2 se realizó la categorización de los factores de riesgo identificados a través de dos sistemas de clasificación, uno resultante de la revisión bibliográfica y otra sugerida por los expertos.

6.1. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

Debido a la complejidad de las actividades relacionadas con la ejecución de los proyectos, se considera común la presencia de ciertos factores de riesgos que pueden alterar los tiempos estimados para la finalización de las actividades. Especialmente en el sector de la construcción de obras civiles, el análisis de esta situación reviste gran importancia, debido a las implicaciones económicas, legales, sociales, entre otras, que conlleva la entrega tardía de los resultados previstos. Dentro de estos riesgos que son clasificados en distintas categorías por los autores; se deben identificar, evaluar y analizar aquellos que son aplicables al contexto de la construcción de obras civiles en la ciudad de Palmira.

Teniendo en cuenta que el objeto de estudio de este trabajo de investigación consiste en la programación de proyectos, se realizó la búsqueda de riesgos enfocada principalmente a aquellos que de manera directa o indirecta repercuten en los tiempos de ejecución de los proyectos. Cabe resaltar que no solo se tendrán en consideración los riesgos relacionados con las actividades propias de la SDRU, sino también la de aquellos actores que participan en cualquier etapa del proyecto como los contratistas, subcontratistas, proveedores, entre otros.

Mediante este proceso de identificación de riesgos se generan los registros asociados a los proyectos de construcción de obras públicas de la ciudad de Palmira. Este proceso se considera un proceso crítico ya que los riesgos no identificados pueden ser peligrosos para el cumplimiento de los objetivos del proyecto, y puedan generar consecuencias perjudiciales (Salah, 2015).

En virtud de lo anterior, como lo afirma Loosemore et al. (2006), un solo riesgo no identificado puede paralizar por completo el proyecto. Además, al realizar un proceso confiable de identificación de riesgos se puede asegurar una evaluación de riesgos efectiva.

La identificación de los riesgos que podrían afectar los objetivos del proyecto, se puede realizar por diferentes métodos o herramientas introducidas por los investigadores en la literatura. Salah (2015) destaca las siguientes técnicas:

Tabla 1. Metodologías de identificación de riesgos

Método	Autor	Año
Listas de Verificación	Deniz & Kaymak	2007
Revisión de Documentación	Deniz & Kaymak	2007
Lluvia de ideas	Chapman RJ	2001
Encuestas	Bajaj, Oluwoye & Lenard	1997
Entrevistas	Chapman RJ	2001
Análisis FODA	Sweeting	2011
Técnica de Grupo Nominal	Delbecq & VandeVen	1971
Método Delphi	Chapman RJ	1998

Fuente: Salah (2015)

Para la identificación de riesgos en el caso de estudio planteado para el desarrollo de este trabajo, se emplearon los métodos de revisión de la documentación de casos de estudios en construcción, y el juicio de expertos a través de entrevistas.

6.1.1. Revisión Bibliográfica

La etapa inicial de la identificación, consistió en la recopilación de información pertinente a la finalidad de este estudio y de relevancia, a través de revistas indexadas y artículos académicos.

Como resultado de la búsqueda se identificaron 17 artículos, los cuales pasaron por una secuencia lógica de filtros con el propósito de eliminar artículos que no correspondían a la finalidad de este estudio. En primera instancia, se realizó la lectura del abstract; en segundo lugar, se procedió a realizar una lectura rápida del contenido con el fin de identificar su grado de pertinencia, y finalmente se leyeron los resultados y conclusiones. Se lograron obtener once artículos (Tabla 2) los cuales contienen las listas de riesgos empleadas para el desarrollo de esta etapa del trabajo.

Tabla 2. Artículos de investigación empleados

ID	Artículo	Año	Autor	País/Ciudad	No. De Riesgos
1	Risk Factors Assessment considering Change Degree for Mega-Projects	2016	*Jungeun Park *Beomsuk Park *Yongwoon Cha *Changtaek Hyun	Corea	30
2	Risk management for overseas construction projects	1995	*He Zhi	China	58
3	RISK ASSESSMENT OF DESIGN-BID-BUILD AND DESIGN-BUILD BUILDING PROJECTS	2010	*Tsung-Chieh Tsai *Min-Lan Yang		62
4	Risk management in road construction: The case of Sri Lanka	2009	*B.A.K.S. Perera *Indika Dhanasinghe *Raufdeen Rameezdeen	Sri Lanka	23
5	Risk analysis of BOT scheme on post-construction toll road	2015	*Yudi Harto Suseno *Muhammad Agung Wibowo *Bagus Hario Setiadji	Indonesia	30
6	ICRAM-1: Model for International Construction Risk Assessment	2000	*Hastak, M. *Shaked, A.	Genérico	73
7	Risk assessment of international construction projects using the analytic network process	2009	*Amani Suliman Bu-Qammaz *Irem Dikmen *and M. Talat Birgonul		28
8	Full Length Article: Identification and assessment of risk factors affecting construction projects	2015	*Mohamed Sayed Bassiony Ahmed Abd El-Karim *Omar Aly Mosa El Nawawy * Ahmed Mohamed Abdel-Alim	Egipto	70

9	The Identification and Management of Major Risks in the Malaysian Construction Industry	2013	*Cheng Siew Goh *Hamzah Abdul-Rahman	Malasia	36
10	Risk analysis in construction project - chosen methods	2015	*Agnieszka Dziadosz *Mariusz Rejment	Europa	8
11	Ranking of delay factors in construction projects after Egyptian revolution	2013	*Remon Fayek Aziz	Egyptian	99

Fuente: Elaboración Propia

En los artículos de investigación encontrados, las listas de riesgos son producto de encuestas realizadas a profesionales de acuerdo con los casos de estudio abordados.

En el caso de este trabajo, la lista de riesgos que posteriormente fue validada con los expertos, fue el resultado de un proceso de depuración, en donde se eliminaban aquellos riesgos que no aplicaban en el contexto de la construcción de obras públicas en la ciudad de Palmira, y aquellos que estaban repetidos o implícitos en otros riesgos.

Este proceso inició con la comparación de pares de listas de riesgos, lo que tendría como resultado consolidaciones que se fueron comparando entre sí posteriormente. Esta metodología permitió la contemplación de toda la información, y al ser un proceso metódico, se logró garantizar el éxito del ejercicio. Cabe aclarar que los riesgos que fueron considerados como “No Pertinentes” por los autores, fueron corroborados por los expertos.

Inicialmente, la lista contenía 517 factores de riesgo que fueron sometidos al proceso de depuración. Como resultado se obtuvo una lista con 209 factores de riesgo.

Como se puede observar en la Tabla 2, de los once trabajos de investigación consultados para obtener la lista de riesgos parcial, ocho hacen parte del continente de Asia. Esto puede deberse a que como lo han sugerido varios autores, los países en desarrollo, junto con los mercados emergentes de Asia,

Europa Oriental, y los países de la ex Unión Soviética, al proporcionar valiosas oportunidades a las empresas constructoras gracias a los acuerdos internacionales que han creado cambios fundamentales en la industria internacional de la construcción, se han convertido en foco de estudio por los investigadores (Bu-Qammaz, Dikmen, & Talat, 2009).

De igual manera se puede destacar, que los riesgos que con mayor frecuencia aparecen en los artículos consultados se relacionan con: El aumento de los costos financieros y de construcción, la inflación, problemas de normas de seguridad y salud, reputación del contratista, defectos de diseño, errores y reprocesos, y escases de equipo. Lo anterior indica que, la presencia de estos factores de riesgo es muy común en los proyectos de construcción a nivel mundial, y que puede generar un gran impacto en los presupuestos y tiempos de ejecución.

En lo que respecta a los fenómenos naturales, es evidente que son específicos de acuerdo a la ubicación geográfica del proyecto de construcción, de modo que se debe identificar la probabilidad de ocurrencia de tales eventos y considerarlo a la hora de realizar la programación del proyecto. Por ejemplo, en un país ubicado en una zona costera, hay mayor probabilidad de que se genere un tsunami que en un país ubicado en una zona central.

6.1.2. Validación de Expertos

El objetivo de esta etapa es validar un sistema de riesgos para la previsión y diseño del listado final de riesgos, que serán analizados para determinar el impacto en la programación de proyectos de construcción mediante el juicio de expertos. Teniendo en cuenta que el término experto es un concepto ambiguo, para este trabajo se definirá como:

Aquel cuya formación y experiencia previa le ha permitido alcanzar un dominio sobre un asunto que excede el nivel promedio de sus iguales, y que está en disposición de exponer sus opiniones sobre dicho asunto para que sean utilizadas como juicios exclusivos. Se les considera aptos para emitir criterios certeros por quien lo solicita. (García & Suárez, 2013).

Luego de obtener la lista parcial de los riesgos, se procedió a realizar la validación con los expertos para identificar aquellos que no eran aplicables al contexto de construcción en Palmira, y aquellos que los expertos consideraron estar implícitos en otros.

6.1.2.1. Participantes

Una vez seleccionado el proyecto, se considera conveniente contar con expertos que hayan participado en todas las etapas del caso de estudio con altos niveles de responsabilidad y que estuviesen dispuestos a colaborar en este trabajo. Los perfiles profesionales de las personas que nos colaboraron se describen a continuación en la tabla 3:

Tabla 3. Perfil de expertos

	Experto 1	Experto 2
Nombre	Oscar Mayor Marín	Juan Fernando Marulanda
Profesión y cargo	Arquitecto	Ingeniero Civil – Subsecretario de Renovación Urbana y Vivienda
Tiempo de experiencia	28 años	20 años
Conocimientos específicos en	• Gestión de Proyectos • Dirección y Ejecución de Obras • Diseño de Proyectos de Construcción • Ejecución de Proyectos de construcción • Planeación de Proyectos	• Gestión de Proyectos • Dirección y Ejecución de Obras • Diseño de Proyectos de Construcción • Ejecución de Proyectos de construcción • Planeación de Proyectos • Supervisión y control de personal • Control de equipos y materiales de obra

Fuente: Elaboración Propia

6.1.2.2. Procedimiento

En primer lugar, se realizó una reunión inicial con los expertos para exponer la idea del trabajo, y conocer la disponibilidad y disposición de ellos para colaborar en su desarrollo. En dicha reunión, los expertos mostraron mucho interés, y respondieron de manera afirmativa a nuestra solicitud. Posteriormente, en la segunda reunión se les realizó una encuesta, mediante un formato que contenía la lista de riesgos obtenida de la revisión bibliográfica, para realizar la validación.

Para el proceso de validación, los expertos revisaron detalladamente cada factor de riesgo, iban eliminando aquellos que no tenían ninguna relación en el caso de estudio y adicionalmente, indicaban aquellos riesgos que consideraban similares. En cada reunión se logró obtener información importante, que se irá mencionando conforme se vaya desarrollando el trabajo.

Luego de esta etapa, se logró obtener una lista final conformada por 103 factores de riesgos (ver anexo 1), que serán objeto de la etapa de priorización en el siguiente capítulo.

Es de destacar que, de los 103 riesgos del listado final, el 54,4% pertenecen a investigaciones realizadas en Egipto. Esta apreciación se puede deber a que tanto Colombia como Egipto son países del tercer mundo, y cuyas características sociales, políticas, económicas, entre otras, pueden generar un ambiente similar para que ciertos factores de riesgos tengan presencia en ambos países en el sector de la construcción.

6.2. CATEGORIZACIÓN DE RIESGOS

Una vez realizada la recopilación de los factores de riesgos, se procede a realizar el proceso de categorización para obtener grupos de riesgos estructurados, con el fin de poder analizar su tratamiento conjunto.

Teniendo en cuenta lo consignado en la Guía del PMBOK®, la cual indica que la clasificación es una de las herramientas que permiten realizar el análisis cualitativo de riesgos, se procedió a realizar una búsqueda bibliográfica que permitiera identificar el sistema de categorización más adecuado según el criterio de los autores.

Por un lado, se halló un trabajo en la literatura elaborado en el 2012 por Rebollar et al, en el cual se realiza una sistematización con ocho trabajos de investigación para la clasificación de riesgos, se determina que las categorías más comunes para la clasificación de riesgos son las siguientes:

Tabla 4. Categorías de riesgos

Categoría	Frecuencia de Aparición en la Literatura
Fenómenos naturales o Actos de Dios	3
País	4
Políticos y Sociales	3
Financieros y Económicos	4
Características de la industria o mercado	6
Desarrollo de la construcción	3
Situaciones y condiciones del lugar de trabajo	3
Promotor o compañía	4
Seguridad y Medioambiente	2
Proyecto - Diseño – técnicos	8
Contractuales	2
Constructor	1

Fuente: Adaptado de Rebollar, Lidón y Pérez (2012)

Jungeun Park et al, en el 2016, proponen clasificar los riesgos en las siguientes categorías: ambiental, político, social y económico, financiero, construcción, mercado/industria, empresa, desarrollo en TI y proyecto. Por otra parte, Mustafa y Al Bahar, manejan la siguiente clasificación: actos de Dios, riesgos físicos, financieros y económicos, políticos y ambientales, riesgos de diseño y aquellos relacionados con el sitio de trabajo.

Con base en las anteriores categorizaciones se realizó la clasificación de los riesgos en las siguientes categorías: Ambientales, Recursos, Económicos y Financieros, Partes Involucradas (Proveedores, contratistas, etc.), Aspectos Contractuales, Factores Externos, Gestión – Planeación, Proyecto, Condiciones del Sitio, Trabajo-Trabajadores y Transversales. Dicha clasificación se encuentra en el Anexo 1.

Por otra parte, los expertos sugirieron implementar un sistema de categorización diferente, que en la literatura es poco empleado. Aquel consiste en realizar la categorización de acuerdo a la etapa del proyecto en el que este se presenta. Según los expertos, esta clasificación es importante, debido a que permite considerar la parte involucrada que asume el riesgo. Por ejemplo, en la etapa de formulación, los responsables de prever y considerar los riesgos dentro de sus actividades es la SDRU y en la etapa de ejecución, es el contratista el responsable.

Por tal motivo, se procedió a realizar la categorización teniendo en cuenta las etapas del proyecto que se encuentran en la tabla 5:

Tabla 5. Etapas de un proyecto

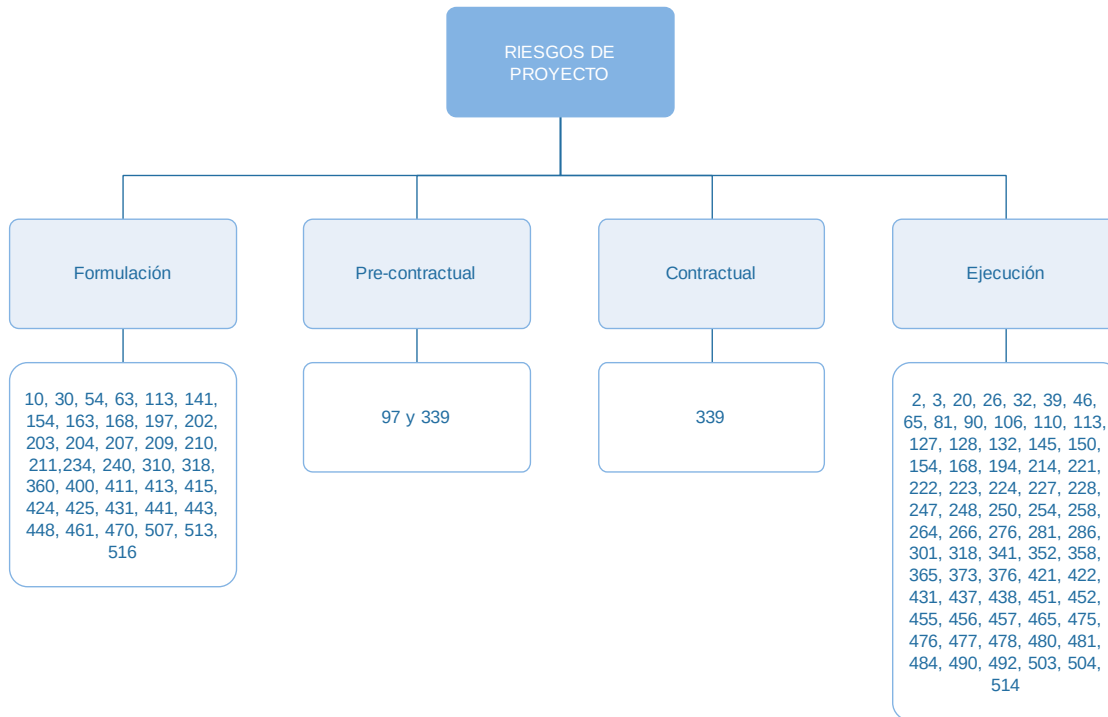
ETAPAS DEL PROYECTO	
#	ETAPA
1	Formulación
2	Planeación
3	Precontractual
4	Contractual
5	Ejecución
6	Recibido

Fuente: Elaboración Propia

De esta manera, la lista final de riesgos que se encuentra en el anexo 1 se categorizó con ayuda de los expertos. De esta clasificación (ver figura 2) se destacan las siguientes características:

De acuerdo a los resultados del proceso realizados por los expertos con base a su experiencia y conocimiento, la mayoría de los riesgos se presentan dentro de las etapas de formulación y ejecución, dos en la etapa pre-contractual y tan solo uno en la fase contractual del proyecto. Seis de los factores de riesgos se presentan en varias etapas del proyecto. De los 103 riesgos, el 62,1% son responsabilidad del contratista, el 31,1% del contratante (la subsecretaría para el caso de estudio) y del 6,8% las consecuencias se asumen de manera compartida.

Figura 2. Categorización de riesgos



Fuente: Elaboración Propia.

Aunque el primer sistema de categorización empleado permite identificar de manera indirecta las causas por las que se pueden materializar los riesgos, para efectos de este trabajo se empleará la clasificación sugerida por los expertos. Este último sistema de clasificación es considerado por los autores de mayor utilidad que los anteriores, ya que mediante esta categorización se puede identificar la etapa del proyecto afectada, y por ende, todos los factores que se encuentran inmersos en dicha fase como los recursos, partes involucradas, entre otros.

Adicionalmente, como se mencionó con anterioridad permite determinar quién será la parte responsable de asumir la materialización de los riesgos que se presenten en dichas etapas.

Dado que parte del objetivo de esta investigación es analizar el impacto de los riesgos que se materializan en la etapa de ejecución de los proyectos de

construcción, en adelante, solo se tendrán en consideración los 75 factores de riesgo que se encuentran en esta categoría en la figura 2.

7. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA METODOLÓGICA PARA EL ANÁLISIS DE RIESGOS

Dentro de los procesos fundamentales para llevar a cabo una adecuada gestión de riesgos para asegurar el cumplimiento de los objetivos del proyecto, se encuentran las etapas de análisis cualitativo y cuantitativo, que permiten identificar el nivel de impacto de los riesgos que se han identificado con anterioridad. Para ello, existen diferentes métodos y herramientas que deben ser elegidas de acuerdo a las condiciones del proyecto objeto de análisis.

En virtud de lo anterior, mediante la revisión de la literatura se identificaron y compararon las diferentes metodologías planteadas por los autores, con el objetivo de definir una estructura metodológica para analizar los riesgos identificados en el capítulo anterior.

Dado que la lista de riesgos actualmente está conformada por 75 factores, y que es complejo el análisis del impacto de cada uno de ellos, se realizará inicialmente un análisis cualitativo que tendrá como objetivo la priorización de riesgos identificados, además de ser la entrada inicial para el análisis cuantitativo. El producto de esta etapa será el listado de los riesgos que tendrán mayor prioridad para continuar con el proceso del análisis cuantitativo a través de la metodología elegida. En segunda instancia, se procederá a realizar el análisis cuantitativo para determinar de manera numérica el impacto en tiempo, en el cronograma del proyecto.

A continuación, se describe el proceso llevado a cabo para la definición de las estructuras metodológicas para realizar los análisis en mención.

7.1. ANÁLISIS CUALITATIVO DE RIESGOS

El análisis cualitativo de riesgos, es el proceso de priorizar los riesgos a través de metodologías con las cuales se identifican los riesgos, y luego se toman acciones futuras como análisis cuantitativo de riesgos o planificación de la respuesta al riesgo. Estas metodologías pueden ser: evaluación de probabilidad e impacto del riesgo, matriz de probabilidad impacto, evaluación de la urgencia del riesgo, entre otras.

7.1.1. Métodos de cualificación

Con el fin de continuar con el proceso de priorización de riesgos, se realiza una revisión de literatura para determinar la metodología a usar en el presente proceso. A continuación, en la tabla 6 se muestran algunos métodos de cualificación de riesgos y una breve descripción de cada uno.

Tabla 6. Métodos de cualificación de riesgos

Métodos de cualificación de riesgos			
ID	Nombre	Artículo	Descripción
1	AHP: Analytic Hierarchy Process	Título: Project Risk Assessment Using the Analytic Hierarchy Process Autores: *Mustafa, M.A. *Al-Bahar, J.F. Año: 1991	Es una metodología de análisis de decisión multicriterio que admite factores tanto subjetivos como objetivos de expertos para ser considerados en el proceso de análisis y evaluación de riesgos. Para aplicar esta metodología se debe tener un objetivo (evaluar el riesgo), clasificar los riesgos (factores) y a su vez agruparlos en cada clasificación (subfactores), de modo que se jerarquicen los riesgos. Para su realización se siguen una serie de pasos en donde se debe tener en cuenta la reciprocidad, homogeneidad y consistencia de los factores
2	Fuzzy TOPSIS	Título: Risk assessment model selection in construction industry Autores: *KarimiAzari, A. *Mousavi, N. *Mousavi, S., F. *Hosseini, S. Año: 2011	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), es una metodología que usa números triangulares difusos para representar el lenguaje lingüístico en números a través de una escala, para luego calcular la distancia entre los números difusos y establecer una lista que permite comparar el peso de los riesgos.
3	Probability & Impact Assessment	Título: Risk Factors Assessment considering Change Degree for Mega-Projects Autores: *Jungeun Park *Beomsuk Park *Yongwoon Cha *Changtaek Hyun Año: 2012	Este método tiene en consideración los siguientes factores: Probabilidad del riesgo (RP), Impacto del riesgo (RI), Cambio de la probabilidad (CP) y el cambio del impacto (CI). Con estos factores se calcula el grado de riesgo ($RD=RP \times RI$) y el grado de cambio ($CD=CP \times CI$), se normalizan, para finalmente calcular la importancia del riesgo ($RD \times CD$) el cual a su vez se normaliza con un rango de 0 a 1, y con el resultado obtenido se clasifica el riesgo según su importancia a través de una escala.

ID	Nombre	Artículo	Descripción
4	Relative Importance Index (RII) method	Título: Quantification of delay factors using the relative importance index method for construction projects in Turkey Autores: *Gündüz, M. *Nielsen, Y. *Özdemir, M. Año: 2013	Este método se usa para determinar la importancia relativa de las causas de los retrasos. Para su cálculo, se asigna una escala del peso según la importancia de cada riesgo, en la cual cada entrevistado debe indicar que grado de importancia tiene la materialización del riesgo en la programación del proyecto, a través de una fórmula que tiene en cuenta el peso de cada riesgo, el valor más alto de la escala y el número total de entrevistados, se obtiene un valor entre 0 y 1, donde el que tenga el RII es la causa más importante de retrasos.
5	Matrix of risk	Título: Risk analysis in construction project - chosen methods Autores: *Dziadosz, Agnieszka *Rejment, Mariusz Año: 2015	Se evalúa la probabilidad de ocurrencia del riesgo y el impacto de este al materializarse. Se tiene en consideración la subjetividad del tomador de decisiones y se clasifica cada riesgo en alto, medio y bajo. La información de cada riesgo se registra en una tabla, en donde finalmente queda una lista jerarquizada de riesgos.
6	PROMETHEE METHOD	Título: Risk analysis in construction project - chosen methods Autores: *Dziadosz, Agnieszka *Rejment, Mariusz Año: 2015	El método PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method Enrichment Evaluations), es una técnica de decisión multicriterio, que trata de establecer mediante la evaluación en función de k criterios, $f_1, f_2, \dots, f_k$, una ordenación jerarquizada en el conjunto A de alternativas.
7	FMEA	Título: Using fuzzy FMEA and fuzzy logic in project risk management Autores: *Roghanian, Emad *Mojibian, Fatemeh Año: 2015	Este método se usa para mitigar el riesgo durante la fase de diseño antes de que este ocurra. El método incluye: Modo de fallo, causa de la falla, efectos de la falla y métodos de detección; los problemas potenciales identificados durante un FMEA se analizan a través de la técnica RPN (Risk priority number), en donde se evalúan los siguientes criterios: Ocurrencia, severidad y detección, dichos criterios tienen una calificación basada en una escala cualitativa que asigna un valor numérico; posteriormente, se multiplican los tres valores para ordenar de manera jerárquica sus resultados.

Fuente: Elaboración Propia

Se decidió implementar como metodología de cualificación el análisis modal de fallos y efectos (AMFE), dado que es un procedimiento de análisis de fallos potenciales en un sistema, el cual sirve para identificar las causas potenciales de los problemas y así, designar prioridades a los diferentes Modos de Fallo basándose en el análisis de las consecuencias que derivan de estos, teniendo en cuenta:

1. La probabilidad de que pueda ocurrir la falla.
2. El Impacto o gravedad del fallo.
3. La probabilidad de que cuando ocurra la falla, esta no sea detectada.

La guía de PMBOK® propone como herramienta de análisis cualitativo la matriz de probabilidad e impacto, en la cual se priorizan los factores de riesgo según la combinación de la probabilidad de ocurrencia con el impacto sobre un objetivo. En otras metodologías solo se tiene en cuenta una variable; por ejemplo, en el Relative Importance Index (RII) se estudia la variable “importancia”, en donde los participantes de la entrevista asignan un valor de la escala de importancia a cada factor de riesgo, después de haber recibido una amplia información relacionada con los factores de riesgo a evaluar.

En comparación con las metodologías anteriormente descritas, la metodología AMFE logra realizar un análisis más completo, ya que adicionalmente tiene en cuenta la variable detección del riesgo, la cual es una medida relacionada con la capacidad de prever el evento de riesgo específico para determinar el conjunto de acciones, las cuales aumentan las oportunidades de éxito del proyecto teniendo en cuenta todas las restricciones inherentes que conlleva cada proyecto en particular. Otro punto a favor que tiene la metodología AMFE es que es sencilla de aplicar cuando se tienen una cantidad considerable de riesgos y aporta resultados de fácil interpretación, desventaja que tiene la metodología AHP la cual se torna difícil y tediosa de aplicar en estudios como este, que presentan una cantidad considerable de factores de riesgo a analizar.

7.1.2. Descripción del Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE)

En el artículo desarrollado por Roghanian y Mojibian en 2015, se usa el AMFE como una importante herramienta de análisis, la cual puede ser aplicada para mejorar la administración de riesgos, ya que con esta se mitiga el riesgo durante la fase de diseño, antes de que ocurra. En este artículo, el análisis modal de fallos y efectos (AMFE) incluye los siguientes ítems:

- Modo de fallo: Es forma básica de como un componente del sistema puede fallar o dejar de realizar sus operaciones.
- Causas de falla: Se determina cuáles son las causas de la falla.
- Efectos de la falla: Deriva de los diferentes efectos surgidos al ocurrir la falla.
- Métodos de detección: indicadores o sistemas funcionales que se usan para alertar la ocurrencia de la falla. (Guimarães & Lapa, 2004)

Carbone y Tippet en 2004, adaptan los términos de la metodología de análisis modal de fallos y efectos (AMFE) a la gestión de riesgos, con el fin de contextualizar la metodología al análisis de riesgos de proyectos de la siguiente manera:

ID de la Falla	=	ID del riesgo
Ocurrencia	=	Probabilidad
Severidad	=	Impacto
Detección	=	Detección

Para el desarrollo del presente trabajo se hizo una adaptación de la metodología presentada por Carbone y Tippet (2004), a continuación, se describe la metodología diseñada para el análisis cualitativo usando la metodología AMFE:

En primera instancia, se acuerda una reunión con los expertos con el fin de informarles la metodología seleccionada para hacer la priorización de riesgo,

explicar en qué consiste, los insumos requeridos y los resultados a obtener. En la reunión se entrega la lista consolidada de los factores de riesgo previamente obtenida con la información de la reunión anterior, para que los expertos asignen una valoración a la probabilidad, el impacto y la detección de cada factor de riesgo usando una escala tipo Likert. En este trabajo se decidió hacer una adaptación a las escalas propuestas por Carbone y Tippet (2004) obteniendo escalas de 1 a 5 con descripciones de fácil comprensión para los expertos. Las escalas de referencia se encuentran en las tablas 7, 8 y 9:

Tabla 7. Escala de calificación asignada para el impacto en la duración del proyecto

IMPACTO EN LA DURACIÓN DEL PROYECTO	
Impacto	Calificación
Efecto muy alto	5
Alto efecto	4
Efecto medio	3
Poco efecto	2
Muy poco efecto	1

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 8. Escala de calificación asignada para la probabilidad de ocurrencia

PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DEL RIESGO	
Probabilidad	Calificación
Es muy probable que ocurra	5
Probablemente ocurra	4
Probabilidad media de ocurrencia	3
Probablemente no ocurra	2
Muy improbablemente ocurra	1

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 9. Escala de calificación asignada para la detección del riesgo

DETECCIÓN DEL RIESGO	
Detección	Calificación
Riesgo detectable en la etapa de ejecución.	1
Riesgo no detectable en la etapa de ejecución.	5

Fuente: Elaboración Propia.

Con la información obtenida se procede a realizar el cálculo del Risk Priority Number (RPN). El cálculo del RPN se efectúa con la siguiente ecuación:

$$RPN = P \times I \times D$$

Donde:

P: Probabilidad de ocurrencia del riesgo.

I: Impacto en la duración del proyecto

D: Detección del riesgo

En la metodología propuesta por los autores Roghanian y Mojibian en 2015, se propone usar números triangulares difusos para asignar a la valoración lingüística de cada experto, un número triangular a cada variable de acuerdo a una escala lingüística difusa triangular propuesta, en vez de utilizar una escala con números naturales de 1 a 10 para la asignación de valores de cada variable como lo proponen Carbone y Tippett en 2004.

Luego de calcular el RPN de cada riesgo Roghanian y Mojibian hacen una serie de operaciones con los factores de riesgo que tienen el mayor RPN, con el fin de según un conjunto de reglas, definir la respuesta a los riesgos de acuerdo a la intersección de los valores del RPN, con unas gráficas que tienen rangos establecidos. Para el calculo del RPN se siguió la propuesta de Carbone y Tippett, ya que al comparar los resultados obtenidos del RPN con la aplicación de la metodología propuesta por Roghanian y Mojibian, no se obtenian diferencias significativas, la diferencia entre estas es la manera en que se analizan los factores de riesgo después de obtenido el resultado del RPN.

Luego de calcular el RPN para cada factor de riesgo, se procede a organizar los factores de riesgo en una lista de mayor a menor RPN, y finalmente a través de un diagrama de Pareto se seleccionan los factores de riesgos prioritarios los cuales son los factores que tienen el RPN más alto de la lista y su RPN suma aproximadamente el 80% del total de la suma de los RPN de toda la lista de

factores de riesgo. A los riesgos prioritarios se les procede a hacer el análisis cuantitativo.

7.2. ANÁLISIS CUANTITATIVO DE RIESGOS

De acuerdo a lo consignado en el PMBOK®, el análisis cuantitativo es el proceso de analizar numéricamente el efecto de los riesgos identificados, sobre los objetivos generales del proyecto. Se puede determinar el impacto individual o acumulado de los riesgos con respecto a la variable del proyecto que se esté analizando (costo o tiempo), con el fin de construir el plan de respuesta de riesgos que permita determinar la estrategia para abordar las amenazas que pueden tener impactos negativos sobre el proyecto.

Para determinar la metodología empleada en el proceso del análisis cuantitativo, se realizó una revisión bibliográfica a través de revistas indexadas y artículos académicos, acerca de las herramientas y técnicas empleadas por los autores en esta área en sus proyectos de investigación.

7.2.1. Métodos para el Análisis Cuantitativo

A continuación, en la tabla 10 se describieron algunas herramientas encontradas:

Tabla 10. Herramientas para el análisis cuantitativo

Técnica	Descripción	Referencia
Método Bayesiano	Este método propuesto por el reverendo Thomas Bayes en 1764, describe las relaciones causa-efecto entre las variables a través de modelos gráficos. Este método consiste en nodos, que representan las variables del dominio, y los arcos representan las relaciones de dependencia entre los nodos. A través de la estimación de valores pesimista y optimistas de las duraciones de las actividades de acuerdo a	Luu, V. T., Kim, S., Tuan, N. V., & Ogunlana, S. O. (2009). Quantifying schedule risk in construction projects using Bayesian belief networks. International Journal Of Project Management, 2739-50.

Técnica	Descripción	Referencia
	las características del proyecto y mediante el análisis de riesgos en los contratos de construcción, este método busca la mejora de los procesos operativos de la construcción y en el cumplimiento de los costos y tiempos estimados.	doi:10.1016/j.ijproman.2008.03.003
Análisis del Valor Monetario Esperado	el Análisis de Valor Monetario EMV, es un concepto estadístico que calcula el resultado cuando el futuro incluye escenarios que pueden ocurrir o no (incertidumbre). Tiene en cuenta todos los posibles resultados y las probabilidades de cada decisión o estrategia alternativa. Este elemento se calcula multiplicando el valor de cada posible resultado por su probabilidad de ocurrencia y sumando luego los resultados.	Stefanovic, M. and Stefanovic, I., 200s. Decisions, Decisions... Proceedings of the Project Management Institute Global Congress Toronto, Canada.
Simulación Monte Carlo	La simulación Monte Carlo es una técnica útil para modelar y analizar sistemas y situaciones del mundo real. En el ámbito de la gestión de proyectos, la simulación Monte Carlo puede cuantificar los efectos del riesgo y la incertidumbre en los calendarios y presupuestos de los proyectos, proporcionando al gestor del proyecto un indicador estadístico del rendimiento del proyecto. Gracias a los avances tecnológicos junto con el software de simulación Monte Carlo, los directores de proyectos pueden fácilmente lograr la implementación de este método.	Kwak, Y. H., & Ingall, L. (2007). Exploring Monte Carlo Simulation Applications for Project Management. Risk Management, 4(1), 44-57.
Análisis de Sensibilidad	Esta metodología permite identificar el grado de relación que se presentan entre las variaciones de las diferentes incertidumbres y las variaciones de los objetivos del proyecto. Adicionalmente, ayuda a determinar qué factores de riesgos tienen mayor impacto potencial en el proyecto. De igual manera, permite identificar el grado de influencia e incertidumbre que cada elemento del proyecto tiene sobre el objetivo del mismo.	Project Management Institute. (2013). Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía PMBOK) (Quinta ed.). Publicaciones PMI
Técnica de Revisión y Evaluación de Proyectos PERT	La técnica de revisión y evaluación de proyectos es una herramienta útil para programar, coordinando diferentes tareas de un proyecto. Se desarrolló principalmente para simplificar la programación de proyectos grandes y complejos. Uno de sus objetivos, es estimar estadísticamente, con una probabilidad determinada y un rango de valores, la cantidad de tiempo para las tareas. Se utiliza cuando hay incertidumbre en las duraciones de las	-Klastorin, T. (2003). Project Management: Tools and Trade-offs (Tercera ed.). Wiley -Malcom, D. G., Roseboom, J., Clark, C., & Fazar, W. (1959). Application of a technique for Research and Development Program Evaluation. OPERATIONS

Técnica	Descripción	Referencia
	actividades del proyecto .	RESEARCH, 7(5), 646-669
Distribucion es de probabilidad	Esta herramienta, describe como se distribuyen las probabilidades en los eventos, cuyos valores se encuentran en un rango de 0 a 1 donde 0, representa la imposibilidad de ocurrencia del evento, y 1 la certeza de que este ocurra. Esta metodología se usa para ilustrar gráficamente la probabilidad del evento.	Thaheen, M. J., Hurtado, K. C., & De Marco, A. (2012). A review of quantitative analysis techniques for construction project risk management. ResearchGate, 656-666.
Teoría de conjuntos difusos	Fuzzy Set Theory sirve para modelar la vaguedad intrínseca a los procesos cognitivos humanos, este utiliza variables lingüísticas, cálculo del lenguaje natural, aproximación lingüística, operaciones aritméticas de conjuntos difusos, operaciones de conjuntos y el promedio ponderado difuso. En este tipo de técnica al final de la metodología se desfusifican los valores para evaluar la variable en estudio.	Baloi, D., & Price, A. D. F. (2003). Modelling global risk factors affecting construction cost performance. International Journal of Project Management, 21, 261-269.
Redes Neuronales	Las Redes Neuronales son una herramienta de modelado y procesamiento, en la cual su estructura y funcionamientos se encuentran inspirados en las redes neuronales biológicas. Se compone de una serie de elementos simples llamados nodos o neuronas que se organizan en capas. Los nodos o neuronas se encuentran conectados entre sí mediante enlaces de comunicación, las cuales tienen asociados un peso que representa la información que será usada por la red para resolver un problema determinado. Al ser un proceso adaptivo que aprende de la experiencia, se pueden someter a situaciones novedosas, respondiendo de manera correcta ya que crean su propia representación interna del problema.	Palmero Pol, A., & Montañó Moreno, J. (1999). ¿Qué son las redes neuronales artificiales? Aplicaciones realizadas en el ámbito de las adicciones. Universidad de las Islas Baleras, 243-255.

Fuente: Elaboración Propia

Teniendo en cuenta que el enfoque principal de este trabajo se centra en el cronograma del proyecto, y dado que la Simulación Monte Carlo en los proyectos es empleada con mayor frecuencia como herramienta dentro del proceso de cuantificación de riesgos, al permitir traducir los detalles de la incertidumbre sobre el proyecto (Project Management Institute, 2013), y que gracias a los avances tecnológicos junto con el software de simulación Monte Carlo, se puede lograr fácilmente la implementación de este método, se decidió emplear esta herramienta

como proceso para realizar el análisis cuantitativo (Kwak & Ingall, 2007). Esta herramienta, permitirá determinar el impacto de los riesgos identificados mediante la realización de corridas en la simulación, para determinar el rango de los posibles resultados del elemento objeto de estudio del proyecto. Adicionalmente, permitirá predecir el posible resultado de un evento y servirá de soporte para las diferentes decisiones que se tomen del proyecto (Paz & Rozenboim, 2014). Posteriormente, se realizó una búsqueda bibliográfica de metodologías que contemplaron la Simulación Monte Carlo (en adelante SMC).

7.2.2. Metodologías basadas en Simulación Monte Carlo

Durante la revisión bibliográfica se identificaron tres metodologías de análisis de riesgos basadas en SMC planteadas por los autores Ökmen & Öztaş:

1. Proceso de análisis de riesgo crítico - Judgmental Risk Analysis Process (JRAP) en el 2005.
2. Modelo de análisis de riesgo de programa correlacionado - Correlated Schedule Risk Analysis Model (CSRAM) en el 2008.
3. Modelo de análisis de riesgos de programación difusa - Fuzzy Schedule Risk Analysis Model (FSRAM) en el 2014.

Durante la revisión en detalle de los modelos anteriormente mencionados, se hallaron los siguientes puntos de convergencia y divergencia:

El objetivo de los tres modelos es determinar el impacto de los factores de riesgo en la duración de las actividades, el FSRAM (Ökmen & Öztaş, 2014) y el CSRAM (Ökmen & Öztaş, 2008) contemplan tanto los efectos favorables como desfavorables de la materialización de los riesgos, mientras que el JRAP no, pues argumenta que es menos probable que una situación se tome menos del tiempo más probable estimado (Ökmen & Öztaş, 2005).

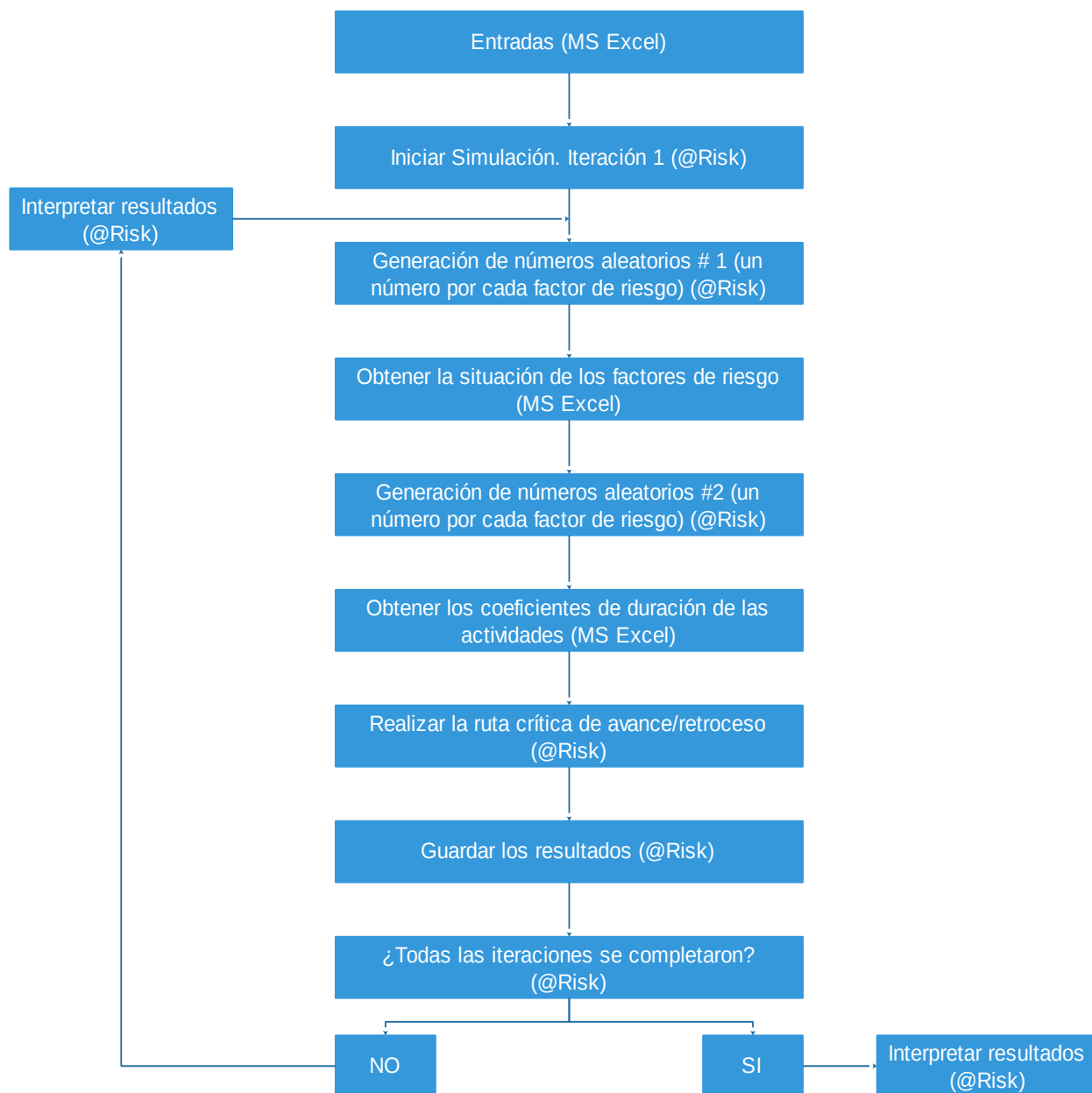
El CSRAM y el FSRAM son modelos que realizan la evaluación de la incertidumbre sobre el cronograma de los proyectos de construcción, se evalúa la existencia de correlación entre las actividades y los factores de riesgo, correlación entre las actividades y correlación entre los riesgos (Ökmen & Öztaş, 2008), la diferencia entre estos, es que el FSRAM usa la lógica difusa como herramienta adicional (Ökmen & Öztaş, 2014). En el JRAP, cuando hay correlación entre los factores de riesgo, esta se incluye en el software mediante una matriz de correlación (Ökmen & Öztaş, 2005). Por otro lado, en el FSRAM (Ökmen & Öztaş, 2014) y el CSRAM (Ökmen & Öztaş, 2008), la correlación se calcula a través de dos pasos: en primer lugar, se equipara los límites de probabilidad de los factores de riesgos correlacionados, y posteriormente, se asignan los mismos números aleatorios para los factores de riesgos correlacionados.

Para los tres modelos, se requiere inicialmente la previa identificación de riesgos que más afecten las actividades del programa. El JRAP hace énfasis en la identificación de riesgos que afectan a las actividades que hacen parte de la ruta crítica a través de la consulta con expertos. Por otro lado, para el CSRAM y el FSRAM los riesgos que se identifican son los que afectan a todas las actividades del proyecto. Luego de la identificación de riesgos se requiere los datos de entrada, insumo de los procesos de análisis de cada modelo:

Para los tres modelos, se requieren los riesgos ya identificados, las duraciones determinísticas y, mínimas, más probables y máximas, los niveles de correlación expresadas en: datos cualitativos (CSRAM y FSRAM) o en un matriz de relación riesgo-actividad (JRAP) y los datos del proyecto. Para el JRAP adicionalmente se requiere de la asignación de las distribuciones de probabilidad, datos que no son requeridos en los modelos restantes, ya que en su lugar emplean los grados de influencia de cada riesgo sobre las actividades.

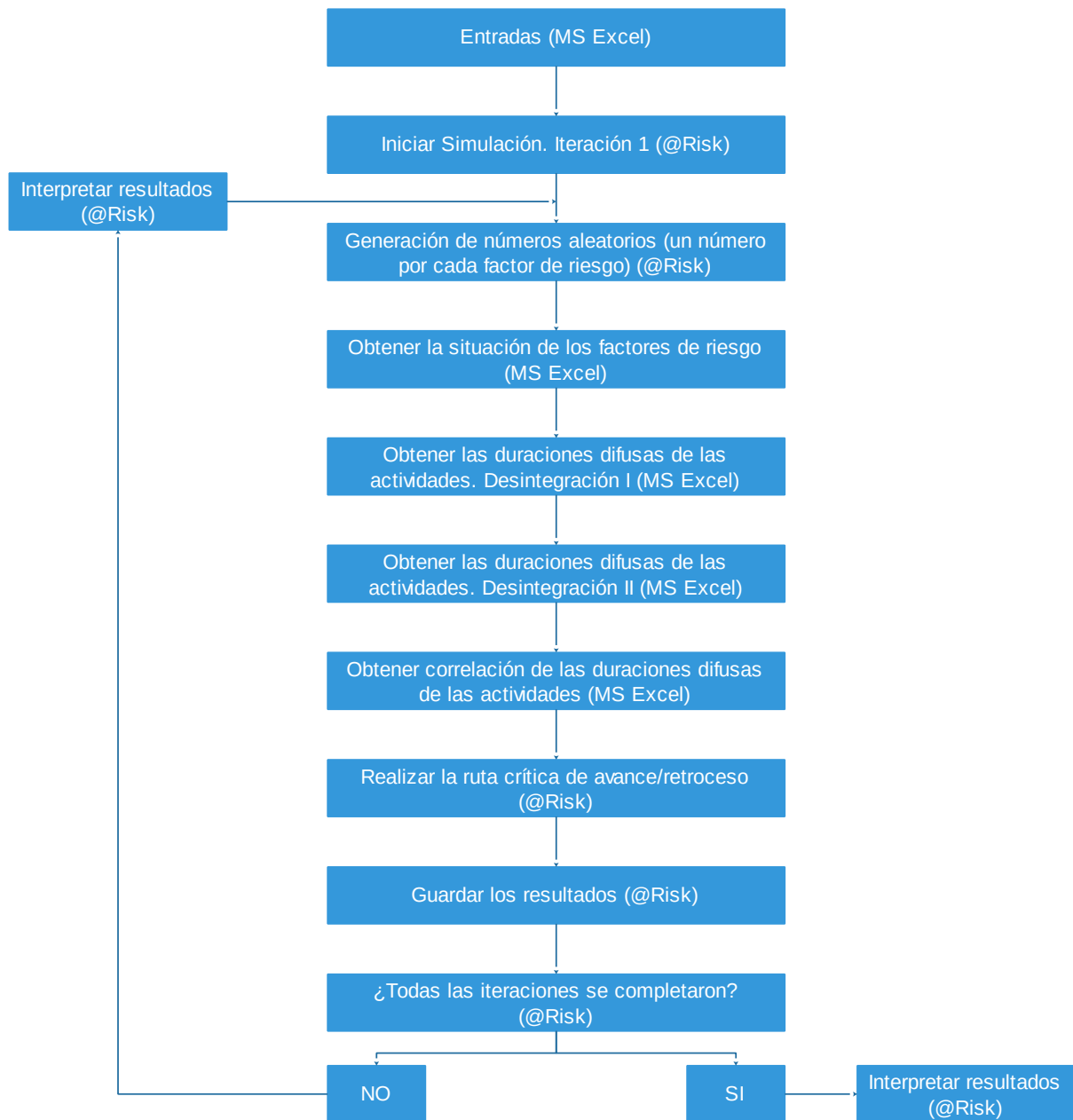
Una vez obtenidos los datos de entrada, cada modelo sigue una metodología de análisis que se representan en las figuras 3, 4 y 5.

Figura 3. Diagrama de flujo de la operación del CSRAM



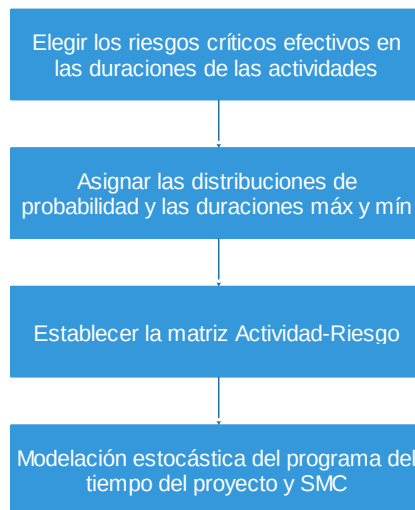
Fuente: Tomado y traducido de: Ökmen & Öztaş (2008)

Figura 4. Diagrama de flujo de la operación FSRAM



Fuente: Tomado y traducido de: Ökmen & Öztaş (2014)

Figura 5. Diagrama de flujo de la operación del JRAP



Fuente: Tomado y traducido de: Öztaş y Ökmen (2005)

Como se puede observar, las metodologías del CSRAM y FSRAM son similares, pero difieren en la manera en cómo se calculan las duraciones de las actividades.

En el CSRAM se hace una segunda generación de números aleatorios, se obtienen en MS Excel los coeficientes de duración de las actividades que pueden ser positivos o negativos para calcular las duraciones de las actividades (Ökmen & Öztaş, 2008). En el método FSRAM se maneja la lógica difusa, todas las operaciones que se realizan para el cálculo de las duraciones de las actividades son difusas, estas operaciones relacionan: los límites de probabilidad y grados de influencia de cada factor de riesgo, el impacto de cada factor de riesgo con la duración de cada actividad y la correlación entre los factores de riesgo. (Ökmen & Öztaş, 2014). Una vez calculadas las duraciones de las actividades, en ambos modelos (CSRAM y FSRAM) se procede a realizar la ruta crítica. En el JRAP la metodología es un poco más sencilla, con la matriz de relaciones de los factores de riesgos sobre las actividades se construye el modelo determinístico en MS

Project, base del modelo estocástico en el software Crystal Ball, junto con los datos de entrada (Ökmen, Önder, & Öztaş, 2005).

7.2.3. Descripción del Fuzzy Schedule Risk Analysis Model (FSRAM)

De acuerdo al análisis comparativo de los tres modelos descritos con anterioridad, para este estudio se propone la aplicación del modelo de análisis de riesgos de programación difusa - Fuzzy Schedule Risk Analysis Model (FSRAM), desarrollado por los autores Ökmen y Öztaş en el 2014 para el análisis cuantitativo, cuyo enfoque metodológico se encuentra enmarcado en el sistema de gestión de riesgo, con el propósito de determinar el impacto de los factores de riesgos en la duración total de cada una de las actividades del proyecto y del proyecto en general.

Uno de los elementos que conllevó a la elección de este modelo sobre el CSRAM, teniendo en cuenta que son parecidos, consiste en la utilización de la lógica difusa. La representación de las duraciones de las actividades mediante números difusos, permite modelar con mayor precisión el efecto de la incertidumbre y la traducción numérica del lenguaje lingüístico (Ökmen & Öztaş, 2014). Adicionalmente, el objetivo principal del modelo consiste en modelar las condiciones inciertas de la manera más realista, desde el punto de vista de la programación. A continuación, se describe la metodología diseñada para el análisis cuantitativo usando la metodología FSRAM:

Dado que esta metodología requiere de la experiencia de los expertos para la recolección de 5 tipos de datos (relación entre las actividades predecesoras, duración difusa de las actividades, grados de influencia de los factores de riesgos, límites de probabilidad para diferentes situaciones de riesgos y correlación entre los factores de riesgo), se debe acordar con los expertos una serie de reuniones con el fin de obtener información de una manera eficaz. En primera instancia, se

acuerda una reunión con los expertos con el fin de informarles la metodología seleccionada para hacer el análisis cuantitativo de los riesgos priorizados, se explica en qué consiste, los insumos requeridos y los resultados a obtener, adicionalmente, se acuerda una serie de reuniones para la recolección de los datos de entrada de la metodología FSRAM. Para la recolección de los datos de entrada se realizan plantillas de diligenciamiento digital en MS Excel en las cuales se recopile la información haciendo una discusión entre los expertos para la calificación y valoración de cada uno de los datos de entrada.

Luego de recolectados los datos de entrada del modelo, se procede a ingresar los datos en una plantilla en MS Excel, en dicha plantilla se debe formular matemáticamente las operaciones propuestas por Ökmen y Öztaş en el 2014, con el fin de que al iniciar la simulación con el programa @Risk de Palisade en cada iteración se produzcan números aleatorios con distribución de probabilidad uniformen para determinar: las situaciones de los riesgos (mejor de lo esperado, esperado o peor de lo esperado), para esa iteración en particular (cuando hay riesgos correlacionados los números aleatorios generados para esos factores de riesgos son iguales) y calcular las duraciones difusas de las actividades (valor inferior, valor medio y valor superior). Posteriormente, se evalúan las duraciones de cada actividad a través del cálculo del CPM difuso, para hacer inferencias sobre el efecto de la incertidumbre en el tiempo de finalización del proyecto.

7.3. ESTRUCTURA METODOLÓGICA PROPUESTA

En la figura 6 se representa la estructura metodológica propuesta para el análisis del impacto de los riesgos en la programación de proyectos de construcción, que posteriormente será validada con un caso de estudio.

Análisis cualitativo de Riesgos

- 1. Reunión con expertos para explicar metodología de análisis cualitativo a seguir:** Se les explicará a los expertos la metodología a emplear para llevar a cabo el análisis cualitativo de riesgos
- 2. Valoración de la probabilidad, impacto y detección de cada factor de riesgo:** Los expertos deberán asignar valores de acuerdo a la escala definida con anterioridad, a las variables de probabilidad de ocurrencia del riesgo, impacto en la duración del proyecto y detección del riesgo
- 3. Calculo del RPN y jerarquización de los factores de riesgo:** Una vez obtenidos los datos anteriores, se procede a calcular el RPN para cada factor de riesgo, y de acuerdo a los resultados obtenidos estos son organizados de mayor a menor, para de esta manera tener jerarquizada la lista de los factores de riesgos ya identificados.
- 4. Seleccionar los riesgos prioritarios a través de un diagrama de Pareto:** Se seleccionarán los riesgos prioritarios a través de la construcción de un diagrama de Pareto. Estos riesgos serán insumo de la etapa del análisis cuantitativo de riesgos

Análisis Cuantitativo de Riesgos

- 5. Reunión con expertos para explicar metodología de análisis cuantitativo a seguir:** Reunión inicial con expertos para explicar metodología de análisis cuantitativo a seguir, seleccionar caso de estudio y agendar siguientes reuniones para la recolección de datos de entrada.
- 6. Recolección de los datos de entrada:** En una serie de reuniones se recolectarán los siguientes datos de entrada insumo del modelo de simulación: correlación de los riesgos, límites de probabilidad, escala de los grados de influencia, actividades del proyecto, duración de las actividades y grados de influencia riesgo-actividad.

7. **Construcción del modelo de simulación:** Una vez obtenidos los datos de entrada se procede a realizar la construcción del modelo para realizar posteriormente la simulación.
8. **Simulación y obtención de resultados:** Se procede a realizar la simulación del modelo en el software @Risk de Palisade para obtener los resultados.
9. **Validación del modelo:** Para determinar la validez del modelo, se compararán los resultados obtenidos de la simulación, con los resultados reales del proyecto y con los datos de la programación del contratista.
10. **Análisis de resultados:** Luego de obtenidos los resultados, estos son analizados para determinar el impacto de los riesgos en la duración del proyecto.
11. **Análisis de sensibilidad:** Se comparan diferentes escenarios, para evaluar los resultados obtenidos y la estabilidad del modelo.

Figura 6. Estructura metodológica propuesta



Fuente: Elaboración Propia

8. APLICACIÓN DE LA ESTRUCTURA METODOLÓGICA AL CASO DE ESTUDIO

8.1. CASO DE ESTUDIO

En reuniones con el Ing. Marulanda se planteó como caso de estudio para el desarrollo de este trabajo, el proyecto que se realizó en la ciudad de Palmira de un centro comercial para vendedores ambulantes. A continuación, se mencionan algunos detalles importantes acerca de este proyecto. Esta información fue obtenida de los estudios previos que realizó la SDRU antes de su ejecución y de la oferta recibida en la licitación (Subsecretaría de renovación urbana y vivienda, 2015).

La zona céntrica de la ciudad de Palmira, es un área reconocida por todos sus habitantes debido a las actividades económicas, comerciales y sociales que allí se desarrollan, y que en las últimas décadas se ha convertido en el foco de problemas sociales, donde se concretan situaciones de vulnerabilidad y exclusión social. Debido a que es una zona muy concurrida por compradores por el comercio legal e ilegal que allí se presenta, y en verás de recuperar el espacio público, ya que estas actividades han ocasionado deterioro en la infraestructura del centro de la ciudad, la administración Municipal del Dr. José Ritter López Peña optó por construir un centro comercial para 373 vendedores ambulantes. La empresa Castipal S.A.S, fue el contratista elegido para la ejecución del proyecto a través del proceso de licitación.

Siendo el objetivo del proyecto, la recuperación del espacio público, la generación del desarrollo socioeconómico y la modernización de la zona céntrica y el sector de Galerías, se plantearon como metas la recuperación de 1400m² de espacio público, la restitución de 1000 m² de espacio público y la relocalización de 373

vendedores ambulantes y estacionarios. Para ello, fue destinada un área total de 2.350 m² en la manzana catastral No. 123 correspondientes a las Carreras 26 y 27 y Calles 29 y 30.

FASES DE LA OBRA:

Fase de Diseño: Las funciones de esta fase estaban encaminadas al diseño arquitectónico, paisajístico, urbanístico y técnico del lote. Los productos de la fase de diseño son:

- Planos de diseño arquitectónico final.
- Planos estructurales
- Planos de accesibilidad cumpliendo con la normativa vigente para Personas con Movilidad Restringida (PMI).
- Planos de detalles y acabados.
- Planos de iluminación, eléctricos, instalaciones hidrosanitarias y demás que sean necesarias
- Se deberá definir y consignar en los planos, especificaciones detalladas que los complementen indicando los materiales que deben usarse y parámetros para los diseños de las áreas.
- Reajuste de presupuesto.
- Programación de Obra.

Fase de Obra: Dentro de las actividades que se realizaron para dar cumplimiento al proceso de ejecución de la obra y el costo total de la misma se observan en la siguiente tabla:

Tabla 11. Resumen Presupuesto

CUADRO GENERAL				
Estudios y Diseños	\$250.000.000	Administración	15 %	\$368.389.051
Cimentación	\$253.829.291	Imprevistos	2%	\$49.118.540
Estructuras	\$289.179.100	Utilidad	4,35%	\$106.832.825
Mampostería	\$306.106.635	Total AIU	21,35%	\$524.340.416
Entrepisos e instalaciones	\$785.665.272	SUB TOTAL COSTOS OBRA		\$2.980.267.424
Cubiertas	\$570.146.710	TOTAL COSTOS OBRA		\$2.980.267.424
TOTAL COSTO DIRECTO	\$2.455.927.008			

Fuente: Oferta licitación No. MP-LP-SDRU-OP-03-2015

El plazo de ejecución de la obra fue de seis meses a partir de la suscripción del acta de inicio, previa a la legalización del contrato. Se laboró de lunes a sábado exceptuando los festivos.

Con el objetivo de validar la estructura metodológica propuesta para el análisis de los riesgos, se indagó sobre los resultados reales del proyecto luego de su ejecución, de los cuales se encontró que la fecha de inicio y finalización fueron: 28 de abril de 2015 y 14 de febrero de 2017, respectivamente.

Las actividades del proyecto se encuentran en el Anexo 2.

8.2. APLICACIÓN DE LA ESTRUCTURA METODOLÓGICA AL CASO DE ESTUDIO

A continuación, se describe el proceso de aplicación de la estructura metodológica propuesta al caso de estudio elegido tanto para el análisis cualitativo como para el análisis cuantitativo, considerando los factores de riesgos identificados en el capítulo 6. Para su desarrollo, fue indispensable la participación de los expertos de la SDRU y adicionalmente, la colaboración del Ingeniero representante de la empresa contratista encargada de la ejecución de la obra del centro comercial para vendedores ambulantes.

8.2.1. Análisis Cualitativo de Riesgos

Para dar inicio al desarrollo de la metodología propuesta, se desarrollaron los siguientes pasos:

8.2.1.1. Reunión con expertos

Se realizó una reunión con los expertos para explicar detalladamente el procedimiento para realizar la priorización de riesgos, los datos necesarios, y los resultados esperados. Posteriormente, se realizó la recolección de los siguientes datos:

8.2.1.2. Valoración de la probabilidad, impacto y detección de cada factor de riesgo

Con el fin de tener claridad en los datos solicitados, antes de realizar la valoración de los riesgos, se explicó a los expertos las escalas diseñadas (ver tabla 7, 8 y 9) con el escenario más pesimista, de la siguiente manera:

- Si el experto califica el impacto en la duración del proyecto como “Efecto muy alto”, esto significa que el experto considera que, en términos de tiempo al materializarse dicha amenaza, el proyecto tendrá inconvenientes en el cumplimiento del cronograma.
- Si el experto califica el factor de riesgo como muy probable que ocurra, esto implica que el experto según su experiencia considera que el riesgo se ha presentado con gran frecuencia en los proyectos en los cuales ha participado.
- Si el experto califica que el riesgo es detectable, esto implica que se puede prever la materialización del riesgo.

Con el fin de valorar uno a uno los factores de riesgos, el proceso realizado por los expertos fue: Leer, analizar y discutir los valores a asignar para la probabilidad, el impacto y la detección de cada riesgo logrando en cada calificación un consenso entre los dos expertos con respecto a la valoración asignada.

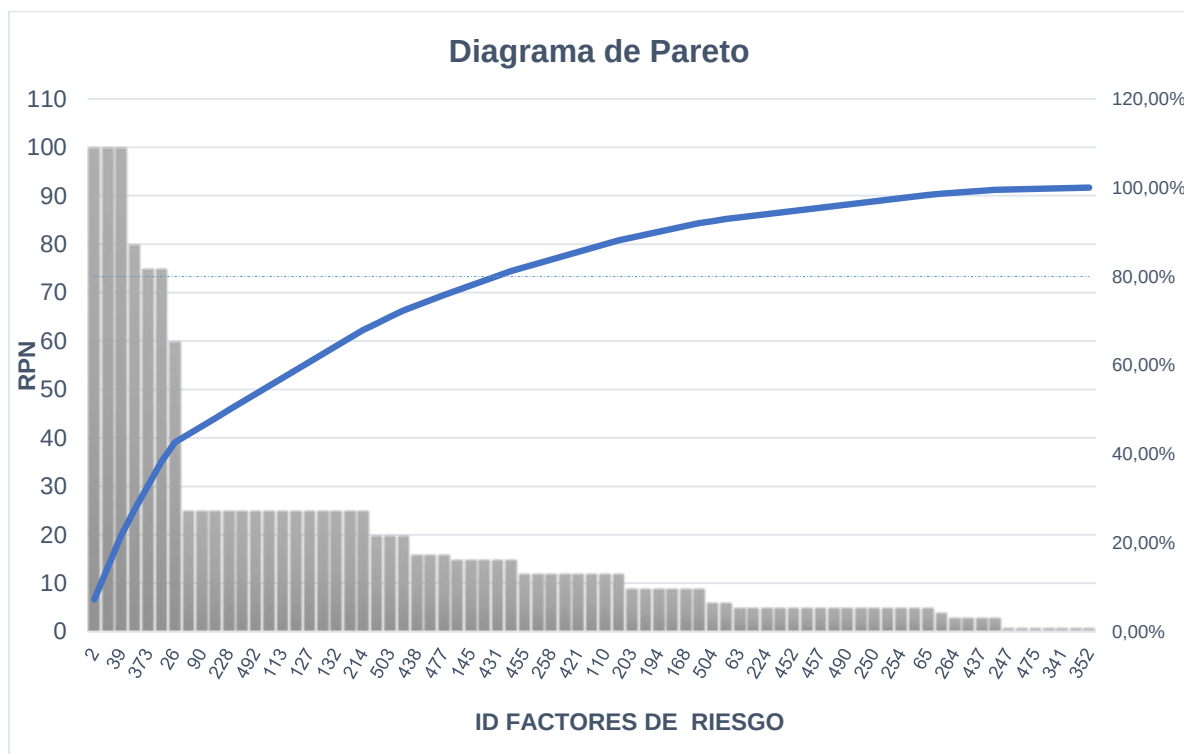
8.2.1.3. Cálculo del Risk Priority Number (RPN) y Jerarquización de riesgos

Con los datos recolectados se calculó el RPN y se realizó una lista de los factores de riesgo jerarquizada de mayor a menor RPN la cual está en el anexo 3.

8.2.1.4. Diagrama de Pareto

Con la lista de riesgos jerarquizada, se procedió a hacer el diagrama de Pareto (ver figura 7) basado en el RPN, con el fin de identificar los factores de riesgos que tienen una mayor repercusión en el cumplimiento del programa del proyecto.

Figura 7. Diagrama Pareto



Fuente: Elaboración propia.

Se seleccionaron como factores de riesgo prioritarios, aquellos cuyo RPN fueron los más altos de la lista y suman aproximadamente el 80% del total acumulado. De esta manera, se obtuvieron 31 factores de riesgo prioritarios, insumo del análisis cuantitativo que se encuentran en la tabla 12:

Tabla 12. Lista de factores de riesgo prioritarios

ID	Riesgo	Clasificación propuesta	RPN	% acum.
2	Sobrecosto	Económicos financieros y	100	7,23%
470	Condiciones inesperadas de superficie y subsuperficie (suelo, tabla freática, etc.)	Factores externos	100	14,46%
39	Condiciones imprevistas del terreno	Condiciones del sitio	100	21,69%
301	Daños a la infraestructura causados por personas irresponsables	Factores externos	80	27,48%
373	Condiciones climáticas y otras causas naturales de retrasos	Ambientales	75	32,90%
154	Entrega tardía del sitio	Gestión - planeación	75	38,32%
26	Construcción adicional	Proyecto	60	42,66%
202	Terremoto	Ambientales	25	44,47%
90	Fuego	Ambientales	25	46,28%
358	Retrasos en el suministro de material	Recursos	25	48,08%
228	Robo material y daños	Recursos	25	49,89%
484	Cambios en los tipos de materiales y especificaciones durante la construcción	Recursos	25	51,70%
492	Proveedores poco fiables	Recursos	25	53,51%
365	Mala calidad de la mano de obra	Recursos	25	55,31%
113	Altos estándares de calidad	Recursos	25	57,12%
276	Restricción de las operaciones de capital	Económicos financieros y	25	58,93%
127	Relación con el tercero	Partes involucradas	25	60,74%
128	Pago tardío	Partes involucradas	25	62,55%
132	Dificultad en la elección de un distribuidor comercial	Partes involucradas	25	64,35%
318	Condiciones sociales	Factores externos	25	66,16%
214	Regulación de seguridad	Condiciones del sitio	25	67,97%
376	Problemas de flujo de caja	Económicos financieros y	20	69,41%
503	Lentitud en la toma de decisiones	Partes involucradas	20	70,86%
465	Pérdida de tiempo por control de tráfico y restricción en el lugar de trabajo	Factores externos	20	72,31%
438	Políticas del contratista inapropiadas	Partes involucradas	16	73,46%
476	Baja motivación y moral del trabajo	Trabajo trabajadores -	16	74,62%
477	Baja productividad del trabajo	Trabajo trabajadores -	16	75,78%
222	Calidad del equipo	Recursos	15	76,86%
145	Escasez de máquinas herramientas y movilización de trabajadores debido a enfrentamientos de varios proyectos	Recursos	15	77,95%
424	Asistencia inadecuada a la gestión de proyectos	Partes involucradas	15	79,03%
431	Proyecto ineficaz de la planificación y programación	Partes involucradas	15	80,12%

Fuente: Elaboración propia

A pesar de que en el diagrama de Pareto se evidencia una segmentación en los resultados obtenidos de la lista jerarquizada, con los cuales se podrían trabajar con 7 riesgos los cuales representan el 42,66%, se optó por realizar un ejercicio más riguroso e incluir los riesgos cuyo porcentaje acumulado sumó aproximadamente el 80%.

8.2.2. Análisis Cuantitativo de Riesgos

Continuando con el desarrollo de la metodología propuesta, se acudió a los expertos anteriormente contactados y adicionalmente, participó el Ingeniero Hebert Palomino, representante de la empresa contratista encargada de la ejecución del proyecto del caso de estudio CASTIPAL S.A.S. De igual manera, para efectos de entendimiento del modelo elegido se contactó a sus autores Ökmen y Öztaş, cuya respuesta ayudó a tener claridad en los elementos que fueron solicitados a los expertos.

8.2.2.1. Reunión con expertos

Se realizó una reunión con los expertos para explicarles en qué consistía el modelo elegido, los datos que se requerían y los resultados esperados.

8.2.2.2. Recolección de los datos de entrada

El proceso de recolección de datos se realizó a través de plantillas en Ms Excel para facilitar su tabulación. Se realizaron 6 reuniones diarias de una a dos horas de acuerdo a la disponibilidad y disposición de los expertos para la recolección de los datos requeridos.

En la primera reunión, al presentarle a los expertos la lista con los 31 riesgos priorizados, surgió la situación de que los expertos consideraron que dos riesgos de la lista priorizada deberían ser eliminados, estos riesgos son: El “Factor de riesgo 113. Altos estándares de calidad” y el “Factor de riesgo 39. Condiciones imprevistas del terreno” el panel de expertos consideró que estos riesgos se deberían eliminar, ya que el primero no se presenta, y el segundo estaba incluido

en otro riesgo ya identificado. Es posible que esta situación se haya presentado porque inicialmente los expertos revisaron una extensa lista que contemplaba 209 factores de riesgo, lo que dificultó y generó errores en el proceso de depuración. Es posible que dicha situación haya generado que estos dos factores de riesgo no hayan sido depurados con anterioridad.

A continuación, se detalla el proceso que se siguió para la recolección de los datos de entrada.

Riesgos Correlacionados: Para la recolección de estos datos se realizó una reunión con los expertos, en la que fue necesario en primer lugar, definir los riesgos priorizados que se encontraban correlacionados. Para ello, y para efectos de entendimiento y practicidad visual del ejercicio, se realizaron unas fichas que contenían los nombres de cada factor de riesgo que fueron agrupadas por los expertos de acuerdo a su correlación. En la tabla 13 se encuentran agrupados los riesgos que se encuentran correlacionados.

Tabla 13. Riesgos Correlacionados

Grupo 1		Grupo 6	
Factor de riesgo 358	Retrasos en el suministro de material	Factor de riesgo 318	Condiciones sociales
Factor de riesgo 492	Proveedores poco fiables	Factor de riesgo 214	Regulación de seguridad
Factor de riesgo 276	Restricción de las operaciones de capital	Grupo 7	
Factor de riesgo 127	Relación con el tercero	Factor de riesgo 228	Robo material y daños
Factor de riesgo 128	Pago tardío	Factor de riesgo 484	Cambios en los tipos de materiales y especificaciones durante la construcción
Factor de riesgo 132	Dificultad en la elección de un distribuidor comercial	Factor de riesgo 365	Mala calidad de la mano de obra
Grupo 2		Grupo 8	
Factor de riesgo 373	Condiciones climáticas y otras causas naturales de retrasos	Factor de riesgo 301	Daños a la infraestructura causados por personas irresponsables
Factor de riesgo 154	Entrega tardía del sitio	Factor de riesgo 438	Políticas del contratista inapropiadas
Factor de riesgo 424	Asistencia inadecuada a la gestión de proyectos	Factor de riesgo 476	Baja motivación y moral del trabajo
Factor de riesgo 431	Proyecto ineficaz de la planificación y programación	Factor de riesgo 477	Baja productividad del trabajo

Grupo 3		Grupo 9	
Factor de riesgo 222	Calidad del equipo	Factor de riesgo 2	Sobrecosto
Factor de riesgo 145	Escasez de máquinas herramientas y movilización de trabajadores debido a enfrentamientos de varios proyectos	Factor de riesgo 470	Condiciones inesperadas de superficie y subsuperficie (suelo, nivel freática, etc.)
Grupo 4		Factor de riesgo 376	Problemas de flujo de caja
Factor de riesgo 202	Terremoto	Factor de riesgo 26	Construcción adicional
Grupo 5		Grupo 10	
Factor de riesgo 90	Fuego	Factor de riesgo 503	Lentitud en la toma de decisiones
		Factor de riesgo 465	Pérdida de tiempo por control de tráfico y restricción en el lugar de trabajo

Fuente: Elaboración propia

Límites de probabilidad: Posteriormente, se calificaron los límites de probabilidad para cada factor de riesgo, con el objetivo de definir los rangos de la situación del riesgo: mejor de lo esperado (incertidumbre favorable), esperado (incertidumbre neutra) o peor de lo esperado (incertidumbre adversa). Dado que los expertos manifestaron que era imposible que un riesgo al materializarse presentara un impacto positivo los límites de probabilidad para el término “mejor de lo esperado” fue de cero para todos los riesgos. Los datos recolectados se encuentran en el anexo.

Escala de los Grados de Influencia: En la siguiente reunión se definieron los grados de influencia de la siguiente manera: Inicialmente, se ordenaron los riesgos (por medio de fichas) de mayor a menor impacto. Posteriormente, se procedió a definir la escala numérica de grados de influencia para cada riesgo en tres términos: Inefectiva, efectiva y muy efectiva. Para efectos de entendimiento para los expertos se decidió cambiar la etiqueta de los términos de los grados de influencia a: sin impacto (S.I.), impacto medio (I.M.) y máximo impacto (M.I.), respectivamente. Se tuvo en cuenta que los valores de “máximo impacto” de los

riesgos que tienen mayor influencia en la duración de las actividades con respecto a otros riesgos, fueron mayores que el “máximo impacto” de los riesgos que tienen menor influencia en la duración de las actividades. Cabe resaltar, que estos datos solo fue posible recolectarlos con un solo experto, lo que hizo que el ejercicio fuese más rápido, pero con mayor riesgo de sesgos de percepción. Ver anexo 4.

Actividades del Proyecto: Para obtener las actividades del proyecto, se realizó una reunión con el Ingeniero Palomino, en la que proporcionó el listado de actividades que se desarrollaron para la ejecución del proyecto. Cabe destacar, que no se trabajó con la lista inicial de actividades incluida en la oferta presentada por el contratista en el proceso de licitación, ya que este proceso incluía el diseño de la obra, por lo tanto, la programación inicial no incluía todas las actividades de la construcción. Ver anexo 4.

Grados de Influencia Riesgo-Actividad: En otra reunión, se procedió a calificar en términos cualitativos (sin impacto, impacto medio, máximo impacto) la influencia de cada riesgo con respecto a cada actividad del proyecto. Ver anexo 4.

Duración de las actividades: Las duraciones de las actividades fueron proporcionadas por el Ingeniero Palomino. En la reunión, se definieron los límites del valor difuso de la duración de cada actividad (límite inferior, medio y límite superior). Ver anexo 4.

Precedencia de actividades: En otra reunión con el Ingeniero Palomino, se determinó la relación de dependencia entre las actividades del proyecto. Ver anexo 4.

8.2.2.3. Construcción del Modelo

Una vez obtenidos los datos de entrada, se procedió a realizar la construcción del modelo estocástico en una hoja de cálculo de Ms Excel, con ayuda del software de Simulación de Monte Carlo @Risk de Palisade.

Como variables de entrada del modelo de simulación se tienen: los límites difusos de la duración de cada actividad, los límites de probabilidad de la situación de cada factor de riesgo, la escala de los grados de influencia para cada factor de riesgo, la interdependencia de las actividades, la generación de números aleatorios para cada factor de riesgo y en términos cualitativos la influencia de cada riesgo con respecto a cada actividad del proyecto.

Como variables de salida del modelo de simulación, se definió la duración difusa del proyecto.

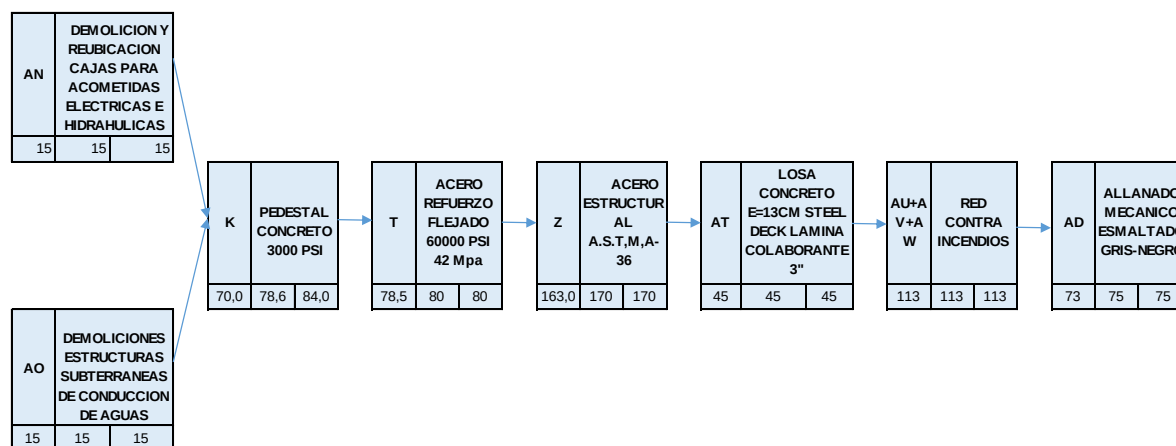
Posteriormente, en una hoja de cálculo se procedió a definir las relaciones y fórmulas necesarias para la realización de las operaciones difusas, para determinar las duraciones de las actividades, incorporando los elementos de incertidumbre, teniendo en cuenta que los riesgos correlacionados de cada grupo que se encuentran en la tabla 13 (ver página 64), tienen los mismos límites de probabilidad y la misma asignación de números aleatorios obtenidos de una distribución uniforme entre 0 y 1, para asignar la situación de cada factor de riesgo. Luego, se realiza el CPM para determinar la ruta crítica y posteriormente definir la duración final del proyecto.

Para definir y hacer inferencias sobre el efecto de la incertidumbre en la duración difusa del proyecto obtenida de las iteraciones a lo largo de la simulación, se usó el dato más bajo del límite inferior, el promedio de los valores medios, y el dato más alto del límite superior de las mil iteraciones.

8.2.2.4. Resultados de la Simulación

Para realizar la simulación se configuró como dato de salida del modelo la duración difusa del proyecto, la cual se obtiene al desarrollar la ruta crítica difusa (ver figura 8) de toda la red del proyecto. Al hacer 1000 iteraciones se obtuvieron los siguientes resultados:

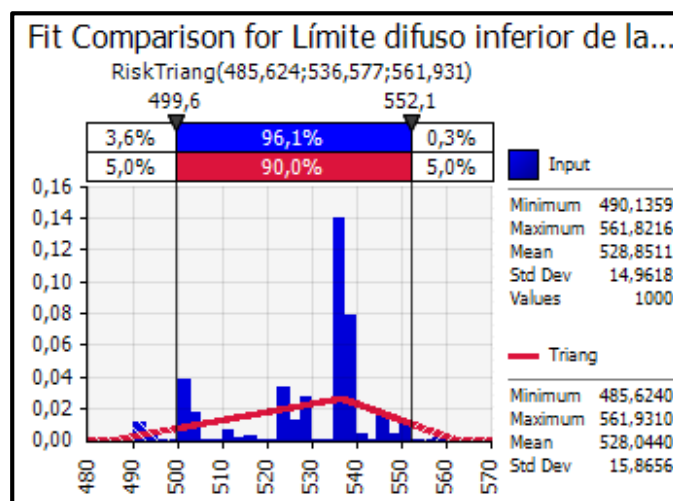
Figura 8. Ruta crítica del caso de estudio



Fuente: Elaboración Propia

Límite inferior difuso de la duración del proyecto

Figura 9. Distribución de la probabilidad ajustada del límite inferior difuso de la duración del proyecto

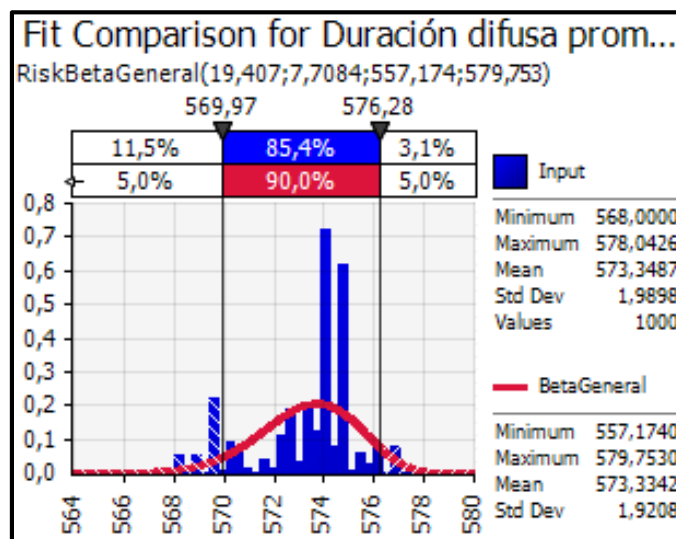


Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la figura 9, al ajustar la distribución, el límite inferior difuso de la duración del proyecto adopta una distribución triangular con una media de 528,04 días, un mínimo de 485,62 días, un máximo de 561,9 días y una desviación estándar de 15,86 días. Adicionalmente, se infiere que el 90% de la probabilidad de la duración inferior difusa del proyecto está entre 499,6 y 552,1 días.

Duración difusa promedio del proyecto

Figura 10. Distribución de la probabilidad ajustada de la duración difusa promedio del proyecto

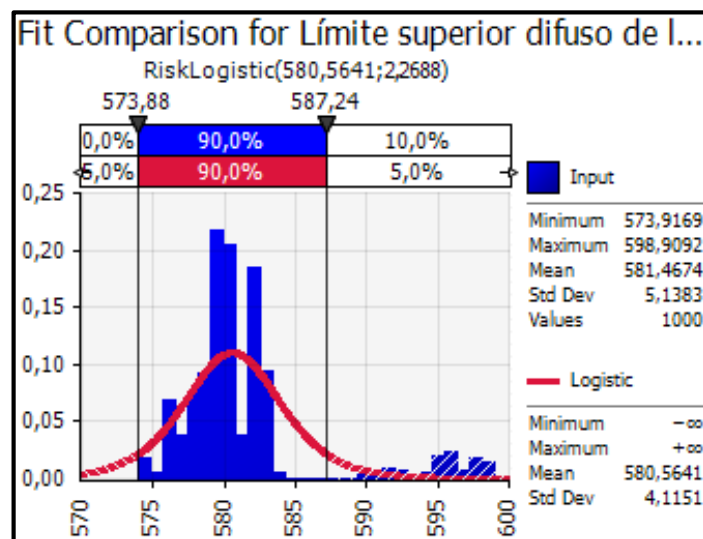


Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la figura 10, al ajustar la distribución, la duración difusa promedio del proyecto adopta una distribución BetaGeneral con una media de 573,33 días, un mínimo de 557,17 días, una duración máxima 579,75 días y una desviación estándar de 1,92 días. Adicionalmente, se estima que el 90% de la probabilidad de la duración difusa promedio del proyecto está entre 569,97 y 576,28 días.

Límite superior difuso de la duración del proyecto

Figura 11. Distribución de la probabilidad ajustada del límite superior difuso de la duración del proyecto

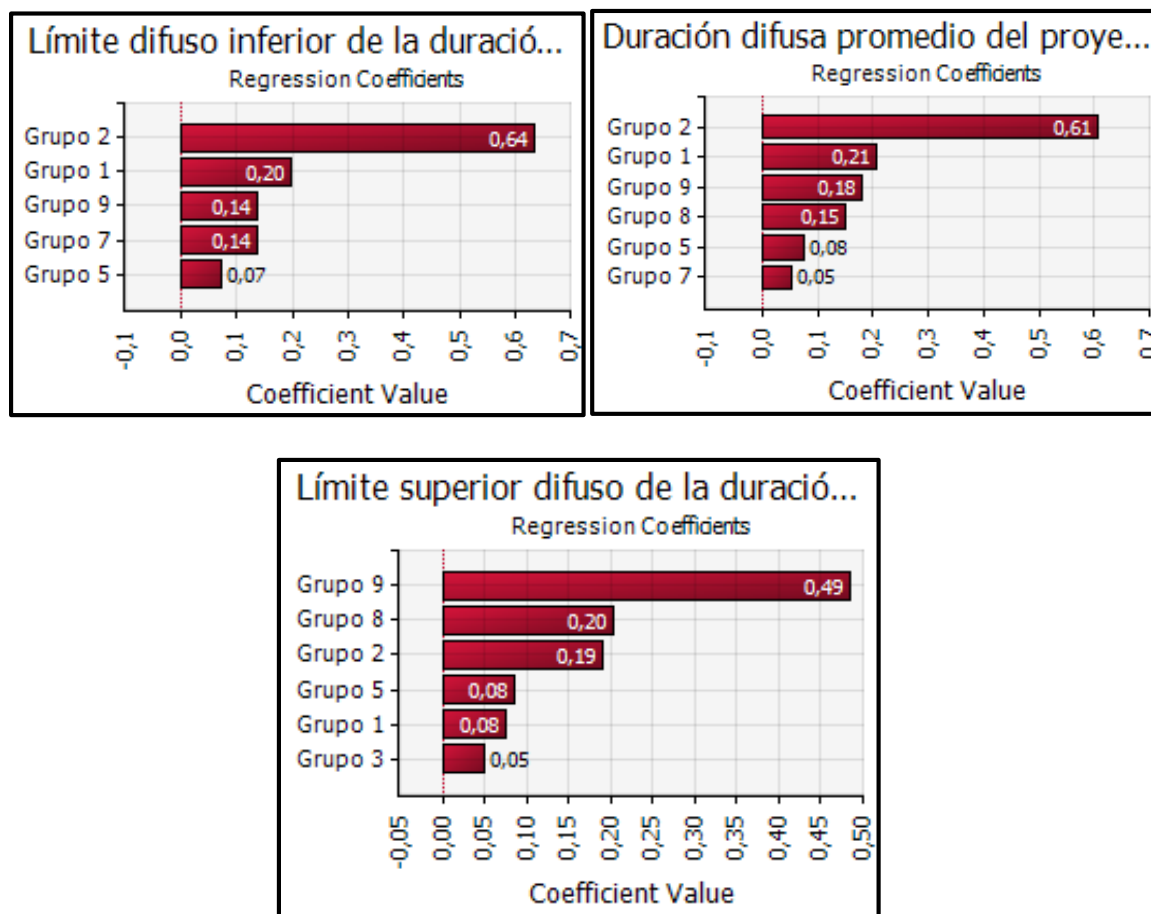


Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la figura 11, al ajustar la distribución, el límite superior difuso de la duración del proyecto adopta una distribución LogLogistic con una media de 580,56 días, un mínimo infinito, una duración máxima infinita y una desviación estándar de 4,11 días. Adicionalmente, se estima que el 90% de la probabilidad del límite superior difuso de la duración del proyecto está entre 573,88 y 587,24 días.

Impacto de los riesgos en la duración del proyecto

Figura 12. Gráfico de tornado de la duración difusa del proyecto



Fuente: Elaboración propia

El diagrama de tornado (ver figura 12) permite identificar cuáles son los riesgos que tienen mayor impacto en la duración del proyecto, en este caso se obtiene que:

El grupo 2 que contiene los riesgos correlacionados: Condiciones climáticas y otras causas naturales de retrasos, entrega tardía del sitio, asistencia inadecuada a la gestión de proyectos y proyecto ineficaz de la planificación y programación, es el grupo de factores de riesgo que tienen mayor incidencia en el límite inferior y en la duración difusa promedio del proyecto, y el grupo 9, que contiene los riesgos correlacionados: sobrecosto, condiciones inesperadas de superficie y

subsuperficie (suelo, nivel, freática, etc.), problemas de flujo de caja y construcción adicional, es el grupo de factores de riesgo que tiene mayor impacto en el límite superior de la duración difusa del proyecto, es decir, que estos riesgos son los principales causantes de que el proyecto dure más que el tiempo estimado como más probable.

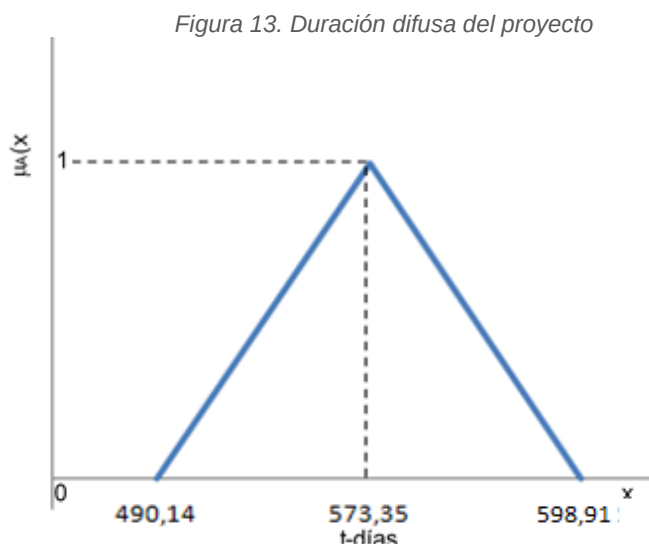
Finalmente, se obtiene que la duración difusa del proyecto es:

Límite inferior difuso de la duración del proyecto: 490,14 días (16,34 meses).

Duración promedio difusa del proyecto: 573,35 días (19,11 meses).

Límite superior difuso de la duración del proyecto: 598,91 días (19,96 meses).

Esta duración se representa en la figura 13.



Fuente: Elaboración propia

8.2.2.5. Validación del Modelo

Para validar los resultados obtenidos a través de la simulación se compararon la fecha de finalización obtenida en la simulación con la pactada en el contrato y con la programación del contratista luego de realizar el diseño de la obra y con la que

realmente tuvo el proyecto. Como se evidencia en la tabla 14, la duración pactada inicialmente en la licitación la cual incluía el diseño de la obra fue de 180 días, luego de realizado el diseño, la duración programada por el contratista fue de 568 día. Sin embargo, el proyecto realmente duró 658 días.

Tabla 14. Fechas de finalización y duraciones del proyecto

Fecha de inicio de la Obra		28 de abril de 2015	
Fecha de terminación pactada:	28 de septiembre de 2015	Duración pactada:	180 días
Fecha de terminación real:	14 de febrero de 2017	Duración real:	658 días
Fecha de terminación programación contratista	16/11/2016	Duración programación contratista:	568 días
Fecha de terminación obtenida en la simulación:	30/08/2016	21/11/2016	18/12/2016
Duración obtenida en la simulación	490,14 días	573,35 días	598,91 días

Fuente: Elaboración Propia

Al comparar los riesgos priorizados con los que efectivamente se materializaron durante la ejecución del proyecto, se ratificó que los riesgos que se presentaron, se encontraban incluidos en la priorización (ver tabla 12, pág. 61) y en el análisis de tornado (ver figura 12). Estas situaciones se relacionan con los siguientes riesgos: Entrega tardía del sitio (FR 154, grupo 2), asistencia inadecuada a la gestión de proyectos (FR 424, grupo 2), proyecto ineficaz de la planificación y programación (FR 431, grupo 2), Sobrecosto (FR2, grupo 9), condiciones inesperadas de superficie y subsuperficie (suelo, nivel freático, etc.) (FR 470, grupo 9), construcción adicional (FR 26, grupo 9), retraso en el suministro de material (FR 358, grupo 1) y cambio en el tipo en los tipos de materiales y especificaciones (FR 484, grupo 7). En el anexo 5, se encuentra la justificación y el detalle de las suspensiones y otros sí ocasionados por la materialización de los riesgos anteriormente mencionados.

Por otro lado, la duración del proyecto definida por la programación realizada por el contratista frente a la duración real del proyecto presenta una diferencia de 3 meses, ocasionada por la segunda suspensión de la obra (ver anexo 5). La fecha programada por el contratista es del 16 de noviembre del 2016 y la fecha real de

culminación fue el 14 de febrero de 2017. Cabe resaltar que la duración de la programación del contratista se encuentra en el rango entre el límite inferior y medio del resultado obtenido de la simulación.

Por otra parte, el límite superior de la duración difusa de la terminación del proyecto obtenida de la simulación, presenta una diferencia de 61 días con respecto a la duración real del proyecto. Lo anterior indica, que los resultados de la simulación, arrojaron datos más cercanos a los reales en comparación a los de la programación realizada por el contratista.

8.2.2.6. Análisis de resultados

De las distribuciones obtenidas a partir de la simulación de @Risk se infiere que el proyecto tiene una probabilidad nula de ejecutarse en seis meses como inicialmente se pactó en el contrato del proyecto.

En la figura 13 (ver página 71) se puede observar que 573,35 días tienen la mayor posibilidad de ser la duración del proyecto ya que su grado de pertenencia es 1, como se trabajó con números difusos, el intervalo de pertenencia es $[0,1]$. Los valores que sean menor a 490,14 y mayores a 598,91 tienen una pertenencia: $\mu_A(x)=0$, lo cual indica que el elemento no pertenece al conjunto. La duración del proyecto podría ser entre 490,14 y 598,91 días; los valores de duración disminuyen a medida que se alejan de los 573,35 y se aproximan a los 490,14 y 598,91 días.

Ahora, si se compara la probabilidad de que el proyecto durara 568 días resultado de la programación realizada por el contratista, como valor más esperado es del 0,6%, la probabilidad de que se encuentre en el rango entre el límite inferior difuso es del 0%, ya que de acuerdo a la distribución ajustado el máximo valor del límite inferior es de 561,9 días. La probabilidad de que se encuentre en el límite superior difuso 99,6%.

Dado que el límite superior de la duración difusa del proyecto es 598,91 días, no se espera que el proyecto sobrepase la fecha límite del 18 de diciembre de 2016, por tal razón, la probabilidad de que el proyecto dure 658 días (duración real del proyecto) según los resultados de la simulación es nula.

A las actividades pertenecientes a la ruta crítica (ver figura 8), se debieron enfocar los esfuerzos pertinentes para formular planes de acción que permitieran al gestor del proyecto en la etapa de planeación evitar, transferir o mitigar los efectos de la materialización de alguno de los riesgos.

Se realizó un cambio en la configuración del modelo inicial, con el fin de determinar los riesgos que mayor impacto tenían en la duración de las actividades pertenecientes a la ruta crítica. Para ello, se seleccionó como variables de salida, la duración difusa de estas actividades. Posteriormente, se hizo el análisis de regresión a través del gráfico de tornado en donde se obtuvo que: el valor del límite inferior se ve impactado principalmente por el grupo 2 de riesgos correlacionados, con un coeficiente de correlación promedio de 0,64 y que el valor del límite superior se ve impactado principalmente por el grupo 9 de riesgos correlacionados, con un coeficiente de correlación promedio de 0,49 (ver tabla 15). Es de destacar, que las actividades que no se ven afectadas por ningún riesgo, no tienen ningún grado de incertidumbre relacionado a su duración porque el valor asignado para su duración es el mismo para los tres elementos del número difuso; por ejemplo, para la actividad AN se tiene una duración de (15,15,15) días. En el caso, de las actividades T, Z y AD no se tiene un coeficiente de correlación para el valor medio difuso porque el valor asignado para la duración media y del límite superior es el mismo; por ejemplo, la actividad T tiene una duración de (55,80,80) días.

Tabla 15. Efecto de los riesgos correlacionados con las actividades de la ruta crítica

	Límite inferior		Media		Límite superior	
	Riesgos de mayor impacto	Coefficiente de regresión	Riesgos de mayor impacto	Coefficiente de regresión	Riesgos de mayor impacto	Coefficiente de regresión
AN-AO	-	-	-	-	-	-
K	Grupo 2	0,617	Grupo 2	0,589	Grupo 2	0,392
T	Grupo 2	0,597	-	-	Grupo 9	0,521
Z	Grupo 2	0,629	-	-	Grupo 9	0,521
AT	-	-	-	-	-	-
AU+AV+AW	-	-	-	-	-	-
AD	Grupo 2	0,605	-	-	Grupo 9	0,521

Fuente: Elaboración propia

Los resultados anteriores indican que los grupos 2 y 9 contienen los riesgos que son los más responsables de la incertidumbre en las duraciones tanto de las actividades de la ruta crítica, como en las demás actividades que conforman el proyecto.

8.2.2.7. Análisis de sensibilidad: Comparación de simulaciones

Para evaluar el comportamiento de las variables bajo diferentes escenarios, se realizaron tres simulaciones adicionales; se configuraron:

- Una simulación con 500 iteraciones
- Una simulación con 5000 iteraciones
- Una simulación con 1000 iteraciones, cuyos riesgos no se encuentran correlacionados.

Al realizar simulaciones con diferentes configuraciones se obtiene:

- El resultado de todos los escenarios que tienen los factores de riesgo correlacionados, es igual para el límite inferior y la duración media del

proyecto, en el límite superior se observa una variación de un día (ver tabla 16).

- Para todos los escenarios la duración media del proyecto es de 573,35 días (ver tabla 16).
- Al no correlacionar los riesgos se obtiene una variación de menos de 10 días en los límites inferior y superior del proyecto, con respecto a los demás escenarios (ver tabla 16).

Tabla 16. Duración del proyecto para las diferentes configuraciones del proyecto

Configuración	Límite difuso inferior de la duración del proyecto (días)	Duración difusa promedio del proyecto (días)	Límite superior difuso de la duración del proyecto (días)
Simulación base	490,14	573,35	598,91
500 iteraciones (a)	490,14	573,35	598,81
5000 iteraciones (b)	490,14	573,35	599,82
Riesgos no correlacionados (c)	496,21	573,35	596,62

Fuente: Elaboración propia

- Los valores obtenidos para diferentes rangos de probabilidad en cada configuración tienen una desviación estándar de: 3,55 días para el límite inferior, 0,57 días para la media y 5,61 días para el límite superior. (ver tabla 17).

Tabla 17. Duraciones difusas del proyecto para cada rango de probabilidad con diferentes configuraciones de simulación

	Simulación base			1 Simulación 500 iteraciones (a)			1 Simulación 5000 iteraciones (b)			1000 iteraciones Riesgos no correlacionados (c)		
Prob.	LI	M	LM	LI	M	LM	LI	M	LM	LI	M	LM
80%	539,26	574,76	582,31	539,26	574,76	582,29	539,26	574,76	582,31	536,58	574,34	581,72
85%	539,26	574,83	582,89	539,26	574,83	582,89	539,26	574,83	582,89	537,48	574,53	582,18
90%	539,26	574,89	584,11	541,05	575,17	584,19	539,26	574,89	585,41	538,36	574,70	584,21
95%	546,89	576,04	596,07	548,67	576,25	596,03	546,89	576,11	595,59	540,67	574,98	594,17

LI: Límite difuso inferior de la duración del proyecto (días)

M: Duración difusa promedio del proyecto (días)

LM: Límite superior difuso de la duración del proyecto (días)

Fuente: Elaboración propia

- Al revisar el gráfico de tornado para las configuraciones a y b se obtuvo que, el grupo de riesgos correlacionados 2, tiene el mayor impacto en la duración difusa del proyecto (ver tabla 18).

Tabla 18. Coeficiente de correlación para las diferentes configuraciones del proyecto para el grupo 2

Configuración	Límite difuso inferior de la duración del proyecto	Duración difusa promedio del proyecto	Límite superior difuso de la duración del proyecto
Simulación base	0,636	0,608	0,191
500 iteraciones (a)	0,635	0,603	0,228
5000 iteraciones (b)	0,626	0,601	0,203

Fuente: Elaboración propia

Al analizar los resultados de los 3 escenarios, se concluye que este modelo es un modelo muy estable, cuyos resultados tienen poca variación al cambiar el número de iteraciones y al cambiar la correlación de la generación de números aleatorios, para determinar la situación de cada riesgo. Así que, para este modelo, es indispensable tener unos datos de entrada veraces y lógicos, con el fin de obtener resultados confiables y precisos.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Dadas las condiciones en las que se desarrollan las actividades en el sector de la construcción, se suelen presentar una gran variedad de riesgos que pueden afectar los objetivos de los proyectos, en términos de tiempo, costo y calidad. Es por esta razón, que se planteó una metodología de análisis de riesgos, para proporcionar a los gestores de proyectos una herramienta para la mitigación y el adecuado tratamiento de estos factores.

Se realizó un adecuado ejercicio de identificación de riesgos, ya que se lograron determinar los elementos que más afectaron las condiciones del proyecto a evaluar, de acuerdo al contexto de construcción de la ciudad de Palmira.

Por otro lado, se logró definir la estructura metodológica para el análisis cualitativo y cuantitativo de riesgos de la siguiente manera: se realizó un análisis de priorización de riesgos, en la que se determinó por medio de revisión bibliográfica y juicio de expertos una lista priorizada de riesgos, en la que se determinaron los riesgos que mayor impacto podrían tener en la duración de los proyectos. Este ejercicio de priorización, facilitó el proceso de análisis de riesgos, ya que redujo la cantidad de factores de riesgos a analizar. Para el análisis cuantitativo se empleó un modelo basado en la lógica difusa, que permitió determinar el impacto de los riesgos en la programación del caso de estudio seleccionado, obteniendo resultados, que según la validación del modelo son coherentes de acuerdo a los datos que se presentaron en la realidad.

A pesar de que el modelo cuantitativo arrojó resultados coherentes y muy cercanos a la realidad, se considera que la aplicación del modelo es poco práctica, debido a que el proceso de modelado requiere de mucho tiempo, dedicación y detalle por parte del gestor del proyecto. Adicionalmente, es importante que para mejorar los resultados y la eficacia del modelo se cuente con la disponibilidad, disposición y compromiso de los expertos, ya que el éxito del modelo depende en

gran medida de los datos de entrada que son en su mayoría datos netamente subjetivos basados en sus experiencias.

Cuando se cuenta con la participación de más expertos es posible generar mayor discusión y reflexión, y por ende, obtener una mayor objetividad y menor sesgo en las valoraciones requeridas. Para el caso de estudio, solo fue posible contar con la participación de dos expertos, debido a la poca disponibilidad que tenían los otros profesionales de la subsecretaría.

De acuerdo con los resultados, la probabilidad de que el proyecto se ejecute en el plazo inicialmente pactado, era nula. Por otro lado, a pesar de que la duración real no estuvo dentro de los grados de pertenencia de la duración difusa producto de la simulación, esta situación se puede presentar ya que la distribución ajustada del límite superior es infinita.

De acuerdo a las condiciones en la que se desarrolló el proyecto, los riesgos que generaron mayor impacto en la duración del proyecto fueron: la entrega tardía del sitio (riesgo #6, grupo 2) y la gestión inadecuada de los proyectos (riesgo #30, grupo 2). Estos datos son coherentes con los resultados de la simulación, lo cual se evidencia en el gráfico de tornado, donde el grupo que mayor impacto generó en la duración difusa del proyecto fue el 2.

Una de las características del modelo es la consideración de los efectos favorables de la materialización de los riesgos, sin embargo, de acuerdo con los expertos, no es posible que al presentarse un riesgo, este pueda tener un impacto positivo en la duración del proyecto (reducción de la duración de las actividades). Por tal razón, este modelo que considera los impactos positivos de los riesgos, podría no ser el apropiado para los proyectos de infraestructura de la ciudad o se podría aplicar considerando la evaluación hecha en el proyecto, al calificar los límites de probabilidad de la situación del riesgo de mejor de lo esperado como cero.

En el desarrollo del este trabajo, se presentaron restricciones y particularidades; por ejemplo, la poca disponibilidad para hacer el ejercicio de recolección de datos, los períodos de tiempo limitados y la percepción de los expertos ante la administración de riesgos, lo que hizo que se tuvieran que organizar muchas citas e incluso repetir sesiones para la recolección de datos. Por tal razón, se considera que para futuros ejercicios se debe invertir más tiempo en la socialización de la metodología y preparación de los expertos.

Esta metodología desarrollada, puede ser aplicada a cualquier proyecto de construcción en la etapa de planeación, para poder definir a tiempo, los planes de acción a ejecutar para evitar, transferir o mitigar el impacto de los riesgos.

Como trabajo futuro se propone la inclusión de la variable de costos al modelo, para poder analizar las situaciones de una manera holística, a través del estudio de variables claves como el tiempo y los costos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, H., Sánchez, J., López, R., & Figueroa, V. (2013). Modelo estándar de control interno en el sector público en Colombia: una revisión general a sus elementos constitutivos. *Universidad Libre*, 76-88.
- Anwar, O. (2009). Uncertainty in Project Scheduling its use in PERT/CPM Conventional Techniques. *Cost Engineering*, 51(7), 30-34.
- Aponte D., I. (2014). Las fallas de planeación y su incidencia en el contrato estatal de obra. *Revista Digital de Derecho Administrativo n.º 11*, 177-207.
- Assaf, S., & Al-Hejji, S. (2006). Causes of delay in large construction projects. *International Journal Of Project Management*, 349-357.
- Bissonette, M. (2016). *Project Risk Management: A practical Implementation Approach*. Newtown Square: Pennsylvania: Project Management Institute.
- Bu-Qammaz, A., Dikmen, I., & Talat, B. (2009). Risk assessment of international construction projects using the analytic network process. *NRC Research Press*, 1170-1181.
- CAMACOL. (2008). *El sector de la construcción en Colombia: hechos estilizados y principales determinantes del nivel de actividad*. Colombia.
- Cámara Colombiana de la Infraestructura. (2010). *Los factores que afectan el buen desarrollo*. Acceso em 22 de Octubre de 2016, disponible em <http://www.infraestructura.org.co/nuevapagweb/presentaciones/2010/FACTORES%20ATRASOS%20OBRAS-4%20de%20feb%202010.pdf>
- Carbone, T. A., & Tippett, D. D. (2004). Project Risk Management Using the Project Risk FMEA. *Engineering Management Journal*, 16, 28-35.
- Carvalho, M., & Junior, R. (2014). Impact of risk management on project performance: the importance of soft skills. *International Journal of Production Research*, 53(2), 321-340.
- DANE. (2016). *Indicador de Inversión en Obras Civiles Segundo Trimestre del 2016*. Bogotá: DANE.
- Dawoos, N. (1998). Estimating project and activity duration: a risk management approach using network analysis. *Construction Management and Economics*, 16-41.
- Decreto 1082. (26 de Mayo de 2015). Bogotá, Colombia.
- Decreto 2170. (30 de Septiembre de 2002). Bogotá, Colombia.
- Decreto 2474 . (7 de Julio de 2008). Bogotá, Colombia.
- Departamento Administrativo de la Función Pública. (2014). *Manual Técnico del Modelo Estándar de Control Interno para el Estado Colombiano MECI 2014*. Bogotá, D.C.: Grupo de Comunicaciones Estratégicas.
- Dziadosz, A., & Rejment, M. (2015). Risk Analysis in Construction Project - Chosen Methods. *Procedia Engineering*, 122, 258-265.
- Fayek, R. (2013). Ranking of delay factors in construction projects after Egyptian revolution. *Alexandria Engineering Journal*, 387-406.
- Galway, L. (2004). *Quantitative Risk Analysis for Project Management*. Rand Corporation.

- García, M., & Suárez, M. (2013). El método Delphi para la consulta a expertos en la investigación científica. *Revista Cubana de Salud Pública*, 2(39), 253-267.
- Gaviria, S. (2014). *La Infraestructura en el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018*. Cartagena: Departamento Nacional de Planeación.
- Gido, J., & Clements, J. (2012). *Administración exitosa de proyectos* (Quinta ed.). Cengage Learning.
- Gómez, H., & Orobio, A. (2015). Effects of uncertainty on scheduling of highway construction projects. *DYNA*, 155-164.
- Griffis, F., & Farr, J. (2000). *Construction planning for engineers*. Singapore: McGraw-Hill.
- Guimarães, A. C., & Lapa, C. M. (2004). Fuzzy FMEA applied to PWR chemical and volume control system. *Progress in Nuclear Energy*, 44, 191-213.
- Gündüz, M., Nielsen, Y., & Özdemir, M. (2013). Quantification of Delay Factors Using the Relative Importance Index Method for Construction Projects in Turkey. *Journal of Management in Engineering*, 29, 133-139.
- Hastak, M., & Shaked, A. (2000). ICRAM-1: Model for International Construction Risk Assessment. *Journal of Management in Engineering*, 16(1), 59-69.
- Hernán Darío, G. &. (2015). Efectos de la incertidumbre en la programación de proyectos de construcción de carreteras / Effects of uncertainty on scheduling of highway construction projects. *Dyna*, 82(193), 155-164.
- HSB Noticias. (3 de Febrero de 2014). *HSB Noticias.com*. Acesso em 22 de Outubro de 2016, disponível em <http://hsbnoticias.com/noticias/nacional/desfases-econ%C3%B3micos-de-la-ciudadela-deportiva-de-palmira-71990>
- KarimiAzari, A., Mousavi, N., Mousavi, S. F., & Hosseini, S. (2011). Risk assessment model selection in construction industry. *Expert Systems With Applications*, 38, 9105-9111.
- Kwak, Y. H., & Ingall, L. (2007). Exploring Monte Carlo Simulation Applications for Project Management. *Risk Management*, 4(1), 44-57.
- Laurenz, J. E., & Verhoef, C. (2010). *The Rise and Fall of the Chaos Report Figures*.
- Ley 1474. (12 de Julio de 2011). Bogotá, Colombia.
- Ley 80 . (28 de Octubre de 1993). Bogotá, Colombia.
- Ley 87 . (29 de Noviembre de 1993). Colombia.
- Listone A., H., & Murray, T. (2002). *The Delphi Techniques and Applications*. Estados Unidos: Addison.
- Loosemore, M. R. (2006). *Risk and Uncertainty in Projects*. New York: Taylor & Francis.
- Luu, V. T., Tuan, N. V., & Ogunlana, S. O. (2009). Quantifying schedule risk in construction projects using Bayesian belief networks. *International Journal of Project Management*, 39-50.
- Marulanda, J. F. (2016). Proyectos de Construcción en Palmira. (C. Ortiz, Entrevistador)

- Mustafa, M., & Al-Bahar, J. (1991). Project risk assessment using the analytic hierarchy process. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 38, 46-52.
- Nguyen, H. (2016). n Appropriate Approach for Program and Project Management. *COBIT Focus*, 1-6.
- Ökmen, Ö., & Ötzaş, A. (2008). Construction Project Network Evaluation with Correlated Schedule Risk Analysis Model. *Journal of Construction Engineering & Management*, 134(1), 49-63.
- Ökmen, Ö., & Özta, A. (2014). Uncertainty evaluation with fuzzy schedule risk analysis model in activity networks of construction projects. *Journal of the South African Institution of Civil Engineering*, 56(2), 9-20.
- Ökmen, Ö., & Ötzaş, A. (2008). Construction Project Network Evaluation with Correlated Schedule Risk Analysis Model. *Journal of Construction Engineering and Management*, 49-63.
- Ökmen, Ö., & Ötzaş, A. (2014). Uncertainty evaluation with fuzzy schedule risk analysis model in activity networks of construction projects. *Journal of the South African Institution of Civil Engineering*, 56(2), 9-20.
- Ökmen, Ö., & Ötzaş, H. (2005). Judgmental risk analysis process development in construction projects. *Building and Environment*, 1244-1254.
- Ökmen, Önder, & Ötzaş, H. (2005). Judgmental risk analysis process development in construction projects. *Building and Environment*, 1244-1254.
- Palmira con inversión social, construimos paz.* (s.d.). Acceso em 8 de Noviembre de 2016, disponível em <http://www.palmira.gov.co/secretarias/secretaria-de-desarrollo-y-renovacion-urbana>
- Park, J., Park, B., Cha, Y., & Hyun, C. (2016). Risk Factors Assessment Considering Change Degree for Mega-projects. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 218, 50-55.
- Paz, J., & Rozenboim, D. (2014). *ANÁLISIS CUANTITATIVO DE LOS RIESGOS DE PROGRAMA EN UN PROYECTO DE OBRA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE*. Tesis Pregrado, Santiago de Cali.
- Perera, B., Dhanasingue, I., & Rameezdeen, R. (2009). Risk management in road construction: The case of Sri Lanka. *International Journal of Strategic Property Management*, 87-102.
- Perez, J., & Martínez, Á. (2008). VALIDEZ DE CONTENIDO Y JUICIO DE EXPERTOS: UNA APROXIMACIÓN A SU UTILIZACIÓN. *Avances en Medición*, 27-36.
- Price WaterHouse Coopers. (2011). *Principales hallazgos de la primera encuesta nacional de madurez en Gerencia de Proyectos*.
- Project Management Institute. (2013). *Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía PMBOK)* (Quinta ed.). Publicaciones PMI.
- Project Management Institute. (2013). *Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía PMBOK)* (Quinta ed.). Publicaciones PMI.
- Rebollar Rubio, R., Lidón López, I., & Pérez Cebrián, A. (Diciembre de 2012). Identificación de causas de riesgo en la gestión de grandes proyectos de construcción en España. *Dyna*, 87(6), 689-697.

- Rebollar.-Rubio R, L.-L. I.-C. (2012). Identificación de causas de riesgo en la gestión de grandes proyectos de construcción en España. *DYNA*, 87(6), 689-697.
- Robles, P., & Rojas, M. d. (2015). La validación por juicio de expertos: dos investigaciones cualitativas en Lingüística aplicada. *Revista Nebrija de Lingüística Aplicada a la Enseñanza de las Lenguas*(18).
- Roghanian, E., & Mojibian, F. (2015). Using fuzzy FMEA and fuzzy logic in project risk management. *Iranian Journal of Management Studies*, 8, 373-395.
- Salah, A. (2015). *Fuzzy Set-based Risk Management for Construction Project*. Concordia University, Montreal.
- Sánchez Galindo, F. (1996). Las carreteras y su influencia en el desarrollo económico y el bienestar social de un país. *Dialnet*, 161-180.
- Sayed, M., Aly, O., & Mohamed, A. (2015). Identification and assessment of risk factors affecting construction projects. *Housing and Building National Research Center Journal*, 1-15.
- Shafer, G., & Pearl, J. (1990). *Readings in Uncertain Reasoning* . Morgan Kaufman publishers.
- Siew, Cheng, & Abdul-Raham, H. (2013). The Identification and Management of Major Risks in the Malaysian The Identification and Management of Major Risks in the Malaysian. *Journal of Construction in Developing Countries*, 18(1), 19-32.
- Subsecretaría de renovación urbana y vivienda. (2015). *Estudios Previos Proyecto: Diseño y Construcción del Centro Comercial para Vendedores Ambulantes y Estacionarios del Municipio de Palmira*. Palmira.
- Suseno, Y. H., Wibowo, M. A., & Setiadji, B. H. (2015). Risk analysis of BOT scheme on post-construction toll road. *Procedia Engineering*, 117-123.
- Thaheen, M. J., Hurtado, K. C., & De Marco, A. (2012). A review of quantitative analysis techniques for construction project risk management. *ResearchGate*, 656-666.
- Tran, D. Q., & Molenaar, K. R. (2014). Impact of Risk on Design-Build Selection for Highway. *American Society of Civil Engineers*, 153-162.
- Tsai, Tsung-Chieh, & Yang, M.-L. (2010). RISK ASSESSMENT OF DESIGN-BID-BUILD AND DESIGN-BUILD BUILDING PROJECTS. *Journal of the Operations Research Society of Japan*, 53(1), 20-39.
- Valencia López, E. (s.f.). *REVISIÓN DOCUMENTAL EN EL PROCESO DE INVESTIGACIÓN*. Universidad Tecnológica de Pereira.
- Vargas, J. C., Espinosa, A. M., Díaz, L., Correa, M. F., & Pinilla, J. (2015). *ANÁLISIS SECTOR CONSTRUCCIÓN EN COLOMBIA*. Bogotá: PMI.
- Zhi, H. (1995). Risk management for overseas construction projects. *International Journal of Project Management*, 13(4), 231-237.

ANEXOS

Anexo 1. Clasificación de los riesgos validados por los expertos

AMBIENTALES		ASPECTOS CONTRACTUALES	
202	Terremoto	197	Estrictas normas medioambientales
203	Precipitación / inundación	400	Disposiciones ambiguas
204	Condiciones meteorológicas imprevistas	106	E01.Disposiciones contractuales incumplidas
373	Condiciones climáticas y otras causas naturales de retrasos	110	E05.Defecto de Garantía
90	Fuego	46	Problemas de normas de seguridad y salud;
63	Contaminación, sanciones / daños y perjuicios	FACTORES EXTERNOS	
RECURSOS		461	Retraso en la obtención de permisos del municipio
222	Calidad del equipo	465	Pérdida de tiempo por control de tráfico y restricción en el lugar de trabajo
223	Averías del equipo	470	Condiciones inesperadas de superficie y subsuperficie (suelo, tabla freática, etc.)
224	Mantenimiento de equipo	310	Comunicación y transporte
451	Problema de asignación del equipo	318	Condiciones sociales
452	Fallas frecuentes del equipo	54	Soborno y corrupción
455	Baja eficiencia del equipo	301	Daños a la infraestructura causados por personas irresponsables
456	Escasez de equipo	81	Falta de mecanismo de libre mercado
457	Movilización lenta del equipo	GESTIÓN - PLANEACIÓN	
358	Retrasos en el suministro de material	10	Error de estimación del costo del proyecto y del cronograma del proyecto
227	Almacenamiento de material	30	Falta de expertos en gestión de riesgos
228	Robo material y daños	163	Trato con las agencias de servicios públicos
484	Cambios en los tipos de materiales y especificaciones durante la construcción	168	Relaciones con el vecindario
490	Mala calidad de los materiales de construcción	154	Entrega tardía del sitio
492	Proveedores poco fiables	PROYECTO	
339	Disponibilidad de los materiales de construcción	3	Demora del programa
145	Escasez de máquinas herramientas y movilización de trabajadores debido a enfrentamientos de varios proyectos	254	Proceso de control de calidad
365	Mala calidad de la mano de obra	513	Definición inadecuada de la terminación sustancial
113	Altos estándares de calidad	514	Penas de retraso ineficaces
ECONÓMICOS Y FINANCIEROS		516	La duración original del contrato es corta
20	Aumento de los costos financieros y de construcción	26	Construcción adicional
97	Competidores habilidosos	CONDICIONES DEL SITIO	
276	Restricción de las operaciones de capital	209	Área de construcción (rural / urbano)
258	Fluctuación de precios	210	Condiciones de acceso
264	Tasa de impuesto	211	Congestión en el sitio
266	Tamaño del proyecto	214	Regulación de seguridad
281	Cambio en la política monetaria	207	Encuesta arqueológica realizada
376	Problemas de flujo de caja	39	Condiciones imprevistas del terreno
32	Inflación		
2	Sobrecosto		

PARTES INVOLUCRADAS		DISEÑO	
127	Relación con el tercero	360	Defectos del diseño, errores y reprocesos
128	Pago tardío	411	Falta de aceptación por parte del inversor de las propuestas de diseño
132	Dificultad en la elección de un distribuidor comercial	413	Conflicto entre los miembros del equipo de diseño
421	Retraso en la aprobación de cambios importantes en el ámbito de trabajo del consultor	414	Evaluación demasiado optimista: de la carga de trabajo de los empleados
422	Retraso en la realización de inspecciones y ensayos	415	Información incorrecta desde el inversionista/falta de directrices claras
425	Tardanza en revisar y aprobar documentos de diseño	441	Cambios de diseño por parte de su agente durante la construcción
424	Asistencia inadecuada a la gestión de proyectos	443	Recolección de datos y encuestas insuficientes antes del diseño
150	Alta movilidad del personal	448	Detalles poco claros e inadecuados en los dibujos
247	No. de subcontratistas	240	Complejidad del diseño
248	Reputación del Contratista	TRABAJO - TRABAJADORES	
250	No. de los proyectos actuales	221	Restricciones de horas de trabajo
431	Proyecto ineficaz de la planificación y programación	475	Absentismo
437	Investigación inadecuada del sitio	476	Baja motivación y moral del trabajo
438	Políticas del contratista inapropiadas	477	Baja productividad del trabajo
503	Lentitud en la toma de decisiones	478	Conflictos personales entre el trabajo
504	Suspensión del trabajo por el propietario	480	Movilización lenta del trabajo
507	Largo período entre el diseño y el tiempo de licitación / licitación	481	huelgas laborales debidas a revoluciones
234	Estrategia administrativa	341	Costo/productividad del trabajo (Evaluar productividad del trabajo)
194	Indisponibilidad del subcontratista	65	Enfermedad
		TRANSVERSALES	
		286	Costes generales altos debido a mantenimiento poco efectivos
		352	Problemas en la implementación y transferencia de tecnología

Anexo 2. Actividades del proyecto caso de estudio

ID	Actividades
A	CAMPAMENTO TABLA 18 M2
B	CERRAMIENTO TELA FIB.TEJIDA H=2,10M-BORD
C	LOCALIZACION-REPLANTEO OBRA ARQUITECTON.
D	EXCAVACION TIERRA CONGLOMERADO
E	RETIRO SOBRANTES MAQUINA <=10 KM
F	RELLENO ROCAMUERTA COMPACTADO SALTARIN
G	ACERO REFUERZO FLEJADO 60000 PSI 420Mpa
H	SOLADO ESPESOR E=0.05M 3000PSI 210MPA
I	ZAPATAS CONCRETO 3000 PSI INC. FORMALETA
J	VIGA CIMIENTO ENLACE H=20-60 CMS 3000 psi
K	PEDESTAL CONCRETO 3000 PSI
L	CONEXIONES SOLDADAS
M	CONSTRUCCION RAMPA- PAV.CONCR.MR=38.E=0.15,INC. JUNTA – BAKE
N	FOSO ASCENSOR EN CONCRETO
O	ASCENSOR

ID	Actividades
P	PUNTO PARADA ASCENSOR
Q	VIGA CIMIENTO ENLACE H=20-40 CMS
R	MURO BLOQUE CONCRETO 14x19x39CM
S	VIGA CONCRETO AMARRE MURO 10-12X20 CM
T	ACERO REFUERZO FLEJADO 60000 PSI 42 Mpa
U	CONEXIONES SOLDADAS
V	PERFIL CAJON AG C160x60mm -1.9MM C.14
W	TENSOR ESTR.VARILLA DIAMETRO 3/8"
X	TEJA ALUMINIO-POLIURETANO-ALUM.E=1 1C
Y	ACERO ESTRUCTURAL A.S.T,M,A-36
Z	ACERO ESTRUCTURAL A.S.T,M,A-36
AA	INSTALACIONES HIDRAULICAS
AB	INSTALACIONES SANITARIAS
AC	INSTALACIONES ELECTRICAS
AD	ALLANADO MECANICO ESMALTADO GRIS-NEGRO
AE	CERAMICA 30.01-32.50x30.01-32.4 TRAF.5
AF	ENCHAPE CERAMICA 20x20 CORONA 1 CALIDAD
AG	MESON EN CONCRETO H=8.1-10CM
AH	DIV.METALICA BANO L.ACERO INOX C.19
AI	BARANDA INDIV.TUBO GALV. 1,1/2" C/SOPORT (Barra Discapacitados)
AJ	MARCO LAM. 0.70-1.0 M CAL.20 PEST C/LUCE
AK	BARANDA METAL.TUBO GALV. 4" S. DIS
AL	DEMOLICIÓN EDIFICIO COLPATRIA
AM	DEMOLICION PATIO SECRETARIA DE SALUD
AN	DEMOLICION Y REUBICACION CAJAS PARA ACOMETIDAS ELECTRICAS E HIDRAHULICAS
AO	DEMOLICIONES ESTRUCTURAS SUBTERRANEAS DE CONDUCCION DE AGUAS
AP	DOVELAS CON REFUERZO PARA MUROS DE 19
AQ	MURO BLOQUE CONCRETO 19x19x39CM
AR	DOVELAS CON REFUERZO PARA MUROS DE 14
AS	LOSA CONCRETO E=10 CM STEEL DECK LAMINA COLABORANTE 2"
AT	LOSA CONCRETO E=13CM STEEL DECK LAMINA COLABORANTE 3"
AU	IMPORTACION, PRODUCCION
AV	INSTALACION, MONTAJE
AW	PRUEBAS Y AJUSTES
AX	LOSA DE CIMENTACIÓN TANQUES 4000 PSI
AY	MURO TANQUE DE ALMACENAMIENTO 4000 PSI
AZ	LOSA CUBIERTA TANQUE 4.000 PSI
BA	VIGAS LOSA CONC 4.000 PSI
BB	ESCALERA EN CONCRETO

ID	Actividades
BC	CONFORMACIÓN Y COMPACTACIÓN DE SUBRASANTE
BD	ESCALERAS TRAMO COMPLETO
BE	LOSA DE CUARTO DE MAQUINAS y ASCENSOR
BF	NIVELACIÓN DE PLATINAS Y RELLENO
BG	ESTRUCTURA METALICA ESCALERA
BH	MURO EN BOARD 2 CARAS 8MM
BI	CARTERAS EN BOARD 8MM BAJO VENTANA
BJ	PINTURA EPOXICA
BK	PUERTA ENROLLABLE COLD ROLLED CALLE 29
BL	PUERTA ENROLLABLE COLD ROLLED CRA. 27
BM	PUERTA ENROLLABLE COLD ROLLED CALLE 30
BN	CERRAMIENTO ACCESO TANQUES ALMACENAMIENTO
BO	VENTANERIA VIDRIO TEMPLADO ALUM.
BP	VENTANA TIPO PERSIANA FIJA
BQ	ESMALTE REJAS VENTANA
BR	DOMO ACRILICO CIRCULAR - RECTANG. 65x65 CM
BS	SOLAPA EN LAMINA GALVANIZADA
BT	BARRA PMR ABATIBLES
BU	DISPENSADOR DE PAPEL HIGIENICO
BV	ESPEJO DE 4mm
BW	LAVATRAPEADOR LADRILLO - ENCHAPADO
BX	SANITARIO TIPO FLUXOMETRO LINEA INSTITUCIONAL
BY	ORINAL TIPO FLUXOMETRO LINEA INSTITUCIONAL
BZ	LAVAMANOS COLGAR PEDESTAL LINEA MEDIA
CA	LINEA DEMARACACION PARQUEADERO
CB	TOPELLANTAS
CC	IMPERMEABILIZACION TANQUE ALMACENAMIENTO
CD	IMPERMEABILIZACION LOSAS VEHICULARES
CE	IMPERMEABILIZACION LOSA NO TRAFICO

Anexo 3. Lista de Riesgos Jerarquizada por el RPN

ID	Riesgo	Clasificación propuesta	Probabilidad de ocurrencia (1)	Factor de impacto (2)	Detección de riesgo (3)	RPN 1x2x3
2	Sobrecosto	Económicos y financieros	4	5	5	100
470	Condiciones inesperadas de superficie y subsuperficie (suelo, tabla freática, etc.)	Factores externos	4	5	5	100
39	Condiciones imprevistas del terreno	Condiciones del sitio	4	5	5	100
301	Daños a la infraestructura causados por personas irresponsables	Factores externos	4	4	5	80
373	Condiciones climáticas y otras causas naturales de retrasos	Ambientales	3	5	5	75
154	Entrega tardía del sitio	Gestión - planeación	3	5	5	75
26	Construcción adicional	Proyecto	4	3	5	60
202	Terremoto	Ambientales	1	5	5	25
90	Fuego	Ambientales	1	5	5	25
358	Retrasos en el suministro de material	Recursos	5	5	1	25
228	Robo material y daños	Recursos	5	5	1	25
484	Cambios en los tipos de materiales y especificaciones durante la construcción	Recursos	5	5	1	25
492	Proveedores poco fiables	Recursos	5	5	1	25
365	Mala calidad de la mano de obra	Recursos	5	5	1	25
113	Altos estándares de calidad	Recursos	5	5	1	25
276	Restricción de las operaciones de capital	Económicos y financieros	5	5	1	25
127	Relación con el tercero	Partes involucradas	5	5	1	25
128	Pago tardío	Partes involucradas	5	5	1	25
132	Dificultad en la elección de un distribuidor comercial	Partes involucradas	5	5	1	25
318	Condiciones sociales	Factores externos	5	5	1	25
214	Regulación de seguridad	Condiciones del sitio	5	5	1	25
376	Problemas de flujo de caja	Económicos y financieros	4	5	1	20
503	Lentitud en la toma de decisiones	Partes involucradas	4	5	1	20
465	Pérdida de tiempo por control de tráfico y restricción en el lugar de trabajo	Factores externos	4	5	1	20
438	Políticas del contratista inapropiadas	Partes involucradas	4	4	1	16
476	Baja motivación y moral del trabajo	Trabajo - trabajadores	4	4	1	16
477	Baja productividad del trabajo	Trabajo - trabajadores	4	4	1	16
222	Calidad del equipo	Recursos	3	5	1	15
145	Escasez de máquinas herramientas y movilización de trabajadores debido a enfrentamientos de varios proyectos	Recursos	3	5	1	15
424	Asistencia inadecuada a la gestión de proyectos	Partes involucradas	3	5	1	15
431	Proyecto ineficaz de la planificación y programación	Partes involucradas	3	5	1	15
514	Penas de retraso ineficaces	Proyecto	3	5	1	15
455	Baja eficiencia del equipo	Recursos	3	4	1	12
20	Aumento de los costos financieros y de construcción	Económicos y financieros	4	3	1	12
258	Fluctuación de precios	Económicos y financieros	4	3	1	12
266	Tamaño del proyecto	Económicos y financieros	4	3	1	12
421	Retraso en la aprobación de cambios importantes en el	Partes involucradas	4	3	1	12

ID	Riesgo	Clasificación propuesta	Probabilidad de ocurrencia (1)	Factor de impacto (2)	Detección de riesgo (3)	RPN 1x2x3
	ámbito de trabajo del consultor					
150	Alta movilidad del personal	Partes involucradas	4	3	1	12
110	E05.Defecto de Garantía	Aspectos contractuales	3	4	1	12
3	Demora del programa	Proyecto	3	4	1	12
203	Precipitación / inundación	Ambientales	3	3	1	9
422	Retraso en la realización de inspecciones y ensayos	Partes involucradas	3	3	1	9
194	Indisponibilidad del subcontratista	Partes involucradas	3	3	1	9
46	Problemas de normas de seguridad y salud;	Aspectos contractuales	3	3	1	9
168	Relaciones con el vecindario	Gestión - planeación	3	3	1	9
221	Restricciones de horas de trabajo	Trabajo - trabajadores	3	3	1	9
504	Suspensión del trabajo por el propietario	Partes involucradas	2	3	1	6
106	E01.Disposiciones contractuales incumplidas	Aspectos contractuales	2	3	1	6
63	Contaminación, sanciones / daños y perjuicios	Ambientales	1	5	1	5
223	Averías del equipo	Recursos	5	1	1	5
224	Mantenimiento de equipo	Recursos	5	1	1	5
451	Problema de asignación del equipo	Recursos	1	5	1	5
452	Fallas frecuentes del equipo	Recursos	5	1	1	5
456	Escasez de equipo	Recursos	1	5	1	5
457	Movilización lenta del equipo	Recursos	1	5	1	5
227	Almacenamiento de material	Recursos	1	5	1	5
490	Mala calidad de los materiales de construcción	Recursos	1	5	1	5
339	Disponibilidad de los materiales de construcción	Recursos	1	5	1	5
250	No. de los proyectos actuales	Partes involucradas	1	5	1	5
81	Falta de mecanismo de libre mercado	Factores externos	1	5	1	5
254	Proceso de control de calidad	Proyecto	1	5	1	5
480	Movilización lenta del trabajo	Trabajo - trabajadores	1	5	1	5
65	Enfermedad	Trabajo - trabajadores	5	1	1	5
32	Inflación	Económicos y financieros	4	1	1	4
264	Tasa de impuesto	Económicos y financieros	1	3	1	3
281	Cambio en la política monetaria	Económicos y financieros	1	3	1	3
437	Investigación inadecuada del sitio	Partes involucradas	1	3	1	3
481	huelgas laborales debidas a revoluciones	Trabajo - trabajadores	1	3	1	3
247	No. de subcontratistas	Partes involucradas	1	1	1	1
248	Reputación del Contratista	Partes involucradas	1	1	1	1
475	Absentismo	Trabajo - trabajadores	1	1	1	1
478	Conflictos personales entre el trabajo	Trabajo - trabajadores	1	1	1	1
341	Costo/productividad del trabajo (Evaluar productividad del trabajo)	Trabajo - trabajadores	1	1	1	1
286	Costes generales altos debido a mantenimiento poco efectivos	Transversales	1	1	1	1
352	Problemas en la implementación y transferencia de tecnología	Transversales	1	1	1	1

Anexo 4. Datos de Entrada del Modelo

Escala de la influencia por probabilidad de la situación por cada factor de riesgo	Límites de																				
	Mejor de lo esperado	Esperado	Peor de lo esperado	Máximo impacto	Impacto medio	Sin impacto	Sobrecosto	Condiciones inesperadas de superficie y subsuperficie (suelo, nivel freática, etc.)	Daños a la infraestructura causados por personas irresponsables	Condiciones climáticas y otras causas naturales de retrasos	Entrega tardía del sitio	Construcción adicional	Terremoto	Fuego	Retrasos en el suministro de material	Robo material y daños	Cambios en los tipos de materiales y especificaciones durante la construcción	Proveedores poco fiables	Mala calidad de la mano de obra	Restricción de las operaciones de capital	Relación con el tercero
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						

Escala de la influencia por cada factor de riesgo	Límites de probabilidad de la situación por cada factor de riesgo
---	---

ID	Actividades	Precedencias	Límite inferior duración	Medio duración	Límite superior duración	Factor de riesgo 2	Factor de riesgo 470	Factor de riesgo 301	Factor de riesgo 373	Factor de riesgo 154	Factor de riesgo 26	Factor de riesgo 202	Factor de riesgo 90	Factor de riesgo 358	Factor de riesgo 228	Factor de riesgo 484	Factor de riesgo 492	Factor de riesgo 365	Factor de riesgo 276
A	CAMPAMENTO TABLA 18 M2	AL, AM, AN, AO-FC	2	2	4	M.I	M.I	S.I	I.M	M.I	I.M	M.I	I.M	S.I	S.I	I.M	M.I	M.I	
B	CERRAMIENTO TELA FIB.TEJIDA H=2,10M-BORD	A – FC	1	2	3	M.I	M.I	S.I	I.M	M.I	I.M	M.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	M.I	
C	LOCALIZACION-REPLANTEO OBRA ARQUITECTON.	B - FC	11	15	18	M.I	M.I	S.I	I.M	M.I	I.M	M.I	S.I	S.I	S.I	S.I	M.I	M.I	
D	EXCAVACION TIERRA CONGLOMERADO	C – FC	20	30	49	M.I	M.I	S.I	I.M	M.I	I.M	M.I	S.I	S.I	S.I	S.I	M.I	M.I	
E	RETIRO SOBRANTES MAQUINA <=10 KM	C – FC	9	41	41	M.I	M.I	S.I	I.M	M.I	I.M	M.I	S.I	S.I	S.I	I.M	M.I	M.I	
F	RELLENO ROCAMUERTA COMPACTADO SALTARIN	D,E- FC	3	15	47	M.I	M.I	S.I	I.M	M.I	I.M	M.I	M.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	
G	ACERO REFUERZO FLEJADO 60000 PSI 420Mpa	F- FC	30	60	60	M.I	M.I	S.I	S.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I	
H	SOLADO ESPESOR E=0.05M 3000PSI 210MPA	F – FC	26	40	70	M.I	M.I	S.I	M.I	M.I	I.M	M.I	M.I	I.M	S.I	S.I	I.M	M.I	
I	ZAPATA CONCRETO 3000 PSI INC. FORMALETA	H – FC	42	70	80	M.I	M.I	S.I	M.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I	
J	VIGA CIMIENTO ENLACE H=20-60 CMS 3000 psi	H- FC	30	80	90	M.I	M.I	S.I	M.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I	
K	PEDESTAL CONCRETO 3000 PSI	AL, AM, AN, AO-FC	3	70	90	M.I	M.I	S.I	M.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I	
L	CONEXIONES SOLDADAS	K – FC	20	156	156	M.I	S.I	S.I	M.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	S.I	S.I	I.M	M.I	
M	CONSTRUCCION RAMPA- PAV.CONCR.MR=38.E=0.15,INC. JUNTA -BAKE	AW – FC	3	10	11	M.I	S.I	S.I	M.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	S.I	S.I	I.M	M.I	
N	FOSO ASCENSOR EN CONCRETO	L - FC	20	26	26	M.I	S.I	S.I	M.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	S.I	S.I	I.M	M.I	
O	ASCENSOR	N - FC	3	30	30	M.I	S.I	M.I	M.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I	
P	PUNTO PARADA ASCENSOR	O - FC	1	9	9	M.I	S.I	M.I	M.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I	
Q	VIGA CIMIENTO ENLACE H=20-40 CMS	K - FC	37	142	142	M.I	S.I	S.I	I.M	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I	
R	MURO BLOQUE CONCRETO 14x19x39CM	K - FC	39	70	70	M.I	S.I	S.I	I.M	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I	
S	VIGA CONCRETO AMARRE MURO 10-12X20 CM	K - FC	31	133	133	M.I	S.I	S.I	I.M	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I	
T	ACERO REFUERZO FLEJADO 60000 PSI 42 Mpa	K - FC	55	80	80	M.I	S.I	S.I	I.M	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I	
U	CONEXIONES SOLDADAS	K - FC	213	213	213	M.I	S.I	S.I	M.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	S.I	S.I	I.M	M.I	
V	PERFIL CAJON AG C160x 60mm -1.9MM C.14	R – FC	45	208	208	M.I	S.I	S.I	M.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I	
W	TENSOR ESTR.VARILLA DIAMETRO 3/8"	R – FC	13	225	225	M.I	S.I	S.I	M.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I	
X	TEJA ALUMINIO-POLIURETANO-ALUM.E=1 1C	V – FC	31	40	62	M.I	S.I	S.I	M.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I	
Y	ACERO ESTRUCTURAL A.S.T,M,A-36	T – FC	29	39	39	M.I	S.I	S.I	M.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I	
Z	ACERO ESTRUCTURAL A.S.T,M,A-36	T – FC	48	170	170	M.I	S.I	S.I	M.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I	

ID	Actividades	Precedencias	Límite inferior duración	Medio duración	Límite superior duración	Factor de riesgo 2	Factor de riesgo 470	Factor de riesgo 301	Factor de riesgo 373	Factor de riesgo 154	Factor de riesgo 26	Factor de riesgo 202	Factor de riesgo 90	Factor de riesgo 358	Factor de riesgo 228	Factor de riesgo 484	Factor de riesgo 492	Factor de riesgo 365	Factor de riesgo 276
AA	INSTALACIONES HIDRAULICAS	C – FC	46	61	61	M.I	S.I	S.I	M.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	I.M	S.I	I.M	M.I	M.I
AB	INSTALACIONES SANITARIAS	C – FC	57	61	61	M.I	S.I	S.I	M.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	I.M	S.I	I.M	M.I	M.I
AC	INSTALACIONES ELECTRICAS	C – FC	60	61	61	M.I	S.I	S.I	M.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	I.M	S.I	I.M	M.I	M.I
AD	ALLANADO MECANICO ESMALTADO GRIS-NEGRO	AW - FC	31	75	75	M.I	S.I	S.I	S.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	S.I	S.I	I.M	M.I	M.I
AE	CERAMICA 30.01-32.50x30.01-32.4 TRAF.5	Z – FC	20	25	25	M.I	S.I	S.I	S.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	I.M	S.I	I.M	M.I	M.I
AF	ENCHAPE CERAMICA 20x20 CORONA 1 CALIDAD	Z – FC	12	17	17	M.I	S.I	S.I	S.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	I.M	S.I	I.M	M.I	M.I
AG	MESON EN CONCRETO H=8.1-10CM	Z – FC	1	10	12	M.I	S.I	S.I	S.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	S.I	S.I	I.M	M.I	M.I
AH	DIV.METALICA BANO L.ACERO INOX C.19	Z – FC	9	10	10	M.I	S.I	S.I	S.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	I.M	S.I	I.M	M.I	M.I
AI	BARANDA INDIV.TUBO GALV. 1,1/2" C/SOPORT (Barra Discapacitados)	Z – FC	1	10	10	M.I	S.I	S.I	S.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	I.M	S.I	I.M	M.I	M.I
AJ	MARCO LAM. 0.70-1.0 M CAL.20 PEST C/LUCE	Z – FC	2	10	10	M.I	S.I	S.I	S.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	I.M	S.I	I.M	M.I	M.I
AK	BARANDA METAL.TUBO GALV. 4" S. DIS	Z – FC	9	10	10	M.I	S.I	S.I	S.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	I.M	S.I	I.M	M.I	M.I
AL	DEMOLICIÓN EDIFICIO COLPATRIA	Inicio	11	11	11	M.I	S.I	S.I	M.I	M.I	I.M	M.I	M.I	S.I	S.I	S.I	S.I	M.I	M.I
AM	DEMOLICION PATIO SECRETARIA DE SALUD	Inicio	11	11	11	M.I	S.I	S.I	M.I	M.I	I.M	M.I	M.I	S.I	S.I	S.I	S.I	M.I	M.I
AN	DEMOLICION Y REUBICACION CAJAS PARA ACOMETIDAS ELECTRICAS E HIDRAULICAS	Inicio	15	15	15	M.I	S.I	S.I	M.I	M.I	I.M	M.I	M.I	S.I	S.I	S.I	S.I	M.I	M.I
AO	DEMOLICIONES ESTRUCTURAS SUBTERRANEAS DE CONDUCCION DE AGUAS	Inicio	15	15	15	M.I	S.I	S.I	M.I	M.I	I.M	M.I	M.I	S.I	S.I	S.I	S.I	M.I	M.I
AP	DOVELAS CON REFUERZO PARA MUROS DE 19	K – FC	48	48	48	M.I	S.I	S.I	M.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I
AQ	MURO BLOQUE CONCRETO 19x19x39CM	K – FC	50	50	50	M.I	S.I	S.I	M.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I
AR	DOVELAS CON REFUERZO PARA MUROS DE 14	K – FC	45	45	45	M.I	S.I	S.I	M.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I
AS	LOSA CONCRETO E=10 CM STEEL DECK LAMINA COLABORANTE 2"	Z – FC	50	50	50	M.I	S.I	S.I	M.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I
AT	LOSA CONCRETO E=13CM STEEL DECK LAMINA COLABORANTE 3"	Z – FC	45	45	45	M.I	S.I	S.I	M.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I
AU	IMPORTACION, PRODUCCION	AT – FC	56	56	56	M.I	S.I	S.I	S.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I
AV	INSTALACION, MONTAJE		50	50	50	M.I	S.I	M.I	S.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I
AW	PRUEBAS Y AJUSTES		7	7	7	M.I	S.I	M.I	S.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I
AX	LOSA DE CIMENTACIÓN TANQUES 4000 PSI	C – FC	15	15	15	M.I	M.I	S.I	M.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I
AY	MURO TANQUE DE ALMACENAMIENTO 4000 PSI	C – FC	1	1	1	M.I	M.I	S.I	M.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I

ID	Actividades	Precedencias	Límite inferior duración	Medio duración	Límite superior duración	Factor de riesgo 2	Factor de riesgo 470	Factor de riesgo 301	Factor de riesgo 373	Factor de riesgo 154	Factor de riesgo 26	Factor de riesgo 202	Factor de riesgo 90	Factor de riesgo 358	Factor de riesgo 228	Factor de riesgo 484	Factor de riesgo 492	Factor de riesgo 365	Factor de riesgo 276
AZ	LOSA CUBIERTA TANQUE 4.000 PSI	C – FC	20	20	20	M.I	M.I	S.I	M.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I
BA	VIGAS LOSA CONC 4.000 PSI	C – FC	20	20	20	M.I	M.I	S.I	M.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I
BB	ESCALERA EN CONCRETO	C – FC	26	26	26	M.I	M.I	S.I	M.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I
BC	CONFORMACIÓN Y COMPACTACIÓN DE SUBRASANTE	C – FC	46	46	46	M.I	S.I	S.I	M.I	M.I	I.M	M.I	M.I	S.I	I.M	S.I	S.I	M.I	M.I
BD	ESCALERAS TRAMO COMPLETO	AT – FC	10	10	10	M.I	S.I	S.I	S.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I
BE	LOSA DE CUARTO DE MAQUINAS y ASCENSOR	AT – FC	13	13	13	M.I	S.I	S.I	S.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I
BF	NIVELACIÓN DE PLATINAS Y RELLENO	K – FC	45	45	45	M.I	S.I	S.I	S.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I
BG	ESTRUCTURA METALICA ESCALERA	AT – FC	15	15	15	M.I	S.I	S.I	S.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I
BH	MURO EN BOARD 2 CARAS 8MM	AW – FC	11	11	11	M.I	S.I	S.I	S.I	M.I	I.M	M.I	M.I	I.M	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I
BI	CARTERAS EN BOARD 8MM BAJO VENTANA	AW – FC	6	6	6	M.I	S.I	S.I	S.I	M.I	I.M	M.I	M.I	I.M	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I
BJ	PINTURA EPOXICA	BH – FC	24	24	24	M.I	S.I	S.I	S.I	M.I	I.M	M.I	M.I	I.M	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I
BK	PUERTA ENROLLABLE COLD ROLLED CALLE 29	AW – FC	5	5	5	M.I	S.I	S.I	I.M	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I
BL	PUERTA ENROLLABLE COLD ROLLED CRA. 27	AW – FC	5	5	5	M.I	S.I	S.I	I.M	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I
BM	PUERTA ENROLLABLE COLD ROLLED CALLE 30	AW – FC	5	5	5	M.I	S.I	S.I	I.M	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I
BN	CERRAMIENTO ACCESO TANQUES ALMACENAMIENTO	AW – FC	5	5	5	M.I	S.I	S.I	S.I	M.I	I.M	M.I	M.I	I.M	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I
BO	VENTANERIA VIDRIO TEMPLADO ALUM.	AW – FC	8	8	8	M.I	S.I	S.I	I.M	M.I	I.M	M.I	M.I	I.M	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I
BP	VENTANA TIPO PERSIANA FIJA	AW – FC	15	15	15	M.I	S.I	S.I	I.M	M.I	I.M	M.I	M.I	I.M	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I
BQ	ESMALTE REJAS VENTANA	AW – FC	15	15	15	M.I	S.I	S.I	I.M	M.I	I.M	M.I	M.I	I.M	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I
BR	DOMO ACRILICO CIRCULAR - RECTANG. 65x65 CM	AW – FC	10	10	10	M.I	S.I	S.I	M.I	M.I	I.M	M.I	M.I	I.M	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I
BS	SOLAPA EN LAMINA GALVANIZADA	AW – FC	65	65	65	M.I	S.I	S.I	M.I	M.I	I.M	M.I	M.I	I.M	M.I	S.I	I.M	M.I	M.I
BT	BARRA PMR ABATIBLES	AW – FC	8	8	8	M.I	S.I	S.I	S.I	M.I	I.M	M.I	M.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	M.I
BU	DISPENSADOR DE PAPEL HIGIENICO	AW – FC	8	8	8	M.I	S.I	S.I	S.I	M.I	I.M	M.I	M.I	I.M	I.M	S.I	S.I	M.I	M.I
BV	ESPEJO DE 4mm	AW – FC	8	8	8	M.I	S.I	S.I	S.I	M.I	I.M	M.I	M.I	I.M	I.M	S.I	S.I	M.I	M.I
BW	LAVATRAPEADOR LADRILLO - ENCHAPADO	AW – FC	8	8	8	M.I	S.I	S.I	S.I	M.I	I.M	M.I	M.I	I.M	I.M	S.I	S.I	M.I	M.I
BX	SANITARIO TIPO FLUXOMETRO LINEA INSTITUCIONAL	AW – FC	16	16	16	M.I	S.I	M.I	S.I	M.I	I.M	M.I	M.I	I.M	I.M	S.I	S.I	M.I	M.I
BY	ORINAL TIPO FLUXOMETRO LINEA INSTITUCIONAL	AW – FC	16	16	16	M.I	S.I	M.I	S.I	M.I	I.M	M.I	M.I	I.M	I.M	S.I	S.I	M.I	M.I
BZ	LAVAMANOS COLGAR PEDESTAL LINEA MEDIA	AW – FC	16	16	16	M.I	S.I	M.I	S.I	M.I	I.M	M.I	M.I	I.M	I.M	S.I	S.I	M.I	M.I
CA	LINEA DEMARACACION PARQUEADERO	AW – FC	5	5	5	M.I	S.I	S.I	I.M	M.I	I.M	M.I	M.I	S.I	I.M	S.I	I.M	M.I	M.I
CB	TOPELLANTAS	AW – FC	4	4	4	M.I	S.I	S.I	I.M	M.I	I.M	M.I	M.I	S.I	I.M	S.I	I.M	M.I	M.I

ID	Actividades	Precedencias	Límite inferior duración	Medio duración	Límite superior duración	Factor de riesgo 2	Factor de riesgo 470	Factor de riesgo 301	Factor de riesgo 373	Factor de riesgo 154	Factor de riesgo 26	Factor de riesgo 202	Factor de riesgo 90	Factor de riesgo 358	Factor de riesgo 228	Factor de riesgo 484	Factor de riesgo 492	Factor de riesgo 365	Factor de riesgo 276
CC	IMPERMEABILIZACION TANQUE ALMACENAMIENTO	AW – FC	16	16	16	M.I	S.I	S.I	S.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	I.M	S.I	I.M	M.I	M.I
CD	IMPERMEABILIZACION LOSAS VEHICULARES	AW – FC	5	5	5	M.I	S.I	S.I	M.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	I.M	S.I	I.M	M.I	M.I
CE	IMPERMEABILIZACION LOSA NO TRAFICO	AW – FC	5	5	5	M.I	S.I	S.I	M.I	M.I	I.M	M.I	M.I	M.I	I.M	S.I	I.M	M.I	M.I

ID	Actividades	Precedencias	Factor de riesgo 127	Factor de riesgo 128	Factor de riesgo 132	Factor de riesgo 318	Factor de riesgo 214	Factor de riesgo 376	Factor de riesgo 503	Factor de riesgo 465	Factor de riesgo 438	Factor de riesgo 476	Factor de riesgo 477	Factor de riesgo 222	Factor de riesgo 145	Factor de riesgo 424	Factor de riesgo 431
A	CAMPAMENTO TABLA 18 M2	AL, AM, AN, AO- FC	S.I	I.M	I.M	S.I	S.I	M.I	S.I	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	I.M	M.I	M.I
B	CERRAMIENTO TELA FIB.TEJIDA H=2,10M-BORD	A – FC	S.I	I.M	I.M	S.I	S.I	M.I	S.I	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
C	LOCALIZACION-REPLANTEO OBRA ARQUITECTON.	B – FC	S.I	I.M	S.I	S.I	S.I	M.I	S.I	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
D	EXCAVACION TIERRA CONGLOMERADO	C – FC	S.I	I.M	S.I	S.I	S.I	M.I	S.I	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
E	RETIRO SOBRANTES MAQUINA <=10 KM	C – FC	S.I	I.M	I.M	S.I	S.I	M.I	S.I	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
F	RELLENO ROCAMUERTA COMPACTADO SALTARIN	D,E- FC	S.I	I.M	I.M	S.I	S.I	M.I	S.I	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
G	ACERO REFUERZO FLEJADO 60000 PSI 420Mpa	F- FC	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	S.I	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
H	SOLADO ESPESOR E=0.05M 3000PSI 210MPA	F – FC	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	S.I	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
I	ZAPATA CONCRETO 3000 PSI INC. FORMALETA	H – FC	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	S.I	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
J	VIGA CIMIENTO ENLACE H=20-60 CMS 3000 psi	H- FC	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	S.I	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
K	PEDESTAL CONCRETO 3000 PSI	AL, AM, AN, AO- FC	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	S.I	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
L	CONEXIONES SOLDADAS	K – FC	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	S.I	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
M	CONSTRUCCION RAMPA- PAV.CONCR.MR=38.E=0.15,INC. JUNTA - BAKE	AW – FC	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	S.I	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
N	FOSO ASCENSOR EN CONCRETO	L – FC	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	S.I	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
O	ASCENSOR	N - FC	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	S.I	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I

ID	Actividades	Precedencias	Factor de riesgo 127	Factor de riesgo 128	Factor de riesgo 132	Factor de riesgo 318	Factor de riesgo 214	Factor de riesgo 376	Factor de riesgo 503	Factor de riesgo 465	Factor de riesgo 438	Factor de riesgo 476	Factor de riesgo 477	Factor de riesgo 222	Factor de riesgo 145	Factor de riesgo 424	Factor de riesgo 431
P	PUNTO PARADA ASCENSOR	O - FC	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	S.I	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
Q	VIGA CIMIENTO ENLACE H=20-40 CMS	K - FC	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	S.I	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
R	MURO BLOQUE CONCRETO 14x19x39CM	K - FC	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	S.I	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
S	VIGA CONCRETO AMARRE MURO 10-12X20 CM	K - FC	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	S.I	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
T	ACERO REFUERZO FLEJADO 60000 PSI 42 Mpa	K - FC	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	S.I	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
U	CONEXIONES SOLDADAS	K - FC	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	S.I	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
V	PERFIL CAJON AG C160x 60mm -1.9MM C.14	R - FC	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	S.I	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
W	TENSOR ESTR.VARILLA DIAMETRO 3/8"	R - FC	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	S.I	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
X	TEJA ALUMINIO-POLIURETANO-ALUM.E=1 1C	V - FC	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	S.I	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
Y	ACERO ESTRUCTURAL A.S.T,M,A-36	T - FC	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	S.I	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
Z	ACERO ESTRUCTURAL A.S.T,M,A-36	T - FC	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	S.I	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
AA	INSTALACIONES HIDRAULICAS	C - FC	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	S.I	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
AB	INSTALACIONES SANITARIAS	C - FC	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	S.I	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
AC	INSTALACIONES ELECTRICAS	C - FC	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	S.I	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
AD	ALLANADO MECANICO ESMALTADO GRIS-NEGRO	AW - FC	S.I	I.M	I.M	S.I	S.I	M.I	S.I	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
AE	CERAMICA 30.01-32.50x30.01-32.4 TRAF.5	Z - FC	S.I	I.M	I.M	S.I	S.I	M.I	S.I	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
AF	ENCHAPE CERAMICA 20x20 CORONA 1 CALIDAD	Z - FC	S.I	I.M	I.M	S.I	S.I	M.I	S.I	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
AG	MESON EN CONCRETO H=8.1-10CM	Z - FC	S.I	I.M	I.M	S.I	S.I	M.I	S.I	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
AH	DIV.METALICA BANO L.ACERO INOX C.19	Z - FC	S.I	I.M	I.M	S.I	S.I	M.I	S.I	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
AI	BARANDA INDIV.TUBO GALV. 1,1/2" C/SOPORT (Barra Discapacitados)	Z - FC	S.I	I.M	I.M	S.I	S.I	M.I	S.I	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
AJ	MARCO LAM. 0.70-1.0 M CAL.20 PEST C/LUCE	Z - FC	S.I	I.M	I.M	S.I	S.I	M.I	S.I	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
AK	BARANDA METAL.TUBO GALV. 4" S. DIS	Z - FC	S.I	I.M	I.M	S.I	S.I	M.I	S.I	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
AL	DEMOLICIÓN EDIFICIO COLPATRIA	Inicio	S.I	I.M	S.I	S.I	S.I	M.I	S.I	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
AM	DEMOLICION PATIO SECRETARIA DE SALUD	Inicio	S.I	I.M	S.I	S.I	S.I	M.I	S.I	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
AN	DEMOLICION Y REUBICACION CAJAS PARA ACOMETIDAS ELECTRICAS E HIDRAHULICAS	Inicio	S.I	I.M	S.I	S.I	S.I	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
AO	DEMOLICIONES ESTRUCTURAS SUBTERRANEAS DE CONDUCCION DE AGUAS	Inicio	S.I	I.M	S.I	S.I	S.I	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
AP	DOVELAS CON REFUERZO PARA MUROS DE 19	K - FC	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I

ID	Actividades	Precedencias	Factor de riesgo 127	Factor de riesgo 128	Factor de riesgo 132	Factor de riesgo 318	Factor de riesgo 214	Factor de riesgo 376	Factor de riesgo 503	Factor de riesgo 465	Factor de riesgo 438	Factor de riesgo 476	Factor de riesgo 477	Factor de riesgo 222	Factor de riesgo 145	Factor de riesgo 424	Factor de riesgo 431
AQ	MURO BLOQUE CONCRETO 19x19x39CM	K – FC	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
AR	DOVELAS CON REFUERZO PARA MUROS DE 14	K – FC	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
AS	LOSA CONCRETO E=10 CM STEEL DECK LAMINA COLABORANTE 2"	Z – FC	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
AT	LOSA CONCRETO E=13CM STEEL DECK LAMINA COLABORANTE 3"	Z – FC	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
AU	IMPORTACION, PRODUCCION	AT – FC	S.I	I.M	I.M	S.I	M.I	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
AV	INSTALACION, MONTAJE		S.I	I.M	I.M	S.I	M.I	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
AW	PRUEBAS Y AJUSTES		S.I	I.M	I.M	S.I	M.I	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
AX	LOSA DE CIMENTACIÓN TANQUES 4000 PSI	C – FC	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
AY	MURO TANQUE DE ALMACENAMIENTO 4000 PSI	C – FC	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
AZ	LOSA CUBIERTA TANQUE 4.000 PSI	C – FC	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
BA	VIGAS LOSA CONC 4.000 PSI	C – FC	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
BB	ESCALERA EN CONCRETO	C – FC	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
BC	CONFORMACIÓN Y COMPACTACIÓN DE SUBRASANTE	C – FC	S.I	I.M	S.I	S.I	I.M	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
BD	ESCALERAS TRAMO COMPLETO	AT – FC	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
BE	LOSA DE CUARTO DE MAQUINAS y ASCENSOR	AT – FC	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
BF	NIVELACIÓN DE PLATINAS Y RELLENO	K – FC	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
BG	ESTRUCTURA METALICA ESCALERA	AT – FC	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
BH	MURO EN BOARD 2 CARAS 8MM	AW – FC	S.I	I.M	I.M	S.I	S.I	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
BI	CARTERAS EN BOARD 8MM BAJO VENTANA	AW – FC	S.I	I.M	I.M	S.I	S.I	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
BJ	PINTURA EPOXICA	BH – FC	S.I	I.M	I.M	S.I	S.I	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
BK	PUERTA ENROLLABLE COLD ROLLED CALLE 29	AW – FC	S.I	I.M	I.M	S.I	S.I	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
BL	PUERTA ENROLLABLE COLD ROLLED CRA. 27	AW – FC	S.I	I.M	I.M	S.I	S.I	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
BM	PUERTA ENROLLABLE COLD ROLLED CALLE 30	AW – FC	S.I	I.M	I.M	S.I	S.I	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
BN	CERRAMIENTO ACCESO TANQUES ALMACENAMIENTO	AW – FC	S.I	I.M	I.M	S.I	S.I	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
BO	VENTANERIA VIDRIO TEMPLADO ALUM.	AW – FC	S.I	I.M	I.M	S.I	S.I	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
BP	VENTANA TIPO PERSIANA FIJA	AW – FC	S.I	I.M	I.M	S.I	S.I	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
BQ	ESMALTE REJAS VENTANA	AW – FC	S.I	I.M	I.M	S.I	S.I	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
BR	DOMO ACRILICO CIRCULAR - RECTANG. 65x65 CM	AW – FC	S.I	I.M	I.M	S.I	S.I	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
BS	SOLAPA EN LAMINA GALVANIZADA	AW – FC	S.I	I.M	I.M	S.I	S.I	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I

ID	Actividades	Precedencias	Factor de riesgo 127	Factor de riesgo 128	Factor de riesgo 132	Factor de riesgo 318	Factor de riesgo 214	Factor de riesgo 376	Factor de riesgo 503	Factor de riesgo 465	Factor de riesgo 438	Factor de riesgo 476	Factor de riesgo 477	Factor de riesgo 222	Factor de riesgo 145	Factor de riesgo 424	Factor de riesgo 431
BT	BARRA PMR ABATIBLES	AW – FC	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
BU	DISPENSADOR DE PAPEL HIGIENICO	AW – FC	S.I	I.M	S.I	S.I	S.I	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
BV	ESPEJO DE 4mm	AW – FC	S.I	I.M	S.I	S.I	S.I	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
BW	LAVATRAPEADOR LADRILLO - ENCHAPADO	AW – FC	S.I	I.M	S.I	S.I	S.I	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
BX	SANITARIO TIPO FLUXOMETRO LINEA INSTITUCIONAL	AW – FC	S.I	I.M	S.I	S.I	I.M	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
BY	ORINAL TIPO FLUXOMETRO LINEA INSTITUCIONAL	AW – FC	S.I	I.M	S.I	S.I	I.M	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
BZ	LAVAMANOS COLGAR PEDESTAL LINEA MEDIA	AW – FC	S.I	I.M	S.I	S.I	S.I	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
CA	LINEA DEMARACACION PARQUEADERO	AW – FC	S.I	I.M	I.M	S.I	S.I	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
CB	TOPELLANTAS	AW – FC	S.I	I.M	I.M	S.I	S.I	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
CC	IMPERMEABILIZACION TANQUE ALMACENAMIENTO	AW – FC	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
CD	IMPERMEABILIZACION LOSAS VEHICULARES	AW – FC	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I
CE	IMPERMEABILIZACION LOSA NO TRAFICO	AW – FC	S.I	I.M	I.M	S.I	I.M	M.I	I.M	S.I	I.M	I.M	I.M	I.M	I.M	M.I	M.I

Anexo 5. Suspensiones y prórrogas del contrato

Documento Soporte	Fecha	Plazo adicional	Justificación
Acta de suspensión 29 de mayo de 2015 contrato MP 284-2015	29/05/2015	95 días	Suspensión obra por: Dificultad para la adquisición de dos predios para la construcción de la obra. Se tuvo que acudir a un proceso de expropiación judicial
Acta de reinicio 5 de octubre de 2015 contrato MP 284-2015	05/10/2015		Reinicio obra cuando se subsanan problemas judiciales
Otro sí MP-284-2015	02/03/2016	90 días	Las cartas catastrales correspondientes a los lotes que habían sido adquiridos o que estaban en proceso de adquisición por parte de la alcaldía para su construcción, aún no habían sido desocupados o las construcciones existentes no habían sido demolidas
Adición en tiempo al contrato MP-284 de 2015	13/10/2016	60 días	Dificultad para la consecución de algunos materiales importados. Compra de material, tiempos de colocación del pedido, fabricación, transporte nacionalización y fabricación de estructura a instalar.
Otro si modificadorio No. 3 al contrato MP 284-2015	28/06/2016	60 días	Cuando ya se pudo demoler los locales comerciales adquiridos después de un largo litigio jurídico con los dueños de los mismo se evidencia diferentes factores como la topografía, área de terreno, diferencia de cotas entre las salidas a la calle 30 y calle 29 los cuales no permitieron que las cantidades parametrizadas para este tipo de proyecto se cumpliera, debiéndose ajustar las condiciones reales del terreno, requiriéndose aumentar el valor fiscal del contrato en un 50% para cubrir estas cantidades iniciales.
Acta de suspensión 11 de noviembre de 2016 contrato MP 284-2015	11/11/2016	60 días	Suspensión de obra por revisión y cálculo de luminotecnica