

**ANÁLISIS DE DEMORAS DE UN PROYECTO DE OBRA CIVIL
INVOLUCRANDO EL RIESGO EN EL MUNICIPIO DE PRADERA-VALLE**

**ASTRID CAROLINA DAZA VELASCO
INGRID JOHANNA DOMÍNGUEZ RIVERA**



**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PALMIRA, COLOMBIA
2019**

**ANÁLISIS DE DEMORAS DE UN PROYECTO DE OBRA CIVIL
INVOLUCRANDO EL RIESGO EN EL MUNICIPIO DE PRADERA-VALLE**

**ASTRID CAROLINA DAZA VELASCO
INGRID JOHANNA DOMÍNGUEZ RIVERA**

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniera Industrial

**Director
Msc. Álvaro Julio Cuadros**



**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PALMIRA, COLOMBIA
2019**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Jurado

Jurado

AGRADECIMIENTOS

*A Dios, por iluminar y bendecir cada paso en mi vida y darme la sabiduría para solventar cada obstáculo,
A mi madre Elizabeth Daza, por su inmenso esfuerzo y dedicación, porque a ella le debo todo lo que soy,
A mi hermana Lorena Porras, por apoyarme siempre y ser un gran ejemplo de superación para mi vida,
Al amor de mi vida Nebojsa Miskovic, por su apoyo, amor incondicional y motivación para ser mejor cada día,
A mi madrina Martha Plaza, por su gran cariño y por estar siempre presente en cada etapa de mi vida,
A la profesora Adíela Suarez, por todos sus buenos consejos y enseñanzas a lo largo de mi proceso,
A mi familia y amigos por sus buenos deseos y sus aportes para culminar con éxito esta etapa,
A todos ustedes quiero expresarles mi sentimiento de gratitud y dedicarles este gran logro.*

Astrid Carolina Daza Velasco

*Agradezco a Dios por ser mi guía y brindarme paciencia y sabiduría para culminar con éxito este proceso,
A mis padres José María Domínguez y Yolanda Rivera, quienes son mi motor y mi mayor inspiración,
A mi hermana Vanessa Domínguez quien a pesar de las adversidades siempre creyó en mí,
A todos mis amigos y familiares por su voz de ánimo a lo largo de esta maravillosa etapa.*

Ingrid Johanna Domínguez Rivera

Al profesor Álvaro Julio Cuadros, por su paciencia, acompañamiento y orientación a lo largo de todo nuestro proceso, por tener siempre la mejor disposición cada que necesitamos de su apoyo, por cada palabra de motivación, porque este logro no hubiera sido posible sin él, nuestro más sincero y eterno agradecimiento.

Ingrid Johanna Domínguez & Astrid Carolina Daza

RESUMEN

En el sector construcción existen organizaciones tanto públicas como privadas que trabajan mediante la ejecución de proyectos, los cuales en ocasiones presentan demoras con respecto al cronograma inicial, producto de aplazamientos causados por el dueño, órdenes de cambios solicitados, cambios en el análisis del suelo, entre otros (Burgos & Vela, 2015).

Se propone el uso de los métodos de análisis de demoras teniendo en cuenta el riesgo inherente que existe en los proyectos, para así lograr ejercer un control en los efectos generados por las demoras.

El presente trabajo constituye una investigación exploratoria con la finalidad de conocer la aplicabilidad de los métodos de análisis de demoras más utilizados a nivel internacional para la gestión de ampliaciones de plazo en obras de construcción nacionales.

Palabras Claves: Proyecto, análisis de demoras, Construcción, Riesgos.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	9
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	10
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
1.2. OBJETIVOS	11
1.2.1. Objetivo general.	11
1.2.2. Objetivos Específicos.....	11
1.3. MARCO TEÓRICO.....	12
1.3.1. Antecedentes	12
1.3.2. Conceptos fundamentales	12
2. ANÁLISIS DE DEMORAS	15
2.1. MÉTODOS PARA DESARROLLAR UN ANÁLISIS DE DEMORAS EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN	19
2.1.1. Taxonomía.	19
2.1.2. Métodos.....	20
3. ACTIVIDADES CRÍTICAS.	30
3.1. CONTEXTUALIZACIÓN.....	30
3.1.2. Perfil de expertos.....	31
3.2. SIMULACIÓN MONTE CARLO	31
Modelo de simulación	31
4.2. IDENTIFICACIÓN DE ACTIVIDADES CRÍTICAS.....	32
4. APLICACIÓN DEL MÉTODO PROPUESTO.....	36
DESARROLLO DEL ALGORITMO PARA LA EJECUCIÓN DEL MÉTODO MODIFIED TIME IMPACT ANALYSIS (MTIA).	36
CONCLUSIONES	47
BIBLIOGRAFÍA.....	49
ANEXOS	52

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Avances de proyectos a finales de 2018	11
Tabla 2. Clasificación según su origen	16
Tabla 3. Clasificación según la asignación de responsabilidades	17
Tabla 4. Clasificación según el impacto en la finalización del proyecto	18
Tabla 5. Revisión artículos	20
Tabla 6. Taxonomía de los métodos de análisis de demoras más usados en los proyectos de construcción según la literatura	21
Tabla 7. Caracterización de los métodos de análisis de demoras más usados	22
Tabla 8. Descripción perfil expertos	31
Tabla 9 Análisis del Gantt probabilístico	32
Tabla 10. Eventos de demora identificados	36
Tabla 11. Clasificación de las demoras	37
Tabla 12. Eventos de demora seleccionados.	38
Tabla 13. Actividades afectadas por los eventos de demora	39
Tabla 14. CFF actividades afectas por evento de demora 1.	40
Tabla 15. CFF actividades afectas por evento de demora 2	41
Tabla 16. CFF actividades afectas por evento de demora 3	42
Tabla 17. CFF actividades afectas por evento de demora 4	42
Tabla 18. CFF actividades afectas por evento de demora 5	43
Tabla 19. CFF actividades afectas por evento de demora 6	44
Tabla 20. Cambio en la fecha de finalización total de la ruta 1	44
Tabla 21. Cambio en la fecha de finalización total de la ruta 2	44
Tabla 22. Cambio en la duración total de las actividades afectadas	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de Simulación Montecarlo.	13
Figura 2. Diagrama de flujo método TIA.....	24
Figura 3 Diagrama de red	30
Figura 4. Diagrama de red Simplificado del caso de estudio.	39

LISTA DE GRAFICAS

Gráfica 1. Métodos de análisis de demoras más usados según la literatura	21
Gráfica 2. Probabilidad de ocurrencia de la duración del proyecto.	34

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Documento MS PROJECT Programación inicial.	52
Anexo 2. Actividades planificadas.	52

INTRODUCCIÓN

Un proyecto es una actividad grupal temporal para producir un producto, servicio o resultado que es único, es temporal dado que tiene un comienzo y un fin definido, y por lo tanto tiene un alcance y recursos establecidos (PMI, 2013).

En muchos casos, los proyectos tienen el riesgo de finalización tardía, entre ellos los proyectos de construcción. Estos llevan un riesgo inherente que puede ser manejado, es decir, evitado, mitigado, transferido o aceptado, pero no puede ser ignorado (PMI, 2013).

La finalización tardía como riesgo, trae consecuencias tales como: sobrecostos, mala calidad o el fracaso. La presencia de riesgos e incertidumbres en el desarrollo e implementación del proyecto juega un papel significativo en ese posible fracaso. Por lo tanto, existe una necesidad considerable de tener un proceso efectivo de gestión de riesgos para el rendimiento del proyecto (Nasirzadeh, Afshar, & Khanzadi, 2008).

La efectividad en la gestión de riesgos está dada por el cumplimiento en la duración acordada del proyecto. Si bien la mayoría de los contratos de construcción requieren que el contratista presente un cronograma, que luego se mantiene y actualiza a través de la vida del proyecto, es necesario asegurar que éste se logre. El progreso real del contratista se mide normalmente en contra de este cronograma planificado (Kim, Kim, & Shin, 2005).

Así que la demora es reconocida como el problema más común, costoso, complejo y arriesgado en proyectos de construcción. Tal demora ocasiona reclamaciones que requieren del establecimiento de pasivos. La resolución de estas reclamaciones es fundamental para la distribución de responsabilidades entre las partes reclamante y defensora (Kim et al., 2005).

El análisis de demoras es una herramienta útil que permite medir y cuantificar las demoras; identificando las actividades afectadas dentro del cronograma y determinando su impacto o no en el plazo contractual (Jr, 1999), de manera que sirve como soporte técnico en la toma de decisiones respecto a consideraciones como ampliación del plazo, pago por mora o finalización del contrato.

Como objetivo principal de este proyecto se plantea aplicar un método de análisis de demoras considerando riesgos en un proyecto de obra civil que facilite el control de proyectos en el municipio de Pradera valle.

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia, los proyectos ejecutados en el sector construcción se pueden clasificar en dos categorías: las edificaciones, que por lo general son de carácter privado y su principal objetivo es obtener una rentabilidad financiera; y las obras civiles de infraestructura, que pertenecen al sector público y establecen su finalidad bajo las premisas del bienestar común (Vargas, 2015).

Para el año 2017, la inversión en obras civiles fue de \$7,8 billones, de los cuales el 70% fue destinado a proyectos 4G, el 19,2% a carreteras y cerca del 9,5% a aeropuertos, férreos y puertos (La República, 2017). Dicha inversión se vio reflejada en el crecimiento del sector, ya que entre abril y junio de 2017 este aumentó un 2,6% respecto al trimestre anterior (DANE, 2017). Lo mencionado anteriormente muestra que la construcción de obras civiles contribuye de manera significativa en el desarrollo del país.

Sin embargo, a pesar de que existe una gran inversión en proyectos de obra civil, se puede encontrar un alto porcentaje de obras que no se entregan en los tiempos establecidos, dando paso a la generación de costos adicionales para disminuir el impacto que producen dichas demoras (Burgos & Vela, 2015).

La contraloría general de la nación, indicó que ha marzo de 2017 los sobrecostos por proyectos de obra civil que presentan demoras a nivel nacional ascendía a los \$106.818 millones; los departamentos que más aportaron a esta cifra fueron: Choco 9 (\$30.159 millones), Casanare (\$24.417 millones), Guajira (\$12.572 millones) y Huila (\$11.031 millones) (El Tiempo, 2017).

Las demoras en los proyectos no solo se presentan en Colombia, según un estudio realizado por Daniel Bland (2016) de 158 proyectos de infraestructura que se ejecutan en Latinoamérica, 60 de ellos presentan demoras y un sobrecosto promedio del 31,8%. México fue el país donde se obtuvieron los resultados más desfavorables, se encontraron proyectos que en promedio presentan una demora promedio del 71,4%, y sobrecostos hasta del 31,3%.

De acuerdo con el Gestor de Proyectos de Infraestructura (GPI), de las 94 obras que sumaban a finales de 2018, la Aerocivil, la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), la Corporación Autónoma Regional Del Rio Grande de La Magdalena (Cormagdalena), y el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), 39 presentaban demoras. Eso se traduce en que el 41% de las obras públicas presentaron dificultades (González, 2019).

En la Tabla 1 se muestra el avance esperado y el avance real de los proyectos que presentaron más dificultades a finales del año 2018. Según lo planificado, la mayoría de las obras deberían estar culminando para este tiempo. En el caso de

la obra Ampliación de la pista, construcción de llave de giro y obras complementarias del aeropuerto Reyes Murillo (Chocó) su avance real no alcanzaba ni el 20%.

Tabla 1. Avances de proyectos a finales de 2018

PROYECTOS	AVANCE ESPERADO	AVANCE REAL
Ampliación de la pista del aeropuerto de Puerto Leguízamo (Putumayo)	86,30%	51,1%.
Ampliación de la pista, construcción de llave de giro y obras complementarias del aeropuerto Reyes Murillo (Chocó)	96,1%	9,3%.
Vía que conecta Mayapo y Manaure, (La Guajira)	99,30%	57%
Construcción del tercer carril entre Floridablanca y Bucaramanga	99,8%	77,3%.

Fuente: elaboración propia

A partir de esta situación se plantea la siguiente pregunta: **¿Cómo se pueden analizar las demoras que se presentan en un proyecto de obra civil en la secretaria de infraestructura del municipio de pradera valle?**

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general.

Aplicar un método de análisis de demoras en un proyecto de obra civil considerando riesgos que facilite el control de proyectos en el municipio de Pradera valle.

1.2.2. Objetivos Específicos.

- Caracterizar mediante la revisión de literatura métodos usados para el análisis de demoras en proyectos de obra civil.
- Definir cualitativamente actividades críticas en un proyecto de obra civil, con base a la revisión bibliográfica.
- Validar en un caso de estudio el método seleccionado para el análisis de demoras.

1.3. MARCO TEÓRICO

1.3.1. Antecedentes. Kim (2005), propone un método para evaluar las demoras en la construcción a través de la aplicación de una nueva metodología conocida como DAMUDS “Delay Analysis Method Using Delay Section”. Esta metodología trata de superar las limitaciones de contabilización inadecuada de demora concurrente y la contabilidad inadecuada de actividades acortadas en el tiempo de los métodos ya existentes.

Nasirzadeh (2008), propone un nuevo enfoque de análisis de riesgos para los proyectos de construcción que permite cuantificar el impacto total de diferentes riesgos por efectos directos e indirectos de cada riesgo, usando la modelación de la estructura de riesgos y sus interacciones a través de circuitos de retroalimentación.

Doskocil (2011) utiliza el enfoque de la lógica difusa en un caso de estudio para evaluar el riesgo total de un proyecto, a través de un modelo basado en el método RIPRAN (Risk Project Análisis), que es un método empírico usado para el análisis de los riesgos de un proyecto. En el mismo documento se nombran algunos ejemplos de aplicaciones de la lógica difusa en la gestión de riesgos a través de la simulación.

Perera (2016) presenta los métodos Impact As-Planned, Time Impact Analysis, Collapsed As-Built, y As-Planned vs As-built como los utilizados para desarrollar un análisis de las demoras en construcción. Adicionalmente se muestra el desarrollo de una metodología que proporciona a los profesionales una herramienta robusta para la elección de un método óptimo para el análisis de demoras.

1.3.2. Conceptos fundamentales. Los siguientes conceptos fueron empleados en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Control de proyectos. Es un proceso que permite monitorear el avance real del proyecto y compararlo oportuna y periódicamente con el avance planeado, esto con el fin de completar el alcance determinado dentro del presupuesto y los tiempos estipulados en la planificación, sin afectar los requerimientos del cliente o patrocinador (Gido & Clements, 2005).

Cronograma As Planned. Es un programa que representa las intenciones de los contratistas para llevar a cabo las actividades del proyecto antes de comenzar su trabajo, es utilizado también como programa de base (Liu, 2010).

Cronograma As built. Es un registro gráfico o tabulador del progreso real de un proyecto de construcción, reflejando las fechas de inicio y finalización de cada actividad que se llevó a cabo. El cronograma As built también indica los períodos

de inactividad para cada actividad, aunque cada cronograma puede variar en su contenido de acuerdo con el proyecto (Liu, 2010).

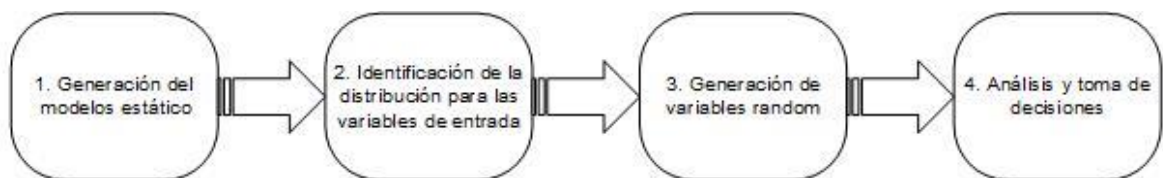
Fragnet. Consiste de una o más actividades que representan un cambio u otros impactos que no eran parte del plan original del proyecto. (PMI, 2000).

Método de la Ruta Crítica (CPM) / Critical Path Method. Un método utilizado para estimar la mínima duración del proyecto y determinar el nivel de flexibilidad en la programación de los caminos de red lógicos dentro del cronograma (PMI, 2013).

Simulación Monte Carlo (SMC). Según Raychaudhuri (2008) la simulación Montecarlo se basa en un muestreo aleatorio y un análisis estadístico para determinar y cuantificar el impacto que generan los eventos de riesgo. Este método de simulación está relacionado con experimentos aleatorios y se puede considerar como una forma metódica de hacer el llamado análisis hipotético.

El proceso de la simulación Monte Carlo se observa en la Figura 1.

Figura 1. Proceso de Simulación Montecarlo.



Fuente: Traducido y adaptado de Raychaudhuri (2008)

- **Generación del modelo estático:** Se desarrolla un modelo determinista que represente la situación real usando el valor más probable de los parámetros de entrada, transformándolos en la salida deseada.
- **Identificación de la distribución de probabilidad para las variables de entrada:** Se involucran los componentes de riesgo al modelo determinista obtenido y según el comportamiento de las variables de entrada, se asigna la distribución probabilística puesto que los riesgos originados son de naturaleza estocástica.
- **Generación de variables aleatorias:** A partir de las distribuciones probabilísticas de las variables de entrada, se genera un conjunto de números aleatorios que sirven para identificar el conjunto de valores de salida en el modelo diseñado, este proceso se repite para cada distribución de entrada asignada.
- **Análisis y toma de decisiones:** Una vez obtenidos los valores de salida a partir de la simulación se realiza un análisis estadístico.

La SMC involucra los conceptos estadísticos del muestreo aleatorio con lo que se pueden realizar repetidas estimaciones con base a un modelo de programación CPM. Previamente, la Simulación Monte Carlo ha sido usada para evaluar riesgos en proyectos de construcción.

En 2015 Hernán Darío Gómez y Armando Orobio (2015) publicaron el artículo "Efectos de la incertidumbre en la programación de proyectos de construcción de carreteras". En este artículo se realizó una simulación para evaluar probabilísticamente las prácticas de programación e identificar factores determinantes en las demoras y sobrecostos de 40 proyectos viales.

2. ANÁLISIS DE DEMORAS

Este capítulo está organizado en dos componentes principales. En la primera parte se encuentran las definiciones para tener en cuenta al realizar un análisis de demoras y en la segunda parte se presentan los métodos más usados para el análisis de demoras en proyectos de construcción.

Los proyectos ejecutados en el sector construcción, a través del tiempo presentan un mayor nivel de complejidad debido a la adaptación de nuevas normatividades, avances tecnológicos, y cambios frecuentes que deseen realizar los propietarios, sin contar con las incertidumbres inherentes que están presentes en el entorno físico, financiero y económico. Tales condiciones han hecho que completar los proyectos en el horario planificado sea una tarea difícil de lograr, razón por la que es común que se presente una demora (Nuhu Braimah & Ndekugri, 2009; Malak, Saadi, & Abou-Zeid, 2002).

Según la Asociación americana de ingeniería de costos (2011) conocida por sus siglas en inglés como AACE, la demora representa un estado de extensión en la duración de una actividad, o un estado de prevención de la misma sobre su inicio o término respecto a su predecesor.

Sin embargo, para Malak (2002) la demora es una solicitud del contratista de una extensión de tiempo y/o costo adicional que puede terminar en un desacuerdo que no se resuelve de manera amistosa por las partes involucradas.

Lo que nos muestra que no hay un consenso sobre la definición del término empleado por los autores, aunque todas las definiciones abordadas apuntan a que una de las consecuencias generadas por una demora es la alteración en el cronograma inicialmente planificado.

La definición del término utilizada por la AACE está orientada al estado de la demora, al considerar que representa la extensión en la duración de una actividad. Por lo que para el desarrollo del presente trabajo, se tomará como base dicha definición.

Las demoras que se presentan durante la ejecución del proyecto además de retrasar la entrega, generan un incremento en los costos presupuestados inicialmente (Nuhu Braimah, 2013a). Lo anterior es de gran importancia para las partes interesadas puesto que se ven afectadas de manera directa.

Según Trauner, Manginelli, Lowe, Nagata, & Furniss (2009), existen varios tipos de demoras y se clasifican de la siguiente manera:

- Según su origen: En esta clasificación el factor determinante para establecer los tipos de demoras es conocer de dónde surgen y si se deben a la ocurrencia de otras demoras (ver Tabla 2).

Tabla 2. Clasificación según su origen

TIPO DE DEMORA	DESCRIPCIÓN
Demoras Independientes	Son aquellas que ocurren solas y no de una demora previa. El efecto de una demora independiente puede ser calculado en la duración total del proyecto. Este tipo de demora puede ocasionar una demora en serie.
Demoras en serie	Estos tipos de demoras ocurren únicamente como resultado de una demora anterior no relacionada con el trabajo anterior, es decir, las demoras en serie son secuencias de demoras consecutivas que no se superponen en una ruta de red particular.
Demoras concurrentes	Son aquellas demoras que envuelven dos o más eventos que pueden ocasionar demoras en el cronograma, uno de éstos a causa del contratista y el otro por el dueño. En esencia, las demoras concurrentes son demoras que están fuera de la ruta crítica pero que suceden al mismo tiempo

Fuente: Traducido y adaptado de Trauner, Manginelli, Lowe, Nagata, & Furniss (2009).

- Según la asignación de responsabilidades: Esta clasificación está definida principalmente por la parte causante de la demora, entre los que están las partes interesadas (propietario y contratista) y los factores externos (ver Tabla 3).

Tabla 3. Clasificación según la asignación de responsabilidades

TIPO DE DEMORA	DESCRIPCIÓN
Demoras inexcusables	Son las que están bajo el control del contratista, o cualquiera que trabaje para ellos. Se citan como ejemplos de estas demoras: rendimiento ineficiente del equipo de trabajo y demoras en la movilización de equipo.
Demoras excusables	Es una demora que se debe a un evento imprevisible más allá del control del contratista o del subcontratista. Si se determina que una demora es excusable deberá determinarse si ésta es compensable o no compensable.
Demoras compensables	Se dan cuando las causas de su ocurrencia son imputables al contratante, es decir está bajo su control, sus agentes o empleados incluyendo a los supervisores de la obra. Se caracterizan porque son consecuencia de actos del contratante dentro de su responsabilidad contractual.
Demoras no compensables	Este tipo de demora indica que, aunque puede haber ocurrido una demora excusable, el contratista no tiene derecho a ninguna compensación adicional resultante de la demora excusable. Esto debido a los acuerdos contractuales.

Fuente: Traducido y adaptado de Trauner, Manginelli, Lowe, Nagata, & Furniss (2009).

- Según su impacto: las demoras también se pueden clasificar dependiendo del impacto que generen en la finalización del proyecto (Ver Tabla 4).

Tabla 4. Clasificación según el impacto en la finalización del proyecto

TIPO DE DEMORA	DESCRIPCIÓN
Demoras críticas	Son aquellas demoras que afectan las actividades críticas del proyecto y por ende afectan la finalización del proyecto extendiendo su duración.
Demoras no críticas	Son aquellas que no tienen ninguna influencia en la finalización del proyecto o una fecha de hito.

Fuente: Traducido y adaptado de Trauner, Manginelli, Lowe, Nagata, & Furniss (2009).

Las demoras se han citado como causas de problemas más comunes y costosos, siendo una fuente importante de reclamos y disputas en proyectos de construcción. En consecuencia, las reclamaciones por demora a menudo evolucionan hacia litigios u otras formas de resolución de disputas (Yoke-Lian, Hassim, Muniandy, & Mee-Ling, 2012).

Por lo anterior se hace necesario un medio que proporcione la justificación y cuantificación de las consecuencias de tiempo necesarias para resolver las diferentes disputas y así facilitar la adjudicación de días justificables hasta la finalización del proyecto. Para ello se ha desarrollado el análisis de demoras conocido como DA por sus siglas en inglés (Delay Analysis), este análisis implica una investigación detallada de los registros del proyecto, los programas y sus actualizaciones, con la ayuda de enfoques diferentes, denominados comúnmente "métodos de análisis de demora" (Muhamad, Mohammad, Ahmad, & Ibrahim, 2016).

2.1. MÉTODOS PARA DESARROLLAR UN ANÁLISIS DE DEMORAS EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN

2.1.1. Taxonomía. La AACE (2011) brinda una clasificación jerárquica de los métodos de análisis de demoras que ayuda a conocer de manera más amplia, la naturaleza y los objetivos de cada uno de estos métodos. Dicha taxonomía está basada en dos criterios principales: tiempo y técnicas de estudio.

• Tiempo

El momento en el que se realiza el análisis de demoras de un proyecto es de vital importancia, ya que éste influye en la finalidad que se quiere alcanzar, dicho análisis puede ser de tipo prospectivo o retrospectivo.

Se habla de análisis prospectivo cuando se desarrolla mientras el proyecto está en ejecución, se caracteriza por que se hacen estimaciones de eventos futuros que puedan afectar el cumplimiento del alcance del proyecto.

Cuando se dice que el análisis es retrospectivo, hace referencia a la determinación del origen de las demoras y el impacto de estas, lo cual se lleva a cabo mediante el análisis de las diversas formas de documentación que ofrece el proyecto, como los cronogramas As-built. Este análisis se realiza por lo general cuando la ejecución del proyecto ya ha finalizado y es más conocido como análisis forense.

• Técnicas de estudio.

Son muchos los métodos existentes para realizar un análisis de demoras, estos se pueden catalogar según la técnica utilizada para su estudio en dos grandes grupos: técnica de observación y técnica de modelación.

Aquellos métodos que utilizan la técnica de observación son considerados como básicos, estos se enfocan principalmente en estudiar los cronogramas del proyecto sin realizarles algún tipo de cambio. Los métodos que se rigen bajo este enfoque, realizan un análisis retrospectivo.

Por otro lado, los métodos que utilizan la técnica de modelación involucran el diagrama CPM en su ejecución, lo que hacen es introducir o extraer actividades con el propósito de construir escenarios donde se representen posibles demoras que puedan suceder en un futuro.

2.1.2. Métodos. Se realizó una búsqueda de artículos para caracterizar los métodos de análisis de demoras aplicados en el sector construcción. Para la consulta de estos se usó la base de datos de la Universidad del Valle, de donde se obtuvieron un total de 10 artículos referentes al tema en estudio. La relación de los resultados se observa en la tabla 5.

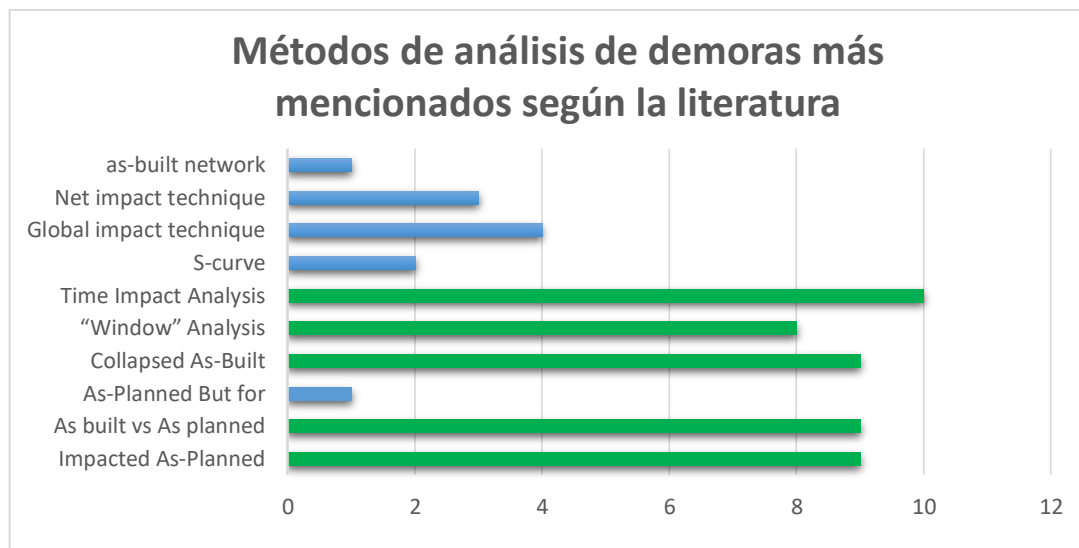
Tabla 5. Revisión artículos

ARTÍCULO	AUTOR
Construction Delay Analysis Techniques—A Review of Application Issues and Improvement Needs	Nuhu Braimah (2013)
Decision-Making Model for Selecting the Optimum Method of Delay Analysis in Construction Projects	Nihal Ananda Perera; Monty Sutrisna; Tak Wing Yiu (2016)
Delay Analysis Methodologies (DAMs) in Delivering Quality Projects: Contractors and Consultants' Perceptions	Nurul Huda Muhamad, Mohammad Fadhil Mohammad, Asmalia Che Ahmad, Irma Hanie Ibrahim (2016)
Delay Analysis within Construction Contracting Organizations	Issaka Ndekugri; Nuhu Braimah; Rod Gameson (2008)
Selecting a delay analysis method in resolving construction claims	David Arditi, Thanat (2006)
Consultants' Perceptions on Construction Delay Analysis Methodologies	Nuhu Braimah, Issaka Ndekugri (2009)
Comparison of windows-based delay analysis methods	Chih-Kuei Kao, Jyh-Bin Yang (2009)
The principles of scheduling impact analysis	Frank J. Arcuri, John C. Hildreth, Virginia Tech (2007)
An investigation into the use of construction delay and disruption analysis methodologies	Nuhu Braimah (2008)
Construction delay analysis under multiple baseline updates	Wail Menesi (2007)

Fuente: Elaboración propia

Se revisaron los artículos con el fin de determinar los métodos más mencionados por los autores. Los resultados obtenidos durante la revisión se presentan en la gráfica 1. En esta gráfica se muestran en color verde los métodos más mencionados en la literatura, y en color azul aquellos métodos poco convencionales o que sólo son una extensión de los métodos más mencionados.

Gráfica 1. Métodos de análisis de demoras más usados según la literatura



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 6 se observa la taxonomía de los cinco métodos más usados según la revisión de literatura realizada, de acuerdo con los criterios descritos en el numeral 2.1.1 taxonomía del presente capítulo.

Tabla 6. Taxonomía de los métodos de análisis de demoras más usados en los proyectos de construcción según la literatura

TAXONOMÍA MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DEMORAS		
PROSPECTIVO	RETROSPECTIVO	
Modelación	Observación	Modelación
Impact As-planned Time impact analysis	As-planned vs As-built	Windows Analysis Time impact Analysis Collapsed As-built

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 7 se muestra la caracterización de los métodos de análisis de demora mencionados en la Tabla 6.

Tabla 7. Caracterización de los métodos de análisis de demoras más usados

Método	Información requerida para su aplicación
Time Impact Analysis	-Cronograma As planned (relación de actividades y su duración) -Cronograma As built (relación de desarrollo de actividades), principales hechos ocurridos en la ejecución de la obra. -Alcance del proyecto (se tienen en cuenta las modificaciones realizadas durante la ejecución de la obra)
Window Analysis	-Cronograma As planned (relación de actividades y su duración) -Cronograma As built (relación de desarrollo de actividades), principales hechos ocurridos en la ejecución de la obra. -Alcance del proyecto (se tienen en cuenta las modificaciones realizadas durante la ejecución de la obra)
Collapsed As Built	-Cronograma As built (relación de desarrollo de actividades), principales hechos ocurridos en la ejecución de la obra -Ruta crítica -Relación de actividades que presentan demoras
As planned vs As Built	-Cronograma As planned (relación de actividades y su duración) -Alcance inicial de proyecto -Cronograma As built (relación de desarrollo de actividades), principales hechos ocurridos en la ejecución de la obra.
Impact As planned	-Cronograma As planned (relación de actividades y su duración) -Alcance inicial de proyecto

Fuente: Diana Marroquín Liu (2010)

Braimah & Ndekugri (2009) hacen una recopilación de las características principales para cada uno de los métodos mencionados en la tabla 7. Las cuales se mencionan a continuación:

El método conocido como As-Planned vs As-built utiliza la técnica de observación y realiza un análisis de tipo retrospectivo, lo que hace básicamente es comparar el cronograma As Planned con el cronograma As built, para evaluar en qué momento se hicieron variaciones que pudieron afectar el plazo contractual durante la etapa de la construcción. Para ejecutar este método solo se requiere la información utilizada para la planificación de la ejecución de la obra y la información As built. Los métodos Windows Analysis y Collapsed As-built, utilizan la técnica de modelación con un análisis retrospectivo. Collapsed As-built, se basa en la simulación de escenarios del modelo CPM, el cual consiste en la extracción de actividades que presentan demoras para así determinar sus efectos en el proyecto. El método Windows Analysis tiene como idea básica dividir la duración total del proyecto en períodos de tiempo llamados ventanas, y así analizar las demoras que ocurrieron en cada una de estas.

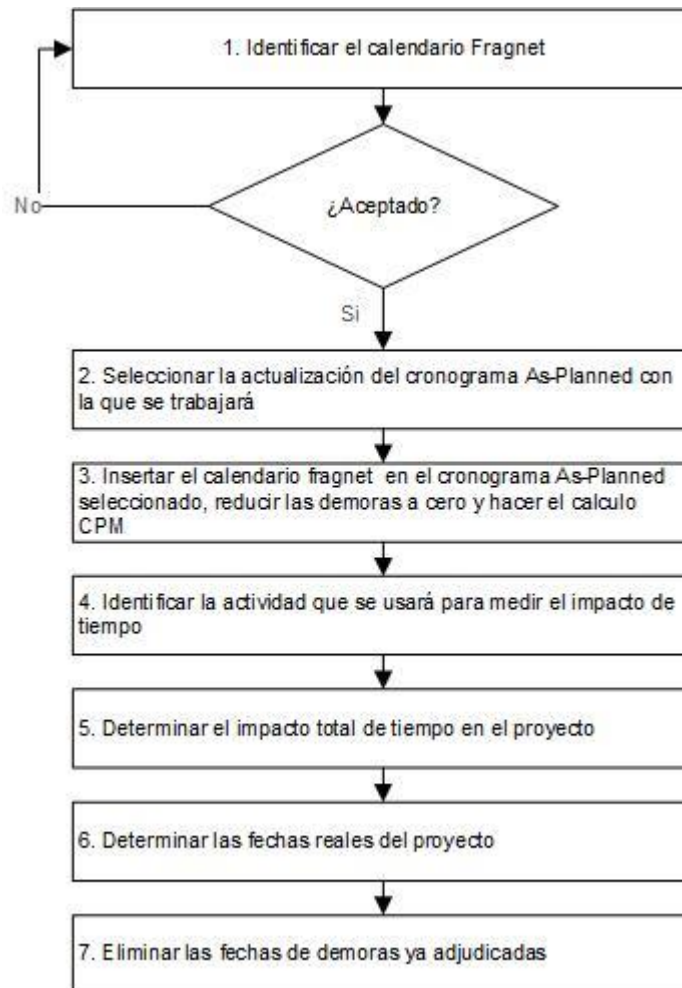
Por último, se encuentran los métodos Impact As Planned y Time Impact Analysis, que se caracterizan porque con ellos se puede realizar un análisis tanto retrospectivo como prospectivo, siendo este último el de mayor énfasis. Ambos métodos incluyen en su análisis el cronograma As-Planned como línea base para poder modelar las demoras presentadas en el proyecto, con la diferencia de que el método Time Impact Analysis conocido por sus siglas en inglés como TIA considera en su análisis la información que le brinda el cronograma As-built para contrastar el cronograma impactado.

Braimah & Ndekugri (2009) también dicen que, los métodos de análisis de demoras producirán resultados diferentes dependiendo del caso que se encuentre bajo estudio. La elección del método adecuado dependerá principalmente de la información disponible del proyecto, el tiempo, la disponibilidad de las partes interesadas y el presupuesto asignado para realizar dicho análisis. Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente y dado que el objetivo del presente trabajo es aplicar un método que facilite el control de proyectos, se tomó como base el método Time Impact Analysis. Esto, debido a su enfoque prospectivo lo cual permite realizar un pronóstico del impacto que generan las demoras en la ejecución del proyecto y de esta manera facilitar el ajuste oportuno antes de que el trabajo se realice completamente. Además, en su análisis considera el progreso As-built, lo cual muestra mayor credibilidad de los resultados obtenidos (Calvey & Winter, 2006).

- **Algoritmo para la ejecución del método Time Impact Analysis (TIA).**

Calvey & Winter (2006) muestran el algoritmo para la aplicación del método TIA. En la Figura 2 se observa el diagrama de flujo que sigue este método y se da una breve explicación de los mismos.

Figura 2. Diagrama de flujo método TIA



Fuente: Traducido y adaptado de Calvey & Winter (2006).

- 1. Identificar el calendario Fragnet.** El cronograma fragnet está compuesto del conjunto de actividades planificadas que se ven involucradas directamente con la demora y que generan un cambio en el cronograma As-planned o en el cronograma inicial.

2. **Seleccionar el cronograma As-Planned.** Se utiliza la última actualización aceptada por el propietario antes de la fecha de demora.
3. **Insertar las duraciones utilizadas en el cronograma Fragnet.** En una copia del cronograma As-Planned seleccionado en el paso 3, y realizar el cálculo CPM.
4. **Identificar la actividad que indica la finalización del proyecto.** Observar cualquier cambio en la fecha de finalización del proyecto.
5. **Determinar el impacto de tiempo de forma correcta para la demora del proyecto.** Es decir, si el contrato especifica días de trabajo, esta unidad de medida debe realizarse en días de trabajo, si el contrato especifica días calendario o especifica una fecha absoluta para el cumplimiento, la unidad de medida debe realizarse en días calendario.
6. **Determinar las fechas reales del proyecto.** Usando la actualización del cronograma As-Planned realizada en el paso 3, determinar el momento en el que la actividad sucesora del impacto del evento de demora se convirtió en una actividad crítica del proyecto.
7. **Eliminar las fechas de demoras ya adjudicadas.** Al realizar un análisis TIA para el periodo determinado, no se tendrán en cuenta los eventos de demoras analizados anteriormente.

El algoritmo anterior implica la revisión total del proyecto incluyendo cada una de las actividades programadas en el cronograma As-Planned. Lo anterior hace dispendiosa su aplicación teniendo en cuenta que el proyecto puede tener una gran cantidad de actividades. Sin embargo, a través de la revisión de literatura se pudo evidenciar que dicho algoritmo no es el único existente para la aplicación del método TIA.

Fan (2012) propone un nuevo enfoque del método TIA el cual nombra Modified Time Impact Analysis conocido por sus siglas en inglés como MTIA. Este nuevo método, aunque es similar al TIA, evalúa los eventos de demora en orden cronológico y simplifica el programa incorporando las reglas básicas de CPM.

Para ejecutar este método se debe contar con información del proyecto como: cronograma As-Planned, registro de las actualizaciones presentadas durante la ejecución del proyecto, progreso de las actividades, información de los eventos de demora.

- **Algoritmo para la ejecución del método Modified Time Impact Analysis (MTIA).**

El algoritmo MTIA se compone de los siguientes pasos:

- 1. Identificar los eventos de demora y evaluar la responsabilidad.** Se requiere una lista de todos los eventos de demora identificados en el periodo analizado y la evaluación de la responsabilidad de cada uno de estos eventos en función de las circunstancias, los riesgos y las obligaciones contractuales.
- 2. Identificar las actividades afectadas por los eventos de demora.** Identificar las actividades afectadas por cada evento de demora y los datos de progreso cada una de estas actividades.

Se propone trabajar solo con las actividades críticas afectadas por los eventos de demora ya que estas son las que afectan de forma directa la duración del proyecto.
- 3. Generar un horario simplificado.** Realizar un cronograma simplificado donde solo estén incluidas las actividades afectadas y sus actividades predecesoras y sucesoras.
- 4. Evaluar el CFF para cada evento de demora.** Para encontrar el cambio en la fecha de finalización (CFF) se utilizará una ecuación diferente para evaluar el impacto de un evento de demora en función de las circunstancias de cada caso. A continuación, se describen las ecuaciones:

Ecuación 1: Se aplica cuando las actividades afectadas están en el cronograma planificado y el tiempo programado para dichas actividades no se ve afectado.

$$CFF = (Tfd + Tp) - Ct \quad (1)$$

CFF: Cambio de fecha de finalización

Tp: Tiempo de preparación para la actividad.

Ct: Comienzo de la actividad afectada.

Tfd: Tiempo de finalización del evento de demora.

• **Ecuación 2:** Se aplica cuando las actividades afectadas están en el cronograma planificado, y el tiempo programado de dichas actividades disminuye.

$$CFF = (Tfd + Tp) - (Ct + Rta) \quad (2)$$

CFF: Cambio de fecha de finalización.

Tp: Tiempo de preparación para la actividad.

Ct: Comienzo de la actividad afectada.

Tfd: Tiempo de finalización de la demora.

Rta: Reducción en el tiempo de la actividad afectada.

• **Ecuación 3:** Se aplica cuando las actividades afectadas están en el cronograma planificado, y el tiempo programado para dichas actividades se incrementa, además el contratista no asumirá la responsabilidad de la demora.

$$CFF = (Tfd + Tp) - (Ct + Ita) \quad (3)$$

CFF: Cambio de fecha de finalización.

Tp: Tiempo de preparación para la actividad.

Ct: Comienzo de la actividad afectada.

Tfd: Tiempo de finalización de la demora.

Ita: Incremento en el tiempo de la actividad afectada.

• **Ecuación 4:** se aplica cuando las actividades afectadas están en el cronograma planificado, y se incrementa el tiempo programado para dichas actividades, además el contratista asumirá la responsabilidad de la demora.

$$CFF = (Tfd + Tp) - (Ct + Ita) - Ft \quad (4)$$

CFF: Cambio de fecha de finalización.

Tp: Tiempo de preparación para la actividad.

Ct: Comienzo de la actividad afectada.

Tfd: Tiempo de finalización de la demora.

Ita: Incremento en el tiempo de la actividad afectada.

Ft: Finalización tardía de la actividad afectada

• **Ecuación 5:** Se aplica cuando las actividades afectadas no están en el cronograma planificado, pero las sucesoras de las actividades afectadas sí se encuentran, además el contratista no asumirá la responsabilidad de la demora.

$$CFF = (Tfd + Tp + Da) - (Csuc) \quad (5)$$

CFF: Cambio de fecha de finalización.

Tp: Tiempo de preparación para la actividad.

Tfd: Tiempo de finalización de la demora.

Da: Duración de la actividad afectada.

Csuc: Comienzo tardío de la actividad sucesiva de la actividad afectada.

• **Ecuación 6:** Se aplica cuando las actividades afectadas no están en el cronograma planificado, pero las sucesoras de las actividades afectadas sí se encuentran, además el contratista si asumirá la responsabilidad de la demora.

$$CFF = (Tfd + Tp + Da + Das) - (Ftsuc) \quad (6)$$

CFF: Cambio de fecha de finalización.

Tp: Tiempo de preparación para la actividad.

Tfd: Tiempo de finalización de la demora.

Da: Duración de la actividad afectada.

Das: Duración de la actividad sucesora.

Ftsuc: Finalización tardía de la actividad sucesora.

• **Ecuación 7:** Se aplica cuando las actividades afectadas y sus actividades sucesoras no están en el cronograma planificado, pero sí se encuentran las actividades precedentes a las afectadas.

$$CFF = (Tfd + Tp + Da + Tsuc) - Tfp \quad (7)$$

o

$$CFF = (FTprec + Da + Tsuc) - Tfp \quad (8)$$

CFF: Cambio de fecha de finalización.

Tp: Tiempo de preparación para la actividad.

Tfd: Tiempo de finalización de la demora.

Da: Duración de la actividad afectada.

Ftprec: Finalización tardía de la actividad predecesora.

Tsuc: Tiempo para completar todas las actividades sucesoras

Tfp: Tiempo de finalización del proyecto.

- **Ecuación 8:** Se aplica cuando en el cronograma planificado no se encuentran las actividades afectadas, tampoco las actividades sucesivas ni las precedentes.

$$CFF = (Tfd + Tp + Da + Tsuc) - Tfp \quad (9)$$

CFF: Cambio de fecha de finalización.

Tp: Tiempo de preparación para la actividad.

Tfd: Tiempo de finalización de la demora.

Da: Duración de la actividad afectada.

Tsuc: Tiempo para completar todas las actividades sucesoras

Tfp: Tiempo de finalización del proyecto.

5. **Suma de CCD.** Después de repetir los pasos anteriores para cada evento de demora, se encuentra el cambio en la fecha de finalización total. Si las actividades afectadas de los retrasos se encuentran en diferentes rutas, el CFF total sería el CFF máximo de los retrasos en todas las rutas.

Para el desarrollo del presente trabajo se tomó como base el algoritmo de MTIA. Teniendo en cuenta que el caso en estudio tiene una cantidad de 246 actividades, la utilización del MTIA en comparación con el algoritmo de TIA, es más fácil de ejecutar y sus resultados pueden ser analizados fácilmente.

3. ACTIVIDADES CRÍTICAS

En este capítulo se presenta la identificación de las actividades críticas del caso en estudio. Lo anterior para aplicar el método de análisis de demoras Modified Time Impact Analysis (MTIA).

3.1. CONTEXTUALIZACIÓN

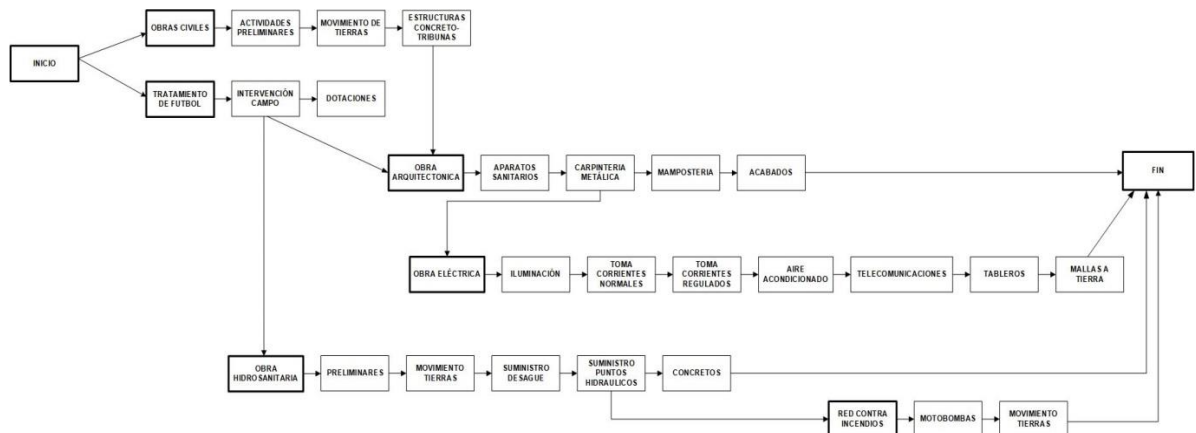
A continuación, se presenta información general sobre el proyecto que se tomó como caso de estudio y los expertos que apoyaron este trabajo de grado.

Caso de estudio: En este proyecto se programaron inicialmente un total de 246 actividades las cuales se observan en Anexo 2, estas se agruparon en seis categorías principales: Obras civiles, tratamiento del campo de futbol, obra arquitectónica, obra eléctrica, obra sanitaria y red contra incendio.

Según la programación inicial de las actividades, la obra se ejecutaría entre el mes de mayo del 2018 y diciembre del 2018 con una duración estimada 216 días, sin embargo, el plazo real de la ejecución ha superado dicha estimación y hasta el mes de mayo del 2019 no se ha finalizado.

El diagrama de red simplificado del proyecto se presenta en la Figura 3, en este se muestran las actividades resumen de las categorías principales mencionadas anteriormente. Debido a que el diagrama de red completo tiene numerosas conexiones, la estructura completa se presenta en el Anexo 1. Documento MS PROJECT disponible en el archivo de MS Project adjunto.

Figura 3 Diagrama de red



Fuente: Elaboración Propia.

3.1.2. Perfil de expertos. En la Tabla 8 se da a conocer la profesión y experiencia de los expertos que apoyaron este trabajo de grado. Se tuvieron en cuenta sus estimaciones tanto para la duración de las actividades en la simulación Monte Carlo como para determinar algunos de los parámetros utilizados en la aplicación de la metodología de análisis de demoras, que se desarrolla en el capítulo final de este documento.

Tabla 8. Descripción perfil expertos

	EXPERTO 1	EXPERTO 2	EXPERTO 3
PROFESIÓN	Ingeniería industrial	Ingeniería civil	Magister en Ingeniería Civil
EXPERIENCIA	5 años	5 años	9 años
CARGO	Asistente de obra	Interventor de obra	Ingeniero de obra

Fuente: Elaboración propia.

3.2. SIMULACIÓN MONTE CARLO

Para evaluar los efectos de la incertidumbre en tiempo en la programación del proyecto de mejora del estadio municipal de Pradera, se realizó un análisis que se modeló bajo el método de simulación Monte Carlo.

Modelo de simulación. Para realizar la simulación Monte Carlo se utilizó el software especializado en análisis de riesgos @RISK de Palisade, se realizaron 10.000 y se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Según la Guía del PMBOK (2013) la exactitud de las estimaciones de la duración de una actividad por un único valor puede mejorarse si se tienen en cuenta la incertidumbre y el riesgo. Este concepto se originó con la Técnica de Revisión y Evaluación de Programas (PERT).

El método PERT utiliza tres estimaciones para definir un rango aproximado de duración de una actividad:

- a: Tiempo optimista requerido para cumplir una tarea.
- m: Tiempo más probable requerido para realizar una tarea.
- b: Tiempo pesimista requerido para cumplir una tarea.

Para este modelo se asumió la duración estimada de las actividades en el cronograma As-Planned del caso de estudio, como el tiempo más probable requerido para realizar la actividad (m).

Para determinar el tiempo optimista (a) y el tiempo pesimista (b) de las actividades planificadas para el desarrollo del proyecto en estudio se recurrió al juicio de expertos debido a que no se contaban con datos históricos para determinarlos.

- En el modelo construido para el caso de estudio, se definieron las duraciones de las actividades como variables de entrada que siguen una distribución triangular definida a partir de las estimaciones realizadas por los expertos, lo que permite cuantificar los efectos de la incertidumbre durante la planificación inicial. La duración total del proyecto se estableció como la variable de salida.

4.2. IDENTIFICACIÓN DE ACTIVIDADES CRÍTICAS

El análisis realizado a la duración de las actividades mediante la simulación permitió identificar que la estimación de la duración final del proyecto que era de 216 días tenía una probabilidad muy baja de cumplirse, además se logró identificar aquellas actividades que tienen mayor incidencia en el proyecto y pertenecen a la ruta crítica.

Tabla 9 Análisis del Gantt probabilístico

NOMBRE TAREA	INDICE CRITICO %
Localización y replanteo obra arquitectónica	100%
Vigas de amarre cimentación 30x50cm de f'c:4000PSI	100%
Excavación a máquina, incluye retiro de saldos	100%
Demolición estructuras existentes incluyendo disposición	100%
Vigas aéreas de 50x50cm de f'c:4000PSI	100%
Solado de limpieza e=5cm	100%
Placa maciza Sala de prensa e=20cm en concreto f'c:4000PSI	100%
Escaleras de acceso desde la planta baja a graderías en concreto f'c:4000PSI	100%
Corredor de acceso paralelo a las graderías E= 0.20 m f'c:4000PSI	100%
Contrapiso concreto E=10CM 3.000Psi	100%
Localización y replanteo obra del campo de juego	100%
CERRAMIENTO TELA FIB.TEJIDA H=2.10M-SINB	100%
Retiro grama natural en mal estado, incluye retiro	100%
Excavación a máquina, incluye retiro de saldos	100%
Inspección y mejoramiento drenajes existentes	100%
Construcción sistema de drenaje en filtro grava y geotextil NT-1800, incluye tubería Novafort de 4"	100%
LOCALIZACIÓN-REPLANTEO ACUEDUCTO-ALCANTA	100%
Muro ladrillo concreto	100%

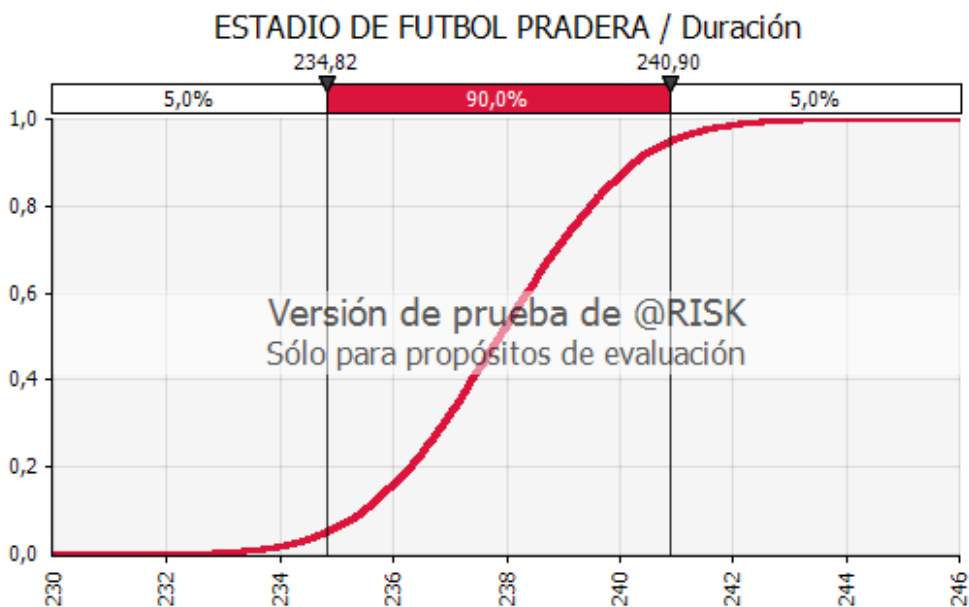
Calado en concreto	100%
MURO BLOQUE ESTRUCT. CERAMICO 12X20X30	100%
Repello muro 1:3	100%
TABLERO 3F 18 CTOS NTQ	100%
INSTALACION TABLERO 3F	100%
ACOM.E.1F (2# 12 + 1#12 AWG) ,3/4" PVC	100%
ACOM.E.1F(2# 12 + 1#12 AWG) ,3/4" EMT"	100%
SAL TOMA 1F (A:2#12+1#12/TOMA) ILUMINACIÓN	100%
BREAKER 1F DESDE 15 HASTA 60 AMP	100%
INSTALACION BREAKER 1F	100%
SALIDA SWITCHE S1 PVC	100%
SALIDA SWITCHE S2 PVC	100%
TABLERO 3F 12 CTOS NTQ	100%
TABLERO 1F 6 CTOS VTQ-SQ	100%
ACOM.E.1F(2# 10 + 1#10 AWG) ,3/4" PVC	100%
SAL TOMA 1F (A:2#10+1#10/TOMA)	100%
INSTALACION TABLERO 3F	100%
INSTALACION TABLERO 1F	100%
BREAKER 1F DESDE 15 HASTA 60 AMP	100%
INSTALACION BREAKER 1F	100%
ACOM.E.1F(2# 6 + 1#6 AWG) 1" PVC	100%
TABLERO 1F 6 CTOS VTQ-SQ	100%
ACOM.E.1F(2# 10 + 1#10 AWG) ,3/4" PVC	100%
TABLERO 3F 18 CTOS NTQ	100%
BREAKER 3F DESDE 15 HASTA 50 AMP	100%
MOLDE SOLDADURA VARILLA-CABLE	100%
SUMINISTRO E INSTALACIÓN GABINETE 120X40X50 cm	100%
SUMINISTRO E INSTALACIÓN GABINETE 52x40x50 cm	100%
EXTRACTOR 120 VAC + REJILLA + FILTRO	100%
CABLE UTP CAT. 6	100%
BANDEJA METALICA PARA GABINETE	100%
PATCH PANEL 24 PUERTOS	100%
ORGANIZADOR CABLES PARA GABINETE	100%
PATCH CORD 1,5 m	100%
SALIDA TOMA ETHERNET	100%
MULTITOMA PARA GABINETE 8 TOMACORRIENTE	100%
SWITCHE 10/100/24 PUERTOS	100%
ROUTER CAPA 3	100%
CABLE COAXIAL RG6	100%

CABLE COAXIAL RG11	100%
SALIDA TOMA COAXIAL SENCILLO	100%
SALIDA TOMA TELEFONICO SENCILLO	100%
AMPLIFICADOR HFC	100%
PLANTA TELEFONICA IP - 8 LINEAS 16 EXTENSIONES	100%
AP WI – FI	100%
AP RADIO ENLACE	100%
JACK CATEGORIA 6 TIPO KEYSTONE	100%
GABINETE CLASE II	100%
MEJORAMIENTO BASE ESTABILIZADA EN CONCRETO CICLOPEO E=80 CM F'c = 3000 PSI,, 40%P-60%C	100%
TANQUE ENTERRADO CONCRETO 3000 PSI	100%

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 9 se resumen los datos arrojados por el Gantt probabilístico generado por los resultados de la simulación Monte Carlo. En esta tabla se analiza el índice crítico, el cual indica la probabilidad que tiene cada actividad de estar en la ruta crítica del proyecto, para el caso en estudio de las 246 actividades planificadas solo 68 tienen una probabilidad del 100% de estar en la ruta crítica, las demás cuentan con un índice crítico del 0%.

Gráfica 2. Probabilidad de ocurrencia de la duración del proyecto.



Fuente: Elaboración propia

La distribución obtenida para la duración del proyecto se muestra en la Gráfica 2, esta presenta un sesgo hacia la izquierda con un 90% de las posibles duraciones del proyecto entre 235 días y 241 días. El gráfico de probabilidad de ocurrencia de duración del proyecto indica que la duración mínima contemplada en la simulación es de 235 días.

La probabilidad de terminar el proyecto en la fecha estimada inicialmente fue menor al 0%, lo cual indica que era muy poco probable terminarlo en 216 días. Con lo anterior se evidencia que hubo falencias desde la planificación, ya que no se contemplaron los posibles riesgos a los que estaba expuesto el proyecto durante su ejecución.

La planificación con riesgo ayuda a mitigar el impacto que eventos de demora pueden generar en la ejecución del proyecto. En el caso en estudio se vio afectada la fecha de finalización. Hasta el mes de agosto de 2019 se generó una extensión de tiempo de 204 días.

4. APLICACIÓN DEL MÉTODO PROPUESTO.

En este capítulo se presenta la aplicación del método de análisis de demoras elegido para el desarrollo del presente trabajo. Para esto se tiene en cuenta la identificación de las demoras, las actividades críticas del caso de estudio y la aplicación de ecuaciones para encontrar el cambio en la fecha de finalización de las actividades críticas afectadas como lo sugiere Fan (2012).

DESARROLLO DEL ALGORITMO PARA LA EJECUCIÓN DEL MÉTODO MODIFIED TIME IMPACT ANALYSIS (MTIA).

El proyecto en estudio tiene como fecha de inicio el 28 de mayo del 2018 y una duración estimada de 216 días que terminarían el 29 de diciembre del 2018 según el calendario de trabajo establecido. Sin embargo, el proyecto lleva en ejecución aproximadamente 420 días y aún no está culminado.

1. Identificar los eventos de demora y evaluar la responsabilidad. Se analizó la ejecución de la obra durante los meses de mayo y diciembre del 2018. Durante el análisis se identificaron 11 eventos de demoras los cuales se observan en la Tabla 10. Estos datos se recolectaron gracias a la información suministrada por los contratistas de la obra como: bitácoras, actas, documentación sobre la programación y control de la obra, además de la colaboración de los expertos.

Tabla 10. Eventos de demora identificados

Nº	EVENTOS DE DEMORA
1	Falla en la calibración de los instrumentos topográficos
2	Falta de certificado de altura en los obreros
3	Entrega tardía de permisos de demolición
4	Error en el suministro de materias primas (cotizaciones no vigentes)
5	Fallas durante la ejecución de la actividad de Vigas de amarre cimentación
6	Fallas durante la actividad de escaleras de acceso desde la planta baja a gradería
7	Entrega tardía del estudio de suelos
8	Fallas durante la ejecución de la actividad de nivelación del campo de juego
9	Permisos de excavación erróneos
10	Cambio en el diseño en el sistema de drenaje
11	Inundación campo de juego

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 11 se observa la clasificación de los eventos de demora según el impacto, la responsabilidad y el origen como se explicó en el capítulo 1 del presente trabajo.

Tabla 11. Clasificación de las demoras

N°	EVENTOS DE DEMORA	IMPACTO		RESPONSABILIDAD			ORIGEN		
		CRÍTICAS	NO CRÍTICAS	EXCUSABLES		NO EXCUSABLES	INDEPENDIENTES	SERIE	CONCURRENTE
				COMPENSABLES	NO COMPENSABLES				
1	Falla en la calibración de los instrumentos topográficos	x		x			x		
2	Falta de certificado de altura en los obreros	x				x	x		
3	Entrega tardía de permisos de demolición	x		x			x		
4	Error en el suministro de materias primas (cotizaciones no vigentes)		x			x	x		
5	Fallas durante la ejecución de la actividad de Vigas de amarre cimentación 30x50cm de f'c:4000PSI	x				x	x		
6	Fallas durante la actividad de escaleras de acceso desde la planta baja a graderías en concreto f'c:4000PSI		x			x	x		
7	Entrega tardía del estudio de suelos	x		x			x		
8	Fallas durante la ejecución de la actividad de nivelación del campo de juego	x				x	x		
9	Permisos de excavación erróneos	x		x			x		
10	Cambio en el diseño en el sistema de drenaje	x		x			x		
11	Inundación campo de juego	x		x			x		

Fuente: Elaboración Propia.

Los eventos de demora que se utilizaron en el desarrollo del trabajo son aquellos que son considerados críticos, debido a que son los que afectan actividades críticas del proyecto identificadas en el capítulo 2.

El análisis de demoras se realizó desde el punto de vista del contratista. Los eventos de demora seleccionados además de críticos serán aquellos que son considerados excusables y compensables. Excusables ya que la responsabilidad de estas demoras está asignada al empleador y compensables debido a que en los acuerdos contractuales el empleador debe responder por la extensión de tiempo generada. En la Tabla 12 se muestran aquellos eventos de demoras que cumplen con lo anterior:

Tabla 12. Eventos de demora seleccionados.

EVENTOS DE DEMORA SELECCIONADOS	
1	Falla en la calibración de los instrumentos topográficos
2	Entrega tardía de permisos de demolición
3	Entrega tardía del estudio de suelos
4	Permisos de excavación erróneos
5	Cambio en el diseño en el sistema de drenaje
6	Inundación campo de juego

Fuente: Elaboración propia

Una vez definidos los eventos de demora a analizar, se realizaron reuniones con los expertos para conocer a fondo las características de dichos eventos. Se obtuvo la siguiente información:

1. Falla en la calibración de los instrumentos topográficos: Al revisar la instrumentación para realizar la localización y el replanteo de la obra, se evidenció que los equipos presentaban fallas considerables en su calibración, estos estuvieron listos para el 22/06/2018.
2. Entrega tardía de permisos de demolición: Los permisos de demolición deben ser gestionados por la alcaldía según lo estipulado en el contrato, estos se entregaron al contratista el 10/07/2018.
3. Entrega tardía del estudio de suelos: la empresa que debía realizar el respectivo estudio de suelos, presentó una demora en la entrega de los resultados y sólo estuvo listo hasta el día 19/07/2018
4. Entrega tardía de permisos de excavación: Los permisos de excavación deben ser gestionados por la alcaldía según lo estipulado en el contrato, estos se entregaron al contratista el 28/07/2018.
5. Cambio en el diseño en el sistema de drenaje: El empleador emitió nuevas instrucciones para el diseño del sistema de drenaje, lo que implicó realizar cambios a la planificación inicial, el nuevo diseño estuvo disponible el 12/07/2018.
6. Inundación campo de juego: Las fuertes lluvias inundaron el campo de juego, lo que impidió retirar la grama natural puesto que se podía afectar el terreno, el campo estuvo listo para trabajar el día 15/06/2018

2. Identificar las actividades afectadas por los eventos de demora y generar el horario simplificado

Del listado de actividades críticas encontradas en el capítulo 2 se identificaron aquellas que fueron por cada uno de los eventos de demora, las cuales se pueden observar en la Tabla 13.

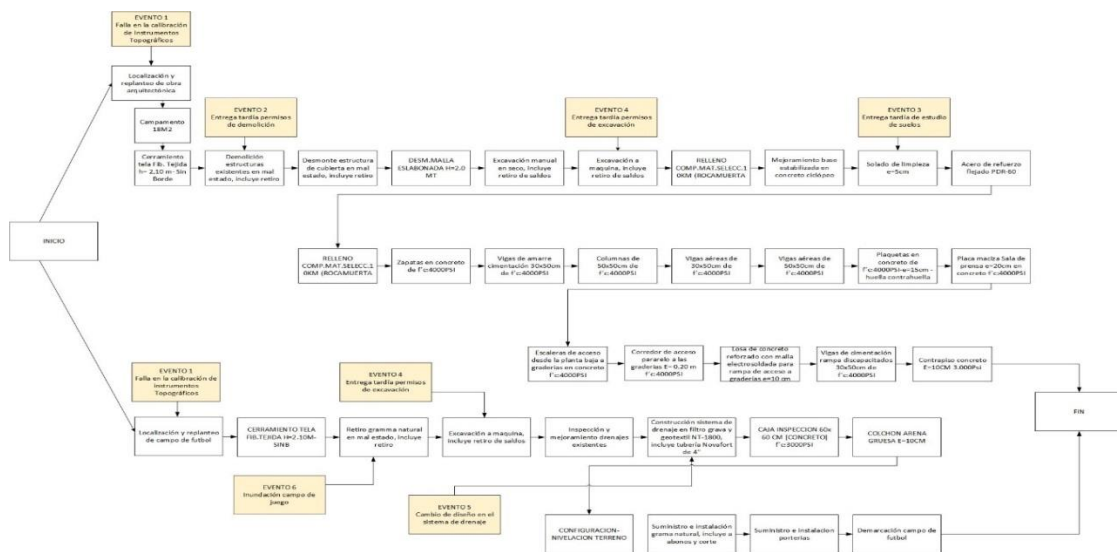
Tabla 13. Actividades afectadas por los eventos de demora.

Evento de demora	Descripción de la actividad	Duración original	Comienzo	Final
Evento 1	Localización y replanteo obra arquitectónica	15	28/05/2018	11/06/2018
Evento 1	Localización y replanteo campo de juego	9	28/05/2018	5/06/2018
Evento 2	Demolición estructuras existentes incluyendo disposición	24	2/06/2018	25/06/2018
Evento 3	Solado de limpieza e=5cm	22	24/06/2018	15/07/2018
Evento 4	Excavación a máquina, incluye retiro de saldos	18	6/06/2018	2/07/2018
Evento 4	Excavación a máquina, incluye retiro de saldos	22	11/06/2018	23/07/2018
Evento 5	Construcción sistema de drenaje en filtro grava y geotextil	44	16/06/2018	29/07/2018
Evento 6	Retiro de grama natural en mal estado incluye retiro	22	6/06/2018	27/06/2018

Fuente: Elaboración propia.

Con las actividades que se encuentran en la Tabla 13 se generó un diagrama de red simplificado que se puede observar en la Figura 4.

Figura 4. Diagrama de red Simplificado del caso de estudio.



Fuente: Elaboración propia

3. Evaluar el cambio en la fecha de finalización para cada evento de demora seleccionado.

Con los eventos de demoras identificados, se realizaron reuniones con el auditor de la obra en donde se profundizó más a cerca de estos. Y así conocer los detalles que se necesitan para saber cuáles ecuaciones aplican para cada evento de demora.

- **Evento de demora 1: Falla en la calibración de los instrumentos topográficos**

Este evento de demora afectó dos actividades que se encontraban en el cronograma As-Planned, además cuando se reanudaron cumplieron con la duración planificada. Considerando esto, se aplicó la ecuación 1 para evaluar este evento de demora.

El equipo topográfico para llevar a cabo las actividades de localización y replanteo de la obra arquitectónica y campo de juego, presentó fallas en su calibración. Fue enviado a reparación y estuvo disponible nuevamente desde el día 22/06/2018. Se tomaron 5 días para organizar el terreno después del evento de demora con el fin de dejarlo listo para el desarrollo de las actividades.

En la Tabla 14 se relacionan las actividades afectadas por el evento de demora 1 y el cambio en la fecha de finalización de cada una de estas.

Tabla 14. CFF actividades afectas por evento de demora 1.

EVENTOS	ACTIVIDADES AFECTADAS	TFD	Tp	Ct	CFF
Evento 1	Localización y replanteo obra arquitectónica	22/06/2018	5	28/05/2018	30
Evento 1	Localización y replanteo campo de juego	22/06/2018	5	28/05/2018	30

Fuente: Elaboración propia

- **Evento de demora 2: Entrega tardía de permisos de demolición**

Este evento de demora afectó la actividad de demolición y disposición de las estructuras existentes. Esta actividad se encuentra en el cronograma As-Planned y presentó un incremento en la cantidad de tiempo estipulado en la planificación inicial, por ello se aplica la ecuación 3 para evaluar el evento de demora.

Según el contrato celebrado entre las partes, la consecución de los permisos y licencias que se requirieran en la obra serían gestionadas por el empleador. El

permiso para realizar actividades de demolición presentó inconvenientes en su trámite y se tuvo listo para el día 10/07/2018.

Debido a la demora presentada, ocurrieron inconvenientes con personal de la obra lo que se reflejó en una espera de 13 días después de la entrega del permiso para iniciar la actividad. Durante el desarrollo de la actividad se presentó un incremento de 19 días con respecto a la cantidad de tiempo planificada inicialmente.

En la Tabla 15 se relacionan las actividades afectadas por el evento de demora 2 y el cambio en la fecha de finalización.

Tabla 15. CFF actividades afectas por evento de demora 2

EVENTOS	ACTIVIDADES AFECTADAS	TFD	Tp	Ct	Ita	CFF
Evento 2	Demolición estructuras existentes incluyendo disposición	10/07/2018	13	2/06/2018	19	32

Fuente: Elaboración propia.

- **Evento de demora 3: Entrega tardía del estudio de suelos**

Este evento de demora afectó la actividad de solado de limpieza. Esta actividad se encuentra en el cronograma As-Planned y presentó un incremento en la cantidad de tiempo estipulado en la planificación inicial. Por ello se aplica la ecuación 3 para evaluar el evento de demora.

Según el contrato celebrado entre las partes, el empleador responderá por las demoras de los subcontratistas que él haya sugerido. El estudio de suelos presentó inconvenientes en su elaboración y se tuvo listo para el día 19/07/2018.

Debido a la demora presentada, ocurrieron inconvenientes con personal de obra. Lo anterior se vio reflejado en una espera de 15 días después de la entrega del estudio de suelos. Durante el desarrollo de la actividad se presentó un incremento de 14 días con respecto a la cantidad de tiempo planificada inicialmente.

En la Tabla 16 se relacionan las actividades afectadas por el evento de demora 3 y el cambio en la fecha de finalización.

Tabla 16. CFF actividades afectas por evento de demora 3

EVENTOS	ACTIVIDADES AFECTADAS	TFD	Tp	Ct	Ita	CFF
Evento 3	Solado de limpieza e=5cm	19/07/2018	15	24/06/2018	14	26

Fuente: Elaboración Propia.

- **Evento de demora 4: Permisos de excavación erróneos**

Este evento de demora afectó dos actividades que se encontraban en el cronograma As-Planned. Cuando se reanudaron cumplieron con la cantidad de tiempo que se había estipulado en la planificación inicial. Considerando esto, se aplicó la ecuación 1 para evaluar este evento de demora.

Según el contrato celebrado entre las partes, la consecución de los permisos y licencias que se requirieran en la obra serían gestionadas por el empleador. El permiso para realizar actividades de excavación presentó inconvenientes en su trámite y se tuvo listo para el día 28/06/2018.

Se tomaron 5 días para organizar el terreno después del evento de demora para dejarlo listo para el desarrollo de las actividades.

En la Tabla 17 se relacionan las actividades afectadas por el evento de demora 2 y el cambio en la fecha de finalización.

Tabla 17. CFF actividades afectas por evento de demora 4

EVENTOS	ACTIVIDADES AFECTADAS	TFD	Tp	Ct	CFF
Evento 4	Excavación a máquina, incluye retiro de saldos (obra arquitectónica)	28/06/2018	5	6/06/2018	27
Evento 4	Excavación a máquina, incluye retiro de saldos (Campo de juego)	28/06/2018	5	11/06/2018	22

Fuente: Elaboración propia.

- **Evento de demora 5: Cambio de diseño en el sistema de drenaje**

Este evento de demora afectó la actividad de construcción sistema de drenaje en filtro grava y geotextil. Esta actividad se encuentra en el cronograma As-Planned y

presentó un incremento en la cantidad de tiempo estipulado en la planificación inicial. Considerando esto, se aplica la ecuación 3 para evaluar el evento de demora.

El empleador generó cambios en el diseño para la construcción del drenaje en el campo de juego, este diseño estuvo listo para el día 12/07/2018.

Debido al cambio en el diseño en la construcción de drenajes, se debió realizar ajustes para el desarrollo de esta actividad. Esto generó una espera de 34 días después de la entrega del estudio de suelos. Durante el desarrollo de la actividad se presentó un incremento de 6 días con respecto a la cantidad de tiempo planificada inicialmente.

En la Tabla 18 se relacionan las actividades afectadas por el evento de demora 5 y el cambio en la fecha de finalización.

Tabla 18. CFF actividades afectas por evento de demora 5

EVENTOS	ACTIVIDADES AFECTADAS	TFD	Tp	Ct	Ita	CFF
Evento 5	Construcción sistema de drenaje en filtro grava y geotextil	12/07/2018	34	16/06/2018	6	54

Fuente: Elaboración propia.

- **Evento de demora 6: Inundación campo de juego**

Este evento de demora afectó la actividad de retiro y depósito de grama natural en mal estado. Esta actividad se encuentra en el cronograma As-Planned y presentó una disminución en la cantidad de tiempo estipulado en la planificación inicial. Por ello se aplica la ecuación 2 para evaluar el evento de demora.

Durante la ejecución de la actividad se presentaron constantes lluvias que impedían realizar el retiro de la grama natural del campo de juego. Por esta razón la actividad se suspendió y fue reanudada el día 15/07/2018.

Debido a las fuertes lluvias se debió esperar a que el terreno del campo de juego estuviera en condiciones para seguir retirando la grama natural. Lo anterior generó una espera de 10 días. Durante el desarrollo de la actividad se presentó una disminución de 6 días con respecto a la cantidad de tiempo planificada inicialmente.

En la tabla 19 se relacionan las actividades afectadas por el evento de demora 2 y el cambio en la fecha de finalización.

Tabla 19. CFF actividades afectas por evento de demora 6

EVENTOS	ACTIVIDADES AFECTADAS	TFD	Tp	Ct	Rta	CFF
Evento 6	Retiro de grama natural en mal estado incluye deposito	15/07/2018	10	6/06/2018	6	43

Fuente: Elaboración Propia.

4. Suma de los cambios en la fecha de finalización

En el diagrama de red simplificado que se muestra en la figura 4, se observa que existen dos rutas que se forman a partir de los eventos de demoras presentados.

En la Tabla 20 y la Tabla 21 se muestra el cambio de fecha de finalización total para cada una de las rutas, el cual fue hallado a partir de la sumatoria del cambio de la fecha de finalización de cada actividad afectada.

Tabla 20. Cambio en la fecha de finalización total de la ruta 1

Evento de demora	Descripción de la actividad	CFF (días)
Evento 1	Localización y replanteo obra arquitectónica	30
Evento 4	Excavación a máquina, incluye retiro de saldos (obra arquitectónica)	27
Evento 2	Demolición estructuras existentes incluyendo disposición	32
Evento 3	Solado de limpieza e=5cm	26
CFF TOTAL		115

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21. Cambio en la fecha de finalización total de la ruta 2

Evento de demora	Descripción de la actividad	CFF (días)
Evento 1	Localización y replanteo campo de juego	30
Evento 4	Excavación a máquina, incluye retiro de saldos (Campo de juego)	22
Evento 5	Construcción sistema de drenaje en filtro grava y geotextil	54
Evento 6	Retiro de grama natural en mal estado incluye deposito	43
CFF TOTAL		149

Fuente: Elaboración propia.

Se tomó como resultado del análisis el cambio en la fecha de finalización (CFF) mayor entre las dos rutas, para este caso corresponde a 149 días. Este tiempo corresponde a los días por los que el empleador debe responder según como esté estipulado en el contrato.

Hasta el mes de agosto del 2019 el proyecto aún sigue en ejecución y presenta una demora de 264 días. El análisis realizado corresponde al desarrollo del proyecto comprendido entre el mes de mayo y diciembre del 2018, periodo estipulado para su desarrollo total.

Tabla 22. Cambio en la duración total de las actividades afectadas

Descripción de la actividad	Duración planificada	CFF	Duración Total	Incremento %
Localización y replanteo obra arquitectónica	15	30	45	67%
Localización y replanteo campo de juego	9	30	39	77%
Demolición estructuras existentes incluyendo disposición	24	32	56	57%
Solado de limpieza e=5cm	22	26	48	54%
Excavación a máquina, incluye retiro de saldos	18	27	45	60%
Excavación a máquina, incluye retiro de saldos	22	22	44	50%
Construcción sistema de drenaje en filtro grava y geotextil	44	54	98	55%
Retiro de grama natural en mal estado incluye retiro	22	43	65	66%

Fuente: Elaboración Propia.

Los eventos de demora contemplados en el análisis, afectaron las actividades mostradas en la tabla 22, las cuales son consideradas como críticas del proyecto. La variación en la duración de estas actividades impacta directamente la duración total del proyecto, ya que los días en que estas actividades se retrasen, representan un incremento para el mismo.

Durante el periodo analizado se presentaron 6 eventos de demora que generaron 149 días de extensión en el tiempo programado. En la Tabla 22 se muestra el cambio en la duración total de cada una de las actividades afectadas. Se observa que los cambios que tuvieron las actividades estuvieron por encima del 50%. Por ejemplo, la actividad Localización y replanteo de campo de juego tuvo un incremento en su duración del 77%.

A la fecha del análisis (Agosto de 2019), el proyecto presenta una demora de 204 días. Según los resultados obtenidos con el método MTIA, del total de la demora (204 días), el 73,03% (149 días) corresponden a una extensión de tiempo generada por los eventos de demora involucrados en el análisis. De acuerdo a lo pactado entre las partes, estos días serían responsabilidad del empleador.

Se evidencia que los resultados obtenidos con la aplicación del método tienen concordancia con el desarrollo real del proyecto. Esto debido a que según los resultados, el tiempo para culminar las actividades contenidas en el periodo del análisis debería ser aproximadamente para el mes de Junio de 2019. Según la información obtenida por el encargado de la obra proyecto, estas actividades si fueron culminadas durante este tiempo.

CONCLUSIONES

Se evidenció que de los diez métodos identificados en la revisión bibliográfica, sólo cinco corresponden a los métodos más usados para el control de proyectos. Los métodos restantes, corresponden a los llamados poco convencionales o variaciones de los métodos más mencionados. Es el caso del método TIA que presenta una variación conocida como “Modified Time Impact Analysis” (MTIA), utilizado en el presente trabajo.

A través de un análisis que se modeló bajo el método de simulación Montecarlo y la herramienta del Gantt probabilístico se definieron 68 actividades críticas del proyecto seleccionado. De la cuales, ocho se vieron afectadas por los eventos de demora identificados entre el mes de mayo y diciembre de 2018. El impacto de estos eventos se reflejó en una extensión de tiempo de 149 días.

El resultado de la programación involucrando riesgos toma valores de probabilidad a partir de los 230 días. Lo que muestra que la probabilidad de éxito de la planificación inicial (216 días) era menor al 0%. Esto indica que lo más probable es que el proyecto presentara demoras. Esta baja probabilidad queda en evidencia considerando que el proyecto al mes de agosto del 2019 no se ha finalizado.

Según la gráfica de probabilidad de ocurrencia de la duración del proyecto, a partir de 244 días la probabilidad de que el proyecto se haya terminado es del 100%. Sin embargo, se evidencia que el proyecto a la fecha de realización del análisis lleva 420 días y no termina. Esto muestra que el método utilizado para estimar la duración de las actividades no fue el más acertado, teniendo en cuenta que la diferencia entre la duración real del proyecto (420 días) y lo arrojado por la simulación (244 días) es de 176 días.

Durante la aplicación del Método Modified Time Impact Analysis se presentaron dificultades en la recolección de los datos referentes a eventos de demora. Con lo anterior se evidenció que al presentarse inconsistencias entre la información registrada en las bitácoras y en el cronograma As-Planned se hace más dispendioso el proceso de revisión y obtención de la información.

Modified Time Impact Analysis (MTIA) es un método práctico y funcional. Práctico, ya que para su aplicación es necesaria la información básica con la que debería contar un proyecto de obra civil en las etapas de planificación y ejecución. Además, utiliza una metodología simplificada que involucra menos actividades en el desarrollo en comparación a otros métodos de análisis de demoras. Es funcional, debido a que los resultados obtenidos en el presente trabajo tienen concordancia con el desarrollo real del proyecto, el cual a la fecha tiene aproximadamente una duración de 420 días y continua en fase de ejecución.

El análisis realizado desde el punto de vista del contratista, muestra que el empleador debe responder por 149 días de extensión en la duración del proyecto. Esto representa un beneficio para el contratista, al servir como soporte en el momento de establecer las responsabilidades en cuanto a tiempo. Con estos resultados el contratista puede conocer hasta qué punto podría ser compensado por el empleador.

EL método MTIA al ser prospectivo permite tomar decisiones oportunas para mitigar los impactos que eventos de demora generen en el desarrollo del proyecto. Esto facilita ejercer un control, con el fin de cumplir con el alcance establecido para el proyecto.

BIBLIOGRAFÍA.

- Arcuri, F. J., Hildreth, J. C., & Tech, V. (2007). The Principles of Schedule Impact Analysis. *Virginia Polytechnic Institute and State University*, (0105), 1–57. Recuperado de www.vt.edu
- Arditi, D., & Pattanakitchamroon, T. (2006). Selecting a delay analysis method in resolving construction claims. *International Journal of Project Management*, 24(2), 145–155. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2005.08.005>
- Association for the Advancement of Cost Engineering [AACE] International. (2011). Forensic Schedule Analysis. *Association for the Advancement of Cost Engineering [AACE] International*, (29), 135.
- Bland, D. (2016). Risk Analytics Latinoamérica: Retrasos programáticos y sobrecostos. Recuperado de <https://www.bnamericas.com/es/news/infraestructura/risk-analytics-latinoamerica-retrasos-programaticos-y-sobrecostos1>
- Braimah, N. (2008). an Investigation Into the Use of Construction Delay and.
- Braimah, N. (2013a). Approaches to Delay Claims Assessment Employed in the UK Construction Industry. *Buildings*, 3(3), 598–620. <https://doi.org/10.3390/buildings3030598>
- Braimah, N. (2013b). Construction Delay Analysis Techniques—A Review of Application Issues and Improvement Needs. *Buildings*, 3(3), 506–531. <https://doi.org/10.3390/buildings3030506>
- Braimah, N., & Ndekugri, I. (2009). Consultants' Perceptions on Construction Delay Analysis Methodologies. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(12), 1279–1288. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000096](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000096)
- Burgos, M., & Vela, D. (2015). *Análisis De Las Causas Del Incumplimiento De La Programación En Las Obras Civiles*. Universidad Militar Nueva Granada. Recuperado de <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/7285/1/BurgosMarinMateo.2015.VelaAvilaDaniel.2015.pdf>
- Calvey, T. T., & Winter, R. M. (2006). Time Impact Analysis – As Applied in Construction. *AACE International Recommended Practices No. 52R-06*, (52).
- DANE. (2017). Boletín Técnico: Comunicación informtativa (DANE). Cuentas Trimestrales -Colombia Producto Interno Bruto (PIB) Segundo Trimestre de 2017 Contenido. *Dane*, 1–27. Recuperado de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib/bol_PIB_Itrim17_o_ferta_demanda.pdf%0Ahttps://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletine

s/pib/bol_PIB_IVtrim16_oferta_demanda.pdf%0Ahttp://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib/

- Doskocil, R. (2011). An evaluation of novelty and diversity based on fuzzy logic. *CEUR Workshop Proceedings*, 816(1), 51–58.
<https://doi.org/10.3846/btp.2015.534>
- El Tiempo. (2017). Regiones y programas con más elefantes blancos. Recuperado de <http://www.eltiempo.com/justicia/investigacion/valor-en-millones-de-pesos-de-los-elefantes-blancos-en-colombia-119940>
- Fan, S. (2012). Modified Time Impact Analysis Method. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(2), 227–233.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000402](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000402).
- Gido, J., & Clements, J. (2005). *Administración exitosa de proyectos*. *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53).
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Gómez, H. D., & Orobio, A. (2015). Effects of uncertainty on scheduling of highway construction projects. *Dyna*, 82(193), 155–164.
<https://doi.org/10.15446/dyna.v82n193.47453>
- González, M. C. (2019). El 41% de las obras públicas del país presentan atrasos. Recuperado de <https://www.portafolio.co/economia/infraestructura/el-41-de-las-obras-publicas-del-pais-presentan-atrasos-524977>
- Jr, J. G. Z. (1999). But-For Schedules - Analysis and Defense. *AACE International Transactions*, (August 2001), 1–6.
- Kao, C. K., & Yang, J. Bin. (2009). Comparison of windows-based delay analysis methods. *International Journal of Project Management*, 27(4), 408–418.
<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2008.05.016>
- Kim, Y., Kim, K., & Shin, D. (2005). Delay Analysis Method Using Delay Section. *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(11), 1155–1164.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2005\)131:11\(1155\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:11(1155))
- La República. (2017). Las obras civiles jalonarán el sector de la construcción durante el segundo semestre. Recuperado de <https://www.larepublica.co/infraestructura/obras-civiles-jalonaran-la-construccion-en-segundo-semestre-2542550>
- Liu, D. M. (2010). APLICABILIDAD DE LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS DE RETRASOS EN LOS PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN NACIONALES.
- Malak, A., Saadi, M., & Abou-Zeid, M. (2002). Process Model for Administrating Construction Claims. *Journal of Management in Engineering*, 18(2), 84–94.
<https://doi.org/10.1061/ASCE0742-597X200218:284>

- Menesi, W. (2007). Construction Delay Analysis under Multiple Baseline Updates, 113.
- Muhamad, N. H., Mohammad, M. F., Ahmad, A. C., & Ibrahim, I. H. (2016). Delay Analysis Methodologies (DAMs) in Delivering Quality Projects: Contractors and Consultants' Perceptions. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 222, 121–131. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.05.200>
- Nasirzadeh, F., Afshar, A., & Khanzadi, M. (2008). Dynamic risk analysis in construction projects, 831, 820–831. <https://doi.org/10.1139/L08-035>
- Ndekugri, I., Braimah, N., & Gameson, R. (2008). Delay Analysis within Construction Contracting Organizations. *Journal of Construction Engineering and Management*, 134(9), 692–700. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2008\)134:9\(692\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2008)134:9(692))
- Perera, N. A., Sutrisna, M., & Wing, Y. T. (2016). Decision-Making Model for Selecting the Optimum Method of Delay Analysis in Construction Projects, 32(2001), 1–14. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000441](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000441).
- PMI. (2000). Guía Fundamental Para la Gestión de Proyectos.
- PMI. (2013). *FUNDAMENTOS PARA LA GESTION DE PROYECTOS GUIA DEL PMBOK (5th ed.)*.
- Raychaudhuri, S. (2008). Introduction to monte carlo simulation. En *Simulation Conference, 2008. WSC 2008*. (pp. 91–100). <https://doi.org/10.1109/WSC.2008.4736059>
- Raychaudhuri, S. (2008). Introduction to Monte Carlo simulation. *AIP Conference Proceedings*. IEEE. <https://doi.org/10.1063/1.3295638>
- Trauner, T. J., Manginelli, W. A., Lowe, J. S., Nagata, M. F., & Furniss, B. J. (2009). Types of Construction Delays. *Construction Delays*, 25–36. <https://doi.org/10.1016/B978-1-85617-677-4.00002-7>
- Vargas, J. C. (2015). Análisis Sector Construcción En Colombia. *PMI*, (1641794), 7. Recuperado de <http://www.pmicolombia.org/wp-content/uploads/2015/08/PMIBogota-Analisis-sector-construccion-en-Colombia.pdf>
- Yoke-Lian, L., Hassim, S., Muniandy, R., & Mee-Ling, T. (2012). The Assessment of Applications for Extension of Time Claims in Malaysian Construction Industry. *International Journal of Engineering and Technology*, 4(4), 446–450. <https://doi.org/10.7763/IJET.2012.V4.407>

ANEXOS

Anexo 1. Documento MS PROJECT Programación inicial.

Anexo 2. Actividades planificadas.

Nombre de tarea	Duración
ESTADIO DE FUTBOL PRADERA	216 días
OBRAS CIVILES	
ACTIVIDADES PRELIMINARES	
Localización y replanteo obra arquitectónica	15 días
Campamento 18M2	2 días
Cerramiento tela Fib. Tejida h= 2,10 m- Sin Borde	3 días
Demolición estructuras existentes en mal estado, incluye retiro	24 días
Desmonte estructura de cubierta en mal estado, incluye retiro	7 días
DESM.MALLA ESLABONADA H=2.0 MT	4 días
MOVIMIENTO DE TIERRAS	
Excavación manual en seco, incluye retiro de saldos	18 días
Excavación a máquina, incluye retiro de saldos	18 días
RELLENO COMP.MAT.SELECC.10KM (ROCAMUERTA	6 días
ESTRUCTURAS EN CONCRETO ZONA DE TRIBUNAS	
Mejoramiento base estabilizada en concreto ciclópeo-e=20cm f'c:3000PSI, 40%P-60%C	24 días
Solado de limpieza e=5cm	22 días
Acero de refuerzo flejado PDR-60	30 días
Zapatas en concreto de f'c:4000PSI	35 días
Vigas de amarre cimentación 30x50cm de f'c:4000PSI	35 días
Columnas de 50x50cm de f'c:4000PSI	37 días
Vigas aéreas de 30x50cm de f'c:4000PSI	35 días
Vigas aéreas de 50x50cm de f'c:4000PSI	41 días
Plaquetas en concreto de f'c:4000PSI-e=15cm - huella+ contrahuella	40 días
Placa maciza Sala de prensa e=20cm en concreto f'c:4000PSI	15 días
Escaleras de acceso desde la planta baja a graderías en concreto f'c:4000PSI	25 días
Corredor de acceso paralelo a las graderías E= 0.20 m f'c:4000PSI	40 días
Losa de concreto reforzado con malla electrosoldada para rampa de acceso a graderías e=10 cm	25 días
Vigas de cimentación rampa discapacitados 30x50cm de f'c:4000PSI	25 días
Contrapiso concreto E=10CM 3.000Psi	55 días
TRATAMIENTO CAMPO DE FUTBOL	

INTERVENCION CAMPO DE FUTBOL	
LOCALIZACION-REPLANTEO	9 días
CERRAMIENTO TELA FIB.TEJIDA H=2.10M-SINB	6 días
Retiro grama natural en mal estado, incluye retiro	22 días
Excavación a máquina, incluye retiro de saldos	22 días
Inspección y mejoramiento drenajes existentes	22 días
Construcción sistema de drenaje en filtro grava y geotextil NT-1800, incluye tubería Novafort de 4"	44 días
CAJA INSPECCION 60x 60 CM [CONCRETO] f'c:3000PSI	22 días
COLCHON ARENA GRUESA E=10CM	38 días
CONFIGURACION-NIVELACION TERRENO	53 días
Suministro e instalación grama natural, incluye a abonos y corte	150 días
DOTACIONES DEPORTIVAS+DEMARCAACION	
Suministro e instalación porterías	18 días
Demarcación campo de futbol	18 días
OBRA HIDROSANITARIA	
PRELIMINARES	
LOCALIZACION-REPLANTEO ACUEDUCTO-ALCANTA	14 días
CORTADORA DE PAVIMENTO DE 4 A 7 CM	3 días
DEMOL.ANDEN-SARDINEL + RETIRO	3 días
DEMOL.PAVIMENTO CONCRETO E=20CM +RET	3 días
MOVIMIENTO DE TIERRAS	
EXCAVACION TIERRA A MANO	13 días
RETIRO DE SALDOS EN SITIO	18 días
RETIRO SOBANTES MAQUINA <=10KM.	22 días
RELLENO ARENA MEDIANA INCLUYE ACARREO 10KM	5 días
RELLENO MATERIAL SITIO COMPACTADO 90% PM	8 días
RELLENO ROCAMUERTA COMPACT-SALTARIN+ACAR	19 días
SUMINISTRO E INSTALACION DESAGUES GENERALES Y PUNTOS SANITARIOS	
PUNTO SANITARIO PVC 2"	24 días
PUNTO SANITARIO PVC 3" [SIFON]	13 días
REJILLA SOSCO 3"X2" ALUMINIO"	3 días
PUNTO SANITARIO PVC 4"	6 días
SUMINISTRO E INSTALACION TUB SANIT. PVC 2"	7 días
SUMINISTRO E INSTALACION TUB SANIT. PVC 3"	7 días
SUMINISTRO E INSTALACION TUB SANIT PVC 4"	4 días
SUMINISTRO E INSTALACION TUB SANIT PVC 6" NOVA	15 días
SILLA YEE NOVAF 6"X12"	3 días
CODO SANITARIO PVC 45 CC-3	7 días
YEE SANITARIA 3X3X3	13 días
UNION SAN PVC 3"	8 días

SIFON SANITARIO PVC 4"	4 días
UNION SAN PVC 4"	3 días
CAJA INSPECCION 100x 100 CM [CONCRETO	3 días
CAJA INSPECCION 120x120 CM [CONCRETO]	1 día
SUMINISTRO E INSTALACION PUNTOS HIDRAULICOS Y TUBERIA PRESION	
PUNTO AGUA FRIA PVC ,1/2"	6 días
PUNTO AGUA FRIA PVC 3/4"	12 días
PUNTO AGUA FRIA PVC 1"	5 días
PUNTO AGUA FRIA PVC 1, 1/4" "	4 días
PUNTO AGUA FRIA PVC 1, 1/2"	6 días
TUBERIA PRESION 3/4"	25 días
TUBERIA PRESION 1"	16 días
TUBERIA PRESION PVC 1,1/4"	8 días
TUBERIA PRESION 1,1/2"	19 días
TUBERIA PRESION 1/2"	9 días
TUBERIA PVC 2" UNION PLATINO RDE 21-200 PSI	22 días
TUBERIA PVC 4" UM RDE 21-200 PSI	16 días
TEE PRESION PVC ,1/2"	9 días
UNION PRESION PVC ,1/2"	9 días
CODO 90 PRESION PVC ,1/2	11 días
TEE PRESION PVC ,3/4"	14 días
UNION PRESION PVC ,3/4"	7 días
CODO 90 PRESION PVC ,3/4"	27 días
BUJE REDUCTOR 3/4"x1/2"	6 días
TEE PRESION PVC ,1"	4 días
UNION PRESION PVC ,1"	5 días
CODO 90 PRESION PVC ,1"	4 días
BUJE REDUCTOR 1"x3/4"	12 días
TEE PRESION PVC ,1- 1/4"	3 días
UNION PRESION PVC ,1-1/4"	4 días
CODO 90 PRESION PVC ,1-1/4"	6 días
BUJE REDUCTOR 1-1/4"x1"	6 días
TEE PRESION PVC ,1- 1/2"	4 días
UNION PRESION PVC ,1-1/2"	5 días
CODO 90 PRESION PVC ,1-1/2"	11 días
BUJE REDUCTOR 1-1/2"x1-1/4"	9 días
TEE PVC 2 x2 x 2 UP	6 días
UNION RAPIDA PVC 2" U.P.	5 días
CODO 90 PRESION PVC 2" U.P. RADIO CORTO	8 días
REDUCCION 2X1-1/2" U.P.	8 días
REDUCCION 2X1-1/4" U.P.	5 días
REDUCCION DE 2X1" U.P.	6 días

TEE PVC 4 x4 x4 RADIO CORTO UP	4 días
TEE ENSAMBLADA PVC 4 x2 x4 RADIO CORTO UP	5 días
UNION RAPIDA PVC 4" U.P.	8 días
CODO 90 PRESION PVC 4" U.P. RADIO CORTO	3 días
COLLAR DE DERIVACION 4X3/4"	2 días
COLLAR DE DERIVACION 4X1/2" U.P.	5 días
VALVULA DE CIERRE ELASTICO 1/2"	4 días
VALVULA DE CIERRE ELASTICO 3/4"	8 días
VALVULA DE CIERRE METALICO 1"	7 días
VALV REGISTRO GLOBO BRONCE D=1 1/4"	3 días
VALVULA DE CIERRE 1,1/2"	15 días
VALVULA D=2" HF E.L PVC SELLO EL."	1 día
VALVULA D=3" HF E.L PVC SELLO EL."	1 día
VALVULA D=4" HF E.L PVC SELLO EL."	1 día
HIDRANTE 3" E LISO PVC	1 día
CAMARA DE INSPECCION VALVULAS D= 2" D=3" D= 4"HF E.L PVC SELLO ELASTICO	1 día
UNION REP PVC 2 RDE 13.5	5 días
UNION REP PVC 3 RDE 13.5	3 días
UNION REP PVC 4 RDE 13.5	3 días
ELECTROBOMBA BOMBA 4"X 4" 200 GPM PRESION DE TRABAJO 60PSI	2 días
ELECTRO BOMBA 2"X 2" 58 GPM PRESION DE TRABAJO 60PSI HP=5 220V	2 días
ELECTROBOMBA SUMERG 3HP 3" ACERO INOX	2 días
VALVULA FLOTADOR 2"	2 días
TABLERO ELECTRICO	1 día
CONCRETOS	
ANDEN CONCRETO 10CM 3000 PSI	19 días
PAV.CONCR.3000 PSI E=0.20, INC, HIER, ASFAL	8 días
MEZCLA CONCRETO 1:2:3 3100 PSI - 22,0 Mpa PARA EMPALMES Y ANCLAJE TUBERIAS	2 días
TANQUE ENTERRADO CONCRETO 3000 PSI	3 días
ACERO DE REFUERZO FLEJADO PDR-60	2 días
OBRA ARQUITECTONICA	
MAMPOSTERIA	
Muro ladrillo concreto	24 días
Calado en concreto	20 días
MURO BLOQUE ESTRUCT. CERAMICO 12X20X30	16 días
Repello muro 1:3	15 días
CARPINTERIA METALICA	
MARCO LAM.GALV.0.70-1.0 CAL.20 PEST C/LU	18 días
MARCO LAM. 1.01-1.5 M CAL.20 PEST S/LUCE	18 días

MARCO LAM. 1.51-2.0 M CAL.20 PEST S/LUCE	18 días
Puerta Lam. Entamb cal 20 COR	15 días
Puerta Lam. Entamb cal 20 BAT	15 días
Nave Puerta Lam. Entamb cal 20 vai	20 días
Ventana en lamina fija	20 días
VENTANA LAM.VIDRIO-VARILLA CAL.20 COR.	21 días
ventana lam. Persiana fija cal 20	21 días
REJA SEGURIDAD ANGULO 1x1/ 8-PLAT 1x3/16	12 días
DIV.METALICA BANO L. ACERO INOX C.18	19 días
Malla eslabonada	21 días
Concertina	21 días
BARANDA PASAMANOS TUBO GALV. 1,1/2" C/SOP	15 días
Baranda tubo 1 ½	3 días
pasamano pared	5 días
Nave reja tubular 1 1/2 X 1 1/2 cal 20	5 días
ACABADOS	
Enchape cerámico pared 20 X 30	15 días
PISO CERAMICA 20.01-22.50 X 20.01-22.50 TRAF	15 días
Piso cerámico 0.50 x 0.50	7 días
gurda escoba cerámico Porcelanato	9 días
Cielo falso PVC	8 días
Pintura vinilo	8 días
Estuco muro	8 días
Mesón granito pulido blanco	8 días
Mesón grano mármol	8 días
Alistado Piso esmaltado	11 días
Prado mano forrajero (6matas)	15 días
Vidrio Templado Bronce 10 MM	15 días
APARATOS SANITARIOS	
Lavamanos sobreponer	41 días
Lavamanos colgar pedestal	41 días
Orinal	41 días
Sanitario con fluxómetro	41 días
Sanitario corona	41 días
Duchas	41 días
OBRA ELECTRICA	
ILUMINACIÓN	
TABLERO 3F 18 CTOS NTQ	3 días
INSTALACION TABLERO 3F	3 días
ACOM.E.1F (2# 12 + 1#12 AWG) ,3/4" PVC	22 días
ACOM.E.1F (2# 12 + 1#12 AWG) ,3/4" EMT"	12 días
SAL TOMA 1F (A:2#12+1#12/TOMA) ILUMINACIÓN	22 días
BREAKER 1F DESDE 15 HASTA 60 AMP	15 días

INSTALACION BREAKER 1F	14 días
SALIDA SWITCHE S1 PVC	17 días
SALIDA SWITCHE S2 PVC	7 días
TOMACORRIENTES NORMALES	
TABLERO 3F 12 CTOS NTQ	3 días
TABLERO 1F 6 CTOS VTQ-SQ	3 días
ACOM.E.1F (2# 10 + 1#10 AWG) ,3/4" PVC	43 días
SAL TOMA 1F (A:2#10+1#10/TOMA)	22 días
INSTALACION TABLERO 3F	3 días
INSTALACION TABLERO 1F	3 días
BREAKER 1F DESDE 15 HASTA 60 AMP	11 días
INSTALACION BREAKER 1F	10 días
ACOM.E.1F (2# 6 + 1#6 AWG) 1" PVC	10 días
TOMACORRIENTES REGULADOS	
TABLERO 1F 6 CTOS VTQ-SQ	1 día
ACOM.E.1F (2# 10 + 1#10 AWG) ,3/4" PVC	18 días
SAL TOMA 1F (A:2#10+1#10/TOMA REGULADO)	20 días
INSTALACION TABLERO 1F	1 día
BREAKER 1F DESDE 15 HASTA 60 AMP	9 días
INSTALACION BREAKER 1F	8 días
ACOM.E.1F (2# 6 + 1#6 AWG) 1" PVC	13 días
SUMINISTRO E INSTALACIÓN UPS 3 KVA	1 día
AIRE ACONDICIONADO	
TABLERO 3F 18 CTOS NTQ	1 día
ACOM.E.1F (2# 10 + 1#10 AWG) ,3/4" PVC	14 días
INSTALACION TABLERO 3F	1 día
BREAKER 2F DESDE 15 HASTA 60 AMP	6 días
INSTALACION BREAKER 2F	5 días
ACOM.E.1F (2# 6 + 1#6 AWG) 1" PVC	7 días
SUMINISTRO E INSTALACIÓN AIRE ACONDICIONADO 12.000 BTU MINI SPLIT	2 días
TABLEROS PRINCIPALES	
BREAKER 3F DESDE 15 HASTA 50 AMP	6 días
INSTALACION BREAKER 3F	6 días
TOTALIZADOR DE 125 A 225 AMP-25KA	1 día
ACOM.E.3F (3# 6+1# 6) 2"	18 días
BARRAJE COBRE TRIFASICO 500 AMP	1 día
MALLAS A TIERRA	
MOLDE SOLDADURA VARILLA-CABLE	11 días
CABLE COBRE DESNUDO #1/0	25 días
SOLDADURA TERMOWELD X115 GRM	22 días
HIDROSOLTA X 15 KG	14 días
TAPA METALICA DE REGISTRO 20X20	27 días

VARILLA CU-CU 9/16X 2.40	16 días
CAJA ELECTRICA 0,3 X 0,3 X 0,5 MT	15 días
TELECOMUNICACIONES	
SUMINISTRO E INSTALACIÓN GABINETE 120X40X50 cm	1 día
SUMINISTRO E INSTALACIÓN GABINETE 52x40x50 cm	1 día
EXTRACTOR 120 VAC + REJILLA + FILTRO	4 días
CABLE UTP CAT. 6	19 días
BANDEJA METALICA PARA GABINETE	7 días
PATCH PANEL 24 PUERTOS	1 día
ORGANIZADOR CABLES PARA GABINETE	3 días
PATCH CORD 1,5 m	26 días
SALIDA TOMA ETHERNET	21 días
MULTITOMA PARA GABINETE 8 TOMACORRIENTE	1 día
SWITCHE 10/100/24 PUERTOS	1 día
ROUTER CAPA 3	3 días
CABLE COAXIAL RG6	18 días
CABLE COAXIAL RG11	8 días
SALIDA TOMA COAXIAL SENCILLO	6 días
SALIDA TOMA TELEFONICO SENCILLO	10 días
AMPLIFICADOR HFC	1 día
PLANTA TELEFONICA IP - 8 LINEAS 16 EXTENSIONES	1 día
AP WI – FI	5 días
AP RADIO ENLACE	1 día
JACK CATEGORIA 6 TIPO KEYSTONE	40 días
SISTEMA DE CCTV - 16 CAMARAS	1 día
TUBO PVC 3" CONDUIT	4 días
TUBO PVC 2" CONDUIT	32 días
TUBO PVC 1" CONDUIT	7 días
TUBO PVC 1/2" CONDUIT	10 días
TUBO PVC 3/4" CONDUIT	29 días
CAJA DE PASO METALICA 25X25X10	10 días
CAJA DE PASO METALICA 30X30X15	8 días
CAJA DE PASO METALICA 20X20X10	10 días
RED CONTRA INCENDIO	
MOTOBOMBA Y VARIOS	
GABINETE CLASE II	1 día
MOVIMIENTOS DE TIERRA Y CONCRETO	
MEJORAMIENTO BASE ESTABILIZADA EN CONCRETO CICLOPEO E=80 CM F'c = 3000 PSI, 40%P-60%C	22 días
TANQUE ENTERRADO CONCRETO 3000 PSI	3 días
ACERO DE REFUERZO FLEJADO PDR-60	3 días