

EVALUACIÓN DE LOS ÍNDICES DE ANTICIPACIÓN DE COSTOS PARA  
PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN.

JONATHAN GARCÍA GÓMEZ  
KENT ANTONY SANTOS AMADO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2015

EVALUACIÓN DE LOS ÍNDICES DE ANTICIPACIÓN DE COSTOS PARA  
PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN.

JONATHAN GARCÍA GÓMEZ  
KENT ANTONY SANTOS AMADO

Trabajo de Grado para optar el título de  
Ingeniero Civil

Director  
GUILLERMO MEJÍA AGUILAR  
PhD. Ingeniería De La Construcción

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA

2015

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	12
1. MARCO TEÓRICO	14
1.1 MÉTODO DEL VALOR GANADO	15
1.2 PRONÓSTICOS CON LA METODOLOGÍA EVM	15
2. OBJETIVO Y ALCANCE	17
2.1 OBJETIVO GENERAL	17
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	17
3. METODOLOGÍA	18
3.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN Y MÉTODO DE ANÁLISIS	18
3.2 DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES	19
3.2.1 Desviación del costo final	19
3.2.2 Anticipación	20
3.2.3 CPI	22
3.2.3.1 CPI Metodología 1, área normalizada	23
3.2.3.2 CPI Metodología 2, error de pronóstico	23
3.2.3.3 CPI Metodología 3, factor de sobre costo	23
4. RESULTADOS	24
4.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO DE LAS VARIABLES	24
4.2 PRUEBAS DE NORMALIDAD Y VALORES EXTREMOS	26
4.2.1 Pruebas de normalidad	26
4.2.2 Valores extremos	27
4.3. CORRELACIONES	27
4.4 ANÁLISIS GRÁFICO	31
4.5 TABLAS DE CONTINGENCIA	36

5. DISCUSIÓN	39
6. CONCLUSIONES	41
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

## LISTA DE GRAFICAS

	pág.
Gráfica 1. Control de costos	14
Gráfica 2. Avance del proyecto vs costo del proyecto	20
Gráfica 3. Avance del proyecto vs costos normalizados	21
Gráfica 4. Correlación desviación final del cronograma-desviación final en costo para los 3 grupos	28
Gráfica 5. Correlación desviación final del cronograma-desviación final en costo grupo 1	28
Gráfica 6. Correlación desviación final del cronograma-desviación final en costo grupo 2	29
Gráfica 7. Correlación desviación final del cronograma-desviación final en costo grupo 3	29
Gráfica 8. Correlación FCD-anticipación	30
Gráfica 9. Metodología 1 área normalizada	31
Gráfica 10. Metodología 2 error de pronóstico	32
Gráfica 11. Metodología 3 factor de sobre costo	32
Gráfica 12. Gráfica de valores normalizados vs porcentaje de avance para los proyectos del grupo 1	33
Gráfica 13. Gráfica de valores normalizados vs porcentaje de avance para los proyectos del grupo 2	34
Gráfica 14. Gráfica de valores normalizados vs porcentaje de avance para los proyectos del grupo 3	34
Gráfica 15. Representación de un proyecto mediante los 3 métodos	35

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Análisis descriptivo de las variables obtenidas del método 1 de cálculo de los índices.	24
Tabla 2. Análisis descriptivo de las variables obtenidas del método 2 de cálculo de los índices	25
Tabla 3. Análisis descriptivo de las variables obtenidas del método 3 de cálculo de los índices	25
Tabla 4. Pruebas de normalidad para las variables calculadas por el método 1,2 y 3	26
Tabla 5. Valores extremos para las variables calculadas por el método 1,2 y 3	27
Tabla 6. Tabla de contingencia método 1 sobre costo-índices	36
Tabla 7. Tabla de contingencia método 2 sobre costo-índices	37
Tabla 8. Tabla de contingencia método 3 sobre costo-índices	37

## RESUMEN

**TÍTULO:** EVALUACIÓN DE LOS ÍNDICES DE ANTICIPACIÓN DE COSTOS PARA PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN\*

**AUTORES:** JONATHAN GARCÍA GÓMEZ Y KENT ANTONY SANTOS\*\*

**PALABRAS CLAVE:** índices de anticipación, costos, sobrecostos, Desviación de costo Final, Anticipación, Índice de Predicción de Costos (CPI).

### DESCRIPCIÓN:

Un proyecto de construcción exitoso es aquel que se desarrolla dentro del costo y tiempo presupuestado. Para dar cumplimiento a lo anterior, se debe garantizar que los sistemas de control del proyecto sean los más adecuados para el tipo de proyecto. Dentro de las técnicas de control se encuentran los métodos determinísticos como el método de valor ganado, y los métodos probabilísticos. En estos sistemas de control, se manejan una serie de índices los cuales dan una medida del comportamiento del proyecto con respecto a los costos y tiempos programados. Este artículo expone un análisis de los índices de anticipación de costos para proyectos de construcción. Los índices de anticipación permiten pronosticar y monitorear los sobrecostos del proyecto, se calculan a partir de tres metodologías probabilísticas, área normalizada, error de pronóstico y factor de sobrecosto. El objetivo es analizar que método de cálculo de los índices de anticipación de costos es más efectivo, proporcionando una predicción acerca del comportamiento del proyecto y que así mismo se puedan tomar acciones oportunas. La evaluación se realiza por medio de métodos estadísticos como análisis descriptivo de las variables, pruebas de normalidad, valores extremos, correlaciones entre las variables en estudio, tablas de contingencia y análisis gráfico.

---

\*Trabajo de grado

\*\*Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Guillermo Mejía Aguilar, Ingeniero Civil.

## ABSTRACT

**TITLE:** EVALUATION OF ANTICIPATION INDEX OF COST FOR CONSTRUCTION PROJECTS\*

**AUTHORS:** JONATHAN GARCÍA GÓMEZ Y KENT ANTONY SANTOS\*\*

**KEY WORDS:** anticipation indexes, cost overruns, Final cost deviation, Timeliness, Forecasting Cost Index (CPI).

### DESCRIPTION:

A successful construction project is one that is developed within the budgeted cost and time. To comply with the above, it must ensure that the control systems of the project are the most suitable for the type of project. Within control techniques are deterministic methods like earned value method and probabilistic methods. In these control systems, a number of indices which give a measure of the performance of the project with respect to cost and scheduled time are handled. This article presents an analysis of the anticipation indexes of costs for construction projects. The anticipation indexes allow forecast and monitor project overruns are calculated from three probabilistic methodologies, normalized area, forecast error and overrun factor. The aim is to analyze that method of calculating the anticipation indexes is more cost effective, providing a prediction about the behavior of the project and so it can take appropriate action. The evaluation was performed by means of statistical methods such as descriptive analysis of the variables, testing normality, outliers, correlations between the study variables, contingency tables and graphical analysis.

---

\*Bachelor Thesis

\*\*Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Guillermo Mejía Aguilar, Ingeniero Civil

## INTRODUCCIÓN

Un proyecto de construcción exitoso es aquel que se lleva a cabo dentro del tiempo y el costo presupuestado. Sin embargo, frecuentemente en su ejecución se presentan problemas de sobrecostos y retrasos asociados a diferentes factores como la complejidad del proyecto, la ubicación geográfica, el impacto ambiental, entre otros <sup>[1]</sup>. En Colombia por ejemplo, los retrasos y sobrecostos en los proyectos, tanto públicos como privados, son comunes. Entre ellos se destaca la construcción del túnel de la línea, un proyecto evaluado inicialmente en \$629.000 millones de pesos, que inició labores en diciembre de 2009 y tenía presupuestado finalizar en julio de 2013. Sin embargo, a la fecha no ha terminado la etapa de construcción y se estima que su costo final será de más de 1 billón de pesos <sup>[2]</sup>. Otro caso en particular es la construcción de la Fase III de Transmilenio cuyo presupuesto inicial fue \$1,15 billones de pesos, y que a los pocos meses de iniciar su construcción, el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) registró sobrecostos cercanos a los 95 mil millones de pesos <sup>[3]</sup>. Estos hechos, evidencian que los sistemas de control utilizados no son los más adecuados para tomar acciones oportunas.

Para poder llevar a cabo un mejor control sobre los proyectos, se han desarrollado varias técnicas que permiten pronosticar y monitorear los sobrecostos del proyecto basados en metodologías determinísticas o probabilísticas <sup>[1]</sup>. El método determinístico más usual es el método del valor ganado (Earned Value Method). Este método es una herramienta de control utilizada en la gerencia de proyectos que compara los costos y el tiempo con el trabajo realizado. Esta metodología proporciona una mejor visión del proyecto en términos de alcance, da una alerta temprana a los problemas y una predicción sobre la desviación de los proyectos <sup>[4]</sup>. Sin embargo, estos enfoques deterministas no consideran el impacto variable que los eventos y las tendencias pueden tener en un proyecto. Estos son típicamente menos precisos que los enfoques probabilísticos <sup>[1]</sup>. Los métodos probabilísticos proporcionan una serie de índices de predicción. Éstos índices permiten al equipo a cargo del proyecto tomar decisiones oportunas para evitar o mitigar problemas futuros. Estas metodologías involucran intervalos de confianza a un mejor modelo de variabilidad e incertidumbre de los proyectos <sup>[5]</sup>, lo que permite al planificador hacer estimaciones con un grado de certeza suficiente para reducir al mínimo la variabilidad <sup>[1]</sup>.

Adicionalmente, se han propuesto índices de anticipación de costos, calculados con base en el error entre el costo real y el costo presupuestado, o con base en el área bajo la curva entre el valor real del proyecto y el costo pronosticado, los cuales proveen información que es difícil interpretar y poco pragmática aplicar. A simple vista, estos valores probablemente no manifiestan lo que significan realmente y requieren de un amplio estudio a fin de determinar cuál de estos índices proporciona una mejor anticipación. Es importante hacer un análisis a fondo, interpretando estos

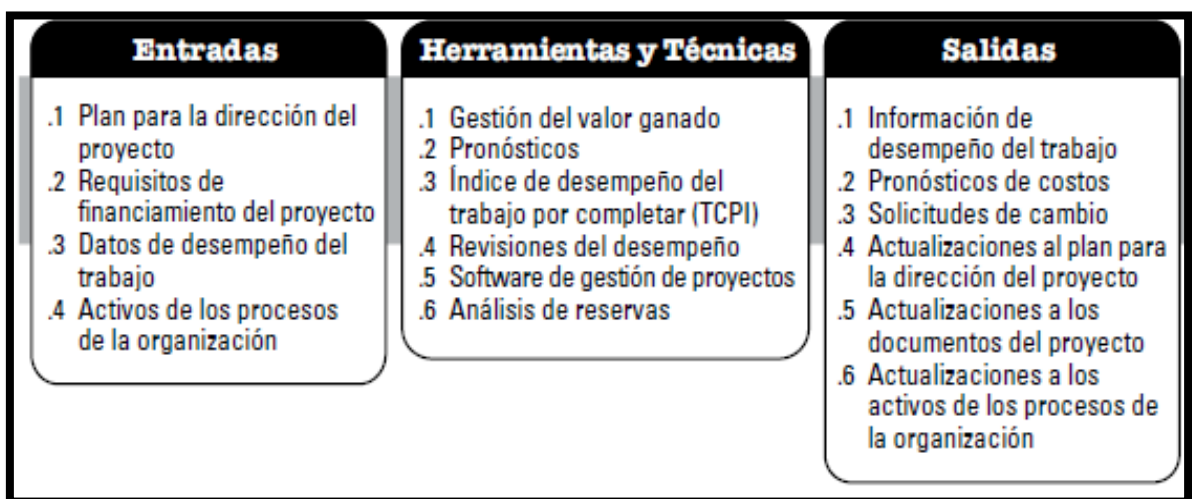
valores de diferentes formas. La incertidumbre de no conocer cuál índice es más confiable conlleva a formular la siguiente pregunta de investigación, ¿Qué metodología proporciona un mejor índice de anticipación de costos para poder dar el pronóstico más acertado a lo que pueda suceder en el futuro del proyecto?

## 1. MARCO TEÓRICO

Un proyecto de construcción se desenvuelve dentro de un ciclo que incluye tres grandes fases, la planificación, la programación y el control. Dentro de la planificación se determinan los objetivos y el alcance del proyecto, los recursos necesarios, la organización del proyecto y otros factores importantes. En la programación se define la secuencia de actividades y el tiempo que tomará el desarrollo de las mismas, se programan y asignan los recursos (mano de obra, dinero, materiales, etc.). Finalmente, el control es la fase en la que se mantiene un seguimiento al proyecto para que no pierda de rumbo sus objetivos, se controlan los tiempos, los costos, la calidad entre otros. Cada fase del proyecto es importante e imprescindible para su desarrollo exitoso, a continuación se describe de manera más detallada los sistemas implementados por el PMI (Project Management Institute) para el control de costos de un proyecto.

El control de costos es el proceso de monitorear el estado del proyecto para actualizar el presupuesto y gestionar cambios en la línea base de costos [6]. Los beneficios que trae controlar los costos es que se pueda determinar las desviaciones que se presentan con respecto al presupuesto inicial, de esta manera se puede tomar las acciones correctivas necesarias. En la gráfica 1 se muestra el sistema de control que maneja el PMI, se clasifica en tres grandes fases, entradas, técnicas de control y salidas. En las entradas se definen los pasos, los datos necesarios para hacer el control de los costos y también los requisitos que se deben cumplir para poder efectuar el control. La siguiente fase, herramientas y técnicas describe los métodos que se utilizan para controlar los costos, y la última fase define los entregables para que el control de los costos se efectúe

**Gráfica 1.** Control de Costos .



Fuente: PMBOK Guide, 5 Edición 2013

## 1.1 MÉTODO DEL VALOR GANADO (EVM)

Es una metodología que ayuda a medir el desempeño y el avance del proyecto, es uno de los métodos más utilizados en la gestión de proyectos ya que es aplicable a todo tipo de proyecto en cualquier sector. Esta técnica combina la línea base de costos y la línea base de tiempos para crear una línea base de desempeño la cual facilitará la evaluación del avance del proyecto [6]. Una línea base de costos es el costo por unidad de tiempo, que muestra los costos de las actividades y sus reservas de contingencia [7].

Dentro de esta técnica de control de proyectos se encuentran las siguientes variables referentes al control de costos.

- **Valor planificado (PV)** es el presupuesto autorizado que se ha asignado al trabajo programado. Es el presupuesto autorizado asignado al trabajo que debe ejecutarse para completar una actividad o un componente de la estructura de desglose del trabajo [6].
- **Valor Ganado (EV)** es la medida del trabajo realizado en términos de presupuesto autorizado para dicho trabajo. Es el presupuesto asociado con el trabajo autorizado que se ha completado. El EV se utiliza a menudo para calcular el porcentaje completado de un proyecto [6].
- **Costo real o costo actual (AC)** es el costo incurrido por el trabajo llevado a cabo en una actividad durante un período de tiempo específico. Es el costo total en el que se ha incurrido para llevar a cabo el trabajo medido por el EV [6].
- **Variación del costo (CV)** es el monto del déficit o superávit presupuestario en un momento dado, expresado como la diferencia entre el valor ganado y el costo real. Es una medida del desempeño del costo en un proyecto.  $CV = EV - AC$  [6].
- **Índice de desempeño del costo (CPI)** es una medida de eficiencia del costo de los recursos presupuestados, expresado como la razón entre el valor ganado y el costo real. Se considera la métrica más crítica del EVM y mide la eficiencia del costo para el trabajo completado. Un valor de CPI inferior a 1,0 indica un costo superior al planificado con respecto al trabajo completado. Un valor de CPI superior a 1,0 indica un costo inferior con respecto al desempeño hasta la fecha [6].

$$CPI = EV / AC \dots\dots\dots(1)$$

## 1.2 PRONÓSTICOS CON LA METODOLOGÍA EVM

Conforme avanza el proyecto, se puede desarrollar un pronóstico en el que se proyecten condiciones y eventos a futuro, esto se hace basándose en la información de desempeño y conocimiento disponibles, se le conoce como pronóstico a la conclusión (EAC).

La estimación de costos a la conclusión se define como el costo total previsto de completar todo el trabajo, expresado como la suma del costo real a la fecha y la estimación hasta la conclusión [6]. La EAC se calcula mediante varios métodos que varían según el desempeño del proyecto y lo que se espera a futuro.

Si se espera que el desempeño que ha experimentado el proyecto a la fecha sea el mismo a futuro, la estimación a la conclusión se calcula así:

$$EAC=BAC/CPI \dots\dots\dots(2)$$

Si el trabajo a futuro se va a realizar según la tasa planificada.

$$EAC=AC+BAC-EVI \dots\dots\dots(3)$$

Este método tiene en cuenta el desempeño real del proyecto a la fecha, ya sea favorable o desfavorable [6].

## **2. OBJETIVO Y ALCANCE**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL.**

Determinar el índice de anticipación más apropiado para predecir sobrecostos de los proyectos, durante la etapa de construcción, para poder tomar acciones correctivas oportunas.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Calcular los índices de anticipación de costos de 30 proyectos de construcción, con base en 3 métodos de estandarización identificados en la literatura especializada.
- Evaluar los índices de anticipación de costos obtenidos a partir de las 3 metodologías de cálculo.

Este estudio se centra en el análisis de las metodologías usadas en la gestión de proyectos para anticipar sobrecostos en proyectos de construcción. El estudio se realiza con 30 proyectos ejecutados en Estados Unidos en los que se conoce el costo presupuestado y el costo final.

### **3. METODOLOGÍA**

La presente sección describe el método de investigación, la unidad de análisis, las técnicas de análisis estadísticos diseñadas para lograr dichos objetivos y finalmente, las variables involucradas en los análisis.

#### **3.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN Y MÉTODO DE ANÁLISIS**

Para lograr los objetivos anteriormente descritos, se implementó un estudio de análisis transversal el cual consistió en analizar un grupo de proyectos terminados recientemente (2008 a 2010), donde solamente nos interesaron sus resultados finales. Para este caso las variables que se estudiaron fueron: la desviación del costo final (FCD por sus siglas en inglés), La anticipación (Timeliness), calculado por medio de tres métodos diferentes, y el CPI que está en función de la anticipación.

El análisis comenzó con la obtención y organización de los datos de los proyectos en hojas de cálculo, son 30 proyectos de construcción ya terminados que se desarrollaron en Estados Unidos y que fueron ejecutados por tres empresas distintas con diferentes técnicas de gestión de proyectos, estos datos se dividieron en 3 subgrupos de 10 proyectos, cada subgrupo corresponde a una empresa, en los datos se especifica el tiempo en meses que duró el proyecto y el costo que tuvo en cada mes. Con estos datos se procedió a calcular los índices de anticipación de costos.

Los datos fueron estudiados por grupos, es decir, se tomó cada subgrupo de 10 proyectos y se hicieron los análisis estadísticos correspondientes, también se hizo un estudio estadístico para los 30 proyectos en conjunto. Con la ayuda de softwares especializados en estadística como SPSS y R, se empezó por hallar los datos descriptivos de las variables como la media, mediana, máximo, mínimo, coeficiente de asimetría y coeficiente de curtosis, este análisis descriptivo se hizo con el objetivo de saber en qué medida los datos se agrupan o se dispersan.

En este caso se contó con una muestra de 30 datos, por lo que se aplicó el test de normalidad Shapiro-Wilk para determinar si estos cumplen con una distribución normal y poder aplicar el análisis de varianzas, de lo contrario, aplicar pruebas no paramétricas.

Luego de hacer el test de normalidad, el análisis continuó con la obtención de los valores extremos de los datos en cuestión para encontrar los valores de los índices que más se alejan de la mediana, y así poder tener una noción del comportamiento de los proyectos.

Continuando con el análisis de los datos, se procedió a hacer una correlación estadística entre las variables Desviación del costo final (FCD) y Desviación del cronograma final (FSD por sus siglas en inglés) con el objetivo de estudiar si existe una relación de dependencia entre estas dos variables. El propósito fue estudiar si

el retraso en el cronograma influyó de alguna manera en que el proyecto presentase sobrecostos.

Una vez analizadas las correlaciones entre el FCD (final cost deviation) y el FSD (final Schedule deviation), se procedió a estudiar la dependencia o independencia que los índices presentan con respecto a las desviaciones de los costos (FCD). El objetivo fue analizar por medio de tablas de contingencia la frecuencia con la que las variables, anticipación y CPI, se presentan dentro de un rango establecido, para este caso, dado por la mediana obtenida por el análisis de cada subgrupo.

Adicional al análisis estadístico, se hizo un análisis gráfico para estudiar el comportamiento de los proyectos a medida que avanza su porcentaje de desarrollo. Primeramente, para cada proyecto, en una misma gráfica se trazó el costo en función del porcentaje de avance del proyecto y el costo final del mismo, también se trazaron las gráficas correspondientes a las tres metodologías de cálculo de la anticipación. Una vez obtenidas las gráficas de cada proyecto, se procedió a graficar el comportamiento de los proyectos en conjunto, es decir, se hizo una sola gráfica por metodología de cálculo para los 30 proyectos. De esta manera se pudo analizar el comportamiento de cada subgrupo de proyectos y comparar como fue su anticipación con respecto a los otros.

### 3.2 DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES

#### 3.2.1 Desviación del costo final

Esta variable es una relación entre la desviación del costo (cost deviation) y el costo base o costo presupuestado (baseline). Se calcula como se indica en las ecuaciones 4 y 5.

$$\text{desviación del costo} = \text{costo actual} - \text{costo base} \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{Desviación del costo final (\%)} = \frac{\text{desviación del costo}}{\text{costo base}} \dots\dots\dots(5)$$

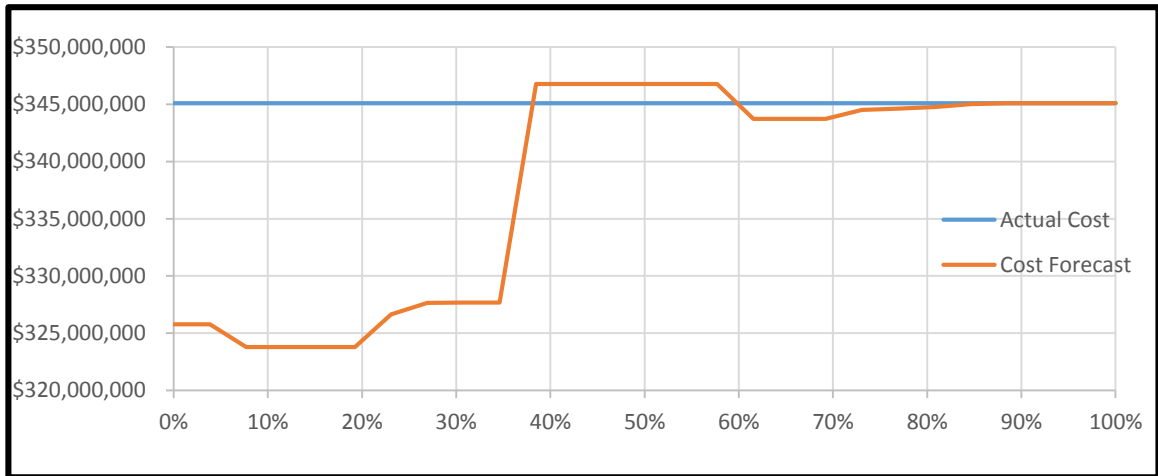
La desviación costo final, indica el porcentaje de desviación que tuvo el costo final con respecto al costo presupuestado del proyecto. Si el porcentaje de esta variable es mayor que cero, indica que costo final del proyecto fue mayor a lo que se presupuestó, y si es menor a cero, es porque el costo final fue menor al valor presupuestado inicialmente.

### 3.2.2 Anticipación

Es una medida de la eficiencia de la anticipación de un proyecto, indica lo rápido que el sistema de pronóstico de costos se acercó al costo actual del proyecto.

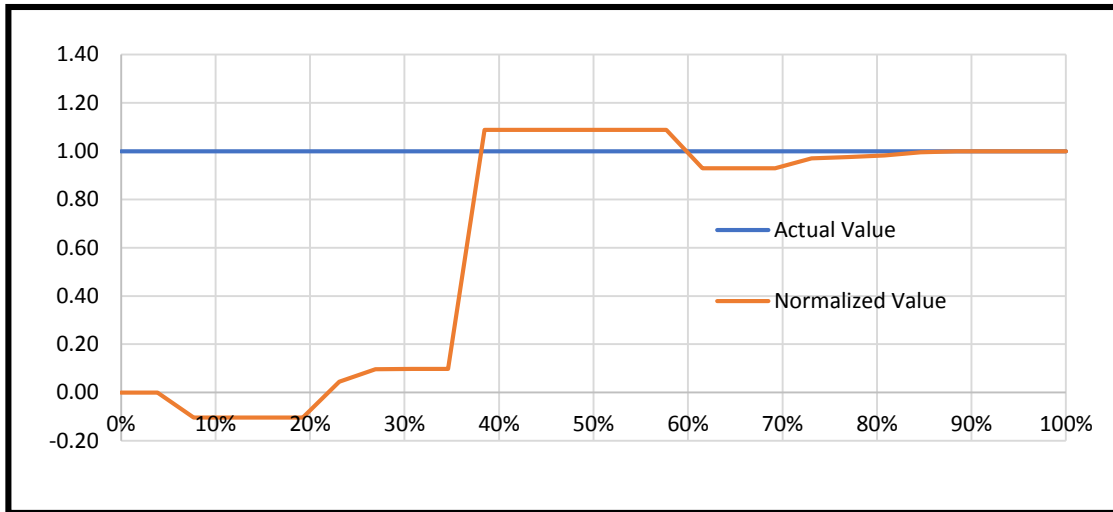
El valor numérico de esta variable es el área entre las curvas de costo actual (Actual Cost) y costo pronosticado (Cost Forecast). En la gráfica 2 se representa en el eje de las abscisas el porcentaje de avance del proyecto, y en el eje de las ordenadas, el costo del proyecto. La línea en color azul representa el costo final del proyecto y la línea en color naranja es el costo pronosticado según va avanzando el proyecto.

**Gráfica 2.** Avance del proyecto vs costo del proyecto



Hay tres métodos diferentes de calcular la anticipación, área normalizada, error de pronóstico y factor de sobre costo, pero primero hay que tener en cuenta que los 30 proyectos tuvieron duraciones y costos diferentes, es por esto que la mejor manera de entender gráfica y analíticamente los índices de anticipación, es estandarizando el comportamiento de cada proyecto, de manera que, para cada uno el costo actual equivalga a 1 y el costo pronosticado inicie desde cero y termine en 1 como se muestra en la gráfica 3.

**Gráfica 3.** Avance de proyecto vs costos Normalizados.



Después de tener estandarizados las gráficas de cada proyecto, se procedió a calcular el área que representa la anticipación.

Como se mencionó anteriormente, hay tres metodologías para hallar el área entre las curvas. La primera, área normalizada, se calcula como lo indica las ecuaciones 6 y 7:

$$Anticipación_1 = \sum_{t=0}^T desviacion\ normalizada_1 (\%avance_t - \%avance_{t-1}) \dots \dots \dots (6)$$

$$desviación\ normalizada_t = \left| \frac{costo_t - costo_{actual}}{costo\ base - costo\ actual} \right| \dots \dots \dots (7)$$

*t* = tiempo transcurrido

*T* = tiempo total

La segunda metodología, error de pronóstico, se calcula como lo indican las ecuaciones 8, 9 y 10.

$$\text{Pronóstico}_t = \frac{\text{Costo pronosticado}_t}{\text{costo actual}} \dots \dots \dots (8)$$

$$\text{desviación normalizada}_t = |1 - \text{pronóstico}_t| \dots \dots \dots (9)$$

$$\text{Anticipación}_2 = \sum_{t=0}^T \text{desviación normalizada}_2 (\% \text{avance}_t - \% \text{avance}_{t-1}) \dots \dots (10)$$

La tercera metodología, factor de sobre costo, se calcula como lo indican las ecuaciones 11, 12 y 13

$$\text{sobre costo}_t = \frac{\text{Costo pronosticado}_t}{\text{costo base}} \dots \dots \dots (11)$$

$$\text{desviación normalizada}_t = \left| \frac{\text{costo actual}}{\text{costo base}} - \text{sobre costo}_t \right| \dots \dots \dots (12)$$

$$\text{Anticipación}_3 = \sum_{t=0}^T \text{desviación normalizada}_3 (\% \text{avance}_t - \% \text{avance}_{t-1}) \dots \dots (13)$$

### 3.2.3 CPI

Índice de predicción de costos (Cost Predictability Index) o índice de desempeño de costos, indica que tan efectiva ha sido la gestión de asegurar que las desviaciones de los costos estén dentro de un rango admisible con respecto al trabajo que se ha completado del proyecto. En esta metodología de estudio, si el CPI tiende a 0, es porque la eficacia en la gestión de los costos es la esperada [5].

Estos índices están en función de la anticipación, por lo tanto, también tiene tres metodologías diferentes para calcularlos

### 3.2.3.1 CPI Metodología 1, área normalizada

En este método de cálculo surgen dos índices de rendimiento. Su cálculo se muestra en las ecuaciones 14 y 15.

$$CPI 1 = \frac{\text{costo actual}}{\text{Costo Base}} * \text{anticipación}_1 \dots \dots \dots (14)$$

$$CPI 2 = \frac{\text{Costo Base}}{\text{Costo Actual}} * \text{anticipación}_1 \dots \dots \dots (15)$$

### 3.2.3.2 CPI Metodología 2, error de pronóstico

Se calcula como se ve en las ecuación 16.

$$CPI = \frac{|\text{costo Actual} - \text{costo base}|}{\text{costo Actual}} * \text{Anticipación}_2 \dots \dots \dots (16)$$

### 3.2.3.3 CPI Metodología 3 factor de sobre costo

Se calculan como lo muestran las ecuaciones 17 y 18

$$CPI 1 = \frac{\text{cost Actual}}{\text{Costo Base}} * \text{Anticipación}_3 \dots \dots \dots (17)$$

$$CPI 2 = \frac{\text{Costo Base}}{\text{Costo Actual}} * \text{Anticipación}_3 \dots \dots \dots (18)$$

## 4. RESULTADOS

### 4.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO DE LAS VARIABLES.

En la tabla 1, se observa que en los 3 grupos, la media y la media se encuentran distantes debido a la presencia de algunos valores extremos, en cuanto a las medidas de dispersión en los grupos 1 y 3 se tiene una asimetría positiva lo cual indica que, si los datos siguen una distribución normal, la mayoría estarían concentrados a la derecha de la media, también se ve que las variables Anticipación y CPI2 del grupo 2, tienen asimetría y curtosis negativa, lo que quiere decir que la mayoría de datos presentan un grado reducido de concentración alrededor de los valores centrales.

**Tabla 1.** Análisis descriptivo de las variables obtenidas del método 1 de cálculo de los índices.

	Variable	Media	Mediana	Máx	Mín	Cof. Asimetría	Cof. Curtosis
<b>Grupo 1</b>	FCD	0.098	0.075	0.357	- 0.002	2.344	6.510
	Anticipación	0.813	0.667	2.343	0.419	2.888	8.772
	CPI 1	0.881	0.730	2.339	0.444	2.568	7.206
	CPI 2	0.755	0.604	2.347	0.396	3.009	9.306
<b>Grupo 2</b>	FCD	6.860	0.348	64.286	- 0.189	3.253	10.676
	Anticipación	0.433	0.472	0.573	0.250	-0.280	-1.628
	CPI 1	3.692	0.574	32.297	0.322	3.288	10.859
	CPI 2	0.287	0.276	0.682	0.008	0.464	-0.187
<b>Grupo 3</b>	FCD	1.671	0.071	8.872	- 0.073	1.817	1.682
	Anticipación	1.237	0.555	7.011	0.251	3.084	9.631
	CPI 1	2.004	0.861	7.004	0.285	1.510	1.110
	CPI 2	1.138	0.547	7.018	0.044	3.029	9.383

En la tabla 2, se observa que mediante el método 2 se obtuvo menor variabilidad en los resultados de las variables que los obtenidos por el método 1. En comparación con los datos del método 1, la media y la mediana son más cercanas, por lo tanto se deduce que los datos están menos dispersos. En los 3 grupos las

medidas de dispersión y de centralización son positivas, y el intervalo entre los valores máximos y mínimos no es tan considerable.

**Tabla 2.** Análisis descriptivo de las variables obtenidas del método 2 de cálculo de los índices.

	Variable	Media	Mediana	Máx	Mín	Cof. Asimetría	Cof. Curtosis
<b>Grupo 1</b>	<b>Anticipación</b>	0.058	0.041	0.211	0.004	2.252	5.915
	<b>CPI</b>	0.009	0.003	0.056	0.000	2.996	9.209
<b>Grupo 2</b>	<b>Anticipación</b>	0.169	0.108	0.487	0.022	1.474	1.392
	<b>CPI</b>	0.104	0.027	0.480	0.002	1.827	2.863
<b>Grupo 3</b>	<b>Anticipación</b>	0.110	0.037	0.475	0.007	1.869	2.526
	<b>CPI</b>	0.074	0.003	0.427	0.000	1.970	2.731

La tabla 3 muestra que en el grupo 2 se encuentran valores atípicos en la variable CPI1, ya que se encuentran demasiado alejados de la mediana, por lo cual puede que estos valores influya en los resultados del análisis de la muestra de datos.

**Tabla 3.** Análisis descriptivo de las variables obtenidas del método 3 de cálculo de los índices.

	Variable	Media	Mediana	Máx	Mín	Cof. Asimetría	Cof. Curtosis
<b>Grupo 1</b>	<b>Anticipación</b>	0.069	0.044	0.286	0.004	2.540	7.151
	<b>CPI 1</b>	0.083	0.048	0.388	0.004	2.739	8.039
	<b>CPI 2</b>	0.058	0.041	0.211	0.004	2.253	5.922
<b>Grupo 2</b>	<b>Anticipación</b>	3.278	0.133	31.799	0.024	3.288	10.857
	<b>CPI 1</b>	190.731	0.166	2076.049	0.026	3.316	10.998
	<b>CPI 2</b>	0.169	0.108	0.487	0.022	1.472	1.383
<b>Grupo 3</b>	<b>Anticipación</b>	0.779	0.038	4.690	0.007	2.102	3.616
	<b>CPI 1</b>	7.024	0.039	46.301	0.007	2.258	4.642
	<b>CPI 2</b>	0.110	0.037	0.475	0.007	1.869	2.523

## 4.2. PRUEBAS DE NORMALIDAD Y VALORES EXTREMOS

### 4.2.1. Pruebas de normalidad

En la tabla 4 se muestran los valores obtenidos después de realizar el test de Shapiro-Wilk, para ver si los datos siguen o no una distribución normal.

**Tabla 4.** Prueba de normalidad para las variables calculadas por el método 1,2 y 3

Shapiro-Wilk					
	Grupo	Método	Estadístico	gl	Sig.
Anticipación	2	1	0.901	11	0.191
CPI 2	2	3	0.791	11	0.070
	2	1	0.968	11	0.863

En la columna sig de la tabla 4, se observa que en la variable Anticipación y CPI 2 se comporta de manera normal en el grupo 2 calculados por el método 1, con una significancia de 0.191 y 0.863 respectivamente, y el resto de resultados no siguen una distribución normal.

Se observó que las variables calculadas por el método 2 no siguen una distribución normal. Se puede ver que mediante el método 3, el CPI2 del grupo 2 es la única variable que sigue una distribución normal.

Realizadas estas pruebas de normalidad, se observó que la mayoría de los datos no siguen una distribución normal por lo que se procedió a realizar el análisis mediante pruebas no paramétricas.

#### 4.2.2 Valores Extremos

**Tabla 5.** Valores extremos de las variables calculadas por el método 1,2 y 3.

Valores extremos				
variable	Grupo	Método	# proyecto	Valor
Anticipación	2	3	20	31.790
CPI1	2	1	20	32.270
	2	3	20	2076.040

Los valores extremos que se obtuvieron se analizaron con el fin de ver si afectan el comportamiento de los datos, para este caso de estudio, se decidió trabajar con todos los datos incluyendo valores extremos.

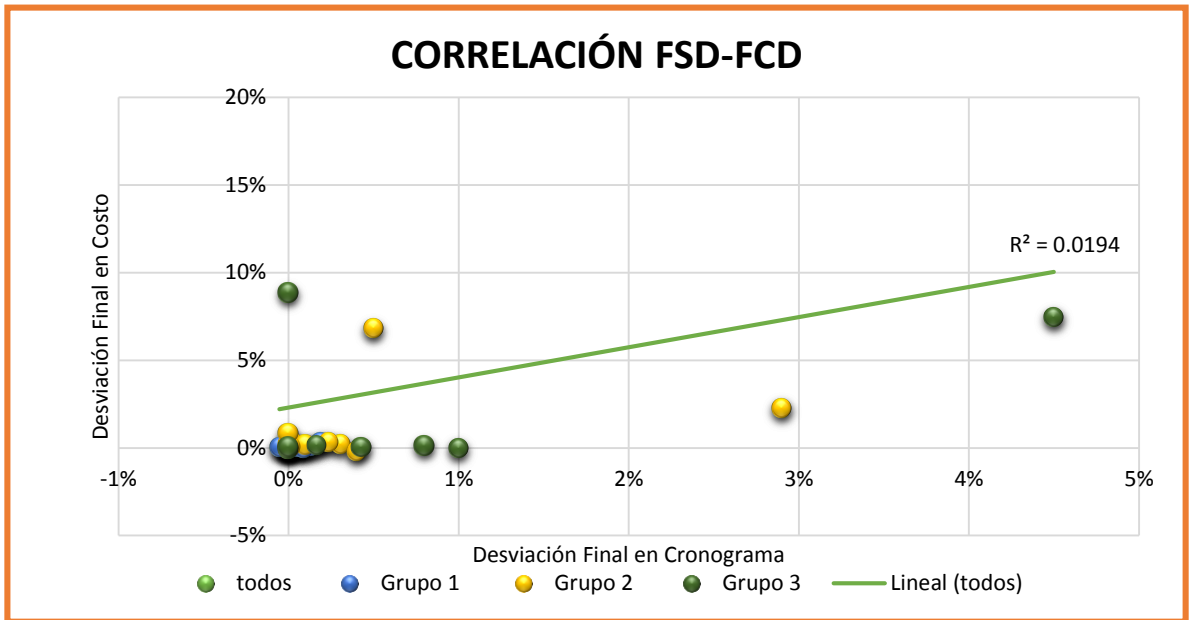
#### 4.3 CORRELACIONES

En el análisis de los datos es necesario saber si ciertas variables tienen relación, para poder observar si una influye en la otra ante un eventual cambio. En el estudio realizado se analizó la relación entre

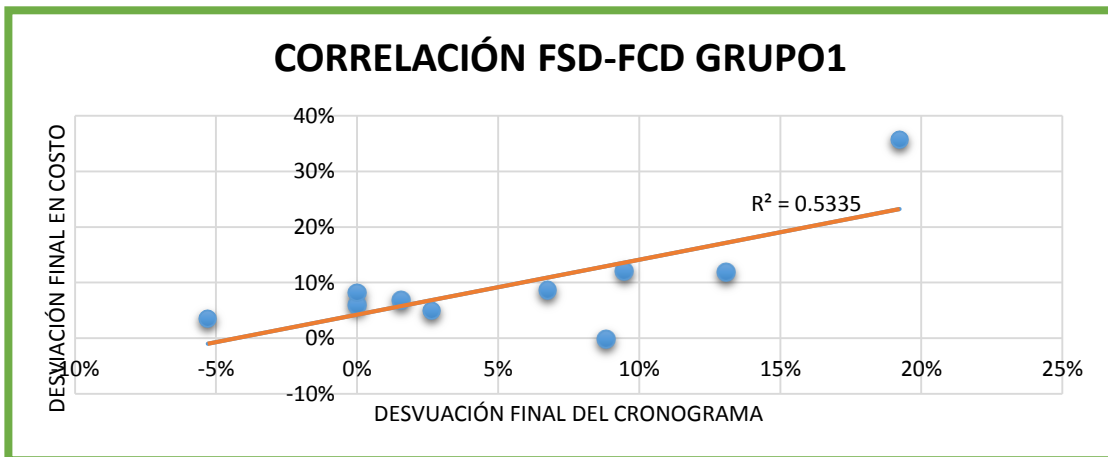
el tiempo y costo del proyecto, para ello se realizó una correlación entre la desviación en tiempos (final Schedule deviation) y la desviación en costos (final cost deviation), como muestran las gráficas 4, 5,6 y 7.

En la gráfica 4 se observó que la correlación entre tiempo y costo es pequeña, cercana a cero con  $R^2=0.0194$  lo que indica que no existe relación o influencia de las variaciones en tiempos con costos y viceversa.

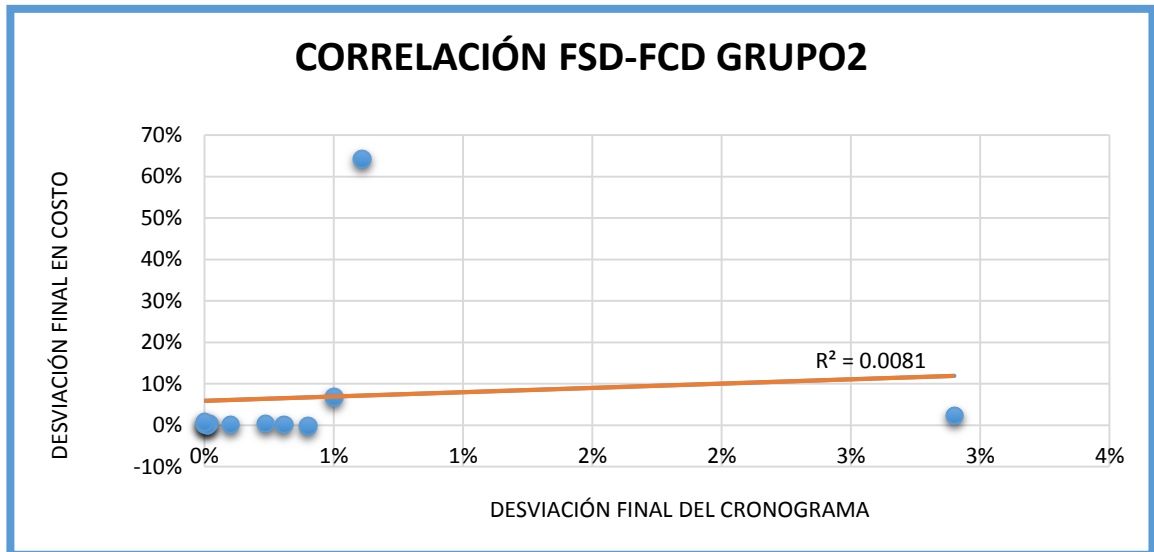
**Gráfica 4.** Correlación Desviación final del Cronograma – Desviación final en Costo para los 3 grupos.



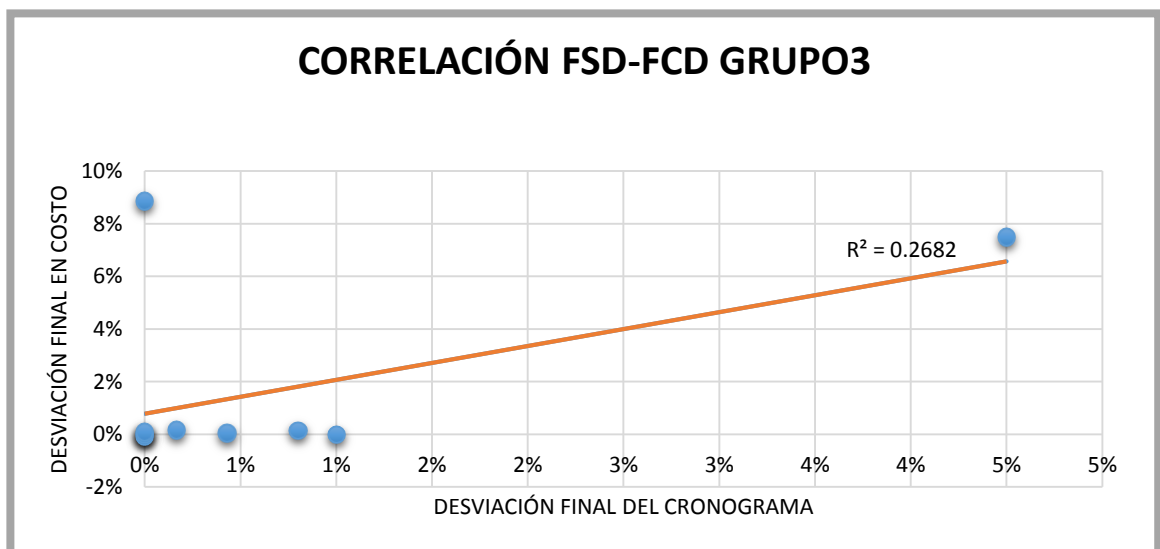
**Gráfica 5.** Correlación Desviación final del Cronograma – Desviación final en Costo Grupo 1.



**Gráfica 6.** *Correlación Desviación final del Cronograma – Desviación final en Costo Grupo 2.*



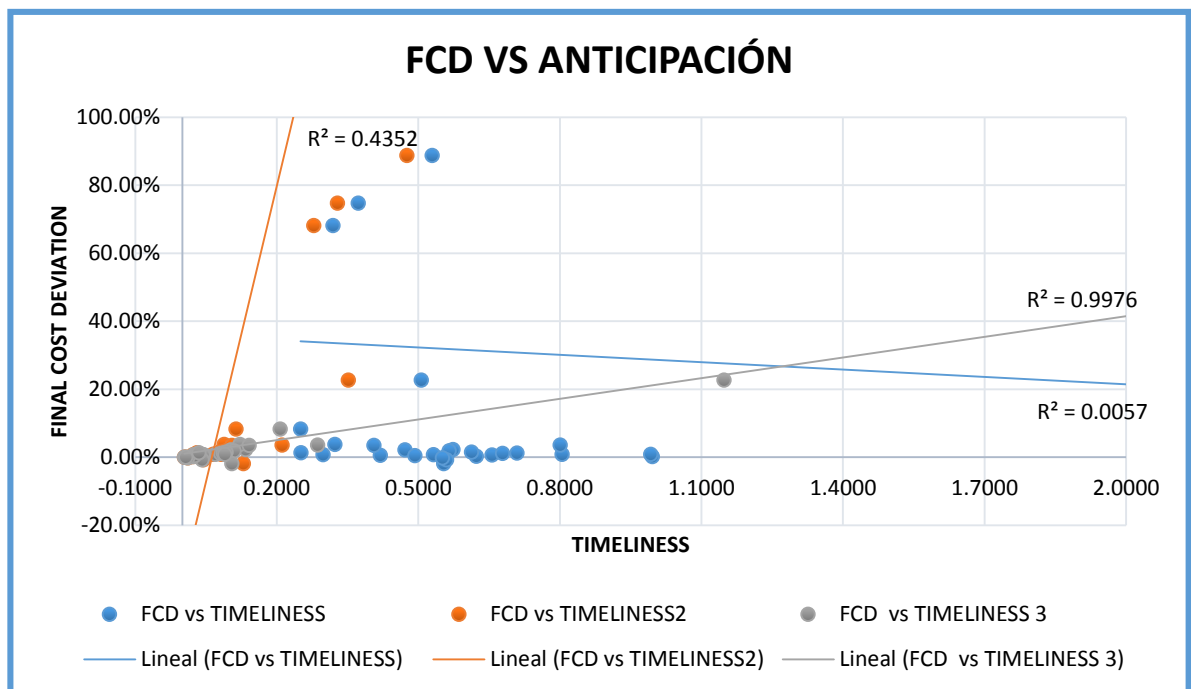
**Gráfica 7.** *Correlación Desviación final del Cronograma – Desviación final en Costo Grupo 3.*



En las Gráficas 6, y 7 se observó que en ninguna de las 2 metodologías existe influencia entre tiempo y costos debido a la pequeña correlación que existe, además se muestra que los grupos 2 y 3 agrupan de una mejor manera los datos.

En la gráfica 8 se observó que para el método 1, para índices pequeños hay variaciones grandes, el método 2 y 3 es directamente proporcional, a medida que los índices son mayores crecen las desviaciones.

**Gráfica 8.** *Correlación FCD- Anticipación.*

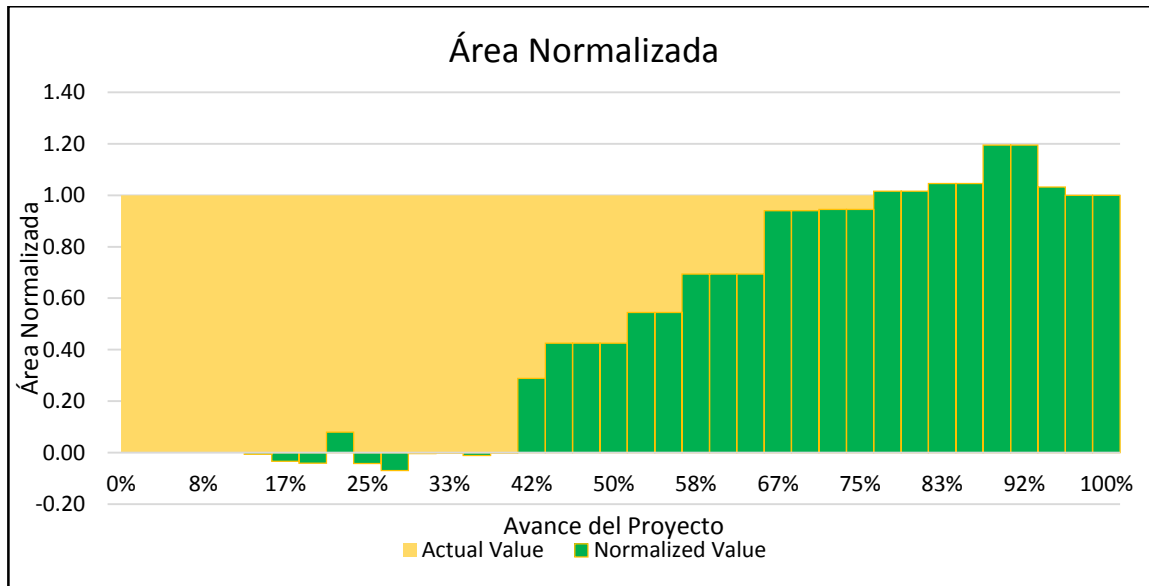


#### 4.4 ANÁLISIS GRÁFICO

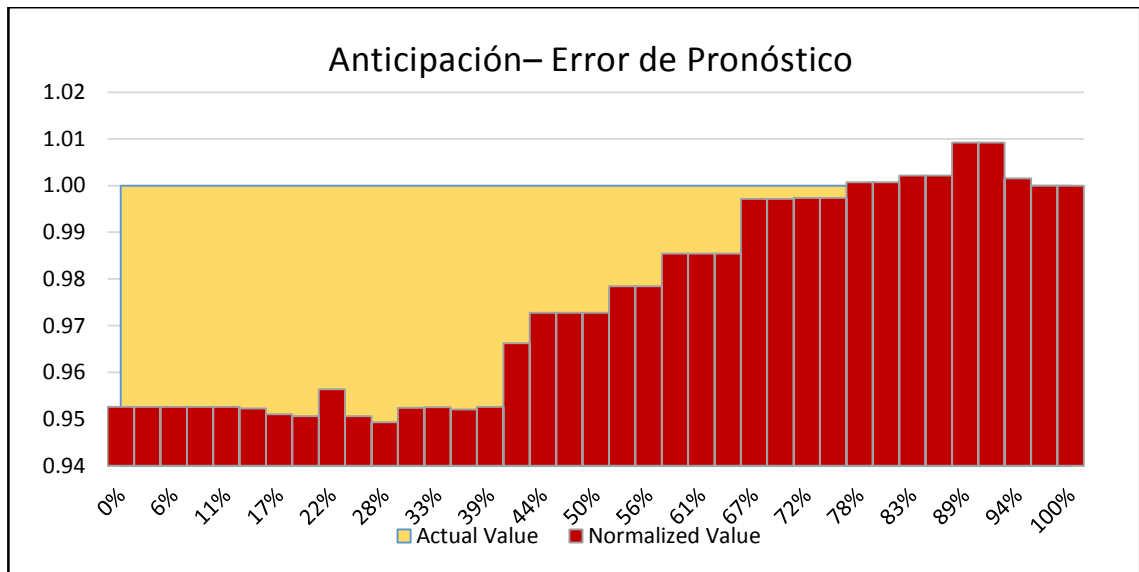
El análisis de las gráficas obtenidas por las 3 metodologías de cálculo, nos muestran de una manera más clara como fue el pronóstico y el control en cada uno de los 3 grupos de empresas, y de esta manera interpretar los valores obtenidos de anticipación y los índices.

La gráfica 9 representa la metodología 1 de cálculo, donde el área amarilla representa la anticipación del proyecto, la cual es la diferencia entre el valor actual del proyecto y el valor inicial, y esta diferencia siempre será 1. La gráfica 10 muestra la metodología 2 de cálculo, donde la anticipación del proyecto el área amarilla es el error calculado entre el valor actual del proyecto y el valor inicial a medida que avanza en proyecto. La grafica 11 representa la metodología 3 donde la anticipación es un factor de sobre costo, es decir el área amarilla empieza en 1, y termina en un factor, el cual es cuantas veces más costo el proyecto con respecto al valor inicial a medida que avanza el proyecto.

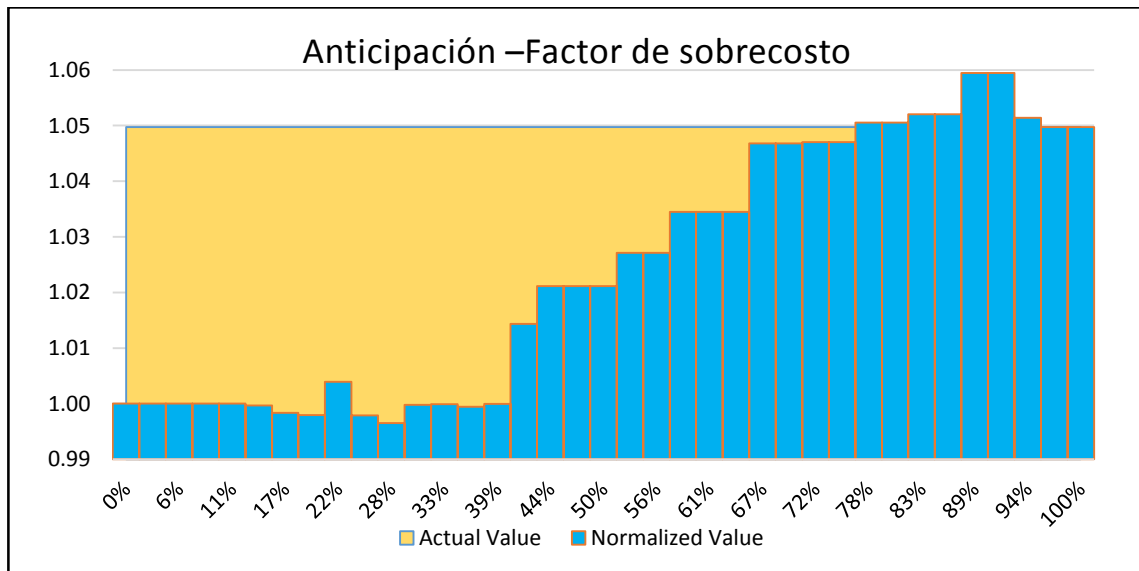
**Gráfica 9.** Metodología 1 Área Normalizada.



**Gráfica 10.** Metodología 2 Error de Pronóstico.



**Gráfica 11.** Metodología 3 Factor de Sobrecosto.

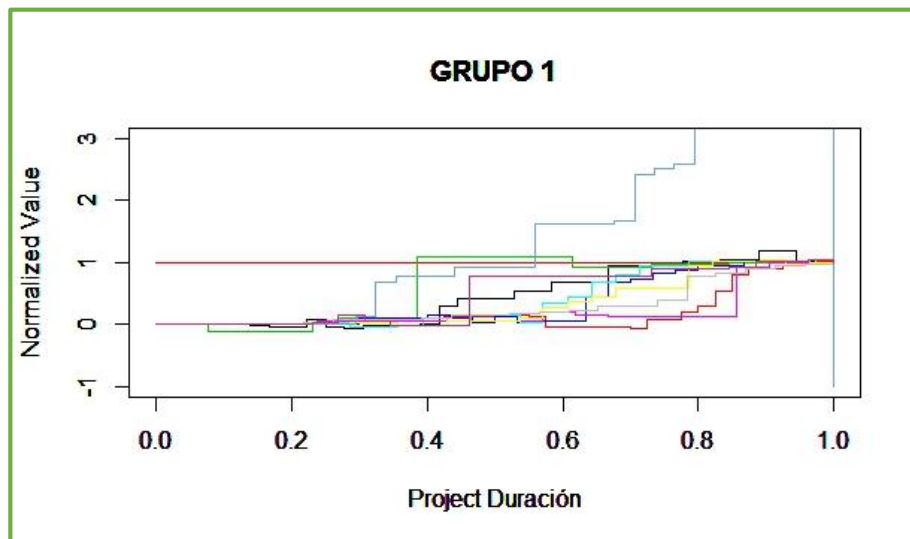


En la gráfica 12 se muestran los valores normalizados para el grupo 1, donde se observa el área de pronóstico del proyecto, se puede decir que entre menor sea el área del proyecto es porque ha tenido una mejor anticipación.

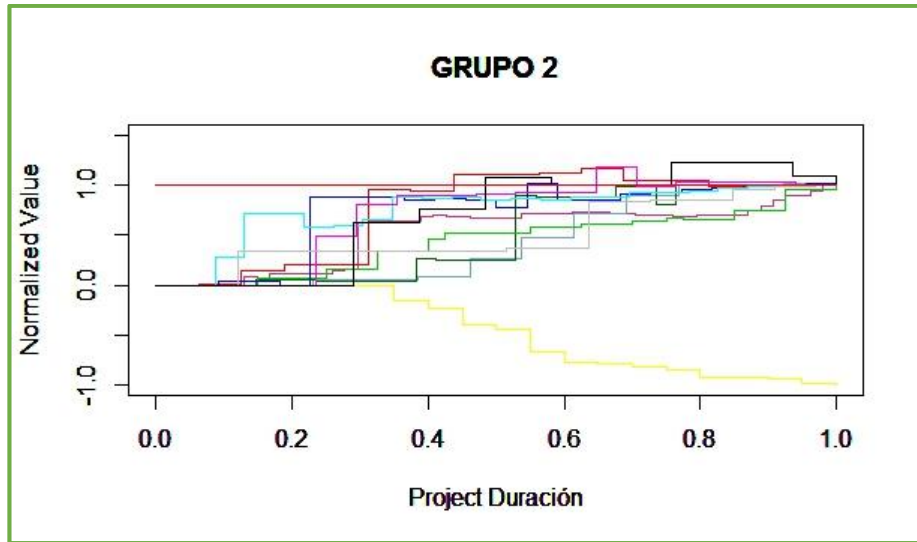
En la gráfica 12 se puede ver que en el grupo 1 se empieza a detectar desviaciones significativas al 50% del avance del proyecto y alcanzan su costo actual entre el 85% y el 100%. En la gráfica 13, el grupo 2 muestra anticipaciones entre un 20% y 60% de avance. Y en la gráfica 14 correspondiente al grupo 3, debido a que los proyectos tienen duraciones muy pequeñas, las desviaciones se alcanzan en diferentes etapas del proyecto.

Aquellos proyectos que tienden a -1 es porque el valor inicial del proyecto fue superior al valor final del proyecto como se observa en las gráficas 13 y 14, hay unos proyectos con estas características.

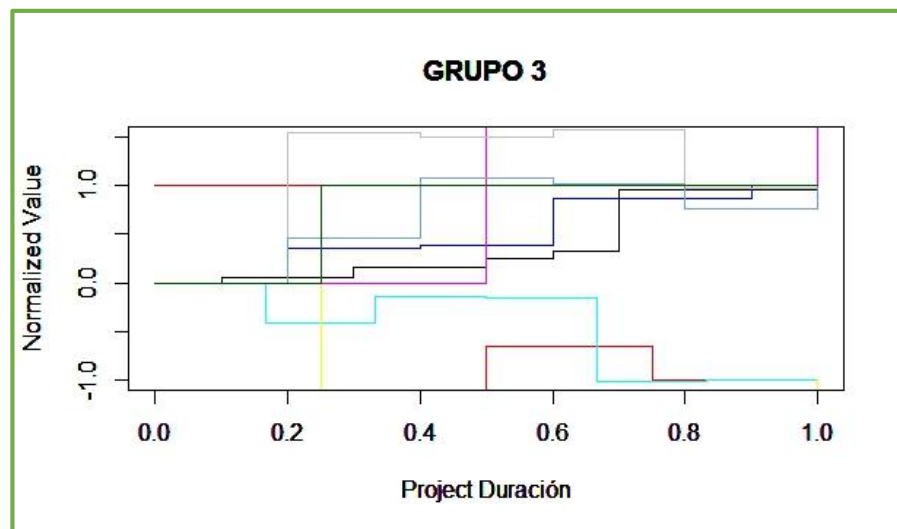
**Gráfica 12.** *Grafica de valores normalizados vs porcentaje de avance para los proyectos del grupo 1.*



**Gráfica 13.** Grafica de valores normalizados vs porcentaje de avance para los proyectos del grupo 2.

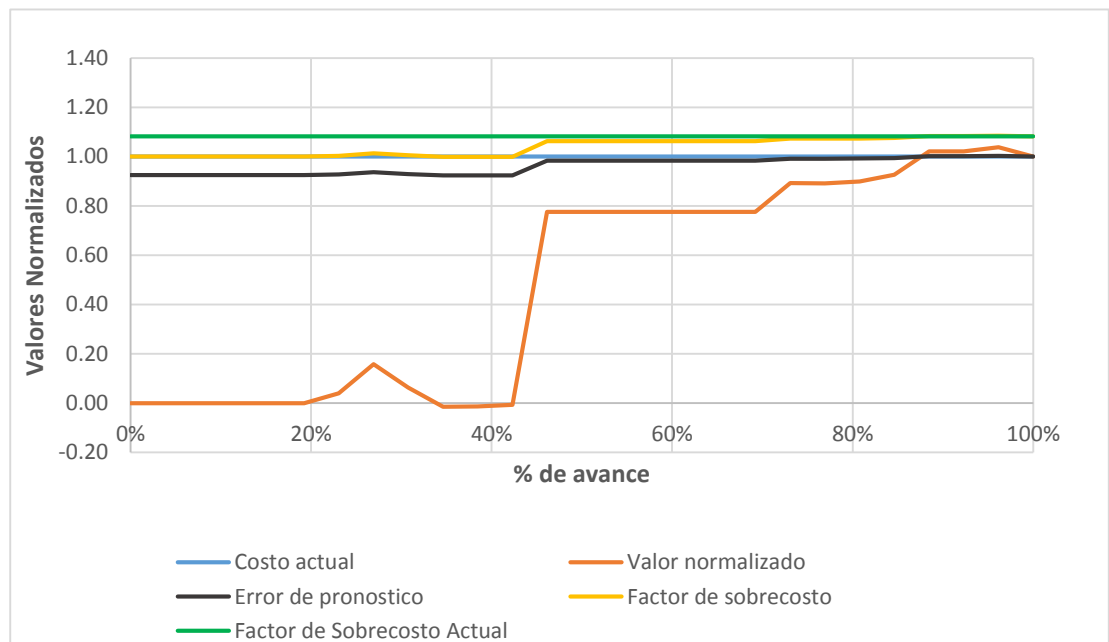


**Gráfica 14.** Grafica de valores normalizados vs porcentaje de avance para los proyectos del grupo 3.



La gráfica 15 representa la superposición de las 3 metodologías de cálculo en un proyecto aleatorio, en la cual se muestra que la metodología 2 y 3 generan un área mucho más pequeña en comparación a la metodología 1, lo cual nos arroja índices y anticipaciones pequeñas que se encuentran entre 0 y 1, y de esta forma se puede interpretar de una mejor manera los resultados, a diferencia del método 1 que debido a que su cálculo se basa en área normalizada es decir que la diferencia entre el valor inicial y el costo actual es 1 nos genera un área que no tiene un rango específico ya que depende directamente del costo del proyecto.

**Gráfica 15.** Representación de un proyecto mediante los 3 métodos.



#### 4.5 TABLAS DE CONTINGENCIA

Los puntos de referencia utilizados en las tablas son los valores de las medianas de cada una de las variables de estudio, obtenidos por medio del análisis descriptivo de los datos.

En la tabla 6 se puede deducir que es 1.6 veces más probable que los valores de la anticipación del método 1, menores a 0.6, tengan un factor de sobrecosto mayor a 1.12 y es 2.5 veces más probable que los valores de la anticipación mayores a 0.6, tengan un factor de sobrecosto menor a 1.12.

En la tabla 7 Es 4.38 veces más probable que los valores de la anticipación por el método 2, menores a 0.08, tengan un factor de sobrecosto menor a 1.12 y es 6.4 veces más probable que los valores de la anticipación por el método 2, mayores a 0.08, tengan un factor de sobrecosto mayor a 1.12.

En la tabla 8 Es 7.05 veces más probable que los valores de la anticipación por el método 3, menores a 0.09, tengan un factor de sobrecosto menor a 1.12 y es 13.7 veces más probable que los valores de la anticipación por el método 3, mayores a 0.09, tengan un factor de sobrecosto mayor a 1.12.

**Tabla 6.** *Tabla de contingencia Método 1 sobrecosto-índices.*

<b>Tabla de Contingencia Método 1</b>									
			ANTICIPACIÓN MÉTODO 1		CPI 2 MÉTODO 1		CPI 1 MÉTODO 1		Total
			< 0.6	> 0.6	< 0.5	> 0.5	< 0.7	> 0.7	
SOBRECOS TO FACTOR 1	< 1.1 2	Recuento	8	8	4	12	9	7	16
		% dentro de SOBRECOS TO FACTOR 1	50.0 %	50.0 %	25.0 %	75.0 %	56.3 %	43.8 %	100.0 %
	> 1.1 2	Recuento	12	3	12	3	6	9	15
		% dentro de SOBRECOS TO FACTOR 1	80.0 %	20.0 %	80.0 %	20.0 %	40.0 %	60.0 %	100.0 %
Total		Recuento	20	11	16	15	15	16	31
		% dentro de SOBRECOS TO FACTOR 1	64.5 %	35.5 %	51.6 %	48.4 %	48.4 %	51.6 %	100.0 %

**Tabla 7. Tabla de contingencia Método 2 sobrecosto-índices**

<b>Tabla de contingencia Método 2</b>							
			ANTICIPACIÓN MÉTODO 2		CPI 1 MÉTODO 2		Total
			< 0.08	> 0.08	< 0.007	> 0.007	
SOBRECOSTO FACTOR 1	< 1.12	Recuento	14	2	14	2	16
		% dentro de SOBRECOSTO FACTOR 1	87.5%	12.5%	87.5%	12.5%	100.0%
	> 1.12	Recuento	3	12	1	14	15
		% dentro de SOBRECOSTO FACTOR 1	20.0%	80.0%	6.7%	93.3%	100.0%
Total		Recuento	17	14	15	16	31
		% dentro de SOBRECOSTO FACTOR 1	54.8%	45.2%	48.4%	51.6%	100.0%

**Tabla 8. Tabla de contingencia Método 3 sobrecosto-índices.**

<b>Tabla de contingencia</b>									
			ANTICIPACIÓN MÉTODO 3		CPI 1 MÉTODO 3		CPI 2 MÉTODO 3		Total
			< 0.09	> 0.09	< 0.09	> 0.09	< 0.08	> 0.08	
SOBRECO STO FACTOR 1	< 1.12	Recuento	15	1	14	2	14	2	16
		% dentro de SOBRECO STO FACTOR 1	93.8 %	6.3%	87.5 %	12.5 %	87.5 %	12.5 %	100.0 %
	> 1.12	Recuento	2	13	1	14	2	13	15
		% dentro de SOBRECO	13.3 %	86.7 %	6.7% %	93.3 %	13.3 %	86.7 %	100.0 %

		STO FACTOR 1							
		Recuento	17	14	15	16	16	15	31
Total		% dentro de SOBRECO STO FACTOR 1	54.8 %	45.2 %	48.4 %	51.6 %	51.6 %	48.4 %	100.0 %

## 5. DISCUSIÓN

Como se pudo observar en las gráficas de las correlaciones entre la desviación de costo y la desviación de tiempo, solo en la gráfica 5 se presenta una correlación significativa con un coeficiente de 0.53, que es la correspondiente al subgrupo 1 de proyectos, independientemente de cuales hayan sido los factores por los cuales se presentaron los retrasos y los sobrecostos, no se puede precisar que siempre que se den los retrasos en el tiempo habrá sobrecostos y viceversa. Kam <sup>[8]</sup> estudiaron por medio de correlaciones los factores que influyen en los retrasos y sobrecostos del proyecto, y acorde con los resultados obtenidos, encuentran que el medio ambiente y el uso del equipo o maquinaria, son factores que se correlacionan y generan retrasos y sobrecostos.

De las gráficas se puede ver que para cada subgrupo de proyectos, que a su vez corresponde a tres diferentes empresas, tienen un desempeño diferente en el que se destaca el grupo 2 (gráfica 12). Se puede ver que la anticipación para estos proyectos se da más rápido comparado con el grupo 1, entre el 20% y el 40% del avance del proyecto. Se puede afirmar que esta empresa que desarrolló los proyectos en el grupo 2 fue más efectiva a la hora de hacer el pronóstico y evaluar los sobrecostos de sus proyectos.

En la gráfica 13 se aprecia el desarrollo de los proyectos correspondientes al grupo 3, gráficamente no se puede hacer un análisis de lo que sucede con estos proyectos ya que 1) en general la duración es corta en comparación con los otros subgrupos (entre 3 a 10 meses) y 2) las desviaciones presentadas en estos proyectos son bastante elevadas con respecto a la duración que tuvieron.

Las anteriores gráficas muestran como fue el comportamiento de cada subgrupo de proyectos, y nos dice claramente que los de mejor desempeño fueron los del grupo 2, pero no dejan ver claramente que metodología de cálculo de los índices es más acertada para pronosticar los sobrecostos en los proyectos. Teniendo en cuenta esto, la gráfica 13 muestra una superposición hecha para cada método de cálculo de un proyecto seleccionado (proyecto10, grupo1). En esta se puede observar que las áreas para el método 2 y 3, error de pronóstico y factor de sobrecosto respectivamente, son mucho menores al área del método 1, área normalizada. De aquí se puede partir a deducir que los métodos de cálculo 2 y 3 dan un acercamiento más acertado del comportamiento del proyecto y que por medio de estas dos metodologías es más preciso el pronóstico de sobrecostos.

Como se mencionó en la sección **4.2 Descripción de las variables**, si los índices tienden a cero es porque el pronóstico de sobrecostos se dio de manera oportuna y efectivamente. Cada metodología de cálculo arroja resultados que varían bastante una con respecto a otra, la sección grafica nos da una aproximación a determinar

que método es más eficiente, pero aún hay datos que debido a sus valores extremadamente altos el análisis no es suficientemente confiable.

Por medio de las tablas de contingencia se pudo agrupar cada índice por cada método y subgrupo, y mirar en que porcentaje y con qué frecuencia se presentan los datos tomando como punto de referencia la mediana de los mismos.

La tabla 6, es la correspondiente al método de cálculo 1, en esta tabla se puede observar que los valores de las medianas correspondientes a la Anticipación, CPI 1 y CPI 2 son 0.6, 0.5 y 0.7 respectivamente, estos valores de estas medianas son altos en comparación con los mostrados en la tabla 7 del método 2, 0.08 para la Anticipación y 0.007 para el CPI 1. Partiendo de lo anterior se puede decir que el método que más aproxima a obtener resultados más precisos es el 2, ya que los datos para cada variable son más cercanos a cero.

De la tabla 7 se observa que: el porcentaje de datos correspondientes a la Anticipación menores a 0.08, y que a su vez tengan un factor de sobrecosto menor a 1.12 es del 87.5 %, esto indica que 14 de los 30 proyectos analizados tuvieron un pronóstico anticipado y además el sobrecosto no fue mayor a 1.12 veces el valor pronosticado. También se puede ver que el 93.3 % de los datos correspondientes a la variable CPI, son mayores a 0.007 y tienen un factor de sobrecosto mayor a 1.12, lo que significa que 14 de los 30 proyectos, tienen un sobrecosto mayor a 1.12 veces el valor pronosticado y que la eficiencia de la anticipación fue buena.

La tabla 8 presenta los resultados obtenidos para el método 3, que en comparación con el método 1, es más preciso. Las medianas para este método son: 0.09 para la anticipación y el CPI1, y 0.08 para el CPI 2. Para la anticipación, el 93.8 % de los datos que tienen un factor de sobrecosto menor a 1.12, son menores a 0.09. Para el CPI 1, el 93.3 % de los datos que tienen un factor de sobrecosto mayor a 1.12, son mayores a 0.09. En este método 3, entre más alto sea el factor de sobrecosto, más se alejara los valores de anticipación y CPI de cero.

## 6. CONCLUSIONES

Del estudio realizado se concluyó que los índices calculados por medio del método 1, área normalizada, no miden con precisión la eficiencia que tuvo el pronóstico del proyecto, ya que los valores de la anticipación y de los CPI son valores distantes de cero. El método 2, error de pronóstico y el método 3, factor de sobre costo, se asemejan en sus resultados, y son más precisos comparados con el método 1. La anticipación obtenida por medio del método 2 es mejor que la obtenida por las otras metodologías, ya que los resultados obtenidos de la estadística descriptiva están menos dispersos, y los valores se mueven en un rango entre 0 y 1. Entre más cercano a cero, el pronóstico de sobre costo es más acertado.

El índice CPI, mide la efectividad con la que se hizo el pronóstico de sobre costos, teniendo en cuenta esto, los índices calculados por medio del método 2, como están en función de un error de pronóstico y del valor de la anticipación, si tienden a ser más cercanos a cero indica que el pronóstico de sobre costos fue efectivo. Los índices calculados por el método 3, que están en función del factor de sobre costo y la anticipación, entre más alto sea el valor del factor de sobre costo, más se aleja el índice de cero, lo cual indica que el pronóstico de sobre costos no es efectivo.

Para los proyectos con duraciones cortas, entre 3 y 10 meses, los resultados tienden a ser menos precisos ya que se pueden presentar desviaciones muy altas en los costos, lo cual genera gran dispersión en los datos. Esto nos indica que los proyectos con duraciones cortas tienden a ser más complicados de controlar ya que el costo puede aumentar súbitamente con respecto al tiempo de desarrollo del proyecto.

En los proyectos de construcción estudiados, se pudo ver que los retrasos en el cronograma del proyecto no necesariamente generan aumento en los costos, esto se explica debido a la baja correlación existente entre las desviaciones de tiempos y costos. Se corroboró estos resultados con otros estudios en los que comprueban que los factores que afectan los retrasos en el cronograma, no se correlacionan en gran medida con los que afectan los sobre costos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Grau D., Back E., Abbaszadegan A., and Sirven R. (2014). "The Predictability Index – A Novel Project Performance Metric to Assess the Early Prediction of Cost and Time Outcomes". Construction Research Congress 2014 ©ASCE 2014. 2306-2313.
- [2] "El futuro del túnel de La Línea" [online] Revista Semana (2014). Recuperado desde: <http://www.semana.com/economia/articulo/el-futuro-del-tunel-de-la-linea/406295-3>.
- [3] "Pecados de la fase III de Transmilenio" [online] EL Espectador (2010). Periódico El Espectador. Recuperado desde: <http://www.elespectador.com/noticias/bogota/pecados-de-fase-iii-de-transmilenio-articulo-216905>.
- [4] Chen S., and Zhang X. (2012). "An Analytic Review of Earned Value Management Studies in the Construction Industry". Construction Research Congress 2012. 236-242
- [5] Mejia G. (2013). Improving Accuracy of Project Outcome Predictions. Chapter 2 Forecasting as a Prediction Tool. 1-12
- [6] Project Management Institute, Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (PMBOK), edición 5, 2013, P 215-225.
- [7] "Líneas de Base" [online]. Felix Valdez (2012). Blog Ptojectics. Recuperado de: <http://proyectics.blogspot.com/2012/04/lineas-de-base.html>
- [8] Kaming et al. (1997). "Factors influencing construction time and cost overruns on high-rise projects in Indonesia". Construction Management and Economics (1997) 15, 83-94
- [9] Cheng (2013) "An exploration into cost-influencing factors on construction projects". International Journal of Project Management 2013.





