

ANÁLISIS DEL RIESGO DE LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS A TRAVÉS DE  
UN APU DE CONTROL

CINDY MARCELA CÁCERES MARIÑO



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN  
BUCARAMANGA  
2017

ANÁLISIS DEL RIESGO DE LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS A TRAVÉS DE  
UN APU DE CONTROL

CINDY MARCELA CÁCERES MARIÑO

Monografía presentada como requisito para optar por el título de  
ESPECIALISTA EN GERENCIA DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN

Director:

GUILLERMO MEJÍA AGUILAR

PhD. Gerencia de Proyectos de Construcción

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN  
BUCARAMANGA

2017

## DEDICATORIA

*Dedicado a Dios, a mi familia y a Oscar Pineda, que han brindado su apoyo, amor y cariño, en cada uno de los pasos de mi vida.*

**Cindy Cáceres**

## AGRADECIMIENTOS

*Agradezco a Dios por las oportunidades que me brinda cada día; a mi madre, que sin ella no estaría en el lugar en el que estoy; al ingeniero Guillermo Mejía Aguilar, que me brindó su conocimiento para la construcción de un documento de alta calidad; a la Escuela de Ingeniería Civil, al ingeniero Álvaro Viviescas y a mis compañeros, por aportar en mi desarrollo personal y profesional.*

**Cindy Cáceres**

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN .....	14
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.2 ALCANCE .....	16
1.3 OBJETIVOS.....	16
1.3.1 Objetivo General.....	16
1.3.2 Objetivos específicos .....	16
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	17
2. MARCO DE REFERENCIA.....	19
2.1 MARCO INVESTIGATIVO .....	19
2.2 MARCO TEORICO .....	21
2.2.1 Presupuesto.....	21
2.2.2 Gestión De Los Costos Del Proyecto.....	22
2.2.3 Gestión De Los Riesgos Del Proyecto .....	24
2.3 MARCO CONCEPTUAL.....	32
2.3.1 Riesgo.....	32
2.3.2 Costo.....	32
2.3.3 Análisis de Precios Unitarios.....	33
2.3.4 Presupuesto.....	33
3. DISEÑO METODOLÓGICO.....	34
4. DESARROLLO METODOLÓGICO.....	35
4.1 RECOPIACIÓN DE PRESUPUESTOS DE OBRA .....	35

4.2 LISTADO DE FACTORES DE RIESGO .....	37
4.3 NIVEL DE INCIDENCIA DE LOS RIESGOS.....	38
4.4 ESTIMACIÓN DEL RIESGO PROBABLE.....	39
4.5 RESULTADOS GENERALES.....	45
4.5.1 Validación de Resultados.....	45
4.5.2 Estimación del riesgo probable .....	47
4.5.3 Comparación con el porcentaje de imprevistos .....	49
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	50
BIBLIOGRAFÍA.....	52
ANEXOS .....	54

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Marco Investigativo .....	19
Tabla 2. Diseño Metodológico.....	34
Tabla 3. Presupuestos de Obra .....	35
Tabla 4. Compilado Reducido - Metodología de Pareto .....	36
Tabla 5. Listado de Factores de Riesgo en APU de control .....	37
Tabla 6. Identificación de los factores de riesgo en los APU .....	37
Tabla 7. Factores de estudio .....	39

## LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Distribución Precio Mezcla Densa MDC-19.....	40
Gráfica 2. Distribución Precio Base Granular Clase A .....	40
Gráfica 3. Distribución Precio Subbase Granular Clase A .....	41
Gráfica 4. Distribución Precio Mezcla Asfáltica.....	41
Gráfica 5. Distribución Porcentaje de Desperdicio .....	42
Gráfica 6. Distribución Rendimiento Terminadora de Asfalto – APU Mezcla Densa MDC-19 .....	43
Gráfica 7. Distribución Rendimiento Compactador Vibratorio – APU Base Granular Clase A .....	43
Gráfica 8. Distribución Rendimiento Compactador Vibratorio – APU Subbase Granular Clase A .....	44
Gráfica 9. Distribución Rendimiento Terminadora de Asfalto – APU Mezcla Asfáltica (GCR) (M-GCR-19) .....	44
Gráfica 10. APU Estándar.....	45
Gráfica 11. Distribución Normal APU Mezcla Densa en caliente tipo MDC-19 .....	46
Gráfica 12. Distribución Normal APU Base Granular Clase A .....	46
Gráfica 13. Distribución Normal APU Subbase Granular Clase A .....	47
Gráfica 14. Distribución Normal APU Mezcla Asfáltica en caliente con cemento asfáltico modificado con grano de caucho reciclado (GCR) (M-GCR-19).....	47
Gráfica 15. Criterio Base – Factores de estudio .....	48
Gráfica 16. Resultados de la estimación de riesgos .....	48
Gráfica 17. Criterio Base – Costo Directo e Imprevistos.....	49
Gráfica 18. Resultados de comparación con el porcentaje de imprevistos.....	49

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Compilado – Metodología de Pareto .....	54
Anexo B. Coveñas APU (20-80) .....	54
Anexo C. SanAlberto APU (20-80).....	54
Anexo D. Ciénaga APU (20-80).....	54
Anexo E. Cundinamarca APU (20-80) .....	54
Anexo F. Quindío APU (20-80) .....	54
Anexo G. Risaralda APU (20-80).....	54
Anexo H. APUs de Control .....	54
Anexo I. Simulación Mezcla Densa.....	54
Anexo J. Simulación BaseG .....	54
Anexo K. Simulación SubbaseG .....	54
Anexo L. Simulación Mezcla Asfáltica .....	54

Nota: Ver anexos en CD-ROM

## RESUMEN

**TITULO: ANÁLISIS DEL RIESGO DE LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS A TRAVÉS DE UN APU DE CONTROL\***

**AUTOR: CINDY CÁCERES\*\***

**PALABRAS CLAVE: Riesgo, Costo, Presupuesto.**

### DESCRIPCION

Los riesgos en los procesos constructivos, han generado sobrecostos en los presupuestos de obra y la presencia de los mismos puede causar que un proyecto no se entregue en las fechas establecidas o el receso de actividades por falta de recursos para concluir los trabajos.

En esta monografía, se efectuó un análisis de los procesos constructivos a través de un APU de control, en el cual se realizó una recopilación de 11 proyectos de diferentes lineamientos de obras tales como vías, infraestructura y redes de alcantarillado ejecutados en el territorio colombiano.

Aplicando la metodología de Pareto, se obtuvieron las actividades más relevantes de los presupuestos y con ellas se elaboró un compilado con el fin de hallar aquellas que se encontraran en la mayor cantidad, y así llegar a un listado de 4 APU's contemplados en 6 proyectos viales, en los que se analizó el precio unitario del material más importante, el desperdicio del material y rendimiento del equipo.

Con los datos recopilados se estableció el nivel de incidencia de los factores de riesgo y así se comparó con el porcentaje de imprevistos, por lo cual se determinó que las empresas no contemplan los riesgos presentes en los análisis de precios unitarios y esto produce el exceso de costos, por lo cual es importante estandarizar formatos y mitigar el impacto negativo en los mismos.

---

\* Trabajo de Grado (Monografía)

\*\* Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Especialización en Gerencia de Proyectos de Construcción. Director: PhD. Guillermo Mejía Aguilar.

## ABSTRACT

**TITLE: RISK ANALYSIS OF CONSTRUCTIVE PROCESSES THROUGH A CONTROL UPA\***

**AUTHOR: CINDY CÁCERES\*\***

**KEY WORDS:** Risk, Cost, Budget.

### **DESCRIPTION:**

Risks in constructive processes have generated cost overruns in construction budget. The presence of them can cause a project not to be delivered on the established dates or recess of activities due to lack of resources to complete the work.

In this monograph, I developed a risk analysis of constructive processes through a control UPA, in which I made a compilation of 11 projects from different construction guidelines such as roads, infrastructure and sewerage systems carried out in Colombian territory.

Applying Pareto methodology, I obtained the most relevant activities of budgets and made a compilation with them in order to find those that were in greater quantity and thus to obtain a list of 4 UPAs contemplated in 6 road projects. Then, I analyzed the unit price of the most important material, waste of material and equipment performance.

With the collected data, I established the influence level of risk factors, thus I compared with percentage of unexpected events. Therefore, I determined that the companies do not consider the present risks in the unit price analysis and it produced excess costs. Because of the above, it is important to standardize formats and reduce negative impact of them.

---

\* Bachelor Thesis

\*\* Facultad de Ingenierías Físicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Especialización en Gerencia de Proyectos de Construcción. Director: PhD. Guillermo Mejía Aguilar.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente uno de los principales problemas en el sector de la construcción es el sobre costo de los proyectos. Un comprensivo estudio de los sobre costos en el año 2002 encontró que 9 de 10 proyectos de construcción habían subestimados los costos (Flyvberg, Holm, & Buhk, 2002). Este problema ha estado presente en la industria de la Construcción y por ello se han generado herramientas con el objetivo de minimizar los sobre costos en los proyectos.

Un presupuesto de obra se organiza a través de capítulos, y estos a su vez, en ítems que describen el precio unitario de cada actividad requerida en el proyecto. Los costos de los ítems se estiman a través de Análisis de Precios Unitarios (APU), teniendo en cuenta los materiales, el rendimiento, el transporte, el equipo, y la mano de obra que se requiere en cada proceso constructivo. Estos ítems, estarán afectados por factores externos como región económica, el marco normativo y por factores internos como la variabilidad de la mano de obra. Por lo tanto, el presupuesto debe ser el resultado de la planeación de un proyecto y el punto de partida para llevar a cabo el control de la ejecución del mismo, lo que permiten la optimización, mejoramiento y reducción de costos. Teniendo en cuenta lo anterior, el presente trabajo analizará y evaluará el riesgo al cual estarán expuestos los procesos constructivos del proyecto, analizado por medio de la información consignada en los APU que son utilizados en el control del proyecto.

## **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Una de las causas de los sobrecostos en un proyecto de construcción, es la elaboración de APU's con valores erróneos, escasa descripción constructiva o inexactitud de los precios que se encuentran en el mercado; los análisis de precios unitarios (APU), deben brindar una información que permita identificar los elementos que se requieren para la elaboración de un ítem de obra y arrojar datos concretos, definidos y actualizados.

Los proyectos y/o obras muchas veces presentan incumplimiento del presupuesto inicial, eventualidades que hacen que el sector de la construcción sea inestable y que genere temor entre los inversionistas para tomar la decisión de realizar aportes al capital, desarrollándose como un riesgo el participar en actividades de construcción. Estableciendo la relación entre la generación de costos y el incumplimiento del presupuesto, se puede establecer que los APU's, pueden ser una herramienta que permita analizar riesgos en los costos del proyecto.

Si bien, el riesgo está definido como un evento o condición incierta, que puede tener como resultado efectos positivos o negativos que impacten uno o más objetivos del proyecto, entre ellos, el costo; se debe tener en cuenta dentro del análisis de los APUs y estimar el nivel del impacto, considerados en términos de costos como imprevistos. Es importante resaltar que la afectación del riesgo puede ser mitigada si se identifica, se valora y se establece un mecanismo de control; con el fin de permitir la captación de más recursos por parte de una adecuada administración.

En la actualidad no existe una metodología que permita analizar los riesgos por medio de los APUs, por estas razones, el presente estudio pretende analizar los APU's relevantes con el fin de determinar el impacto que generan en los presupuestos y evaluar el riesgo de los mismos en el resultado de un presupuesto con costos subestimados.

## **1.2 ALCANCE**

El alcance del presente trabajo, se definen dentro de las siguientes consideraciones:

- Los presupuestos del estudio serán aquellos estimados para obras de ingeniería de obras construidas.
- Los Análisis de Precios Unitarios (APU) a estudiar serán los estimados para realizar el control de los procesos constructivos de proyectos de construcción.

Para la evaluación del riesgo en los APU's de control se tendrá en cuenta solo aquellos que mediante el principio de Pareto o regla del 80-20, representen los ítems más importantes del presupuesto.

## **1.3 OBJETIVOS**

**1.3.1 Objetivo General.** Evaluar el riesgo en los procesos constructivos a través de la información consignada en los análisis de precios unitarios (APU) de control con el fin de determinar el impacto que generan en los presupuestos.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Identificar los factores de riesgo y variabilidad en un APU de control.
- Evaluar la incidencia de los factores en el costo directo del APU analizado.

- Estimar el riesgo probable y compararlo con el porcentaje de imprevistos definidos para el APU en análisis.

#### **1.4 JUSTIFICACIÓN**

Teniendo en cuenta, los retrasos e incumplimientos presentados en las obras y proyectos de construcción, esta monografía se fundamenta a raíz de la necesidad de realizar un análisis del riesgo de los procesos constructivos a través de un APU de control, de esta manera, enfocar un seguimiento relevante sobre los análisis de precios unitarios que generan un impacto grande en la construcción de obras de ingeniería.

Por ende, es importante generar un modo de trabajo orientado al control, seguimiento y evaluación de los proyectos; así, concentrar los esfuerzos en una excelente gestión de los diferentes factores que los componen, como lo son el aspecto económico, calidad, cumplimiento y logística de los procesos constructivos.

El PMI ®, es una herramienta indispensable para el cumplimiento de estándares, además que involucra un proceso lógico basado en el ciclo de Deming, donde se establece una manera de realizar una intervención en la problemática de retrasos y los sobrecostos presentes en los proyectos de construcción a través del PLANEAR – HACER- VERIFICAR – ACTUAR, haciendo referencia a los procesos de iniciación, planificación, ejecución y cierre del proyecto, y al proceso transversal de seguimiento y control que está presente en todos los demás.<sup>1</sup>

Al realizar control a los procesos de construcción, se puede realizar una verificación del alcance, controlar el cronograma, controlar los costos que se

---

<sup>1</sup> SANCHEZ, J; CUADROS, A. Análisis de técnicas de seguimiento y control de proyectos. Aplicación en la industria de construcción de botes. [En línea]. Disponible en internet: < <https://revistas.upb.edu.co/index.php/cienciasestrategi/cas/article/view/2900/2545>> (Consultado el 15 de abril de 2017)

generen, así como la calidad de los resultados; también permite hacer un seguimiento e informe del desempeño del proyecto, controlar los riesgos identificados; por ello, se debe garantizar entregables que cumplan con estándares de calidad, utilizando las herramientas adecuadas para la mejora continua, además de realizar mediciones de manera oportuna y objetiva, para analizar cada uno de los aspectos de las empresas dedicadas a la construcción

## 2. MARCO DE REFERENCIA

### 2.1 MARCO INVESTIGATIVO

Tabla 1. Marco Investigativo

NOMBRE DEL PROYECTO O ARTICULO	- AUTOR(ES)	REFERENCIA	IDEAS CLAVES
1. Manual práctico de control de costos en obras civiles, aplicado a construcción de edificaciones. Enfoque básico para el ingeniero.	Angélica Duarte y Sabrina Martínez.	DUARTE, A; MARTINEZ, S. Manual práctico de control de costos en obras civiles, aplicado a construcción de edificaciones. Enfoque básico para el ingeniero. [En línea]. Disponible en internet: < <a href="http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAS0661.pdf">http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAS0661.pdf</a> > (Consultado el 15 de Abril de 2017)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para una gestión acertada de una obra civil, es necesario un correcto planteamiento y aplicación de los procedimientos básicos para el manejo administrativo de los recursos.</li> <li>- Se debe estimar el costo final del proyecto, con el fin de tener una correcta proyección de los recursos.</li> <li>- Los recursos propios adoptados como modos de financiamiento, pueden generar riesgos en cuanto a la escasez de ingresos que limitan la continuidad de la construcción.</li> </ul>
2. Análisis de técnicas de seguimiento y control de proyectos. Aplicación en la industria de construcción de botes.	Juan Pablo Sánchez Montoya y Alejandra Cuadros Mejía.	SANCHEZ, J; CUADROS, A. Análisis de técnicas de seguimiento y control de proyectos. Aplicación en la industria de construcción de botes. [En línea]. Disponible en internet: < <a href="https://revistas.upb.edu.co/index.php/cienciasestrategicas/article/view/2900/2545">https://revistas.upb.edu.co/index.php/cienciasestrategicas/article/view/2900/2545</a> > (Consultado el 15 de Abril de 2017)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es importante realizar un control en los proyectos a través de herramientas gerenciales.</li> <li>- La forma de atacar los problemas de costos y retrasos, es crear una cultura de evaluación y gestión de proyectos.</li> <li>- El proceso de control en los proyectos, permite realizar un seguimiento y manejo en los costos, el cronograma, calidad y desempeño de los mismos.</li> </ul>
3. Análisis de	Sergio Andrés	ARBOLEDA, S. Análisis de	- El uso de recursos sin previa planificación,

NOMBRE DEL PROYECTO O ARTICULO	- AUTOR(ES)	REFERENCIA	IDEAS CLAVES
productividad, rendimientos y consumo de mano de obra en procesos constructivos, elemento fundamental en la fase de planeación.	Arboleda López.	productividad, rendimientos y consumo de mano de obra en procesos constructivos, elemento fundamental en la fase de planeación. [En línea]. Disponible en internet: < <a href="http://www.bdigital.unal.edu.co/45932/1/71792750.2014.pdf">http://www.bdigital.unal.edu.co/45932/1/71792750.2014.pdf</a> > (Consultado el 15 de Abril de 2017)	<p>se puede traducir en una descoordinación en las actividades.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Es importante realizar un análisis de precios unitarios con requerimientos necesarios, para no exceder o presentar faltantes en mano de obra o recursos.</li> <li>- Los problemas en la seguridad, las malas condiciones de obra, afectan la productividad y generan retrasos en las obras.</li> </ul>
4. Control de costo y presupuesto de obra para el proyecto Edificio Centenario por parte de ferretería Al Día S.A. Manual sobre el control de costo y presupuesto de obra mediante la herramienta computacional SAO (Sistema Administrativo de Obra)	Francisco Arciniegas Serrano.	ARCINIEGAS, F. Control de costo y presupuesto de obra para el proyecto Edificio Centenario por parte de ferretería Al Día S.A. Manual sobre el control de costo y presupuesto de obra mediante la herramienta computacional SAO (Sistema Administrativo de Obra). [En línea]. Disponible en internet: < <a href="http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/2115/2/136255.pdf">http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/2115/2/136255.pdf</a> > (Consultado el 15 de Abril de 2017)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los sistemas o software son útiles para la gerencia de proyectos puesto que permiten crear procesos de seguimiento y control de costos para las obras de construcción.</li> <li>- El seguimiento de una obra es mejor realizarla directamente donde se ejecuta el proyecto, debido a que se tiene de cerca la información para los diferentes cambios que se puedan presentar.</li> <li>- Un programa informático permite llevar contabilidad directa de la obra, de esta manera llevar control de los costos.</li> </ul>

## 2.2 MARCO TEORICO

El proceso constructivo es quizás la fase más significativa de toda obra, y a su vez la más problemática al generar fracaso en el cumplimiento del tiempo y el costo. Por ello un camino posible es la generación de cultura en evaluación y gestión, que en esta fase su aplicación es poca e ineficiente.

El estándar de estas técnicas se describe en la guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK®), que proporciona pautas y define conceptos direccionados al camino de la dirección de proyectos, los procesos relacionados, y el ciclo de vida del mismo.

**2.2.1 Presupuesto.** Es el proceso de sumar los costos estimados de las actividades individuales o paquetes de trabajo para establecer una línea base de costos autorizada. El beneficio clave de este proceso es que determina la línea base de costos con respecto a la cual se puede monitorear y controlar el desempeño del proyecto.

En el estándar el presupuesto contiene:

- **Entradas**
  - Plan de gestión de los costos
  - Línea base del alcance
  - Estimación de costos de las actividades
  - Base de las estimaciones
  - Cronograma del proyecto
  - Calendario de recursos
  - Registro de riesgos
  - Acuerdos
  - Activos de los procesos de la organización

- **Salidas**

- Línea base de costos
- Requisitos de financiamiento del proyecto
- Actualizaciones a los documentos del proyecto

**2.2.2 Gestión De Los Costos Del Proyecto.** La Gestión de los Costos del Proyecto incluye los procesos relacionados con planificar, estimar, presupuestar, financiar, obtener financiamiento, gestionar y controlar los costos de modo que se complete el proyecto dentro del presupuesto aprobado.

Los procesos de gestión de los costos del proyecto:

- **Planificar la Gestión de los Costos:** Es el proceso que establece las políticas, los procedimientos y la documentación necesarios para planificar, gestionar, ejecutar el gasto y controlar los costos del proyecto.
- **Estimar los Costos:** Es el proceso que consiste en desarrollar una aproximación de los recursos financieros necesarios para completar las actividades del proyecto.
- **Determinar el Presupuesto:** Es el proceso que consiste en sumar los costos estimados de las actividades individuales o de los paquetes de trabajo para establecer una línea base de costo autorizada.
- **Controlar los Costos:** Es el proceso de monitorear el estado del proyecto para actualizar los costos del mismo y gestionar posibles cambios a la línea base de costos.

En algunos proyectos, especialmente en aquellos de alcance más reducido, la estimación de costos y la preparación del presupuesto en términos de costos están tan estrechamente ligadas que se consideran un solo proceso, que puede

realizar una única persona en un período de tiempo relativamente corto. Estos procesos se presentan aquí como procesos distintos debido a que las herramientas y técnicas requeridas para cada uno de ellos son diferentes. Debido a que la capacidad de influir en los costos es mucho mayor en las primeras etapas del proyecto, la definición temprana del alcance del proyecto se revela como una tarea crítica

La Gestión de los costos del Proyecto debería tener en cuenta los requisitos de los interesados al gestionar los costos. Los diversos interesados medirán los costos del proyecto de diferentes maneras y en momentos diferentes. El costo de adquisición de un artículo, por ejemplo, puede medirse en el momento en que se toma la decisión o se hace el compromiso de adquirir el artículo en cuestión, cuando se realiza su pedido o se hace entrega del mismo, o cuando se incurre en el costo real o éste se registra en el ámbito de la contabilidad del proyecto.

La Gestión de los Costos del Proyecto se ocupa principalmente del costo de los recursos necesarios para completar las actividades del proyecto. La Gestión de los Costos del Proyecto también debería tener en cuenta el efecto de las decisiones tomadas en el proyecto sobre los costos recurrentes posteriores de utilizar, mantener y dar soporte al producto, servicio o resultado del proyecto. Por ejemplo, el hecho de limitar el número de revisiones de un diseño podría reducir el costo del proyecto, pero podría asimismo resultar en un incremento de los costos operativos del cliente.

En numerosas organizaciones, la predicción y el análisis del rendimiento financiero esperado del producto del proyecto se llevan a cabo fuera del ámbito del proyecto. En otros, como por ejemplo en un proyecto de obras de infraestructura, la Gestión de los Costos del Proyecto puede incluir este trabajo. Cuando tales proyecciones y análisis forman parte del proyecto, la Gestión de los Costos del Proyecto puede recurrir a procesos adicionales y a numerosas técnicas de gestión financiera,

como el retorno de la inversión, el flujo de caja descontado y el análisis del retorno de la inversión.

El esfuerzo de planificación de la gestión de los costos tiene lugar en las etapas iniciales de la planificación del proyecto y establece el marco de referencia para cada uno de los procesos de gestión de los costos, de modo que el desempeño de los procesos sea eficiente y coordinado.<sup>2</sup>

**2.2.3 Gestión De Los Riesgos Del Proyecto.** La Gestión de los Riesgos del Proyecto incluye los procesos para llevar a cabo la planificación de la gestión de riesgos, así como la identificación, análisis, planificación de respuesta y control de los riesgos de un proyecto.

Los objetivos de la gestión de los riesgos del proyecto consisten en aumentar la probabilidad y el impacto de los eventos positivos, y disminuir la probabilidad y el impacto de los eventos negativos en el proyecto.<sup>3</sup>

### **Planificación la gestión de los riesgos**

Es el proceso en el cual se define la realización de las actividades de gestión de los riesgos de un proyecto. La planificación cuidadosa y detallada, mejora la probabilidad de éxito de los siguientes procesos de la gestión de los riesgos, por ende, es importante asegurar que el tipo, la visibilidad y el nivel de la gestión de los mismos, sean acordes con la relevancia del proyecto para la organización, brindando los recursos económicos, de mano de obra, tiempo, entre otros, para las actividades a realizar y establecer una base determinada para la evaluación de los riesgos.

---

<sup>2</sup> PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, Inc. (PMI) (2013). Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK) (5a. ed.). Impreso en los Estados Unidos de América. Project Management Institute, Inc. Cap. 7. Pág. 193 - 226

<sup>3</sup> PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, Inc. (PMI) (2013). Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK) (5a. ed.). Impreso en los Estados Unidos de América. Project Management Institute, Inc. Cap. 11. Pág. 309 – 354

La planificación posee las siguientes entradas:

- ✓ Enunciado del Alcance del Proyecto.
- ✓ Plan de Gestión de Costos.
- ✓ Plan de Gestión del Cronograma.
- ✓ Plan de Gestión de las Comunicaciones.
- ✓ Factores Ambientales de la Empresa.
- ✓ Activos de los Procesos de la Organización.

Se utilizan las siguientes herramientas y técnicas:

- ✓ Reuniones de Planificación y Análisis.

Se obtiene la siguiente salida:

- ✓ Plan de Gestión de Riesgos.

### **Identificación de los riesgos**

Es el proceso por el cual se determinan los riesgos que puedan afectar el proyecto, documentando las características de los mismos y contando con la participación del director del proyecto, miembros del equipo de trabajo, si se tiene conformado, el equipo de gestión de riesgos, clientes, asesores externos, usuarios finales, entre otros.

La identificación de los riesgos se puede presentar a lo largo del desarrollo del proyecto, por lo cual, se pueden descubrir nuevos o la evolución de los mismos, por ende, se debe ser consistente con el fin de tener la capacidad de comparar el efecto relativo de un evento de riesgo con otros que puedan surgir.

La identificación posee las siguientes entradas:

- ✓ Plan de Gestión de Riesgos.
- ✓ Estimaciones de Costos de las Actividades.
- ✓ Estimaciones de la Duración de la Actividad.

- ✓ Línea Base del Alcance.
- ✓ Registro de Interesados.
- ✓ Plan de Gestión de Costos.
- ✓ Plan de Gestión del Cronograma.
- ✓ Plan de Gestión de Calidad.
- ✓ Documentos del Proyecto.
- ✓ Factores Ambientales de la Empresa.
- ✓ Activos de los Procesos de la Organización.

Se utilizan las siguientes herramientas y técnicas:

- ✓ Revisiones de la Documentación.
- ✓ Técnicas de Recopilación de Información.
- ✓ Análisis de las Listas de Control.
- ✓ Análisis de Supuestos.
- ✓ Técnicas de Diagramación.
- ✓ Análisis SWOT (o DAFO, Debilidades, Amenazas, Fortalezas y oportunidades).
- ✓ Juicio de Expertos.

Se obtiene la siguiente salida:

- ✓ Registro de Riesgos

### **Análisis Cualitativo de Riesgos**

Es el proceso en el cual se hace la priorización de los riesgos con el fin de realizar análisis o acciones posteriores, evaluando y combinando la probabilidad de ocurrencia e impacto de los mismos.

Por ende, es importante concentrarse en los riesgos de alta prioridad la cual se identifica a través de la probabilidad relativa de ocurrencia, el impacto sobre los

objetivos del proyecto, plazo de respuesta y tolerancia al riesgo en cuanto a costos, cronograma, alcance y calidad.

El análisis cualitativo posee las siguientes entradas:

- ✓ Registro de Riesgos.
- ✓ Plan de Gestión de Riesgos.
- ✓ Enunciado del Alcance del Proyecto.
- ✓ Activos de los Procesos de la Organización.

Se utilizan las siguientes herramientas y técnicas:

- ✓ Evaluación de Probabilidad e Impacto de los Riesgos.
- ✓ Matriz de Probabilidad e Impacto.
- ✓ Evaluación de la Calidad de los Datos sobre Riesgos.
- ✓ Categorización de Riesgos.
- ✓ Evaluación de la Urgencia de los Riesgos.
- ✓ Juicio de Expertos.

Se obtiene la siguiente salida:

- ✓ Actualizaciones al Registro de Riesgos.

### **Análisis Cuantitativo de Riesgos**

Es el proceso en el cual se analiza numéricamente el efecto de los riesgos identificados sobre los objetivos del proyecto, este proceso se aplica a los riesgos priorizados por tener un posible impacto significativo sobre las demandas concurrentes del proyecto. El enfoque cuantitativo se usa con el fin de tomar decisiones en caso de incertidumbre.

El análisis cuantitativo posee las siguientes entradas:

- ✓ Registro de Riesgos.
- ✓ Plan de Gestión de Riesgos.

- ✓ Plan de Gestión de Costos.
- ✓ Plan de Gestión del Cronograma.
- ✓ Activos de los Procesos de la Organización.

Se utilizan las siguientes herramientas y técnicas:

- ✓ Técnicas de Recopilación Representación de Datos.
- ✓ Técnicas de Análisis Cuantitativo de Riesgos y de Modelado.
- ✓ Juicio de Expertos.

Se obtiene la siguiente salida:

- ✓ Actualizaciones al Registro de Riesgos.

### **Planificación de la respuesta a los riesgos**

Es el proceso en el cual se desarrollan opciones y acciones para el aprovechamiento de las oportunidades y la reducción de amenazas en contra de los objetivos del proyecto, en este proceso se incluye la identificación y asignación de personal responsable de cada respuesta a los riesgos.

Las respuestas se deben adaptar a la importancia del riesgo, ser rentables, realistas, oportunas y acordadas por todas las partes involucradas, con una persona responsable

Planificación de la respuesta a los riesgos posee las siguientes entradas:

- ✓ Registro de Riesgos.
- ✓ Plan de Gestión de Riesgos.

Se utilizan las siguientes herramientas y técnicas:

- ✓ Estrategias para Riesgos Negativos o Amenaza.
- ✓ Estrategias para Riesgos Positivos u Oportunidades.
- ✓ Estrategias de Respuesta para Contingencias.
- ✓ Juicio de Expertos.

Se obtiene las siguientes salidas:

- ✓ Actualizaciones al Registro de Riesgos.
- ✓ Acuerdos Contractuales Relacionados con los Riesgos.
- ✓ Actualizaciones al Plan para la Dirección del Proyecto.
- ✓ Actualizaciones a los Documentos del Proyecto.

### **Monitoreo y control de los riesgos**

El proceso de implementar los planes de respuesta a los riesgos, dar seguimiento a los riesgos identificados, monitorear los riesgos residuales, identificar nuevos riesgos y evaluar la efectividad del proceso de gestión de los riesgos a través del proyecto.

Planificación de la respuesta a los riesgos posee las siguientes entradas:

- ✓ Registro de Riesgos.
- ✓ Plan para la Dirección del Proyecto.
- ✓ Información sobre el Desempeño del Trabajo.
- ✓ Informes de Desempeño.

Se utilizan las siguientes herramientas y técnicas:

- ✓ Reevaluación de los Riesgos.
- ✓ Auditorías de los Riesgos.
- ✓ Análisis de Variación y de Tendencias.
- ✓ Medición del Desempeño Técnico.
- ✓ Análisis de Reserva.
- ✓ Reuniones sobre el Estado del Proyecto.

Se obtiene la siguiente salida:

- ✓ Actualizaciones al Registro de Riesgos.
- ✓ Actualizaciones a los Activos de los Procesos de la Organización.
- ✓ Solicitudes de Cambio.

- ✓ Actualizaciones al Plan para la Dirección del Proyecto.
- ✓ Actualizaciones a los Documentos del Proyecto.<sup>4</sup>

### **Riesgo en los proyectos**

El riesgo de un proyecto es un evento o condición incierta que, de producirse, tiene un efecto positivo o negativo en uno o más de los objetivos del proyecto, tales como el alcance, el cronograma, el costo y la calidad.

Un riesgo puede tener una o más causas y, de materializarse, uno o más impactos. Una causa puede ser un requisito especificado o potencial, un supuesto, una restricción o una condición que crea la posibilidad de consecuencias tanto negativas como positivas. Por ejemplo, entre las causas se podría incluir el requisito de obtener un permiso ambiental para realizar el trabajo, o contar con una cantidad limitada de personal asignado para el diseño del proyecto. El riesgo consiste en que la agencia que otorga el permiso pueda tardar más de lo previsto en emitir el permiso o, en el caso de una oportunidad, que se disponga de más personal de desarrollo capaz de participar en el diseño y de ser asignado al proyecto. Si se produjese alguno de estos eventos inciertos, podría haber un impacto en el alcance, el costo, el cronograma, la calidad o el desempeño del Proyecto.

Los riesgos individuales del proyecto son diferentes del riesgo global del proyecto. El riesgo global del proyecto representa el efecto de la incertidumbre sobre el proyecto en su conjunto. Es más que la suma de los riesgos individuales del proyecto, ya que incluye todas las fuentes de incertidumbre del proyecto. Representa la exposición de los interesados a las implicaciones de las variaciones en los resultados del proyecto, tanto positiva como negativa.

---

<sup>4</sup> IBID

Las organizaciones perciben el riesgo como el efecto de la incertidumbre sobre los objetivos del proyecto y de la organización. Las organizaciones y los interesados están dispuestos a aceptar diferentes niveles de riesgo, en función de su actitud frente al riesgo. Las actitudes frente al riesgo de la organización y de los interesados pueden verse afectadas por una serie de factores, los cuales se clasifican a grandes rasgos en tres categorías:

- **Apetito de riesgo**, que es el grado de incertidumbre que una entidad está dispuesta a aceptar, con miras a una recompensa.
- **Tolerancia al riesgo**, que es el grado, cantidad o volumen de riesgo que podrá resistir una organización o individuo.
- **Umbral de riesgo**, que se refiere a la medida del nivel de incertidumbre o el nivel de impacto en el que un interesado pueda tener particular interés. Por debajo de ese umbral de riesgo, la organización aceptará el riesgo. Por encima de ese umbral de riesgo, la organización no tolerará el riesgo.

Los riesgos positivos y negativos se conocen normalmente como oportunidades y amenazas. El proyecto puede aceptarse si los riesgos se encuentran dentro de las tolerancias y están en equilibrio con el beneficio que puede obtenerse al asumirlos. Los riesgos positivos que ofrecen oportunidades dentro de los límites de la tolerancia al riesgo se pueden emprender a fin de generar un mayor valor. Por ejemplo, adoptar una técnica de optimización de recursos agresiva constituye un riesgo que se asume a la espera de un beneficio como consecuencia de utilizar menos recursos.

## **2.2.4 Métricas de Desempeño**

### **Control del tiempo**

La forma de controlar el tiempo se da en el transcurso del proyecto y cuando se realiza un análisis retrospectivo, en el cual, se coteja el tiempo estándar de la

actividad versus el tiempo real que tomó realizarla; este análisis sirve para tomar correctivos a la hora de realizar nuevas actividades, tareas y proyectos.

- **Control de costos**

Busca la aplicación de procedimientos para limitar los costos del proyecto a solo los autorizados, y para enfocar los esfuerzos de alcance, tiempo y calidad a donde son más efectivos (Warhoe, 2013).

- **Control de la calidad**

Con el objetivo de satisfacer las expectativas de los interesados en un proyecto, el control de la calidad debe ser permanente. Además, se debe precisar el alcance y los criterios que dicho proyecto tendrá (Boroschek & Retamales, 2004).<sup>5</sup>

## 2.3 MARCO CONCEPTUAL

**2.3.1 Riesgo.** El riesgo es una medida de la magnitud de los daños frente a una situación. El riesgo en un proyecto es un evento o condición incierta que tiene un efecto positivo o negativo en uno o más objetivos del mismo.

Para analizar un riesgo hay que conocer lo que lo genera: ***Frecuencia e intensidad.***

- **Frecuencia:** Número de veces que ocurre
- **Intensidad:** Mayor o menor amplitud del daño

**2.3.2 Costo.** El Costo es el valor monetario destinado para la producción de un bien, servicio o actividad.

---

<sup>5</sup> SANCHEZ, J; CUADROS, A. Análisis de técnicas de seguimiento y control de proyectos. Aplicación en la industria de construcción de botes. [En línea]. Disponible en internet: <<https://revistas.upb.edu.co/index.php/cienciasestrategicas/article/view/2900/2545>> (Consultado el 15 de abril de 2017)

**2.3.3 Análisis de Precios Unitarios.** El análisis de Precios Unitarios (APU) es un modelo matemático

**2.3.4 Presupuesto.** Un presupuesto es planeación y estimación de la cantidad de recursos que serán necesarios para la ejecución de un proyecto o para el funcionamiento de una compañía. De la correcta elaboración y planeación del presupuesto depende la correcta ejecución de recursos y por lo tanto la viabilidad financiera del proyecto<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup> ZULETA, ROYER Modelo de costeo y planeación presupuestal de proyectos de ingeniería para una empresa del sector privado. 2006. Pág.3

### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

Tabla 2. Diseño Metodológico

<b>OBJETIVO ESPECÍFICO</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>ENTREGABLE</b>
Identificar los factores de riesgo y variabilidad en un APU	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisión bibliográfica del riesgo y los costos</li> <li>• Recopilación de presupuestos de obra existentes</li> <li>• Realizar un listado de los riesgos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Listado de factores de Riesgos</li> </ul>
Evaluar la incidencia de los factores en el costo directo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuantificación y registro del nivel de incidencia de los riesgos en la muestra propuesta</li> <li>• Análisis cualitativo</li> <li>• Análisis cuantitativo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distribuciones de riesgo de cada factor (Niveles de incidencia)</li> </ul>
Estimar el riesgo probable y compararlo con el porcentaje de imprevistos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluación de resultados (Estadística/Probabilidad)</li> <li>• Validación de los resultados obtenidos</li> <li>• Clasificación de los resultados (Alto, Medio, Bajo)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Magnitud de las diferencias con los porcentajes de imprevistos estimados con la metodología tradicional</li> </ul>

## 4. DESARROLLO METODOLÓGICO

### 4.1 RECOPIACIÓN DE PRESUPUESTOS DE OBRA

Para la recopilación de los presupuestos de obra, se solicitó la información a través de la gestión de profesionales en ingeniería civil, quienes brindaron la información de obras licitadas. Entre el material adquirido se obtuvieron los siguientes presupuestos:

Tabla 3. Presupuestos de Obra

N°	DESCRIPCIÓN	LINEA	MUNICIPIO
1	Remodelación y adecuación del Centro de atención especializado del menor infractor del Municipio de Piedecuesta, departamento de Santander.	Infraestructura	Piedecuesta, Santander
2	Construcción de baterías sanitarias, bodega y cocina, sede de recreación pasiva del adulto mayor ubicado en la calle 64 con carrera 23 W del Barrio Monterredondo.	Infraestructura	Bucaramanga, Santander
3	Construcción Red de alcantarillado de Aguas negras de la urbanización Santa Cecilia, asociación de vivienda prosperar Socorrano, Municipio del Socorro.	Aguas	Socorro, Santander
4	Construcción de Pavimento rígido en el Corregimiento 1 del Municipio de Bucaramanga.	Vías	Bucaramanga, Santander
5	Mejoramiento, mantenimiento y conservación de la vía CEBA – CHINGARA, Municipio de Santa Bárbara, Departamento de Santander.	Vías	Santa Bárbara, Santander
6	Mejoramiento y rehabilitación de las carreteras COVEÑAS – SABANETA (Ruta 90SC02) en el Departamento de Sucre y Momil – Sabaneta en el Departamento de Córdoba.	Vías	Coveñas, Sucre – Sabaneta, Córdoba
7	Mejoramiento y mantenimiento de la carretera Bucaramanga – San Alberto (Ruta 45 A – Tramo 08) Sector Rionegro - San Alberto PR18+0000 al PR93+0694 en el Departamento de Santander.	Vías	Rionegro, Santander – San Alberto, Cesar.
8	Construcción de la variante de Ciénaga - Departamento del Magdalena.	Vías	Ciénaga, Magdalena
9	Mejoramiento mediante la construcción, gestión predial, social y ambiental de los terceros carriles de adelantamiento tramo Anapoima – Balsillas y segunda calzada tramo Balsillas – Mosquera, para la ampliación de la infraestructura vial de la carretera Chía – Mosquera – Girardot, Sector Mosquera – Anapoima, en el Departamento de Cundinamarca, para el programa “Vías para la Equidad”	Vías	Anapoima – Mosquera, Cundinamarca
10	Mejoramiento, gestión predial, social y ambiental mediante la construcción de la segunda calzada y rehabilitación de la	Vías	Armenia, Quindío

N°	DESCRIPCIÓN	LÍNEA	MUNICIPIO
	calzada existente de la vía Aeropuerto el Edén – Club Campestre – Armenia en el Departamento del Quindío para el programa “Vías para la Equidad”		
11	Mejoramiento y rehabilitación, gestión predial, social y ambiental de la carretera media canoa – Anserma Nuevo – La Virginia, sector Anserma Nuevo – La Virginia, incluye la glorieta Anserma Nuevo en los Departamentos del Valle del Cauca y Risaralda, para el programa “Vías para la Equidad”	Vías	Anserma, Valle del Cauca – La Virginia, Risaralda

Luego de la recopilación de los presupuestos de obra, se procedió a la implementación de la metodología de Pareto, con el fin de encontrar los análisis de precios unitarios que impactan considerablemente en la gestión de los presupuestos utilizados para el estudio.

En el Anexo 1. Compilado – Metodología de Pareto, se comparó el costo total del presupuesto, con el valor acumulado de la actividad, con el fin de encontrar el impacto porcentual de los mismos y establecer aquellas que se consideraran como el 80% de la incidencia en el costo sobre el presupuesto del proyecto.

De los resultados obtenidos de los 11 presupuestos en estudio, se realizó una matriz de la información, identificando los análisis de precios unitarios presentes en la mayor cantidad de proyectos, en la cual se observó que, en los proyectos con el mismo lineamiento, se presentaban actividades comunes, de ello, se obtuvieron 4 APUS que se repetían en 6 presupuestos viales.

Tabla 4. Compilado Reducido - Metodología de Pareto

COMPILADO REDUCIDO - METODO DE PARETO						
ITEMS (20/80)	1	2	3	4	5	6
Mezcla densa en caliente Tipo MDC-19	X	X	X	X	X	X
Sub - base Granular clase A			X	X	X	X
Base granular clase A	X		X	X	X	X
Mezclas asfálticas en caliente con cemento asfáltico modificado con grano de caucho reciclado (GCR) (M-GCR-19)					X	X
1. COVENAS	4. CUNDINAMARCA					
2. SAN ALBERTO	5. QUINDIO					
3. CIENAGA	6. RISARALDA					

## 4.2 LISTADO DE FACTORES DE RIESGO

Se analizó los componentes de una estructura base de un análisis de precios unitarios, determinando la formulación de los requerimientos necesarios para el proceso constructivo de un ítem o actividad dentro del presupuesto de obra.

Para la identificación de los factores de riesgo, se realizó el análisis a partir de los formatos de APU existentes proporcionados en la recopilación de presupuestos, teniendo en cuenta que en la actualidad no se posee un formato estándar para la elaboración de presupuestos, pero es aquella información consignada la que generó el siguiente listado:

Tabla 5. Listado de Factores de Riesgo en APU de control

N°	FACTOR DE RIESGO
1	Descripción deficiente del alcance del ítem del APU.
2	Unidad de medida.
3	Ausencia de porcentaje de desperdicio.
4	Descripción deficiente en especificaciones de equipos.
5	Estimación de recursos del proceso constructivo.

Tabla 6. Identificación de los factores de riesgo en los APU

FACTOR DE RIESGO	APU DE CONTROL	EJEMPLO
Descripción deficiente en el nombre del APU.	Mezcla densa en caliente Tipo MDC-19	Mezcla densa en caliente Tipo MDC-19 + Tipo de capa + Espesor + transporte
	Sub - base Granular clase A	Sub - base Granular clase A + Categoría de tránsito + Espesor
	Base granular clase A	Base granular clase A + Categoría de tránsito + Espesor
	Mezclas asfálticas en caliente con cemento asfáltico modificado con grano de caucho reciclado (GCR) (M-GCR-19)	Mezclas asfálticas en caliente con cemento asfáltico modificado con grano de caucho reciclado (GCR) (M-GCR-19) + vía húmeda / seca
Unidad de medida.	Mezcla densa en caliente Tipo MDC-19	M3 - M2 – MI – GLB (Riesgo mayor al no poder controlar)
	Sub - base Granular clase A	M3 - M2 – MI – GLB (Riesgo mayor al no poder controlar)
	Base granular clase A	M3 - M2 – MI – GLB (Riesgo mayor al no poder controlar)

FACTOR DE RIESGO	APU DE CONTROL	EJEMPLO
	Mezclas asfálticas en caliente con cemento asfáltico modificado con grano de caucho reciclado (GCR) (M-GCR-19)	M3 - M2 – MI – GLB (Riesgo mayor al no poder controlar)
Ausencia de porcentaje de desperdicio.	Mezcla densa en caliente Tipo MDC-19 Sub - base Granular clase A Base granular clase A Mezclas asfálticas en caliente con cemento asfáltico modificado con grano de caucho reciclado (GCR) (M-GCR-19)	En ningún APU de control se señala el porcentaje de desperdicio en los recursos utilizados en el proceso constructivo.
Descripción deficiente en especificaciones de equipos.	Mezcla densa en caliente Tipo MDC-19 Sub - base Granular clase A Base granular clase A Mezclas asfálticas en caliente con cemento asfáltico modificado con grano de caucho reciclado (GCR) (M-GCR-19)	Equipo + fuerza + capacidad
Estimación de recursos del proceso constructivo.	Mezcla densa en caliente Tipo MDC-19 Sub - base Granular clase A Base granular clase A Mezclas asfálticas en caliente con cemento asfáltico modificado con grano de caucho reciclado (GCR) (M-GCR-19)	Se debe realizar un esquema RBS (Resources Breakdown Estructure – Estructura Desagregada de tareas) a nivel ítem que permita desarrollar unas tareas que se complementen con los recursos.

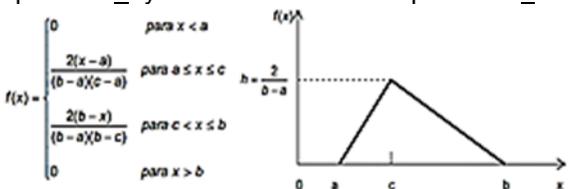
### 4.3 NIVEL DE INCIDENCIA DE LOS RIESGOS

Para la evaluación de los niveles de incidencia, se emplean métodos iterativos como herramienta de decisión que permita representar el comportamiento del proceso constructivo del APU de control en el tiempo. Para ello se seleccionaron tres factores de riesgo presentes en los APU de control, estableciendo así el valor unitario del material, el desperdicio del material y el rendimiento del equipo, como

los objetos del estudio, para analizar su variabilidad y comportamiento estadístico aleatorio, bajo las diferentes clases de distribución de probabilidad.

En la tabla 5. Factores de estudio, se detallan los criterios en los que se basaron la evaluación de los cuatro (4) APU's de control.

Tabla 7. Factores de estudio

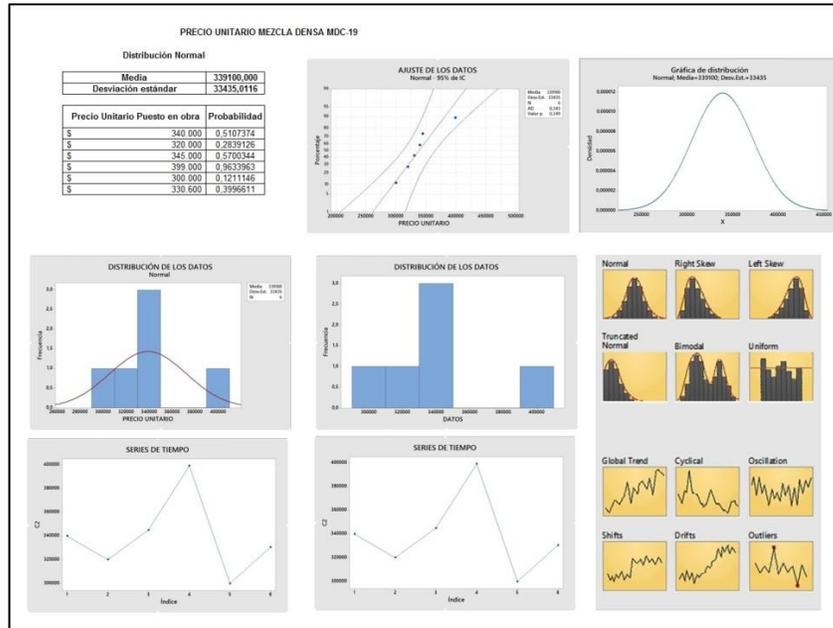
FACTOR DE ESTUDIO	AJUSTE DE DATOS	TEORÍA
Precio Unitario del material	Distribución Normal	Es una distribución de variable continua, su campo de acción se encuentra entre $[-\infty, \infty]$ . Está determinada por dos parámetros: la media y la desviación estándar.
Desperdicio del material	Distribución Uniforme	Es el modelo más simple, que plantea que los valores comprendidos en un intervalo de extremos $\underline{a}$ y $\underline{b}$ , tienen la misma probabilidad. $f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & \text{para } a \leq x \leq b \\ 0 & \text{para } x < a \text{ o } x > b \end{cases}$
Rendimiento del equipo que marca la actividad	Distribución Triangular	Se define por la forma de su función de densidad, y se basa en tres valores: el valor mínimo o pesimista $\underline{a}$ , el valor máximo u optimista $\underline{b}$ y la moda o valor más probable $\underline{c}$ . $f(x) = \begin{cases} 0 & \text{para } x < a \\ \frac{2(x-a)}{(b-a)(c-a)} & \text{para } a \leq x \leq c \\ \frac{2(b-x)}{(b-a)(b-c)} & \text{para } c < x \leq b \\ 0 & \text{para } x > b \end{cases}$ 

#### 4.4 ESTIMACIÓN DEL RIESGO PROBABLE

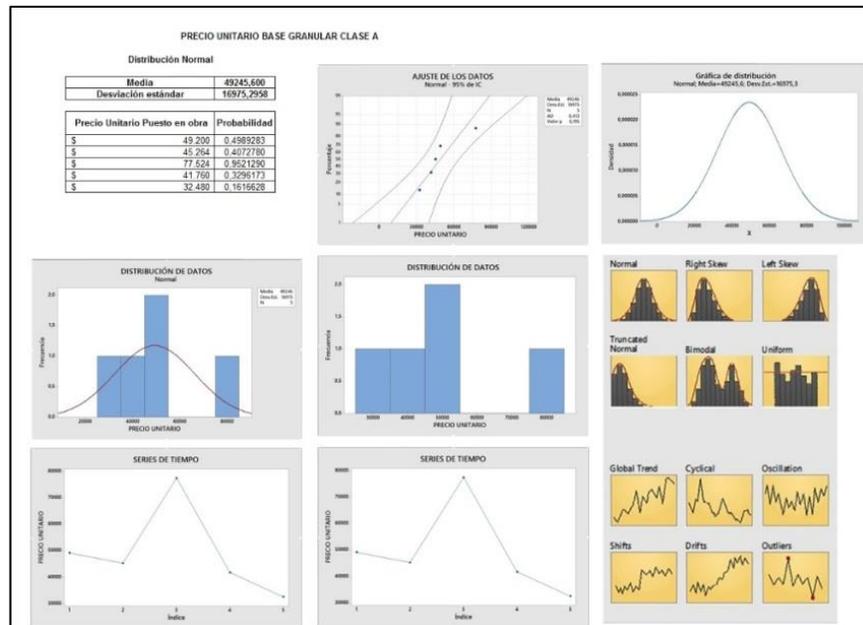
##### Distribución del precio unitario del material

Se tomaron de los presupuestos en estudio, el costo unitario del material, y a través del cálculo de los parámetros de la distribución normal, se halló la media y la desviación típica de los datos para la construcción de la gráfica, la cual fue determinada mediante el ajuste de los datos utilizados, como se muestra en las Gráficas 1, 2, 3 y 4:

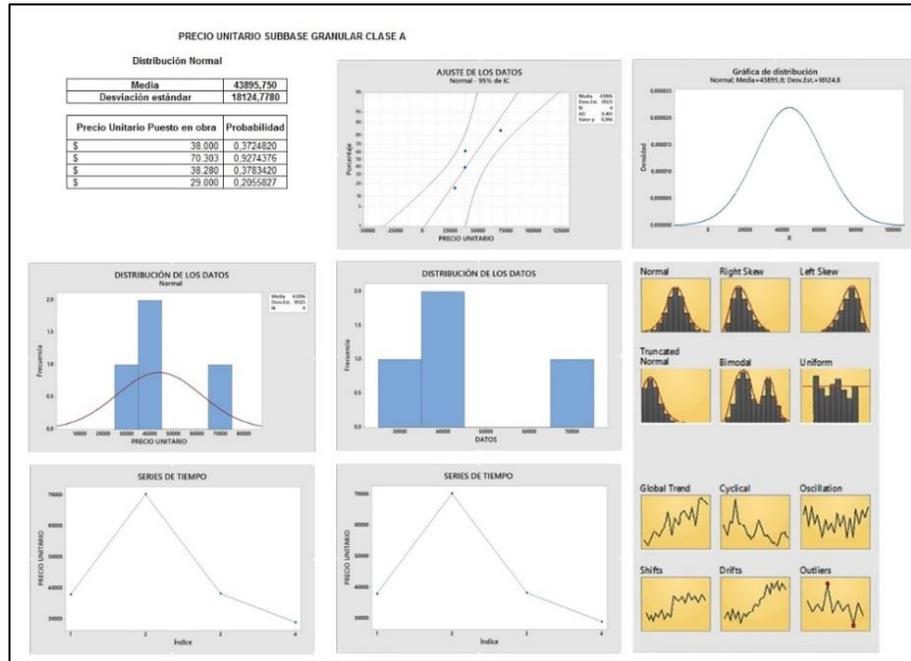
Gráfica 1. Distribución Precio Mezcla Densa MDC-19



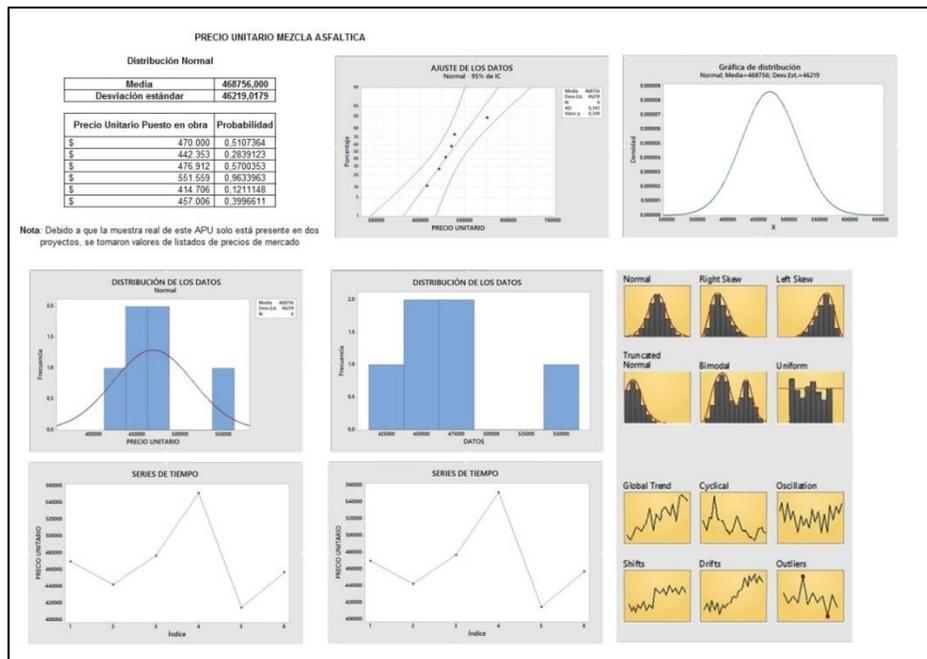
Gráfica 2. Distribución Precio Base Granular Clase A



Gráfica 3. Distribución Precio Subbase Granular Clase A



Gráfica 4. Distribución Precio Mezcla Asfáltica



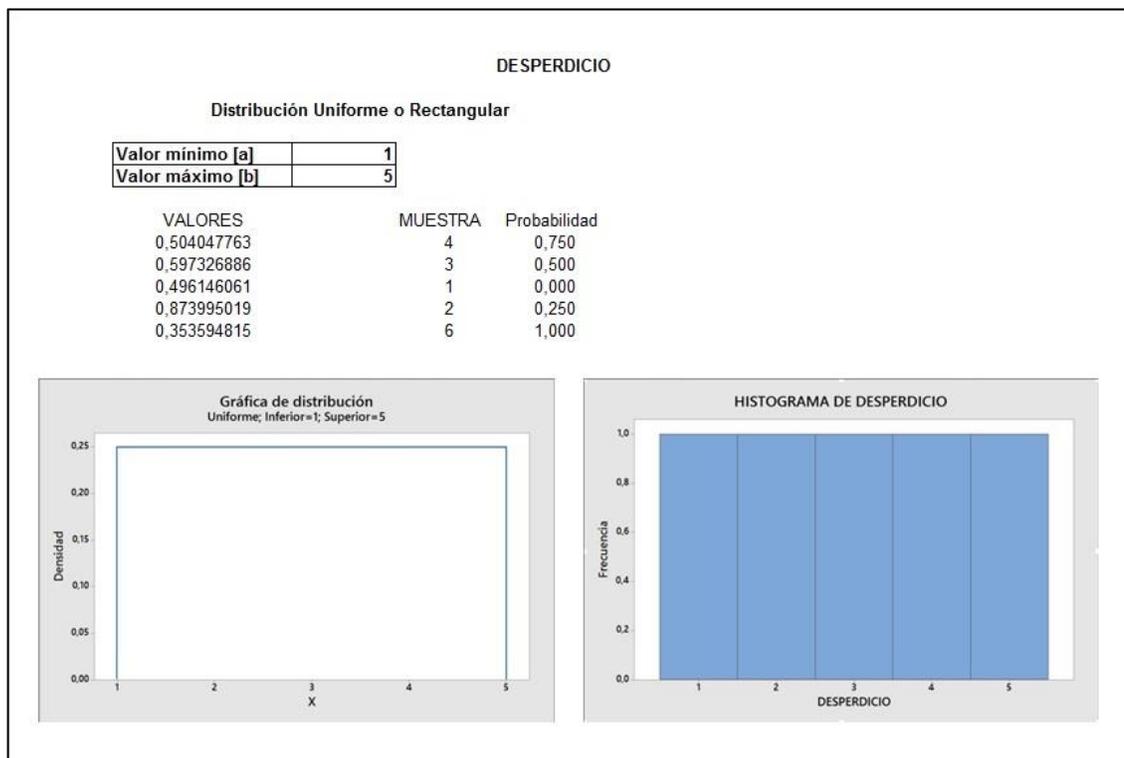
### Distribución del desperdicio del material

Para el análisis del desperdicio, se manejó un porcentaje entre el 1% y el 5%, basados en la experiencia y representados mediante una distribución uniforme.

Así los intervalos estadísticos serían:  $a=1$  y  $b=5$  con la misma probabilidad.

Es importante aclarar que, en el caso de estudio, los cuatro (4) APU de control coinciden con el rango de desperdicio, de este modo la distribución es la misma, como se detallada en la Gráfica 5.

Gráfica 5. Distribución Porcentaje de Desperdicio



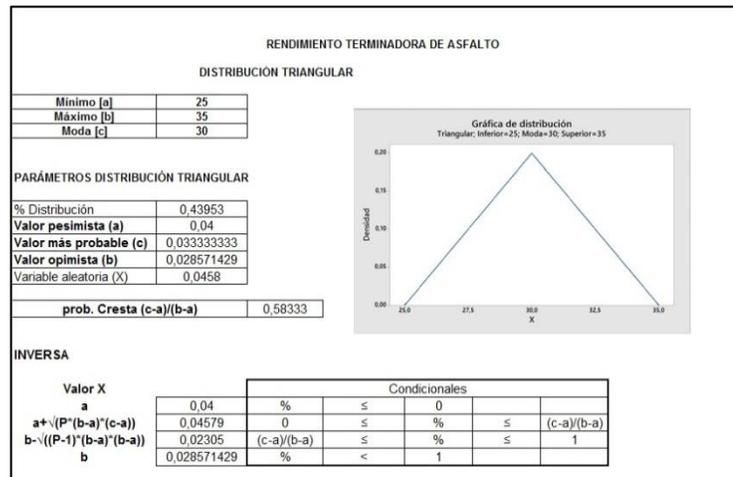
### Distribución del rendimiento del Equipo

De acuerdo a la información recopilada respecto a los rendimientos de equipos, se ajustaron los datos a una distribución triangular, ya que esta permite describir una

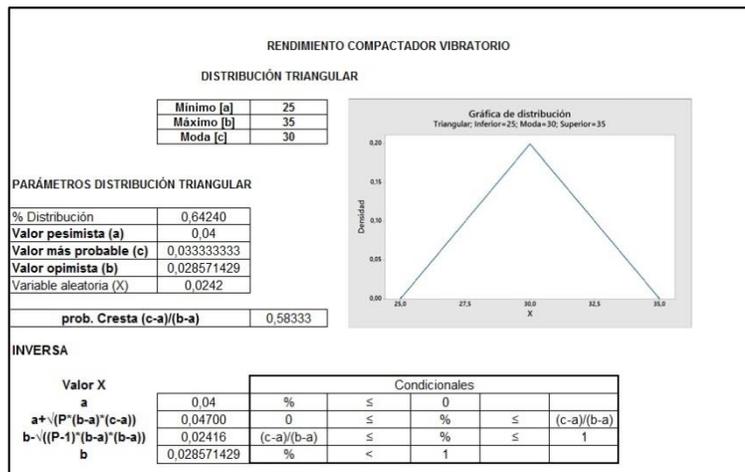
población de la cual hay muy pocos datos, y básicamente con la consigna de tres valores se obtiene el siguiente análisis.

En las Gráficas 6, 7, 8 y 9 se señalan los valores calculados para esta distribución.

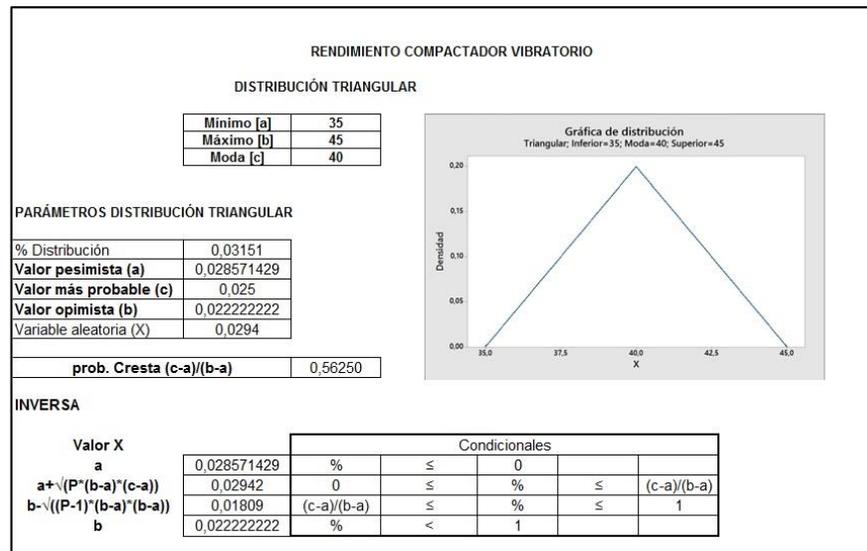
Gráfica 6. Distribución Rendimiento Terminadora de Asfalto – APU Mezcla Densa MDC-19



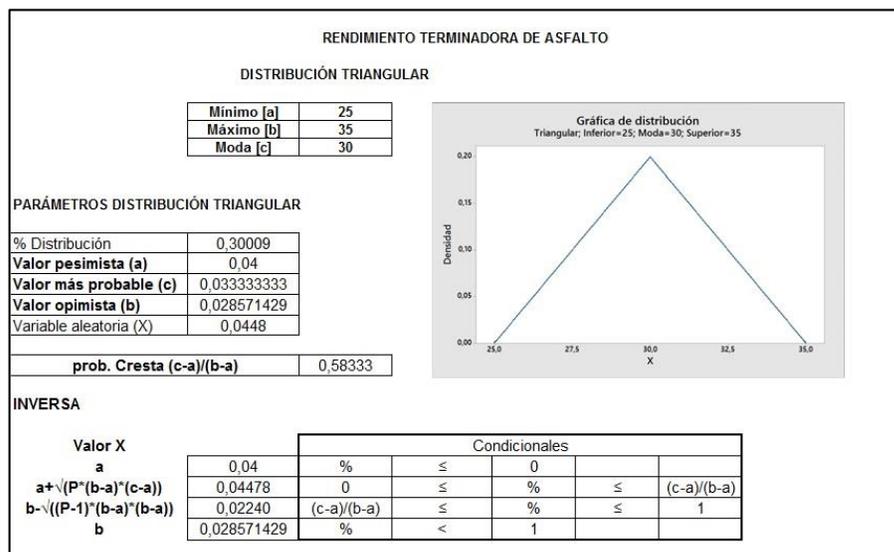
Gráfica 7. Distribución Rendimiento Compactador Vibratorio – APU Base Granular Clase A



Gráfica 8. Distribución Rendimiento Compactador Vibratorio – APU Subbase Granular Clase A



Gráfica 9. Distribución Rendimiento Terminadora de Asfalto – APU Mezcla Asfáltica (GCR) (M-GCR-19)



## 4.5 RESULTADOS GENERALES

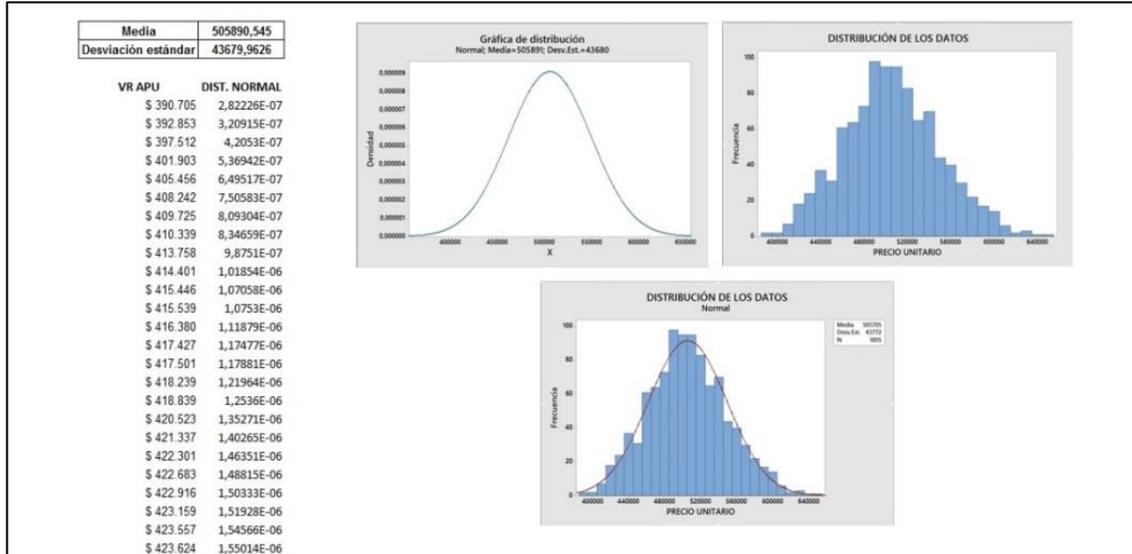
Con la evaluación estadística realizada a cada factor de estudio, se procedió a registrar los datos en un formato estándar de APU, que permitió estimar el riesgo probable y compararlo con el porcentaje de imprevistos.

Gráfica 10. APU Estándar

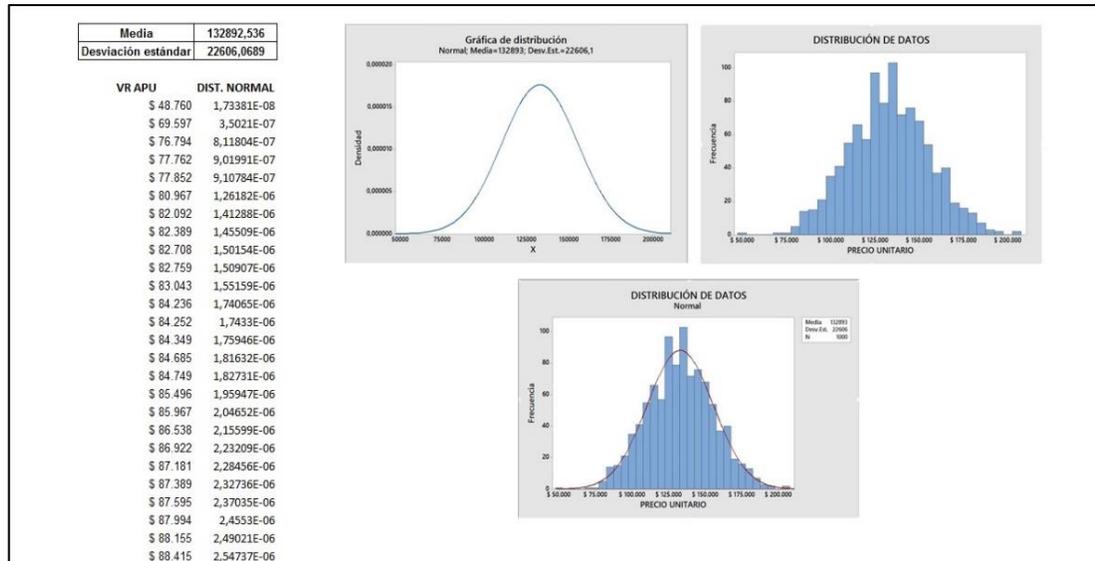
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS							%/CD
ITEM	DESCRIPCIÓN (PROCESO o TAREA)					UNIDAD	
	MEZCLA DENSA EN CALIENTE TIPO MDC-19					M3	
<b>I MATERIALES</b>							
DESCRIPCIÓN	ALCANCE	UNIDAD	CONSUMO	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL		%/CD
Material Mezcla densa MDC-19	Desperdicio 0.05	m3	1.30	\$ 333.676	\$ 433.779		
					\$ 0		
					\$ 0		
					\$ 0		
					\$ 0		
					Subtotal:	\$ 433.779	74%
<b>II EQUIPOS</b>							
DESCRIPCIÓN			RENDIMIENTO	TARIFA	VALOR PARCIAL		%/CD
Herramienta Menor		%	0.050	\$ 2.273	\$ 114		
Terminadora de Asfalto			0.092	\$ 129.150	\$ 89.417		
Compactador vibratorio			0.033	\$ 94.500	\$ 3.150		
Compactador neumático			0.033	\$ 94.500	\$ 3.150		
					Subtotal:	\$ 95.831	16%
<b>III MANO DE OBRA</b>							
DESCRIPCIÓN			RENDIMIENTO	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL		%/CD
Obreros (8)			0.004	\$ 372.960	\$ 1.554		
Rastrilleros (2)			0.004	\$ 102.564	\$ 427		
Oficial (1)			0.004	\$ 69.930	\$ 291		
					\$ 0		
					Subtotal:	\$ 2.273	0.4%
<b>IV OTROS</b>							
DESCRIPCIÓN			M3 o TON/KM	PRECIO UNITARIO	VALOR PARCIAL		%/CD
Mezcla Densa MDC-19	Transporte		56.250	\$ 980	\$ 55.125		
					\$ 0		
					\$ 0		
					\$ 0		
					Subtotal:	\$ 55.125	9%
					<b>COSTO DIRECTO:</b>	<b>\$ 587.007</b>	
					AIUS:	\$ 0	
					<b>COSTO UNITARIO:</b>	<b>\$ 587.007</b>	

**4.5.1 Validación de Resultados.** Con la simulación desarrollada se normalizan los datos obtenidos de la sumatoria de todos los resultados probables, otorgando un modelo de distribución normal.

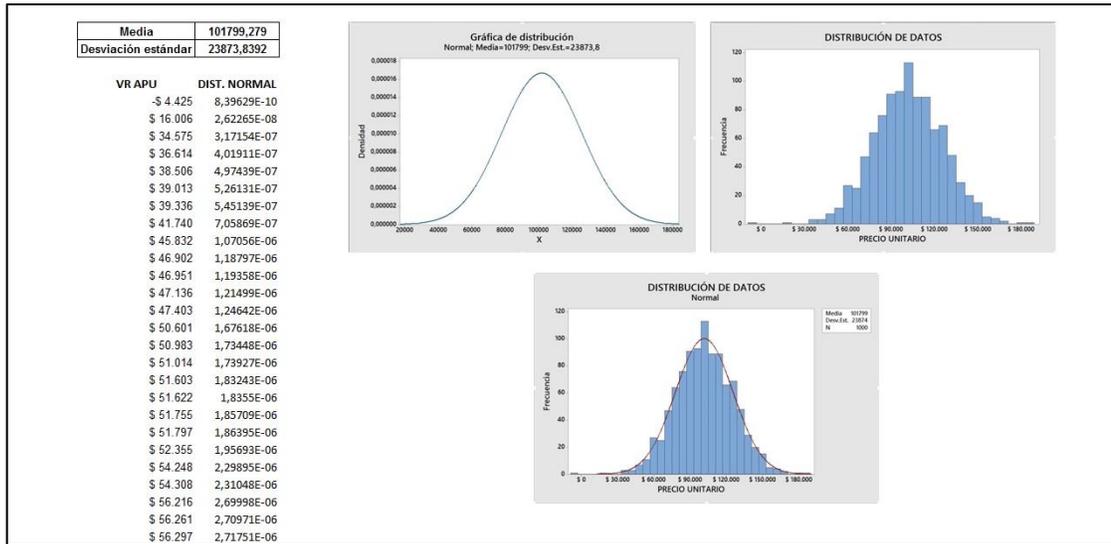
Gráfica 11. Distribución Normal APU Mezcla Densa en caliente tipo MDC-19



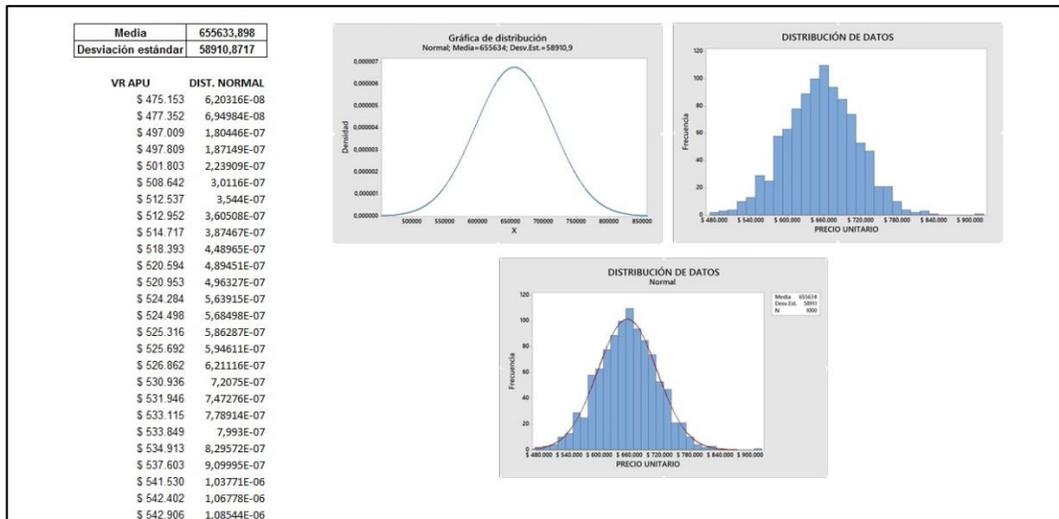
Gráfica 12. Distribución Normal APU Base Granular Clase A



Gráfica 13. Distribución Normal APU Subbase Granular Clase A



Gráfica 14. Distribución Normal APU Mezcla Asfáltica en caliente con cemento asfáltico modificado con grano de caucho reciclado (GCR) (M-GCR-19)



**4.5.2 Estimación del riesgo probable.** Para la estimación de la probabilidad de los tres factores de estudio (Valor unitario del material, desperdicio del material y rendimiento del equipo que marca la actividad), se tomó como base el promedio

de los datos recopilados en los presupuestos y con el ajuste de las distribuciones se determinó la cantidad de valores que superaron el criterio base.

Gráfica 15. Criterio Base - Factores de estudio

Mezcla densa en caliente Tipo MDC-19			
PROYECTO (VÍAS)	VALOR UNITARIO DEL MATERIAL	DESPERDICIO	RENDIMIENTO
COVEÑAS	\$340.000	1%	0,0333
SAN ALBERTO	\$320.000		0,0400
CIENAGA	\$345.000		0,0333
CUNDINAMARCA	\$399.000	5%	0,0333
QUINDIO	\$300.000		0,0333
RISARALDA	\$330.600		0,0333
<b>CRITERIO BASE (Promedio)</b>	<b>\$339.100</b>	<b>3%</b>	<b>0,0344</b>

Base granular clase A			
PROYECTO (VÍAS)	VALOR UNITARIO DEL MATERIAL	DESPERDICIO	RENDIMIENTO
COVEÑAS	\$49.200	1%	0,0333
CIENAGA	\$45.264		0,0333
CUNDINAMARCA	\$77.524		0,0333
QUINDIO	\$41.760	5%	0,0333
RISARALDA	\$32.480		0,0333
<b>CRITERIO BASE (Promedio)</b>	<b>\$49.246</b>	<b>3%</b>	<b>0,0333</b>

Subbase granular clase A			
PROYECTO (VÍAS)	VALOR UNITARIO DEL MATERIAL	DESPERDICIO	RENDIMIENTO
CIENAGA	\$38.000	1%	0,0250
CUNDINAMARCA	\$70.303		0,0250
QUINDIO	\$38.280	5%	0,0250
RISARALDA	\$29.000		0,0250
<b>CRITERIO BASE (Promedio)</b>	<b>\$43.896</b>	<b>3%</b>	<b>0,0250</b>

Mezclas asfálticas en caliente con cemento asfáltico modificado con grano de caucho reciclado (GCR) (M-GCR-19)			
PROYECTO (VÍAS)	VALOR UNITARIO DEL MATERIAL	DESPERDICIO	RENDIMIENTO
QUINDIO	\$470.000	1%	0,0333
RISARALDA	\$470.000	5%	0,0333
<b>CRITERIO BASE (Promedio)</b>	<b>\$470.000</b>	<b>3%</b>	<b>0,0333</b>

Gráfica 16. Resultados de la estimación de riesgos

MEZCLA DENSA			
FACTORES DE ESTUDIO	CRITERIO BASE	PROBABILIDAD	PORCENTAJE
VALOR UNITARIO	\$339.100	506	51%
DESPERDICIO	0,03	340	34%
RENDIMIENTO	0,0344	590	59%

BASE GRANULAR			
FACTORES DE ESTUDIO	CRITERIO BASE	PROBABILIDAD	PORCENTAJE
VALOR UNITARIO	\$49.246	523	52%
DESPERDICIO	0,03	372	37%
RENDIMIENTO	0,0333	548	55%

SUBBASE GRANULAR			
FACTORES DE ESTUDIO	CRITERIO BASE	PROBABILIDAD	PORCENTAJE
VALOR UNITARIO	\$43.896	496	50%
DESPERDICIO	0,03	381	38%
RENDIMIENTO	0,0250	538	54%

MEZCLA ASFÁLTICA			
FACTORES DE ESTUDIO	CRITERIO BASE	PROBABILIDAD	PORCENTAJE
VALOR UNITARIO	\$470.000	468	47%
DESPERDICIO	0,03	394	39%
RENDIMIENTO	0,0333	569	57%

De acuerdo a los resultados obtenidos, se clasificaron los factores de estudio en:

**Alto:** Rendimiento del equipo que marca la actividad.

**Medio:** Valor unitario del material.

**Bajo:** Desperdicio del material.

**4.5.3 Comparación con el porcentaje de imprevistos.** Para la comparación de la probabilidad de exceder el porcentaje de imprevistos, se tomó como base el promedio de los datos recopilados en los presupuestos y con el ajuste de la distribución normal se determinó la cantidad de valores que superaron el criterio base.

Gráfica 17. Criterio Base – Costo Directo e Imprevistos

Mezcla densa en caliente Tipo MDC-19		
PROYECTO (VÍAS)	COSTO DIRECTO (CD)	CD + I
COVEÑAS	\$493.117	\$517.773
SAN ALBERTO	\$483.605	\$507.786
CIENAGA	\$478.623	\$502.554
CUNDINAMARCA	\$551.956	\$579.554
QUINDIO	\$424.706	\$445.941
RISARALDA	\$448.956	\$471.404
<b>CRITERIO BASE (Promedio)</b>	<b>\$480.160</b>	<b>\$504.169</b>

Base granular clase A		
PROYECTO (VÍAS)	COSTO DIRECTO (CD)	CD + I
COVEÑAS	\$131.129	\$137.685
CIENAGA	\$104.613	\$109.844
CUNDINAMARCA	\$152.617	\$160.248
QUINDIO	\$112.191	\$117.800
RISARALDA	\$75.861	\$79.654
<b>CRITERIO BASE (Promedio)</b>	<b>\$115.282</b>	<b>\$121.046</b>

Subbase granular clase A		
PROYECTO (VÍAS)	COSTO DIRECTO (CD)	CD + I
CIENAGA	\$92.827	\$97.469
CUNDINAMARCA	\$140.888	\$147.932
QUINDIO	\$105.325	\$110.591
RISARALDA	\$68.994	\$72.444
<b>CRITERIO BASE (Promedio)</b>	<b>\$102.009</b>	<b>\$107.109</b>

Mezclas asfálticas en caliente con cemento asfáltico modificado con grano de caucho reciclado (GCR) (M-GCR-19)		
PROYECTO (VÍAS)	COSTO DIRECTO (CD)	CD + I
QUINDIO	\$637.206	\$669.066
RISARALDA	\$623.206	\$654.366
<b>CRITERIO BASE (Promedio)</b>	<b>\$630.206</b>	<b>\$661.716</b>

Gráfica 18. Resultados de comparación con el porcentaje de Imprevistos

MEZCLA DENSA			
FACTORES DE ESTUDIO	CRITERIO BASE	PROBABILIDAD	PORCENTAJE
COSTO DIRECTO (CD)	\$480.160	709	71%
CD + IMPREVISTO	\$504.169	504	50%

BASE GRANULAR			
FACTORES DE ESTUDIO	CRITERIO BASE	PROBABILIDAD	PORCENTAJE
COSTO DIRECTO (CD)	\$115.282	781	78%
CD + IMPREVISTO	\$121.046	705	71%

SUBBASE GRANULAR			
FACTORES DE ESTUDIO	CRITERIO BASE	PROBABILIDAD	PORCENTAJE
COSTO DIRECTO (CD)	\$102.009	498	50%
CD + IMPREVISTO	\$107.109	419	42%

MEZCLA ASFÁLTICA			
FACTORES DE ESTUDIO	CRITERIO BASE	PROBABILIDAD	PORCENTAJE
COSTO DIRECTO (CD)	\$630.206	670	67%
CD + IMPREVISTO	\$661.716	483	48%

El estudio determinó que el porcentaje de imprevistos calculado de forma tradicional posee un alto porcentaje de ser superado.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El trabajo de recopilación de información fue una actividad que limitó los datos de análisis, debido a políticas de confidencialidad de las empresas y al temor de los profesionales de la construcción al plagio de su información.
- En una futura monografía o trabajo complementario al presente documento, se recomienda encaminar la metodología al procedimiento que debe seguir la buena práctica de la mejora continua, que proyecte los análisis de precios unitarios (APU), a la calidad del producto, como la del proyecto en general.
- Cabe resaltar la generación de un formato estándar de APU, que contemple en su totalidad el modelo del proceso que se debe realizar en obra y mitigue el impacto de los factores de riesgos identificados.
- De acuerdo al listado de factores de riesgos es importante enfatizar en la redacción de forma clara y precisa del alcance del ítem, que garantice la caracterización del producto final, y elimine la incertidumbre que genera una información pobre.
- Conforme al análisis realizado de los factores de estudio escogidos y ajustados a las distribuciones de probabilidad, se genera un proceso dinámico que representa el nivel de incidencia de los riesgos propuestos.
- Con la evaluación de los resultados mediante la estadística, se genera la importancia de la creación de registros históricos de la información, que acondicionados a modelos numéricos permitan representar un proceso a través del tiempo y obtenga datos cuantitativos factibles.

- La clasificación de los factores de estudio arrojó como resultado que el rendimiento del equipo posee un riesgo alto, el valor unitario del material un riesgo medio y el desperdicio un riesgo bajo, en probabilidad de superar los promedios de los valores consignados en los presupuestos recopilados.
- Los valores obtenidos del ajuste de la distribución normal del costo directo de los APU's de Control, mostraron alta probabilidad de exceder los porcentajes de imprevistos estimados con la metodología tradicional.

## BIBLIOGRAFÍA

ARBOLEDA, S. Análisis de productividad, rendimientos y consumo de mano de obra en procesos constructivos, elemento fundamental en la fase de planeación. [En línea]. Disponible en internet: < <http://www.bdigital.unal.edu.co/45932/1/71792750.2014.pdf>> (Consultado el 15 de abril de 2017)

ARCINIEGAS, F. Control de costo y presupuesto de obra para el proyecto Edificio Centenario por parte de ferretería Al Día S.A. Manual sobre el control de costo y presupuesto de obra mediante la herramienta computacional SAO (Sistema Administrativo de Obra). [En línea]. Disponible en internet: < <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/2115/2/136255.pdf>> (Consultado el 15 de abril de 2017)

DUARTE, A; MARTINEZ, S. Manual práctico de control de costos en obras civiles, aplicado a construcción de edificaciones. Enfoque básico para el ingeniero. [En línea]. Disponible en internet: < <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAS0661.pdf>> (Consultado el 15 de abril de 2017)

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, Inc. (PMI) (2013). Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK) (5a. ed.). Impreso en los Estados Unidos de América. Project Management Institute, Inc. Cap. 7. Pág. 193 – 226

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, Inc. (PMI) (2013). Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK) (5a. ed.). Impreso en los Estados Unidos de América. Project Management Institute, Inc. Cap. 11. Pág. 309 – 354

SANCHEZ, J; CUADROS, A. Análisis de técnicas de seguimiento y control de proyectos. Aplicación en la industria de construcción de botes. [En línea]. Disponible en internet: < <https://revistas.upb.edu.co/index.php/cienciasestrategicas/article/view/2900/2545>> (Consultado el 15 de abril de 2017)

ZULETA, ROYER Modelo de costeo y planeación presupuestal de proyectos de ingeniería para una empresa del sector privado. 2006. Pág.3

## **ANEXOS**

**Anexo A. Compilado – Metodología de Pareto**

**Anexo B. Coveñas APU (20-80)**

**Anexo C. SanAlberto APU (20-80)**

**Anexo D. Ciénaga APU (20-80)**

**Anexo E. Cundinamarca APU (20-80)**

**Anexo F. Quindío APU (20-80)**

**Anexo G. Risaralda APU (20-80)**

**Anexo H. APUs de Control**

**Anexo I. Simulación Mezcla Densa**

**Anexo J. Simulación BaseG**

**Anexo K. Simulación SubbaseG**

**Anexo L. Simulación Mezcla Asfáltica**