

# Performance on construction operations

Genesis A. Hernández C., Dayana A. Morales P., Francisco Soto\*

*Departamento de Estructuras, Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.*

---

## Abstract.-

The objective of this research was to evaluate the yields in construction operations based on the taking of probabilistic times of execution of the tasks that compose these operations and their analysis with a manual simulation. To achieve this objective, three construction operations were studied, corresponding to formwork of columns, casting of concrete with hopper in columns and casting of concrete in ribbed slabs. The execution times of the tasks that compose each operation were measured and then statistically analyzed by goodness-of-fit tests by the Chi-Square and Kolmogorov-Smirnov techniques, thus identifying which of the typical frequency distributions best fit the Times of each task. These are the Normal, Exponential, Lognormal, Beta and Uniform Distribution. The statistical parameters of the adjusted distributions to each task were then determined and from there can be generated random times that allow to perform simulations of the construction operations and to study the yields of each one as a very important tool for the planning and administration of construction operations.

**Keywords:** construction operations; simulation; random times; cyclical construction activities.

## Análisis de rendimientos en operaciones de construcción

### Resumen.-

El objetivo de esta investigación fue evaluar los rendimientos en operaciones de construcción tomando como base la toma de tiempos probabilísticos de ejecución de las tareas que componen dichas operaciones y su análisis con una simulación manual. Para lograr esta objetivo se estudiaron tres operaciones de construcción que corresponden a encofrado de columnas, vaciado de concreto con tolva en columnas y vaciado de concreto en losas nervadas. Se midieron los tiempos de ejecución de las tareas que componen cada operación y luego se analizaron estadísticamente mediante pruebas de bondad de ajuste por las técnicas de Chi Cuadrado y Kolmogorov-Smirnov, y así identificar a cuál de las distribuciones de frecuencia típicas se ajustan mejor los tiempos de cada tarea. Estas son la Distribución Normal, Exponencial, Lognormal, Beta y Uniforme. Se determinaron entonces los parámetros estadísticos de las distribuciones ajustadas a cada tarea y de allí se pueden generar tiempos aleatorios que permitan realizar simulaciones de las operaciones de construcción y estudiar los rendimientos de cada una como una herramienta muy importante para la planificación y administración de obras.

**Palabras clave:** operaciones de construcción; simulación; tiempos aleatorios; actividades de construcción cíclicas.

Recibido: junio 2016

Aceptado: febrero 2017

### 1. Introducción

La administración de una obra de construcción es un factor predominante en su desarrollo; y

a su vez, la planificación de las operaciones de campo representa una herramienta útil que permite al ingeniero civil llevar a cabo correctamente los planes de trabajo y el análisis del rendimiento más confiable de los recursos [1]. Es por esto que se hace necesario que el Ingeniero cuente con métodos que le permitan realizar la planificación de campo de una manera eficiente, donde los

---

\* Autor para correspondencia

Correo-e: fjsoto@uc.edu.ve (Francisco Soto)

datos que utilice sean realistas y pueda llevar a cabo simulaciones de las distintas operaciones de construcción a desarrollar en cada obra, así podrá obtener un aprovechamiento óptimo de los recursos, evitar atrasos en las actividades, prever imprevistos que puedan generarse y estimar correctamente la relación de rendimientos y costos en el uso de los recursos.

El ingeniero civil cuenta con modelos de uso general para realizar los análisis de precios unitarios y la planificación y control de la obra de manera general, pero pocos modelos permiten determinar el rendimiento de cada operación de construcción el cual es un factor clave en función a las condiciones particulares de cada obra, de tal manera que una variación del rendimiento estimado producirá distorsiones significativas en los costos, presupuestos y rentabilidad de la misma [1]. Una herramienta para el control y gerencia de las operaciones de construcción es el sistema CYCLONE (Cyclic Operations Network System), el cual bajo su metodología de simulación de operaciones cíclicas de construcción, permite realizar un análisis completo del rendimiento de las actividades de construcción, basado en los tiempos probabilísticos de ejecución de las tareas en el entorno real de la obra [2].

En esta investigación se midieron los tiempos de ejecución de operaciones típicas en la construcción de edificios tales como: encofrar columnas, vaciar el concreto en columnas y vaciar el concreto en las losas nervadas de cada piso las cuales son actividades repetitivas que se ejecutan en cada nivel y consumen una importante cantidad de recursos en mano de obra, materiales y equipos. Si estas actividades se desarrollan de manera inadecuada se producen retrasos y dispersión de estos recursos, trayendo como consecuencia costos adicionales no previstos y retrasos en la ejecución. Tradicionalmente se piensa que estas operaciones son diseñadas por los gerentes de campo de manera repetitiva y por costumbre, pero pocas veces se analiza la dinámica de las mismas para poder optimizarlas. Una vez que se midieron los tiempos de ejecución de las tareas que componen cada una de estas operaciones de construcción se le realizaron pruebas de bondad de ajuste conocidas

como la prueba de Chi-Cuadrado y Kolmogorov-Smirnof que sirven para determinar el mejor ajuste de una cantidad de datos observados a distribuciones de probabilidad seleccionadas para su análisis estadístico y así finalmente obtener los verdaderos rendimientos de los recursos, en las tareas y actividades de construcción en la obra.

## 2. Desarrollo de la investigación

### 2.1. Metodología de la investigación

La recolección de datos para procesarlos estadísticamente se realizó en dos obras de construcción de tipo residencial en la ciudad de Valencia, Edo. Carabobo, una de 10 niveles y la otra de 23 niveles con dos sótanos, de sistemas estructurales aporticados de concreto armado, conformados por columnas, vigas y losas nervadas, utilizando encofrados de madera y metálicos.

Se realizaron las observaciones, toma de los tiempos y registros en el momento de realización de las operaciones de construcción, para tener una información apropiada de los resultados obtenidos. De la investigación se pudieron determinar las distribuciones de probabilidad de mejor ajuste en los tiempos de ejecución de las tareas de encofrado de columnas, vaciado de concreto en columnas y vaciado de concreto en losas nervadas a nivel de entresijos y así calcular los rendimientos y confiabilidad del proceso de investigación sobre las actividades seleccionadas [3].

La investigación se divide en fases que van desde la especificación de cada tarea y la toma de tiempos en campo hasta el procesamiento estadístico de los datos para posteriormente simular las operaciones de construcción.

### 2.2. Fases de la investigación

*Fase 1.* Identificación de actividades cíclicas en la obra.

Se seleccionaron las operaciones de construcción con mayor continuidad y repetitividad en la obra, para así garantizar una cantidad suficiente de mediciones, y estas a su vez se dividieron en las tareas fundamentales de ejecución de cada una [2].

*Fase 2.* Medición de los tiempos de las tareas de cada actividad.

Luego de seleccionar las operaciones de construcción, e identificar cada tarea de la misma, se establece la secuencia de trabajo y se realiza la toma y registro de tiempos.

*Fase 3.* Realización de la Prueba de Bondad de Ajuste a cada tarea.

La prueba de bondad de ajuste se condiciona en esta investigación por el tamaño de la muestra seleccionada ( $N$ ). Para  $N < 50$  el ajuste se realiza por la Prueba Kolmogorov-Smirnov, y para  $N \geq 50$  se ajustan por la prueba Chi Cuadrado, como condicionantes de ambos métodos.

En ambas pruebas, se calculan los parámetros estadísticos básicos: Media ( $\mu$ ), Desviación Estándar ( $\sigma$ ) y Moda; adicionalmente el valor mínimo y máximo de la muestra [4].

*Fase 4.* Simulación de las actividades de construcción.

Una vez realizada la prueba de bondad de ajuste a cada tarea y comprobada la hipótesis nula, se pueden generar tiempos de ejecución de las tareas ajustados a la mejor distribución de probabilidad [5], y así para la distribución Normal los tiempos aleatorios se determinan mediante el Método Directo, mientras que en las distribuciones Exponencial, Lognormal, Beta, Triangular y Uniforme se aplica el Método de la Transformada Inversa [6].

### 3. Resultados

#### 3.1. Análisis estadístico de las tareas por el método Chi Cadrado

*Fase I.* siguiendo la metodología propuesta se procede primero a identificar las tareas que componen la operación de construcción seleccionada. En esta caso se muestra la operación de vaciado de concreto en losas nervadas de entrepiso que se compone de seis tareas: Descargar el concreto en la Tolva, elevar la Tolva hasta el piso del vaciado, desplazarla horizontalmente hasta el lugar donde espera la cuadrilla de vaciado, abrir la tolva y descargarla, regresar horizontalmente y luego bajar la tolva hasta el camión.

*Fase 2.* se miden los tiempos de ejecución de las Tareas. Se presenta como ejemplo la tarea: Llenar la tolva

Estos tiempos se toman a pie de obra con la llegada de cada camión y se ordenan de menor a mayor para proceder a la fase siguiente que es la de calcular los estadísticos representativos de la muestra.

*Fase 3.* Siguiendo el orden de la metodología se obtienen los parámetros estadísticos para realizar la prueba de bondad y ajuste, en este caso por Chi-cuadrado como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Parámetros estadísticos calculados a partir de los tiempos tomados en obra.

Tamaño de la muestra ( $N$ )	80
Media ( $\mu$ )	19,8
Desviación estándar ( $\sigma$ )	10,86
Número de intervalos de clase ( $NIC$ )	7
Rango de intervalos	71
Amplitud de intervalos ( $A$ )	10
Varianza ( $S^2$ )	117,93
Moda de la muestra	14
Valor máximo de la muestra	81
Valor mínimo de la muestra	10

Se ordenan los tiempos por Intervalos de Clase como se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2: Frecuencias de los datos a partir de los intervalos creados.

Intervalos		$P_m$	$f_{ob}$	$f_r$	$f_{racum}$
LI	LS				
10	20	15	55	0,69	0,69
20	30	25	16	0,2	0,89
30	40	35	4	0,05	0,94
40	50	45	3	0,04	0,98
50	60	55	0	0	0,98
60	70	65	1	0,01	0,99
70	81	75,5	1	0,01	1

El único cálculo intermedio que se tiene que realizar antes de la prueba de Bondad y Ajuste está relacionado con la Distribución Lognormal, ya que se debe calcular el Logaritmo Natural de los tiempos observados.

Se realizan las pruebas de bondad y ajuste por Chi-cuadrado para cada distribución seleccionada,

empezando con la Distribución Normal, como se muestra en la Tabla 3 como ejemplo.

Tabla 3: Análisis estadístico aplicado a la Distribución Normal mediante el ajuste por  $\chi^2$ .

Prueba de Bondad de Ajuste $\chi^2$ a la Distribución Normal								
LI	LS	$P_s$	$P_i$	$F_{esp}$	$F_{esp_c}$	$F_{obs}$	$F_{obs_c}$	W
0,00	10,00	0,51	0,51	40,44	40,44	55	55	5,24
10,00	20,00	0,83	0,32	25,56	25,56	16	16	3,58
20,00	30,00	0,97	0,14	11,46	11,46	4	4	4,85
30,00	40,00	1,00	0,03	2,32	2,32	3	3	0,20
40,00	50,00	1,00	0,00	0,21	0,21	0	0	0,21
50,00	60,00	1,00	0,00	0,01	0,01	1	1	114,70
60,00	136,57	1,00	0,00	0,00	0,00	1	1	6476,09
$\chi^2 = 6604,87$								
Rechazar $\chi^2_{4;0,95} = 9,49$								

LI: Límite inferior del intervalo      LS: Límite superior del intervalo  
 $P_s$ : Probabilidad Superior       $P_i$ : Probabilidad del Intervalo  
 $F_{esp}$ : Frecuencia Esperada       $F_{esp_c}$ : Frecuencia Esperada corregida  
 $F_{obs}$ : Frecuencia observada       $F_{obs_c}$ : Frecuencia observada corregida  
 W:  $(F_{obs} - F_{esp})^2 / F_{esp}$

La prueba de bondad de ajuste Chi cuadrado es aplicada para la misma tarea, en las distribuciones exponencial, lognormal, beta, triangular y uniforme, generando tablas similares a la Tabla 3 donde es aceptada o rechazada la hipótesis nula.

Una vez realizada la prueba a todas las distribuciones seleccionadas se presenta un resumen de los cálculos realizados en la Tabla 4 y se verifica que la Distribución de Probabilidades que mejor se ajusta por la técnica de Chi-cuadrado a la Tarea de descargar la Tolva en la Distribución Exponencial

Tabla 4: Resumen del resultado de la Hipótesis Nula de cada distribución aplicando la prueba de bondad de ajuste Chi Cuadrado.

Distribución	Hipótesis Nula	% de Ajuste
Normal	RECHAZAR	
Exponencial	ACEPTAR	41,98
Lognormal	RECHAZAR	
Beta	RECHAZAR	
Triangular	RECHAZAR	
Uniforme	RECHAZAR	
Los datos se ajustan a una distribución		Exponencial
Parámetros	$\mu$ (seg)	19,85
	$\sigma$ (seg)	10,86

Cuando la hipótesis nula se acepta, es porque el Chi-Cuadrado estadístico es igual o menor que el Chi-Cuadrado crítico,  $\chi^2 \leq \chi^2(\alpha, gl)$ ,

Donde:

$\alpha=1$  - %Confiability

gl: Grados de libertad = NIC – k -1

k: cantidad de parámetros utilizados por la distribución probabilística.

Es decir, la hipótesis nula se puede aceptar con un ajuste perfecto cuando  $\chi^2=0$ , y un ajuste imperfecto si  $\chi^2 = \chi^2(\alpha,gl)$ . Por tal motivo se calcula el porcentaje de ajuste con la Ecuación (1),

$$\%_{ajuste} = \left[ \frac{\chi^2_{(\alpha,gl)} - \chi^2}{\chi^2_{(\alpha,gl)}} \right] 100 \tag{1}$$

Si los datos se ajustan a más de una distribución, se escoge aquella que tenga mayor porcentaje de ajuste.

Se repiten los cálculos para cada distribución de probabilidades y se presentan en la Tabla 5 los resultados obtenidos por la prueba de bondad de ajuste Chi-Cuadrado para la Operación de construcción Vaciado de Concreto en losas Nervadas por piso dividida en sus 6 tareas fundamentales.

Tabla 5: Resultados de la Prueba de Bondad y Ajuste por la metodología de Chi-Cuadrado para las tareas de la Operación de Vaciado de losas nervadas por piso.

Tarea	Piso 3 N = 80	Piso 13 N = 54	Piso 14 N = 58
(1)	Exponencial $\mu = 19,85$ $\sigma = 10,86$	Normal $\mu = 23,22$ $\sigma = 4,62$	Normal $\mu = 21,08$ $\sigma = 3,90$
	Normal $\mu = 16,56$ $\sigma = 3,48$	Normal $\mu = 45,67$ $\sigma = 3,59$	Normal $\mu = 53,71$ $\sigma = 4,52$
(3)	Normal $\mu = 22,48$ $\sigma = 8,84$	No se ajusta $\mu = 33,57$ $\sigma = 13,98$	Normal $\mu = 34,54$ $\sigma = 13,34$
	Normal $\mu = 10,01$ $\sigma = 2,71$	No se ajusta $\mu = 13,35$ $\sigma = 4,29$	Exponencial $\mu = 17,52$ $\sigma = 14,22$
(5)	Normal $\mu = 14,79$ $\sigma = 5,72$	Normal $\mu = 24,09$ $\sigma = 7,81$	Normal $\mu = 24,23$ $\sigma = 10,32$
	Normal $\mu = 18,85$ $\sigma = 4,86$	No se ajusta $\mu = 48,62$ $\sigma = 4,50$	Normal $\mu = 55,06$ $\sigma = 3,81$

(1) Llenar la tolva      (2) Subir la tolva  
 (3) Desplazar la tolva      (4) Vaciar la tolva  
 (5) Regresar la tolva      (5) Bajar la tolva

La prueba de bondad de ajuste Chi Cuadrado se aplicó a aquellas actividades cuyo tamaño de muestra fue mayor o igual a 50.

Antes de pasar a la Fase 4, se muestra el análisis de Bondad de ajuste por el método de Kolmogorov-Smirnof para la actividad de vaciar el concreto en columnas del piso 11, como ejemplo de aplicación de las dos técnicas

### 3.2. Análisis estadístico de las tareas por el método KolmogorovSmirnof

*Fase 1.* Nuevamente y bajo la metodología propuesta se identifican la tareas que componen la operación de construcción vaciar concreto en columnas: llenar la Tolva, subir la tolva, subir al obrero, esto se realiza para que pueda abrir la tolva y descargar, descargar la tolva, bajar al obrero y finalmente bajar la tolva.

*Fase 2.* Se miden los tiempos de ejecución de la tarea llenar la tolva para calcular sus estadísticos representativos.

*Fase 3.* Siguiendo el orden de la metodología se obtienen los parámetros estadísticos para realizar la prueba de bondad y ajuste, en este caso por Kolmogorov-Smirnof y se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6: Parámetros estadísticos calculados a partir de los datos observados en la toma de tiempos.

Tamaño de la muestra ( $N$ )	21
Media ( $\mu$ )	20,48
Desviación estándar ( $\sigma$ )	6,80
Número de intervalos de clase ( $NIC$ )	5
Rango de intervalos	30
Amplitud de intervalos ( $A$ )	6
Varianza ( $S^2$ )	46,26
Moda de la muestra	18
Valor máximo de la muestra	44
Valor mínimo de la muestra	14

Igualmente y siguiendo la metodología propuesta se realiza el análisis estadístico para la Distribución Normal como se muestra en la Tabla 7

La prueba de bondad de ajuste KolmogorovSmirnof es aplicada para la misma tarea, de igual manera, para las distribuciones exponencial, lognormal, beta, triangular y uniforme, generando la Tabla 8, donde es aceptada o rechazada la hipótesis nula para cada distribución.

Tabla 7: Análisis estadístico aplicado a la Distribución Normal mediante el ajuste por Kolmogorov-Smirnof (K-S).

Parámetros				Hipótesis Nula (Ho)	
$\mu$	20,48	n	%C	$\alpha$	ACEPTAR
$\sigma$	6,8	21	95	0,05	
Prueba de Bondad de Ajuste K-S a la Distribución Normal					
i	Xi	FDA	FDE	D+	D-
1	14	0,17	0,05	0,12	0,17
2	15	0,21	0,1	0,11	0,16
3	15	0,21	0,14	0,07	0,11
4	15	0,21	0,19	0,02	0,07
5	15	0,21	0,24	0,03	0,02
6	16	0,26	0,29	0,03	0,02
7	17	0,3	0,33	0,03	0,02
8	18	0,36	0,38	0,02	0,02
9	18	0,36	0,43	0,07	0,02
10	18	0,36	0,48	0,12	0,07
11	18	0,36	0,52	0,17	0,12
12	18	0,36	0,57	0,21	0,17
13	21	0,53	0,62	0,09	0,04
14	22	0,59	0,67	0,08	0,03
15	22	0,59	0,71	0,13	0,08
16	23	0,64	0,76	0,12	0,07
17	23	0,64	0,81	0,16	0,12
18	23	0,64	0,86	0,21	0,16
19	24	0,7	0,9	0,21	0,16
20	31	0,94	0,95	0,01	0,03
21	44	1	1	0	0,05

Tabla 8: Resumen del resultado de la hipótesis nula obtenida al aplicar la prueba K-S a cada distribución, además de un porcentaje de ajuste basado en el mismo análisis realizado en el análisis estadístico de las tareas por el método Chi Cuadrado.

Distribución	Hipótesis Nula	% de Ajuste
Normal	ACEPTAR	25,58
Exponencial	RECHAZAR	
Lognormal	ACEPTAR	29,86
Beta	RECHAZAR	
Triangular	RECHAZAR	
Uniforme	RECHAZAR	
Los datos se ajustan a una distribución		Lognormal
Parámetros		$\mu$ (seg) 2,98
		$\sigma$ (seg) 0,27

Se repiten los cálculos para cada distribución de probabilidades y para cada tarea de la operación y se presentan en la Tabla 9 los resultados obtenidos por la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnof para la Operación de construcción: Vaciado de Columnas por piso dividido en sus 6 tareas fundamentales.

Tabla 9: Resultados de la operación de Vaciado de concreto con tolva en columnas.

Tarea	Piso 3 N = 80	Piso 13 N = 54	Piso 14 N = 58
(1)	LOGNORMAL $\mu = 2,98$ $\sigma = 0,27$	NORMAL $\mu = 24,05$ $\sigma = 4,98$	LOGNORMAL $\mu = 3,01$ $\sigma = 0,24$
(2)	LOGNORMAL $\mu = 4,08$ $\sigma = 0,14$	NORMAL $\mu = 56,38$ $\sigma = 6,46$	LOGNORMAL $\mu = 4,22$ $\sigma = 0,11$
(3)	LOGNORMAL $\mu = 3,80$ $\sigma = 0,26$	LOGNORMAL $\mu = 4,08$ $\sigma = 0,31$	LOGNORMAL $\mu = 3,79$ $\sigma = 0,28$
(4)	LOGNORMAL $\mu = 2,91$ $\sigma = 0,27$	LOGNORMAL $\mu = 3,03$ $\sigma = 0,36$	LOGNORMAL $\mu = 2,74$ $\sigma = 0,30$
(5)	LOGNORMAL $\mu = 2,79$ $\sigma = 0,30$	NORMAL $\mu = 21,00$ $\sigma = 4,67$	LOGNORMAL $\mu = 3,15$ $\sigma = 0,30$
(6)	LOGNORMAL $\mu = 4,12$ $\sigma = 0,09$	NORMAL $\mu = 65,29$ $\sigma = 10,12$	NORMAL $\mu = 61,54$ $\sigma = 7,99$
(1) Llenar la tolva	(2) Subir la tolva		
(3) Subir obrero	(4) Vaciar la tolva		
(5) Bajar obrero	(6) Bajar la tolva		

### 3.3. La última Fase de la metodología consiste en la generación de tiempos aleatorios no uniformes de las distribuciones de mejor ajuste a la muestra de los tiempos

Se toma como ejemplo para la generación de tiempos aleatorios la tarea de Colocación del primer tablero de la operación de construcción: Encofrado de Columnas y la Distribución a la que se ajustaron los datos se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10: Tipo de distribución a la que se ajustaron los datos con sus parámetros estadísticos.

Parámetros Estadísticos	Tipo de Distribución
$\mu$ (seg)	5,02
$\sigma$ (seg)	0,29
	Lognormal

A partir de estos datos estadísticos se generaron un conjunto de números aleatorios utilizando el programa Excel y como esta tarea se ajusta a una distribución Lognormal, el método correspondiente es el Método de la Transformada inversa, para realizar la generación de los tiempos aleatorios [5].

El formato de Excel para esto es:  
DIST.LOG.INV(probabilidad;media;desv\_estándar)

Donde la probabilidad, es el número aleatorio generado, y la media y desv\_estándar son los parámetros estadísticos de la distribución a la que se ajusta la tarea.

Una vez que se pueden generar estos tiempos aleatorios entonces se puede realizar la simulación de cualquier operación de construcción para medir estadísticamente los rendimientos de las tareas y los posibles conflictos por asignación de los recursos.

## 4. Conclusiones

La generación de los tiempos aleatorios, completa el estudio de las actividades seleccionadas, y permiten diseñar un modelo de simulación respetando la secuencia de tareas, distribuciones de probabilidad definidas y los recursos utilizados.

En esta investigación se logra una metodología efectiva de cómo estudiar la duración de las operaciones de construcción para crear modelos bajo el sistema Cyclone y así analizar diferentes escenarios respecto a cantidad, tipo de recursos o interacciones de los mismos, y poder determinar los rendimientos más efectivos mediante la simulación de estas operaciones.

La simulación de procesos constructivos puede aplicarse como una herramienta para la gestión del conocimiento en construcción, ya que se pueden generar modelos de procesos constructivos con datos actuales y analizados con una herramienta simple como la estadística, y pueden ser desarrollados en proyectos futuros, tomando en consideración las variables propias del entorno de cada obra que se analice.

## Reconocimiento

Este artículo fue seleccionado por la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, como uno de los mejores Trabajos Especiales de Grado del año 2016.

## Referencias

- [1] Francisco Soto. Administración de obras. Trabajo de Ascenso, Escuela de Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela, 2016.

- [2] Daniel Halpin. *MicroCYCLONE. User's manual for constructions operations. Version 2.5.* Learning Systems, Inc., 1992.
- [3] Douglas C. Montgomery y George C. Runger. *Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería.* McGraw Hill, 1996.
- [4] Ninoska Maneiro y Agustín Mejías. *Estadística para ingeniería: una herramienta para la gestión de la calidad.* Dirección de Medios y Publicaciones, Universidad de Carabobo, Venezuela, 2010.
- [5] Mariangel Romero. *Evaluación estadística de los rendimientos de actividades de construcción del urbanismo.* Trabajo Especial de Grado, Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela, 2006.
- [6] Dayana Abreu y Miguel Dakak. *Metodología para la simulación de operaciones de construcción.* Trabajo Especial de Grado, Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela, 2007.