

Determination of constructive operation performances fitted to probability distributions by manual simulation means

Gustavo Guerra, Anahyl Tortosa, Francisco Soto, Reny Marin*

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

Abstract.-

This research aims to evaluate runtimes for constructive activities to determine statistical factors that will facilitate the development of a methodology of simulation of the processes mentioned above and therefore to obtain adapted performances to reality. For this, activities for preparation and placement of reinforcing steel in structural elements were defined and divided with their respective tasks, taking real runtimes, and a statistical study was developed applying different frequency distributions such as: Normal, Lognormal, Exponential, Beta, Triangular and uniform distribution fitted under certain tests for goodness-of-fit such as: Chi Square and Kolmogorov-Smirnov, to obtain in this way the probability curve that best fits to the analyzed tasks' times. Later, the random numbers were generated that will serve to develop the methodology of simulation in future studies and therefore to obtain adapted results to the reality of work for every company that wants to obtain a more accurate planning of runtimes for constructive activities.

Keywords: performances; simulation; for constructive activities.

Determinación de rendimientos de operaciones constructivas ajustadas a distribuciones de probabilidad mediante simulación manual

Resumen.-

El presente trabajo tiene como finalidad evaluar tiempos de ejecución de actividades constructivas para determinar estadísticos que facilitaran el desarrollo de una metodología de simulación de dichos procesos y así obtener rendimientos adaptados a la realidad. Para esto se definieron actividades de preparación y colocación de acero de refuerzo en elementos estructurales divididas con sus respectivas tareas tomándose tiempos reales de ejecución de las mismas y se realizó un estudio estadístico aplicando distintas distribuciones de frecuencia como lo son: La distribución Normal, Lognormal, Exponencial, Beta, Triangular y uniforme, ajustadas bajo ciertas pruebas de bondad de ajuste tales como: Chi Cuadrado y la prueba de Kolmogorov-Smirnov para obtener de esta manera la curva probabilística que más se ajusta a los tiempos de las tareas analizadas. Posteriormente se generaron los números aleatorios que servirán para desarrollar en futuros estudios la metodología de simulación y de esta manera obtener resultados adaptados a la realidad de trabajo de cada empresa que desee obtener una planificación más certera de los tiempos de ejecución de una obra.

Palabras clave: rendimientos; simulación; procesos constructivos.

Recibido: julio 2017

Aceptado: noviembre 2017

1. Introducción

En la planificación y ejecución de obras, es necesario el uso de herramientas para la toma de decisiones que optimicen los procesos constructivos, de manera de cumplir con los requerimientos

* Autor para correspondencia

Correo-e: renymarin1972@gmail.com (Reny Marin)

establecidos de tiempo de finalización, calidad y costos. Para esto es necesario evaluar la elección de procesos y sistemas constructivos, así como las características de los recursos a utilizar, como lo son los materiales, las maquinarias y las cuadrillas de mano de obra [1]

Esto se hace mediante la revisión de factores como la disponibilidad de los recursos, la capacitación de la mano de obra, las condiciones físicas de la obra, y sobre todo los rendimientos que se consigan en cada proceso constructivo. Lo recomendado en la gerencia de obra es generar simulaciones de los procesos para determinar la causa de los retrasos y aumento de precio de las actividades.

Basados en esta premisa, se desarrolló una metodología para simular operaciones de construcción partiendo del cálculo de rendimientos por medio de datos tomados en campo ajustados a distribuciones de frecuencia.

Para realizar esta simulación se utiliza el Sistema CYCLONE (CYCLic Opreations Network System), el cual fue desarrollado por el Dr. Daniel Halpin [1] y que se basa en tres estados temporales básicos en que se puede encontrar cualquier recurso: estado activo o de procesamiento, estado pasivo o de espera, y transición entre estados. La representación de estos estados otorga un formato gráfico para la construcción del modelo, el cual transcribe a un lenguaje computacional en el proceso de simulación.

Siguiendo la convención de representar el estado activo con un cuadrado, el pasivo con un círculo y los arcos de unión con flechas, se definen los elementos que se usan en la modelación de operaciones de construcción con el sistema CYCLONE.

El sistema CYCLONE permite representar los tiempos durante el cual las unidades están involucradas con las secuencias de tareas, determinar los tiempos ociosos de los recursos y la influencia sobre la productividad de las diferentes distribuciones de recursos, de modo que la gerencia pueda planificar y controlar la operación de construcción. Finalmente, es posible determinar la carga de trabajo asignada a recursos específicos de equipo y mano de obra, de modo que puedan hacerse

valoraciones representativas de los niveles de calidad de trabajo que puedan lograrse.

2. Marco teórico de la investigación

2.1. Operación de construcción

Una operación de construcción es, según Halpin [1], un conjunto de actividades que a su vez están formadas por una colección de tareas que son procesos que abarcan el uso de los recursos dentro de un formato tecnológico o metodología para el logro de los componentes físicos de la construcción. La descripción completa de las operaciones de construcción requiere la identificación de las tecnologías empleadas, la numeración y la secuencia de las tareas y la enumeración y ubicación de los recursos requeridos.

En lo anterior descrito, una tarea se refiere a la identificación y asignación de las porciones elementales del trabajo a los agentes de campo. Finalmente, una tarea es el elemento más básico de los procesos y operaciones y así, varias tareas forman una actividad.

2.2. Planificación y control de obra

Ahora bien, según Abreu y Dakak [2] es comprobable que una buena planificación asegura que cada tarea tenga la oportunidad de ser ejecutada adecuadamente, en el lugar apropiado y en el momento oportuno. Es decir, la planificación tiene como propósito principal lograr el cumplimiento de un objetivo con la mínima interferencia producida por eventos que puedan retrasar o detener su logro.

Sin duda la gerencia proyecta el uso eficiente de los recursos para el logro de la producción en el tiempo programado y con la calidad aceptable. A nivel de la operación de construcción los recursos son la mano de obra, equipos y materiales.

En efecto las características básicas de un proyecto y su impacto sobre la selección de los métodos de construcción y requerimiento de equipos son considerados en las etapas de planificación y estimado del proceso de construcción. Estas decisiones iniciales establecen el marco para las operaciones de construcción en campo. La gerencia entonces espera que los agentes de campo

trabajen dentro de los parámetros establecidos y que suplan la habilidad y el conocimiento requerido para cada operación de construcción.

Usualmente existen diversas tecnologías que describen la metodología y la manera en que estos recursos serán empleados para cada tarea. La tecnología seleccionada depende de una serie de factores tales como las condiciones del sitio, cantidades involucradas, disponibilidad de equipos, destreza de las cuadrillas y tiempos disponibles, y cada tecnología conduce a variaciones de la manera de lograr el cometido.

Es evidente que el interés de la gerencia de asegurar que el proyecto se cumpla en el tiempo y dentro del presupuesto asignado. El problema básico de la gerencia de construcción a nivel de obra es la apropiada y oportuna ubicación y aplicación de los recursos a las operaciones en sitio a lo largo de la vida del proyecto.

2.3. Rendimientos

En todo caso cuando se trata de la programación de las actividades, es necesario recurrir al tema de los rendimientos, puesto que la duración de una labor, tarea, trabajo, depende de la rapidez con que esta se realice, siendo el rendimiento la cantidad de unidades realizadas en una unidad de tiempo. Lo ideal sería que todas las actividades de la construcción se hicieran tan rápidamente como se quisiera, pero existen factores que pueden evitar que los recursos estén disponibles en el tiempo óptimo y limitar la velocidad del proceso.

Algunos de los factores son la dificultad o ineficiencia del proceso constructivo, suministro y dotación de material, disponibilidad de máquinas y equipos, capacidad del personal, factores climáticos, imprevistos como interrupción de los servicios públicos, etc.

Atendiendo estas consideraciones, estimar los rendimientos es esencial para cualquier decisión de la gerencia en la etapa de planificación y control de obra, por lo que resulta preciso la inspección y conducción del personal para la buena ejecución de las actividades, además del control de los rendimientos de cada jornada, para generar los ajustes que sean necesarios.

2.4. Simulación

Una herramienta de gran uso y que va a permitir tomar decisiones en la planificación es la simulación ya que a través de esta se van a poder detectar cualquier tipo de fallas que se presentes en un proyecto.

De manera global, la simulación es el proceso de diseñar y desarrollar un modelo de un sistema o proceso y conducir experimentos, involucrando ciertos tipos de modelos matemáticos, con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar estrategias con las cuales se puede operar el sistema a través de largos periodos de tiempo.

Al realizar un experimento de simulación, se introducen valores de entrada probabilísticos generados aleatoriamente y se utiliza el modelo para calcular los resultados.

2.5. Tiempos de duración para simulación

Los valores de entrada para una simulación se deben ajustar a tiempos reales medidos en campo o estimaciones. Los tiempos de tránsito de las tareas determinan los lapsos durante los cuales los recursos son usados en una tarea.

Según Abreu y Dakak [?] estos tiempos se ven influenciados por factores como:

1. La magnitud del trabajo realizado en la tarea
2. Tamaño y eficiencia de los equipos
3. Extensión del uso de mano de obra. La composición de la cuadrilla, la intensidad del esfuerzo físico y la motivación.
4. Ambiente físico del sitio de trabajo, condiciones de trabajo, horario, clima.
5. Eficiencia del control y dirección de la obra

Como método para la medición de tiempos en campo, el cronometrado es la técnica más utilizada para establecer los tiempos normales de ejecución de tareas. Existen dos técnicas para realizar una medición de cronómetro:

Método continuo: consiste en poner en marcha el cronómetro en el momento de comienzo del estudio y detenerlo en el momento que se concluya este.

Método intermitente: consiste en activar el cronómetro al comienzo del estudio y cada vez que finalice un elemento se detiene y se devuelve la

lectura a cero, obteniéndose así la duración de cada elemento.

2.6. Distribuciones de probabilidad

Para la aplicación del sistema CYCLONE se tomó en consideración las distribuciones de probabilidad que aporta el Dr. Daniel Halpin [1] y que representan la mayoría de las distribuciones de tiempos probabilísticos en operaciones de construcción.

Dado que la dificultad implícita es conocer los tiempos de ejecución de las tareas y las distribuciones de probabilidad de esos tiempos para operaciones típicas de construcción es que se desarrolla esta investigación tomando tiempos de ejecución de tareas propias de cada actividad que forma la operación de construcción seleccionada.

2.7. Distribución normal

La distribución normal, también llamada distribución de Gauss o distribución gaussiana, es la distribución de probabilidad que con más frecuencia aparece en estadística y teoría de probabilidades.

Esto se debe a dos razones:

Su función de densidad es simétrica y con forma de campana, lo que favorece su aplicación como modelo a gran número de variables estadísticas.

Es además límite de otras distribuciones y aparece relacionada con multitud de resultados ligados a la teoría de las probabilidades gracias a sus propiedades matemáticas.

2.8. Distribución beta

En estadística la distribución beta es una distribución de probabilidad continua con dos parámetros de forma (a y b) y que se asemeja a la Distribución Normal.

2.9. Distribución exponencial

En estadística la distribución exponencial es una distribución de probabilidad continua con un parámetro $\lambda > 0$.

2.10. Distribución uniforme

En estadística la distribución uniforme es una distribución de probabilidad continua con dos parámetros a y b, que pueden estar representados en caso discreto o en caso continuo.

2.11. Distribución lognormal

En probabilidad y estadística, la distribución lognormal es una distribución de probabilidad de cualquier variable aleatoria con un logaritmo normalmente distribuido (la base de una función logarítmica no es importante ya que $\log_a(X)$ está distribuida normalmente si y solo si $\log_b(X)$ está distribuida normalmente). Si X es una variable aleatoria con una distribución normal, entonces $\exp^{(X)}$ es una distribución lognormal. Una variable puede ser modelada como lognormal si puede ser considerada como un producto multiplicativo de muchos pequeños factores independientes

2.12. Distribución triangular

Se denomina así por el hecho de que la función de densidad tiene una forma triangular y es definida por dos parámetros, que representan el valor mínimo y el valor máximo de la variable. En este caso el triángulo es equilátero. Se denomina triangular G (triangular general), cuando viene dada por tres parámetros, que representan el valor mínimo y el valor máximo de la variable, y el valor del punto en el que el triángulo toma su altura máxima. En este caso el triángulo no es necesariamente equilátero.

2.13. Bondad de ajuste

Las pruebas de bondad de ajuste se utilizan para determinar si un conjunto de datos se ajustan a una distribución de probabilidades y con cual nivel de confiabilidad. En esta investigación se usaron la prueba de chi-cuadrado y la prueba de Komogorov-Smirnov

Para investigar si las frecuencias con las cuales ocurren los valores de una variable (frecuencias observadas) son parecidas a las que debieran tener de acuerdo con un determinado modelo de probabilidades (frecuencias esperadas), se hace una comparación entre ambas. Los valores de la variable pueden ser continuos y en este caso se

investiga la frecuencia o número de veces que ocurren aquéllos dentro de determinados intervalos o bien puede tratarse de valores discretos incluso nominales u ordinales.

Para ello necesitamos un método que nos permita decidir cuándo la discrepancia entre un conjunto de frecuencias observadas y su correspondiente conjunto de frecuencias esperadas de acuerdo con alguna hipótesis, pueden presentarse por la aleatoriedad del fenómeno, siendo cierta la hipótesis; o bien si dicha discrepancia es tan grande que es improbable que sea debida a la aleatoriedad y por lo tanto creemos que se debe a que la hipótesis no es cierta.

2.14. Chi-cuadrado

Alrededor de 1900 el matemático inglés K. Pearson propuso como medida de discrepancias entre frecuencias observadas y esperadas, el siguiente estadístico D (resulta una variable aleatoria al considerar muchas veces el mismo proceso de muestreo):

$$D = \sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (1)$$

Donde llamaremos O_i a la frecuencia observada en la clase, esto es, la categoría i ($i= 1,2,\dots, 9$) y para cada clase o categoría, la hipótesis permite encontrar cuál es la frecuencia que se espera, que llamaremos E_i .

Pearson consideró teóricamente muchas repeticiones del proceso de muestreo y que en cada repetición se generaría un conjunto distinto de frecuencias observadas $\{O_i,\dots,O_h\}$, dando origen, para esa repetición, a un valor de D particular. De este modo se considera entonces un conjunto teórico infinito de valores de D, obtenidos de muchas muestras independientes, al considerar cierta hipótesis planteada. Este conjunto de D o población teórica de D presenta variación aleatoria. Los valores de las D no coinciden; sin embargo, si presentan regularidades estadísticas que se pueden resumir con su función de distribución a la que Pearson llamó distribución de χ^2 (Chi-Cuadrado).

2.15. Kolmogorov-Smirnov

La prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra se considera un procedimiento de “bondad de ajuste”, es decir, permite medir el grado de concordancia existente entre la distribución de un conjunto de datos y una distribución teórica específica. Su objetivo es señalar si los datos provienen de una población que tiene la distribución teórica especificada.

Mediante la prueba se compara la distribución acumulada de las frecuencias teóricas (f_t) con la distribución acumulada de las frecuencias observadas (f_{obs}), se encuentra el punto de divergencia máxima y se determina qué probabilidad existe de que una diferencia de esa magnitud se deba al azar. Al número de términos independientes del tipo $(O_i - E_i)^2 / E_i$ se le conoce como grados de libertad de la χ^2 . En general estos grados de libertad son el número de parámetros (p) que tenga la distribución de probabilidad a evaluar menos uno menos el número de categorías o número de intervalos obtenidos en la muestra (h) agrupados para que la frecuencia esperada sea mayor que 5.

A continuación se presentan los pasos a seguir para aprobar o rechazar la hipótesis planteada:

- Paso 1: Al efectuar nuestro experimento u observación obtenemos ciertas frecuencias observadas $\{O_i,\dots,O_h\}$.
- Paso 2: Considerando la hipótesis obtenemos las frecuencias esperadas E_i,\dots, E_h .
- Paso 3: La discrepancia entre estos dos conjuntos la medimos con la ecuación (1), esto será un valor único.
- Paso 4: Comparamos este valor único de D con la distribución teórica de los valores de D cuando la hipótesis es cierta. Esta comparación consiste en observar si nuestro valor de D del paso 3, es un valor “grande” indicando una discrepancia grande entre las frecuencias esperadas y las observadas, lo que nos conduciría a rechazar la hipótesis planteada. Sin embargo, para decidir cuándo un valor de D es grande, determinamos si

ese valor de D está entre los valores de D improbables en la distribución de χ^2 . De modo que la magnitud relativa de D la evaluamos en términos de la probabilidad de ocurrencia de una D como esa o mayor en la distribución de χ^2 (distribución teórica de valores de D).

Para dar una idea de la apariencia de la distribución de χ^2 y de los valores improbables de D en ella ($p < 0.05$ o $p < 0.01$) se presentan las distribuciones de χ^2 con 2 y con 10 gl. señalando en ambos casos las zonas de valores de D improbables, también llamada zona de rechazo de la hipótesis. Esto se debe a que, si el valor único de D que tenemos es grande y con pocas probabilidades ($p < 0,05$ o $p < 0.01$) de ocurrir si la hipótesis es cierta, automáticamente pasamos al Paso 5 y rechazamos la hipótesis.

- Paso 5: Rechazar la hipótesis si D es “grande”, con pocas probabilidades de ocurrir si la hipótesis es cierta. Se dice que hay diferencias significativas o bien no rechazar la hipótesis si D es “pequeño” con muchas ($p > 0.05$) probabilidades de ocurrir si la hipótesis es cierta. Se dice que no hay diferencias significativas.

La manera más sencilla de investigar si un valor de D está o no en la zona de rechazo de la hipótesis, es comparándolo con el valor de χ^2 de las tablas (con los grados de libertad correspondientes) que deja a la derecha un área de 0.05 (o 0.01). Así las reglas de decisión en el paso 5 del procedimiento son:

- Si $D \geq \chi^2_{h-r}, 0,05$ la hipótesis se rechaza, $p < 0.05$. Las discrepancias son significativas.

Donde $\chi^2_{h-r}, 0,05$ es el valor en las tablas de χ^2 que deja a la derecha valores de D con una probabilidad de 0,05, cuando se tienen $h - r$ grados de libertad.

- Si $D \leq \chi^2_{h-r}, 0,05$ la hipótesis no se rechaza, $p > 0.05$. Las discrepancias no son significativas.

3. Metodología de la investigación

La investigación se desarrolló en una obra en construcción en la etapa de estructura, en la que se identificaron diversas operaciones de construcción como son: excavación, encofrado, preparación de acero de refuerzo, colocación del concreto, desencofrado y curado de los elementos vaciados. De todas estas operaciones se determinó que la que presentaba la mayor uniformidad de ejecución era la actividad *preparar refuerzo de acero longitudinal para armado de vigas* formada por tareas que van desde la selección de las barras, su corte a medida, preparación, hasta el doblado y armado en elementos que al colocarse en sitio formarían parte de columnas, vigas y losas de la estructura.

Esta uniformidad en la ejecución en campo permite controlar la medición de tiempos de ejecución de cada tarea, desde la toma de la barra de la pila, su colocación en la máquina de corte, traslado el sitio de doblado y ensamblaje de la pieza final.

Una vez realizada la toma en sitio de los tiempos de ejecución de las actividades seleccionadas se procederá a ordenarlos de menor a mayor para luego agruparlos en rangos de intervalos de clase en forma de histograma. A continuación se enumeran los pasos a seguir para de la metodología planteada [3]:

1. Determinar el Rango (R) de los datos el cual es igual a:

$$R = D_M - D_m \quad (2)$$

Donde:

D_M : Dato Mayor

D_m ; Dato menor

2. Obtener el número de clases (N_c).

$$N_c = 1 + 3,322 \log(n) \quad (3)$$

Donde n : tamaño de la muestra

3. Determinar la Amplitud (A_s) o longitud del intervalo como el cociente del rango entre el número de clases.

$$A_s = \frac{R}{N_c} \quad (4)$$

4. Calcular los parámetros estadísticos tales como la media, desviación estándar, moda y la varianza.
5. Definir los intervalos de clases y registrar tanto las frecuencias observadas como las relativas.
6. Graficar el histograma y someter a estudios estadísticos, para analizar a partir de las diferentes distribuciones de frecuencia cuál de las funciones probabilísticas definen la población. Las distribuciones son: Distribución Normal, Lognormal, Exponencial, Beta, Triangular y Uniforme debido a que estas son curvas con las que mejores se adaptan a actividades de procesos constructivos [4, 5, 3].

Para decidir cualitativamente si las frecuencias observadas están o no en concordancia con las frecuencias esperadas realizar el uso de un contraste de hipótesis usando la distribución Chi-cuadrado. Para esto se requiere que todos los valores de la frecuencia esperada sean mayores a 5 por lo que se deben de sumar entre si todos los valores menores a 5 y de esta manera disminuir el número de clases.

7. Comparar el valor del estadístico de contraste “D” con el valor de X^2 de la tabla de la prueba de bondad de ajuste de Chi-cuadrado con los grados de libertad correspondientes y su probabilidad de ocurrencia. Para calcular los Grados de Libertad (GL) de cada distribución se utiliza la siguiente expresión:

$$G_L = N_c - N_p - 1 \quad (5)$$

Donde N_p : número de parámetros

Si el estadístico X^2 es mayor que el estadístico de contraste “D” calculado se dice que se distribuye de acuerdo a dicha distribución y se acepta la hipótesis.

Si los grados de libertad son menores o iguales a cero entonces no se puede aplicar la prueba de Ji-Cuadrado como prueba de bondad de ajuste, por lo tanto se aplicará la prueba de Kolmogorov-Smirnov [4, 3].

Una vez que se obtiene la distribución de probabilidades a la que mejor se ajustan los tiem-

pos de las tareas, se generan números aleatorios según esas distribuciones y así poder realizar la simulación. Para la Distribución Normal se utiliza el método directo, para la exponencial y triangular se utiliza el método de la transformada inversa y para la distribución Beta y Lognormal la función del programa EXCEL que contiene la acumulada inversa de estas distribuciones [2].

Luego de haber obtenidos los números aleatorios ajustados a una distribución específica, estos se usaran como la duración de cada una de las tareas. Por lo que se puede proceder a realizar la simulación manual de la actividad deseada, tomando en cuenta lo siguiente:

- a) Realizar una inspección del modelos y analizarlo para entender la secuencia de las tareas
- b) Iniciar la simulación con las tareas que tengan todas las condiciones necesarias para empezar
- c) Asignarle una duración a la tarea que haya empezado
- d) Registrar el tiempo en que se terminó la tarea
- e) Observar que tarea prosigue, siguiendo un orden lógico
- f) Si existen varios recursos hay que estar pendiente con los tiempos de terminación del evento

Una vez realizada la simulación manual, se obtienen para cada tarea el tiempo en que inicia la duración y el tiempo de terminación del evento para luego usar la duración para calcular el tiempo en que estuvo activa la tarea, valor medio, desviación estándar, valor máximo, valor mínimo y de esta manera obtener los rendimientos [6].

4. Análisis y discusión de los resultados

4.1. Definición de las actividades de construcción a ser evaluadas en el Edificio

Actividad 1. Preparar acero de refuerzo longitudinal para armado de vigas.

La finalidad de esta actividad es procesar las barras de acero de manera que obtengan las dimensiones de corte y doblado estipuladas en los planos para cada viga, de manera que se pueda disponer del refuerzo para armarlas.

Tarea 1 Cortar cabilla.

En el taller provisional de los cabilleros en la obra, ubicado al lado de la zona de depósito de cabillas, se construye una mesa soporte con una tabla de doce (12 metros) donde se marca con una tiza la longitud de la cabilla estipuladas en el plano.

El tiempo de la tarea empieza al levantar la cabilla del lugar donde está depositada, se coloca en la tabla de soporte para marcarla en la longitud previamente especificada, se levanta para colocar el punto marcado encima de la máquina cortadora, para luego la cortar la cabilla con la máquina de diente eléctrica. Por último el tiempo termina cuando la cabilla es depositada en el suelo.

Las cabillas de una misma viga se depositan juntas para ser atadas y etiquetadas antes de ser trasladadas a la losa donde serán armadas.

Tarea 2 Doblar gancho.

En el taller provisional de los cabilleros en la obra, se instala la máquina de doblar barras de acero en una mesa donde se marca la longitud del gancho y se programa la máquina para el ángulo de doblado requerido.

El tiempo de la tarea comienza cuando con la acción de levantar la cabilla de donde está depositada, colocarla en mesa de soporte, se marca la longitud a la que será doblada y se levanta para colocarla en la máquina eléctrica. Por último la depositan en el suelo.

Actividad 2. Doblar estribos para vigas.

La finalidad de esta actividades transformar la cabilla ya cortada en un estribo con las dimensiones especificadas en plano.

Tarea 1 Colocar cabilla.

Se toma a cabilla depositada en el suelo y se introduce en un tubo de acero, luego se posiciona el extremo de la cabilla en el mandril, que está marcado con la medida necesaria del gancho y de los lados del estribo y posee un clavo de referencia para obtener el ángulo deseado para el gancho y los vértices.

Tarea 2 Doblar estribo.

Haciendo uso de la fuerza se dobla la cabilla empujando en tubo en dirección al mandril, utilizando las referencias se obtienen los cuatro vértices de estribo y los ganchos normativos.

Actividad 3. Armar acero de refuerzo de vigas.

La finalidad de esta actividad consiste en montar el refuerzo de acero de la viga que será encofrado para vaciar el concreto.

Tarea 1 Colocar acero de refuerzo longitudinal.

El atado de las barras de acero ya listas para su colocación es colocado en la proximidad del lugar donde será armado mediante una grúa. El tiempo de la tarea comienza al levantar la cabilla y colocarla entre los nodos o puntos de referencia que especifique el plano para luego amarrarla con alambres de acero.

Tarea 2 Colocar estribos.

El acero cortado y doblado para utilizar como estribo es colocado en la proximidad de la viga que será armada. El tiempo se toma desde que levantan del suelo al estribo, para luego introducirlo en el acero longitudinal previamente colocado.

Tarea 3 Amarrar estribos.

El tiempo evaluado transcurre al cortar un trozo doble de alambre de entre 20 y 25cm aproximadamente y amarrar con esto una esquina del estribo al acero longitudinal en la marca de tiza dibujada previamente.

4.2. Procedimiento de Generación de tiempos aleatorios aplicados a una Tarea

Para mostrar el procedimiento utilizado se presentan los resultados de la tarea 1 de corte de cabillas que pertenece a la actividad 1 de preparación de acero longitudinal desde la fase de toma de tiempos en campo hasta la generación de los tiempos aleatorios necesarios para realizar una simulación.

Tal como quedó establecido en la Metodología, primero se tomaron los tiempos de ejecución de la

tarea según su definición. Este proceso se realizó en la obra.

Actividad 1. Preparar refuerzo de acero longitudinal para armado de vigas.

Tarea 1 Cortar cabilla.

Tabla 1: Tiempos tomados en obra.

Tiempos Observados							Sumatorias
6	8	11	15	19	24	42	125.00
6	8	12	16	19	27	47	135.00
7	8	12	16	19	27	64	153.00
7	9	13	16	20	28	81	174.00
7	9	13	18	20	29		96.00
7	9	14	18	22	29		99.00
7	9	14	18	22	32		102.00
8	10	15	18	23	32		106.00
8	10	15	19	23	34		109.00
8	11	15	19	24	36		113.00
Total							1212.00
Promedio							18.94

Se calculan entonces los parámetros estadísticos: media, Desviación estándar, moda y la varianza.

Tabla 2: Parámetros estadísticos calculados a partir de los tiempos tomados en obra.

Media	DS (σ)	TM	NIC	NIC Equivalente
18.94	13.41	64	7.0	7
Rango	Amplitud	σ^2	FP	Moda
75.00	10.71	179.900794	9.14285714	8

DS: desviación estándar
 TM: tamaño de la muestra
 FP: frecuencia promedio

La determinación de los Intervalos se realiza a partir de la metodología planteada, primero con la definición del Rango según la ecuación (2), el número de clases de la ecuación (3) y la amplitud según la ecuación (4), y se establecen las frecuencias observadas y las relativas.

Se calculan entonces los parámetros estadísticos: media, Desviación estándar, moda y la varianza.

De la misma manera fue realizada la prueba de bondad de ajuste para las demás actividades,

Tabla 3: Determinación de los intervalos.

LI	LS	Punto Medio	FO	FOR	FORA
6.00	16.71	11.36	34	0.53125	0.53125
16.71	27.43	22.07	19	0.296875	0.828125
27.43	38.14	32.79	7	0.109375	0.9375
38.14	48.86	43.50	2	0.03125	0.96875
48.86	59.57	54.21	0	0	0.96875
59.57	70.29	64.93	1	0.015625	0.984375
70.29	81.00	75.64	1	0.015625	1

FO: Frecuencia Observada
 FOR: Frecuencia observada Relativa
 FORA: Frecuencia observada Relativa Acumulada

Tabla 4: Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov a la distribución normal.

FORA	PS	FORA- PS
0.53125	0.43	0.0971
0.828125	0.74	0.0915
0.9375	0.92	0.0136
0.96875	0.99	0.0184
0.96875	1.00	0.0300
0.984375	1.00	0.0156
1	1.00	0.0000
Estadístico SK	0.0971	Si cumple
D64,0.95	0.17	

PS: Probabilidad Superior
 Esta tarea se ajusta a una Distribución Normal por Kolmogorov-Smirnov con un nivel de confianza del 95 %

Tabla 5: prueba de bondad de ajuste χ^2 a la distribución exponencial.

PS	PI	FE	FEC	FO	FOC	$\frac{(FO-FE)^2}{FE}$
0.59	0.59	37.5228913	37.5228913	34	34	0.33
0.77	0.18	11.4401712	11.4401712	19	19	5.00
0.87	0.10	6.49712706	6.49712706	7	7	0.04
0.92	0.06	3.68986261	7.65142062	2	4	1.74
0.96	0.03	2.09555485		0		
0.98	0.02	1.19011209		1		
0.99	0.01	0.67589106		1		

$$\chi^2 = 7,10785237$$

$$\chi^2_{0,95} = 5,99146455$$

No cumple

PI: Probabilidad del Intervalo
 FE: Frecuencia Esperada
 FEC: Frecuencia Esperada Corregida
 FO: Frecuencia Observada
 FOC: Frecuencia Observada Corregida

resultando estas ajustadas a las distribuciones ver Tabla 10.

En el desarrollo del análisis de resultados se pudo notar que existieron tareas que se ajustaron

Tabla 6: Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov a la distribución lognormal.

FORA	PS	FORA- PS	
0.53125	$1,1 \times 10^{-1}$	0.4166	
0.828125	$1,2 \times 10^{-1}$	0.7061	
0.9375	$1,3 \times 10^{-1}$	0.8104	
0.96875	$1,3 \times 10^{-1}$	0.8378	
0.96875	$1,3 \times 10^{-1}$	0.8346	
0.984375	$1,4 \times 10^{-1}$	0.8476	
1	$1,4 \times 10^{-1}$	0.8609	
Estadístico SK		0.8609	No cumple
D64,0.95		0.17	

Tabla 7: Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov a la distribución beta.

FORA	PS	FORA- PS	
0.53125	0.57	0.0384	
0.828125	0.78	0.2584	
0.9375	0.89	0.0440	
0.96875	0.96	0.0121	
0.96875	0.99	0.0185	
0.984375	1.00	0.0140	
1	1.00	0.0000	
Estadístico SK		0.2584	No cumple
D64,0.95		0.17	

Tabla 8: Prueba de bondad de ajuste χ^2 a la distribución triangular.

PS	PI	FE	FEC	FO	FOC	$\frac{(FO-FE)^2}{FE}$
0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	34	34	0
0.24518	0.24518	15.6914	15.6914	19	19	0.69765067
0.66452	0.41935	26.8381	26.8381	7	7	14.6638929
0.81129	0.14677	9.3933	9.3933	2	2	5.81917971
0.91613	0.10484	6.7095	6.7095	0	0	6.70953313
0.97903	0.06290	4.0257	5.3676	1	2	2.11283484
1.00000	0.02097	1.3419		1		
				$\chi^2 = 30,00$		No cumple
				$\chi^2_{0,99} = 9,21034037$		

a distintas distribuciones de frecuencia al mismo tiempo (Normal, Exponencial y Beta), por lo que se seleccionó la distribución normal para generar los números aleatorios en base al teorema del límite central que explica que si se obtienen muestras considerablemente grandes para cada tarea se encontrará que los tiempos siempre se ajustaran a una distribución normal [7]. De esta manera se concluyó que seis de las siete tareas estudiadas se ajustaron a una distribución

Tabla 9: Prueba de bondad de ajuste χ^2 a la distribución uniforme.

PS	PI	FE	FEC	FO	FOC	$\frac{(FO-FE)^2}{FE}$	
0.00	0.00	0.000	0.000	34	34	0	
0.14	0.14	9.143	9.143	19	19	10.62723214	
0.29	0.14	9.143	9.143	7	7	0.502232143	
0.43	0.14	9.143	9.143	2	2	5.580357143	
0.57	0.14	9.143	9.143	0	0	9.142857143	
0.71	0.14	9.143	9.143	1	1	7.252232143	
0.86	0.14	9.143	9.143	1	1	7.252232143	
					$\chi^2 = 40,35714286$		No cumple
					$\chi^2_{0,99} = 16,81189383$		

Tabla 10: Prueba de bondad de ajuste χ^2 a la distribución uniforme.

Actividad	Tarea	Distribución					
		N	L	E	B	T	U
2	1	X					
	2	X			X		
3	1	X			X		
	2	X					
4	1	X		X	X		
	2				X		
	3	X			X		

N: Normal
 L: Lognormal
 E: Exponencial
 B: Beta
 T: Triangular
 U: Uniforme

normal y la tarea restante se ajustó solo a una distribución beta, confirmando el estudio de Daniel Halpin donde concluye que el mayor porcentaje de actividades de operaciones que analizó se ajustan a estas distribuciones.

5. Conclusiones

Delimitar las tareas de cada una de las actividades debe ser una decisión que tome en cuenta las características del sistema constructivo, el personal, máquinas y los factores de demora en los tiempos de ejecución.

Mediante este estudio se obtuvieron los tiempos de tareas constructivas ajustados a distribuciones probabilísticas por medio de pruebas de bondad de ajuste, debido a que para la aplicación de la prueba de chi cuadrado la frecuencia esperada de la distribución debe ser siempre mayor a 5 [7, 8]

en algunos casos se agruparon varios intervalos, lo que produjo que el número de los grados de libertad resultase cero o menor que cero, por lo tanto no puede ser utilizada la prueba antes mencionada y se procedió a utilizar la prueba de Kolmogorof-Smirnov ya que esta es una prueba no paramétrica [9].

Se determinaron los números aleatorios dependiendo de la distribución que más se ajusta a las tareas estudiadas en esta investigación. Con estos datos se puede generar los ciclos de cada actividad con los nodos Q, combi, normal, consolidar y contador, y finalmente con la simulación manual o por medio del programa Cyclone estimar el tiempo de finalización de la actividad, porcentaje de tiempo ocupado y desocupado del nodo, perfil de uso del recurso, perfil de realización de la actividad, productividad y finalmente los rendimientos para los interesados en conocer plazos de tiempo fiables para la planificación de las actividades estudiadas, debido a esto el ingeniero de obra podrá programar adecuadamente cada una de las actividades relacionándolas con una secuencia lógica de ejecución con la finalidad de evitar demoras e inconvenientes que afecten el rendimiento de la obra.

6. Recomendaciones

Se recomienda que el ajuste de los tiempos tomados en campo a distribuciones probabilísticas mediante pruebas de ajustes e incluso la generación de números aleatorios sea realizado mediante el uso de programas estadísticos, los cuales pueden simplificar el proceso.

Para finalizar es indispensable elaborar trabajos de grado que utilicen la metodología anteriormente planteada para otro tipo de actividades constructivas.

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] Daniel W. Halpin and Ronald W. Woodhead. *Design of construction and process operations*. John Wiley & Sons, Inc., 1976.
- [2] Miguel Dakak y Dayana Abreu. Metodología para la simulación de operaciones de construcción. Trabajo Especial de Grado, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Carabobo, Venezuela, 2007.
- [3] Mariangel Romero C. Evaluación estadística de los rendimientos de actividades de construcción del urbanismo. Trabajo Especial de Grado, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Carabobo, Venezuela, 2006.
- [4] José Hugo Chourio. *Estadística II*. Editorial Biosfera, Caracas, Venezuela, 1987.
- [5] Mariangel Escalona. Determinación de las distribuciones de los tiempos de ejecución de las tareas de construcción en instalaciones sanitarias. Trabajo Especial de Grado, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Carabobo, Venezuela, 1997.
- [6] Rhaiza Álvarez. Simulación manual de operaciones de construcción usando la metodología cyclon. Trabajo Especial de Grado, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Carabobo, Venezuela, 2009.
- [7] José Hugo Chourio. *Estadística I*. Editorial Biosfera, Caracas, Venezuela, 1987.
- [8] Ninoska Maneiro. Algunos conceptos básicos y ejercicios de inferencia estadística. Valencia, Venezuela, 1996.
- [9] Ninoska Maneiro y Agustín Mejías. Estadística para ingeniería: una herramienta para la gestión de la calidad. Valencia, Venezuela, 2010.