



FACULTAD DE INGENIERIA

Maestría en Ingeniería Civil

Trabajo de Grado

Simulación de Eventos Discretos y Líneas de Balance, Aplicadas al  
Mejoramiento del Proceso Constructivo del Edificio Universidad  
Ciudad – PUJ

Presentado por:

Ing. Jorge Orlando Ávila Díaz

Ing. Natalia Quintana Pulido

Director

Ing. Adriana Gómez Cabrera. MIC

Bogotá D.C.

Junio de 2014

## **APROBACIÓN**

El Trabajo de grado con título “Simulación de Eventos Discretos y Líneas de Balance, Aplicadas al Mejoramiento del Proceso Constructivo del Edificio Universidad Ciudad – PUJ.”, desarrollado por los estudiantes Jorge Orlando Ávila Díaz y Natalia Quintana Pulido, en cumplimiento de uno de los requisitos depuestos por la Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería civil, para optar al Título de Magister en ingeniería Civil, fue aprobado por:

### **Director**

Ing. Adriana Gómez Cabrera MIC

### **Jurado 1**

Ing. Yezid Alvarado Ph.D

### **Jurado 2**

Ing. Holmes Páez MIC

Simulación de Eventos Discretos y Líneas de Balance, Aplicadas al  
Mejoramiento del Proceso Constructivo del Edificio Universidad  
Ciudad – PUJ

Jorge Orlando Ávila Díaz

Natalia Quintana Pulido

*La Pontificia Universidad Javeriana, no es responsable por los conceptos emitidos por los autores-investigadores del presente trabajo, por lo cual son responsabilidad absoluta de sus autores y no comprometen la idoneidad de la institución ni de sus valores.*

## RESUMEN

En Colombia los procesos de planeación de proyectos de construcción se basan principalmente en la experiencia adquirida por los constructores, no se manejan herramientas de planeación que fomenten la investigación en este campo, y que faciliten la toma de decisiones para mejorar la productividad y disminuir los tiempos de ejecución. El objeto del trabajo fue establecer propuestas de mejoramiento al proceso de planeación de tiempos y costos en la etapa de cimentación de un edificio. Se utilizaron herramientas de simulación de eventos discretos, programación con líneas de balance y metodologías Building Information Modeling – BIM para la animación de las alternativas planteadas. Se definieron los flujos de trabajo, recursos utilizados, duraciones de actividades, restricciones y se generó un modelo de simulación de eventos discretos que imitara el proceso constructivo. Partiendo de la programación del proyecto se generaron las programaciones con líneas de balance. Se construyó y ejecutó el modelo de simulación en el tiempo. Se propusieron y modelaron doce alternativas de mejora, encontrando reducciones en tiempo y costo. Se concluye que la integración de las herramientas utilizadas es de gran utilidad en la planeación y toma de decisiones en un proyecto civil, ya que facilita la detección de errores en diseño e interferencias, deficiencias en planeación, y permiten la modelación de alternativas previas a la construcción, obteniendo resultados de mayor calidad a menores costos.

**Palabras clave:** Simulación, flujos de trabajo, línea de balance, BIM, construcción sin pérdidas.

## **ABSTRACT**

In Colombia the planning processes of construction projects are based primarily on the experience gained by the contractors. Planning tools that encourage research on this field and facilitate decision making to improve productivity and reduce execution times are not used. The objective of this study is to establish improvement proposals for the time and cost planning processes during the foundation stage of a building. Tools for discrete event simulation, balance lines programming and Building Information Modeling (BIM) methodologies were used for animation of the proposed alternatives. The workflows, used resources, duration of activities and restrictions were established and a model for discrete event simulation that mimicked the construction process was generated. Based on the Project Schedule, the scheduling was generated using balance lines. A time simulation model was generated and executed. During this study there were twelve improvement alternatives proposed and modeled, finding reductions in time and cost. It is concluded that the integration of the tools used is very helpful in the planning and decision-making process of a civil engineering project, as it facilitates the detection of design errors and interferences, poor planning, and allows the modeling of pre-construction alternatives, obtaining higher quality results at lower costs.

**Keywords:** simulation, workflows, balance lines, BIM, lean construction.

## TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN .....	11
2	OBJETIVOS .....	12
2.1	OBJETIVO GENERAL .....	12
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
3	ANTECEDENTES .....	13
4	MARCO DE REFERENCIA .....	17
4.1	FLUJOS DE TRABAJO .....	17
4.2	PLANIFICACION.....	17
4.3	PRODUCTIVIDAD .....	18
4.4	LEAN CONSTRUCTION .....	18
4.5	BIM (BUILDING INFORMATION MODELING) .....	19
4.6	SIMULACION.....	20
4.6.1	Simulación de eventos discretos.....	23
4.6.2	Simulación con el software Arena® .....	24
4.6.3	Simulación de procesos constructivos .....	25
4.7	LÍNEAS DE BALANCE.....	25
5	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO - EDIFICIO UNIVERSIDAD CIUDAD....	27
6	MÉTODOLOGÍA.....	29
6.1	AUSCULTACIÓN VISUAL Y TOMA DE DATOS .....	30
6.2	SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS.....	36
6.2.1	Validación del modelo .....	39

6.3	PROGRAMACIÓN DE OBRA CON LÍNEAS DE BALANCE.....	41
6.4	ELABORACIÓN DEL MODELO PARAMÉTRICO 4D .....	43
7	PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO .....	48
8	RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	51
8.1	RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS .....	51
8.2	RESULTADOS DE LA PROGRAMACIÓN CON LÍNEAS DE BALANCE	63
8.3	RESULTADOS MODELACIÓN PARAMÉTRICA EN 4D .....	64
9	DISCUSIÓN .....	65
10	CONCLUSIONES.....	68
11	RECOMENDACIONES .....	71
12	BIBLIOGRAFÍA .....	72
13	ANEXOS .....	74

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de planos empleados .....	30
Tabla 2. Actividades analizadas .....	33
Tabla 3. Resultados para 10 corridas .....	40
Tabla 4. Iteraciones requeridas para calcular el número de replicaciones.....	41
Tabla 5. Número de Oficiales y Ayudantes .....	51
Tabla 6. Resumen alternativa 1 .....	53
Tabla 7. Resumen Alternativa 2 .....	54
Tabla 8. Resumen alternativa 3 .....	55
Tabla 9. Resumen alternativa 4 .....	56
Tabla 10 Resultados alternativa 5.....	56
Tabla 11. Resultados alternativa 6.....	57
Tabla 12. Resultados alternativa 7.....	57
Tabla 13. Resumen alternativa 8 .....	58
Tabla 14. Resultados alternativa 9.....	58
Tabla 15. Resultados alternativa 10.....	59
Tabla 16. Resultados alternativa 11.....	60
Tabla 17. Resumen de resultados alternativas propuestas .....	61

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Pasos para la creación de un modelo de Simulación.....	22
Figura 2. Edificio Universidad Ciudad .....	28
Figura 3. Construcción caisson circular $\varnothing$ 1.20 m.....	30
Figura 4. Construcción caisson circular $\varnothing$ 1.50 m.....	31
Figura 5. Construcción caisson circular $\varnothing$ 7.0 m.....	31
Figura 6. Construcción caisson media luna luna $r=$ 1.20 m.....	31
Figura 7. Construcción caisson ovalado .....	32
Figura 8. Construcción de pilotes.....	32
Figura 9. Construcción muros de contención.....	32
Figura 10. Construcción vigas de cimentación.....	33
Figura 11. Fotografía cámara aérea.....	34
Figura 12. Fotografía cámara aérea.....	35
Figura 13. Fotografía cámara aérea.....	35
Figura 14. Video time-lapse .....	35
Figura 15. Flujo de trabajo caissons .....	37
Figura 16. Flujo de trabajo pilotes .....	37
Figura 17. Flujo de trabajo muros de contención .....	37
Figura 18. Flujo de trabajo vigas de cimentación .....	37
Figura 19. Ejemplo función de distribución .....	38
Figura 20. Excavaciones - programado .....	42
Figura 21. Excavaciones – ejecutado .....	43
Figura 22. Excavaciones – alternativa .....	43

Figura 23. Generación de superficie .....	44
Figura 24. Superficie topográfica .....	44
Figura 25. Familias generadas.....	45
Figura 26. Caissons, pilotes, muros y vigas construidos.....	45
Figura 27. Modelo terminado .....	46
Figura 28. Simulación en el tiempo .....	47
Figura 29. Número de Oficiales en el Proyecto.....	52
Figura 30. Número de Ayudantes en el Proyecto.....	53
Figura 31. Disminuciones en duración alternativas teóricas .....	62
Figura 32. Disminuciones en costo alternativas teóricas .....	62
Figura 33. Programación original excavaciones caissons.....	63
Figura 34. Alternativa propuesta excavaciones caissons.....	63

# 1 INTRODUCCIÓN

En Colombia, muchas construcciones se realizan con una deficiente planeación, que en la mayoría de los casos ocasiona sobrecostos y retrasos en la programación, para disminuir estos inconvenientes se han estudiado metodologías enfocadas a mejorar los procesos de planeación y seguimiento de una manera efectiva, que ofrezcan herramientas que hagan más sencilla la toma de decisiones, mitiguen riesgos, disminuyan tiempos de ejecución y reduzcan costos.

En el presente trabajo se aplica la integración de la simulación de eventos discretos, líneas de balance y metodologías BIM para modelar el proceso constructivo de la etapa de cimentación de edificio Universidad Ciudad y plantear alternativas de mejora en la planeación del proyecto.

Para el desarrollo y cumplimiento de objetivos se implementa un módulo programable para captura de imágenes digitales y videos, se realizan visitas a la obra de forma continua para la toma de datos, se identifican las actividades y flujos de trabajo de los procesos de la etapa de cimentación, se construye el modelo de simulación de eventos discretos, con base en el cronograma de la obra se realizan las programaciones con líneas de balance, se proponen alternativas teóricas de mejora a la planeación, se genera el modelo BIM y se realiza la simulación en el tiempo de las alternativas propuestas. Finalmente se analizan los resultados obtenidos de las simulaciones y modelos, y se concluye si fueron útiles para mejorar la productividad y economía del proyecto.

Dentro de la literatura consultada para el apoyo de la investigación, se tiene principalmente el documento *Introduction to simulation* de Banks, Carson y Nelson para los temas referentes a la simulación, el texto *Programación de Obras con la Técnica de Líneas de Balance* de José Loría y el texto *Construcción Sin Pérdidas* de Botero para los temas referentes a Lean Construction.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Establecer propuestas de mejoramiento al proceso de planeación de tiempos y costos del edificio Universidad Ciudad, a través de la simulación de eventos discretos y líneas de balance.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Con base en el objetivo general, se plantean cuatro objetivos específicos a saber:

- Elaborar un modelo de simulación de eventos discretos que represente los procesos constructivos que se desarrollan en la etapa de cimentación del edificio Universidad Ciudad.
- Proponer con base en las simulaciones de eventos discretos y programaciones, acciones de mejora a la planeación del edificio Universidad Ciudad, basadas en la filosofía Lean Construction.
- Elaborar una planeación del proyecto por medio de líneas de balance, que refleje el estado inicial y actualizarla de acuerdo con las mejoras planteadas.
- Analizar los impactos que generan las mejoras propuestas en la planeación del edificio Universidad Ciudad.

### 3 ANTECEDENTES

De acuerdo con Botero L. (2006) la industria de la construcción se ha considerado como un sector diferente de la producción industrial, sin embargo, los proyectos civiles están compuestos por una serie de operaciones de construcción con características similares a la producción industrial; por lo cual pueden emplearse herramientas y técnicas para mejorar la productividad.

Diferentes investigaciones a nivel nacional e internacional están relacionadas con la simulación de eventos discretos, líneas de balance y metodologías BIM aplicadas a la construcción, con el fin de mejorar la productividad, optimizar el uso de los recursos y evitar retrasos en la programación de las obras. Algunas de estas investigaciones se describen a continuación:

Berner, Kochkine, Habenicht, & Spieckermann (2013) al observar los frecuentes cambios en diseño que se presentan durante la construcción de un proyecto civil, y la diversidad de oficios de alta complejidad, vieron la necesidad de implementar herramientas innovadoras que apoyaran en la planeación y toma de decisiones de los proyectos; por lo cual decidieron usar la simulación de eventos discretos para modelar la construcción de un proyecto hotelero, con fin de examinar la aplicación de la simulación en la industria de la construcción. La herramienta utilizada fue tecnomatix plant simulation®, los investigadores encontraron que en el estudio de simulación se pueden analizar varios escenarios con el fin de seleccionar el más apropiado para llegar a una planeación más favorable, por lo tanto, la simulación representa una herramienta esencial para apoyar la industria de la construcción en las etapas de planificación y ejecución.

Según Labban, AbouRizk, Haddad, & ElSersy (2013) aunque las investigaciones sobre simulación en la industria de la construcción están avanzando académicamente, su aplicación en el sector aún es limitada debido a que se sigue trabajando con las técnicas tradicionales que a menudo son insuficientes; para verificar los beneficios de la simulación de eventos discretos en la ingeniería civil

simularon la construcción de un pavimento asfáltico desde su producción en planta hasta el extendido y compactación en el terreno. Se encontró que se requiere más investigación para implementar estas metodologías en el mundo real.

Para Azhar, Hein, & Sketo (2011) Building Information Modeling (BIM) ha alcanzado recientemente gran atención en la industria de la construcción debido a que permite visualizar a los constructores el proyecto en un entorno simulado pudiendo identificar el potencial de diseño o problemas de funcionamiento, como estudio de caso presentaron el proyecto Hilton acuario en Atlanta que gracias a la aplicación de BIM tuvo un retorno de la inversión del 9.5%.

Botero & Acevedo (2011) realizaron la implementación conjunta de la simulación de operaciones y de la técnica de líneas de balance en la etapa de estructura, armado y fundida de muros y losa de una construcción de dos torres de 17 pisos de apartamentos, específicamente, modelaron en el software Arena® el proyecto como se ejecuta por parte de los constructores, y con la técnica de líneas de balance generaron dos escenarios alternativos para comparar los tiempos y costos de terminación del proyecto; para concluir se encontró que “la simulación de escenarios alimentada a partir del análisis de las líneas de balance permite la comparación y la toma de decisiones con menor incertidumbre que la proporcionada a través del conocimiento empírico”, adicionalmente la metodología que se implementó puede expandirse a otras actividades de la construcción.

Martinez, Martinez , Briceño, & Gimenez (2011) simularon la construcción de una edificación de tipo residencial en la cual se presentan diferentes procesos repetitivos, dichos procesos fueron simulados para determinar y optimizar los retrasos originados en el desarrollo de la obra; en este trabajo también se realizaron comparaciones entre la planificación teórica del proyecto y la ejecución real del mismo, para este proceso se utilizó el software Smartplant Review donde se desarrolló la interface del modelo tridimensional con el tiempo como una cuarta dimensión. Con la investigación los autores concluyeron que la simulación de procesos constructivos es una herramienta de gran utilidad en la planificación,

ejecución y control de proyectos de construcción, también encontraron que las técnicas de construcción virtual son unas potentes herramientas gerenciales en los proyectos civiles ya que con ellas se puede disminuir la probabilidad de incrementar los tiempos y costos de una obra.

Gómez (2010) presentó la simulación de eventos discretos como una herramienta para la planeación, reingeniería y el análisis de proyectos de construcción partiendo de un caso real consistente en el proceso constructivo de una estructura en concreto reforzado que incluyó cimentación, pedestales, vigas, placa de entrepiso y columnas en una edificación tipo bodega de un piso y mezanine de aproximadamente 600 m<sup>2</sup>; como conclusión encontró que la simulación de procesos constructivos con el software Arena® arrojó resultados similares a los observados en el proyecto, considerándose un método aplicable y útil para diferentes tipos de procesos de construcción, y puede convertirse en una herramienta importante y eficiente en la planeación de procesos de construcción.

Botero & Agudelo (2009) plantearon la necesidad de estudiar nuevos escenarios y herramientas a través de la simulación de eventos discretos en un proyecto de construcción en Colombia aplicado a la preparación de mezclas, transporte y disposición de concreto en una torre de apartamentos de 24 pisos. Utilizando el software Arena® se creó el modelo de simulación y se analizaron las variables de tiempo y costo, permitiendo un desempeño superior al del sistema manejado inicialmente, reduciendo costos en tiempo del proceso. Los beneficios en la aplicación de la simulación redundaron en la generación de importante información para facilitar y hacer más efectivo y eficiente el proceso de planificación y control de los proyectos de construcción.

Echeverry & Giraldo (2012) desarrollaron un trabajo que se enfocó en la simulación de eventos discretos de procesos de construcción de estructura de muros y losas en concreto en dos proyectos inmobiliarios, donde se registró la duración de actividades y se realizaron observaciones al sistema para determinar los puntos críticos; la segunda modelación se realizó en siete torres de cinco

pisos, donde se identificó el problema en la utilización óptima del personal, la cual no permitía alcanzar los rendimientos requeridos. Se concluyó que la simulación controlada por eventos ofrece herramientas interesantes para modelar procesos y se ha comprobado una buena precisión en los modelos realizados.

## **4 MARCO DE REFERENCIA**

### **4.1 FLUJOS DE TRABAJO**

Para Echeverry & Giraldo (2012) el flujo de trabajo es el estudio de los aspectos operacionales de una actividad, teniendo en cuenta aspectos importantes como la estructura de las tareas, como se van a realizar, en qué orden se realizan y como fluye la información para cada tarea con el fin de tener seguimiento y cumplimiento de cada una de estas.

Los flujos de trabajo son una representación de secuencia de tareas conectadas, donde cada tarea se precede de otra, para definir un flujo de trabajo se debe identificar las ideas principales del objetivo al que se quiera llegar, se debe tener en cuenta los responsables de cada tarea, que se espera obtener del flujo, sus entradas y salidas y tener un límite del proceso a describir. Es importante construir el diagrama con una secuencia organizada, incluyendo información detallada y poder describir con exactitud el proceso elegido.

### **4.2 PLANIFICACION**

Para desarrollar un proyecto de construcción se debe tener una buena planificación de lo que se desea alcanzar como objetivo final, para poder cumplir con las metas previstas y lograr ejecutar las actividades de acuerdo con la programación establecida en el proyecto.

Para Botero L. (2006) la planeación es un proceso de toma de decisiones que involucra el establecimiento de metas y objetivos para su consecución, siendo eficaz, cuando se encuentra acompañada del control.

### **4.3 PRODUCTIVIDAD**

Botero L. (2006) define la productividad como la medición de la eficiencia con que los recursos son administrados para complementar un producto específico, dentro de un plazo establecido y con un estándar de calidad dado.

Puede hablarse de diferentes tipos de productividad:

Productividad de los materiales: Es importante evitar desperdicios.

Productividad de la mano de obra: Factor fundamental para fijar el ritmo de trabajo.

Productividad de la maquinaria: Representa un alto costo, por lo tanto hay que moderar su uso, ya que se pueden tener tiempos muertos.

### **4.4 LEAN CONSTRUCTION**

La nueva filosofía lean construction tiene como objetivo eliminar las actividades que no generan valor (pérdidas), se puede determinar bajo la realización de numerosas observaciones en el sitio de trabajo, con el fin de optimizar recursos, costos y plazos teniendo en cuenta como base conceptual la teoría de la producción lean.

Lean Construction tiene sus orígenes en el sistema de producción desarrollado por Toyota después de la segunda guerra mundial y está orientado a eliminar pérdidas en los procesos productivos, entiéndase como pérdida en general todo aquello que no genera valor.

Lean Construction se implementa con éxito en algunos países desde 1993, donde conformados por una red de investigadores y profesionales en arquitectura e ingeniería, plantean que estas investigaciones deben renovarse con nuevos conceptos para responder a los desafíos que se presentan en los proyectos de construcción.

En Colombia, se está practicando en ciudades como Medellín, Bogotá y Manizales y se han obtenido excelentes resultados implementando estos principios en las construcciones.

Para Camargo & Gonzalez (2011) un proceso “Lean” es aquel que no tienen desperdicios, por esta razón es imprescindible identificar estos desperdicios en cada uno de los procesos, con el fin de eliminarlos por completo evitando que vuelvan a aparecer. El modelo de proceso de producción según los principios de “Lean Construction” se basa en la consideración de los flujos de un proceso (actividades que no agregan valor), como las actividades de conversión (actividades que agregan valor) permitiendo enfatizar el análisis mediante la minimización y/o eliminación de las actividades de flujo puesto que constituyen la mayor parte de los pasos en los procesos de producción en la construcción.

El tiempo total de trabajo se categoriza en tres grupos, los cuales son los siguientes: Trabajo Productivo (TP), Trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC).

El trabajo productivo se define como el tiempo empleado por el trabajador en la producción de alguna unidad de construcción, el trabajo contributivo es el que emplea el trabajador realizando labores de apoyo necesarias para ejecutar las actividades productivas y el trabajo no contributivo es otra actividad realizada que no está clasificada en las anteriores y se define como pérdidas.

#### **4.5 BIM (BUILDING INFORMATION MODELING)**

BIM es un proceso de generación, uso y administración de datos basado en un modelo de información para edificaciones, que permite tomar decisiones, con base en la creación y el uso racional y coordinado de la documentación de un proyecto de construcción. Desde el diseño, construcción y etapas posteriores a la construcción del edificio, BIM puede facilitar la estimación de costos y programación de la construcción, por medio de un modelo integrado basado en la información del proyecto.

Para Prieto (2011) BIM es una metodología de trabajo, se trata de un proceso de generación y gestión de datos del proyecto durante su ciclo de vida, disminuyendo perdida en el tiempo y minimizando recursos en el diseño y la, se puede realizar un seguimiento de todos los elementos que componen el proyecto y se obtiene un gran detalle de información sobre los materiales empleados y sus características, esta modelación se realiza en tiempo real.

Coloma (2008) menciona que esta tecnología se refiere al conjunto de metodologías de trabajo y herramientas caracterizado por el uso de información de forma coordinada, coherente, computable y continua, empleando una o más bases de datos compatibles que contengan toda la información relacionada de un proyecto de construcción que se pretende diseñar, construir o usar.

Cuando esta tecnología se implementa de manera correcta, se obtienen resultados de mayor calidad a menores costos y con un menor tiempo de ejecución tanto para los diseños, construcción y documentación del proyecto.

El software de construcción Revit® ha sido creado específicamente para la modelación de información para la construcción (BIM), permitiendo que los usuarios lleven sus ideas del concepto a la construcción, con un enfoque coordinado y consistente basado en modelos. Revit® es una aplicación independiente que incluye funciones para diseño arquitectico, ingeniería y construcción (Autodesk, 2013).

Esta herramienta trabaja con un sistema integrado de información donde cualquier cambio que se haga en la programación de una obra de construcción es automáticamente coordinado a través del proyecto, permite visualizar los porcentajes de las actividades en cualquier espacio de tiempo.

#### **4.6 SIMULACION**

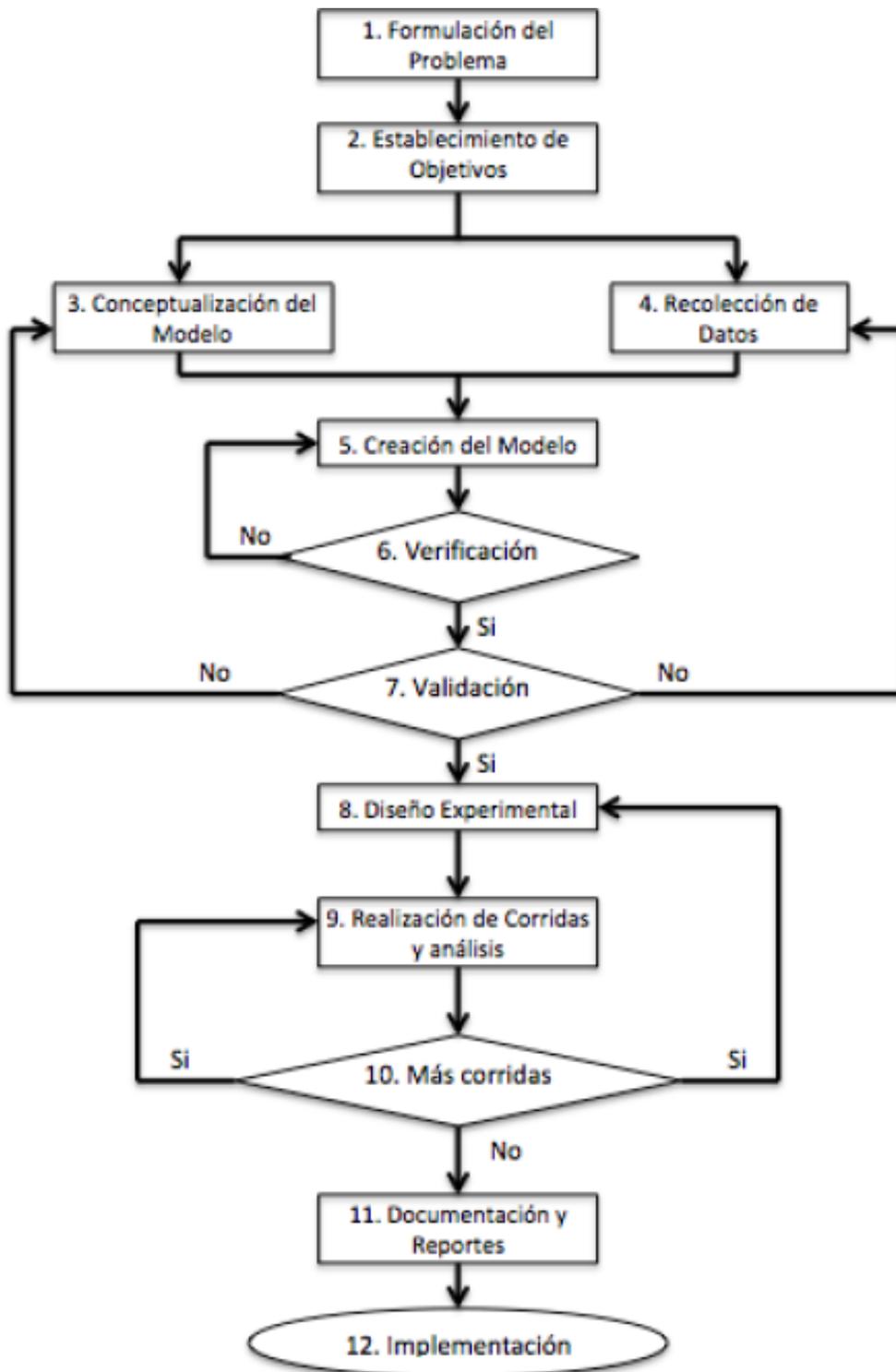
Según Shannon (1975) la simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a cabo experiencias con él, con la finalidad de aprender el comportamiento del sistema o de evaluar diversas estrategias (dentro de los

límites impuestos por un criterio o un conjunto de ellos) para entender el funcionamiento del sistema.

La simulación se puede emplear para dar solución a problemas reales, describiendo y analizando comportamientos de lo que denota en el comportamiento del sistema, estableciendo incógnitas y logrando responder a estas, para establecer criterios para diseñar procesos reales (Banks, Carson, & Nelson., 2005).

Pasos para un modelo de simulación:

Los pasos para llevar a cabo un adecuado modelo de simulación se presentan en la Figura 1. Sus principales etapas son la formulación del problema, establecimiento de objetivos, conceptualización del modelo, recolección de información, verificación y validación (Banks et al. 2005).



**Figura 1. Pasos para la creación de un modelo de Simulación**

*Fuente:* (Banks et al. 2005)

Las principales ventajas de la realización de procesos de simulación son (Banks et al 2005):

- Permite evaluar todos los aspectos para la toma de decisiones en cambios o adiciones que se deseen implementar en un sistema.
- Puede presentar un proceso o fenómeno en la escala de tiempo que se requiera, obteniendo información más o menos detallada según las necesidades.
- Su análisis permite entender el porqué de algunas situaciones
- Al tener un modelo válido de simulación, se pueden explorar diferentes posibilidades en cuanto al comportamiento de un sistema.
- Permite diagnosticar problemas presentes en los procesos de producción
- Identifica restricciones o cuellos de botella en un proceso
- Permite visualizar el plan de trabajo
- Ofrece un punto de vista objetivo para la presentación de cambios
- Prepara a los procesos para cambios
- Resulta una inversión baja con relación a los costos de implementación de los cambios.
- Se puede utilizar para la obtención específica de requerimientos en un sistema

#### **4.6.1 Simulación de eventos discretos**

Para Martínez (1996) la simulación discreta ocurre cuando las variables dependientes cambian discretamente en puntos específicos del tiempo de simulación conocidos como eventos, mientras que en la simulación continua las variables dependientes del modelo cambian continuamente en cualquier momento

del tiempo de simulación. La mayoría de procesos constructivos pueden ser efectivamente modelados utilizando la simulación discreta por eventos.

La simulación de eventos discretos es una técnica para el tratamiento de problemas que se apoya en software específico para el desarrollo de modelos de los sistemas estudiados. Los modelos permiten evaluar el comportamiento del sistema en diferentes situaciones, de manera que las modificaciones se realizan sobre el modelo y no sobre el propio sistema. Esto permite reducir el riesgo y los costos de dichos ensayos.

#### **4.6.2 Simulación con el software Arena®**

De acuerdo con Kelton, Sadowsky, & Sturrock (2008) Arena® es un software de simulación desarrollado por Rockwell® Automation que se basa en el lenguaje de simulación SIMAN y puede ser usado para simular sistemas discretos y continuos, Arena® combina la facilidad de uso de los simuladores de alto nivel con la flexibilidad de los lenguajes de simulación; este software proporciona plantillas alternativas e intercambiables de modelación gráfica y módulos de análisis que se pueden combinar para desarrollar una amplia variedad de modelos de simulación.

Gómez (2010) menciona a Arena® como una herramienta para simulación de procesos, cuyo origen se remonta al año 1982, que permite crear modelos a través de ambientes gráficos e interactivos con el fin de simular áreas específicas de los procesos de producción, o en este caso de planeación de procesos de construcción; permite el análisis detallado de los procesos y de los recursos utilizados para la ejecución de los mismos, mediante una representación gráfica del proceso modelado tipo “diagrama de flujo”.

Arena® también incluye animaciones dinámicas en el mismo ambiente de trabajo y prevé apoyo integrado, incluyendo gráficas para los diseños estadísticos y analiza aspectos que son parte del estudio.

### **4.6.3 Simulación de procesos constructivos**

La simulación de procesos constructivos es la representación de un proceso a través de un modelo computacional, con esta simulación se puede experimentar y probar distintas alternativas, de modo que se tiene una mejor base para tomar la decisión correcta. Esto permitiría poder ver desde diferentes puntos de vista las diversas maneras en que puede desarrollarse dicho proceso; la simulación es una metodología que permite apoyar la toma de decisiones (Martínez et al. 2011).

## **4.7 LÍNEAS DE BALANCE**

La técnica de líneas de balance fue desarrollada por la compañía Goodyear Tire & Rubber Company en la década de los cuarenta y posteriormente implementada por la armada norteamericana en la década de los cincuenta. La línea de balance ha sido aplicada en la industria de la construcción como método de planeación. Esta implementación a su inicio tuvo inconvenientes lo cual fue superado en Finlandia donde se obtuvo la primera aplicación computacional que facilitó el uso de la línea de balance para la planificación de proyectos constructivos.

Soini, Leskela, & Seppanen (2004) reportan beneficios en su aplicación, como disminución del riesgo de la programación, obtención de alternativas para facilitar el análisis, recorte en la duración del proyecto, visualización de la viabilidad de los escenarios propuestos y puntos de control de la operación.

La Línea de Balance es una técnica de programación que permite mostrar el trabajo que se realiza en un proyecto de construcción como una sola línea, o barra, en una gráfica, en vez de una serie de actividades como se haría en un diagrama de barras, resultante de CPM, PDM o PERT (Loría, 2011).

Procedimiento para elaborar una línea de balance:

1. Preparar un diagrama lógico de actividades

2. Estimar las horas-hombre para ejecutar cada actividad
3. Seleccionar los tiempos de espera condicionados (buffers) que eviten el riesgo de interferencias entre actividades.
4. Calcular el rendimiento requerido en cada actividad para completar la obra en el tiempo establecido.
5. Elaborar una tabla con los cálculos necesarios
6. Dibujar el diagrama o programa de avance, con los resultados de la tabla
7. Examinar el diagrama y considerar la posibilidad de alternativas más "balanceadas", tales como:
  - Cambiar el rendimiento de alguna actividad (reduciendo o aumentando el número de cuadrillas a lo largo de la duración de la misma).
  - Despedir alguna(s) cuadrilla(s) y recontratarla(s) más adelante
  - Ejecutar de manera simultánea algunas actividades

## **5 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO - EDIFICIO UNIVERSIDAD CIUDAD**

El proyecto consiste en la construcción del Edificio Universidad - Ciudad ubicado en la carrera 7ª entre calles 40 y 41 de la Universidad Pontificia Javeriana en la Ciudad de Bogotá. Contempla la construcción de un edificio de 9 pisos y 1 sótano, con área total construida de 11.400 m<sup>2</sup>, en un lote de 1.100 m<sup>2</sup>.

El Edificio, del sótano al 5º piso estará conformado estructuralmente por un sistema aporticado en concreto reforzado a la vista, con luces máximas entre columnas de 7 m y placas de entrepiso aligeradas. Del 6º al 9º piso el edificio estará conformada por una estructura metálica aporticada con placas de entrepiso en Steel-deck.

Se cimentaron las columnas del edificio por medio de caissons excavados manualmente por el sistema de anillos “tronco-cónicos” empotrados a una profundidad entre 8 y 14 m a partir del nivel del terreno actual. Los caissons están unidos entre sí por vigas de amarre.

La topografía del predio se considera plana, pero en realidad presenta una diferencia entre cotas máximas de 1.80 a 2.00 metros de altura. La profundidad máxima de excavación del sótano se ha proyectado del orden de 4.00 m con respecto al andén de la carrera 7ª. El sistema de contención serán muros de contención convencionales en concreto reforzado de 30 cm de espesor y altura entre 4 y 7 m.

En la Figura 2 se presenta la imagen del edificio Universidad Ciudad una vez se encuentre terminado.



**Figura 2. Edificio Universidad Ciudad**

**Fuente:** (Pontificia Iniversidad Javeriana, 2012)

## 6 METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el desarrollo del proyecto se realizó una revisión bibliográfica previa, un análisis de los planos e informes del edificio Universidad Ciudad los cuales fueron suministrados por la Pontificia Universidad Javeriana, y se realizó una auscultación visual en obra durante la etapa de cimentación del edificio, de la cual se obtuvieron los insumos principales para el desarrollo de los trabajos de simulación y elaboración de modelos.

Los modelos de simulación de eventos discretos fueron elaborados en el software Arena®, los datos de entrada para generarlos fueron los flujos de trabajo de cada proceso, las duraciones de las actividades y los recursos empleados para su ejecución; los flujos fueron definidos mediante el análisis de los diseños, visitas de obra y con el apoyo de las imágenes digitales.

Las programaciones de obra con líneas de balance fueron elaboradas en Excel®, los datos de entrada fueron las programaciones iniciales del proyecto generadas en Microsoft Project® y las duraciones realmente ejecutadas en obra.

El modelo paramétrico en 4D fue generado en el software Revit® y simulado en el tiempo con el software Navisworks®, los datos de entrada para generar este modelo fueron los planos topográficos para construir el modelo digital del terreno, los planos de cimentación para determinar las actividades que hacían parte del proceso constructivo y las imágenes digitales, adicionalmente se utilizó el informe de geotecnia el cual determinó la secuencia en la se debía ejecutar cada uno de los procesos. En la Tabla 1 se presenta la descripción de los planos de diseño empleados.

**Tabla 1. Descripción de planos empleados**

<b>Plano No.</b>	<b>Especialidad</b>	<b>Contiene</b>
1/2	Topografía	Levantamiento topográfico edificio Universidad Ciudad
E-101	Estructuras	Planta localización caissons
E-102	Estructuras	Planta de cimentación
E-400	Estructuras	Detalles de cimentación
E-401	Estructuras	Detalles de cimentación
E-402	Estructuras	Detalles muro anclado MC-2
E-0	Estructuras	Especificaciones generales

### **6.1 AUSCULTACIÓN VISUAL Y TOMA DE DATOS**

Las visitas de obra se hicieron en forma continua, se realizaron tres visitas semanales durante siete meses aproximadamente, registrando el progreso en la construcción en la etapa de cimentación contra el cronograma de obra, se detectó que los procesos principales de la etapa de cimentación del edificio fueron la construcción de caissons circulares de 1.2 m, 1.5 m y 7.0 m de diámetro, caissons media luna de 1.20 m de radio, caissons cuarto de luna de 1.2 m de radio, caisson ovalado, pilotes de 0.30 m de diámetro, muros de contención y vigas de cimentación (ver Figura 3 a Figura 10).



**Figura 3. Construcción caisson circular Ø 1.20 m**



**Figura 4. Construcción caisson circular  $\varnothing$  1.50 m**



**Figura 5. Construcción caisson circular  $\varnothing$  7.0 m**



**Figura 6. Construcción caisson media luna luna  $r = 1.20$  m**



**Figura 7. Construcción caisson ovalado**



**Figura 8. Construcción de pilotes**



**Figura 9. Construcción muros de contención**



**Figura 10. Construcción vigas de cimentación**

Para cada uno de los procesos anteriormente mencionados se identificaron las actividades relacionadas en la Tabla 2.

**Tabla 2. Actividades analizadas**

<b>Actividades analizadas</b>	<b>No de mediciones</b>
<b>Caissons</b>	
Excavación mecánica para anillos de caissons	589
Excavación manual para anillos de caissons	589
Refuerzo de anillos de caissons	589
Fundida de anillos de caissons	589
Refuerzo de fuste	60
Fundida de fuste	60
<b>Pilotes</b>	
Excavación manual de pilotes	57
Refuerzo de pilotes	57
Fundida de pilotes	57
<b>Muros de contención</b>	
Excavación manual de muros de contención	25
Refuerzo de muros de contención	25
Fundida de muros de contención	25
<b>Vigas de cimentación</b>	
Excavación manual de vigas de cimentación	25
Refuerzo de vigas de cimentación	25
Fundida de vigas de cimentación	25

Para cada una de las actividades descritas en la Tabla 2 se registraron duraciones, rendimientos, equipos y recursos empleados; esta información corresponde a las variables de entrada de los modelos de simulación. En la Tabla 2 se presenta la cantidad de mediciones realizadas por cada actividad, y los datos registrados se presentan en el anexo 1.

En el edificio Emilio Arango de la Pontificia Universidad Javeriana, se instaló una cámara fotográfica que tenía vista panorámica a la planta del edificio Universidad Ciudad, con el propósito de llevar un registro detallado de la secuencia implementada en la ejecución de los diferentes procesos. Con las fotografías panorámicas de esta cámara se generaron videos time-lapse que fueron de gran utilidad para el cálculo de rendimientos de obra. En las Figura 11 a Figura 13 se presentan ejemplos de las fotografías tomadas por la cámara aérea, y en la Figura 14 se presenta un ejemplo de un video time-lapse.



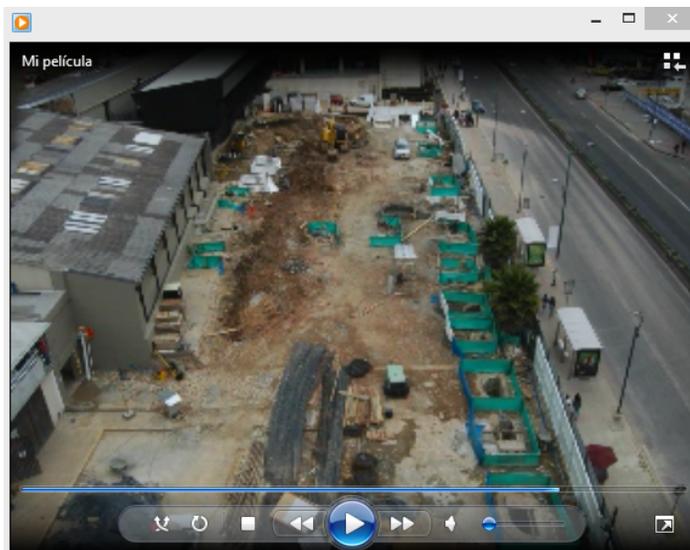
**Figura 11. Fotografía cámara aérea**



**Figura 12. Fotografía cámara aérea**



**Figura 13. Fotografía cámara aérea**



**Figura 14. Video time-lapse**

La cámara aérea fue desactivada en noviembre de 2013, ya que en la obra, para evitar la disminución de la productividad por tema de lluvias, se instaló una carpa que no permitió visualizar el avance desde el punto donde estaba instalada la cámara.

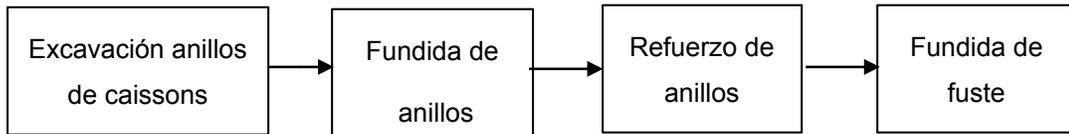
De acuerdo con los objetivos específicos propuestos, se identificaron tres fases para el desarrollo del trabajo de grado, estas fases fueron: simulación de eventos discretos, planeación con líneas de balance y modelación paramétrica en 4 dimensiones.

## **6.2 SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS**

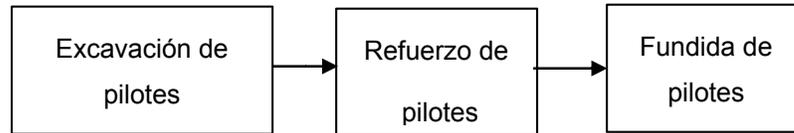
Las principales etapas de la simulación de eventos discretos fueron la formulación del problema, establecimiento de objetivos, conceptualización del modelo, recolección de información, verificación y validación. Se realizó la simulación de acuerdo con los pasos indicados en la Figura 1.

A partir de los planos y cronograma del proyecto, visitas de campo, registro fotográfico y video gráfico, se identificaron los procesos principales de la etapa de cimentación del edificio, estos procesos fueron construcción de caissons, pilotes, muros de contención y vigas de cimentación. Se establecieron los flujos de trabajo de cada uno, y a partir de estos procesos y los flujos de trabajo se construyó el modelo de simulación del estado inicial del proyecto mediante el software Arena®.

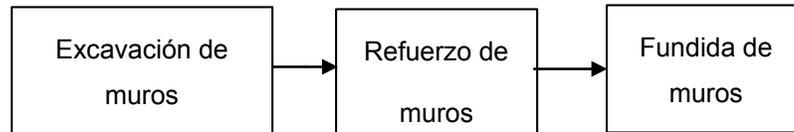
Se realizó la conceptualización del modelo, partiendo de los procesos de la cimentación que se consideraron representativos y los flujos de trabajo establecidos; se definieron las actividades predecesoras para cada actividad y se tuvo en cuenta el desarrollo de cada uno de los procesos. En la Figura 15 se presenta el flujo de trabajo para caissons, en la Figura 16 el flujo de trabajo para pilotes, en la Figura 17 el flujo de muros de contención y en la Figura 18 el flujo de vigas de cimentación.



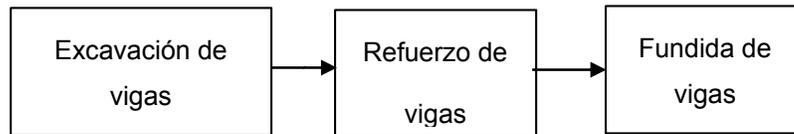
**Figura 15. Flujo de trabajo caissons**



**Figura 16. Flujo de trabajo pilotes**



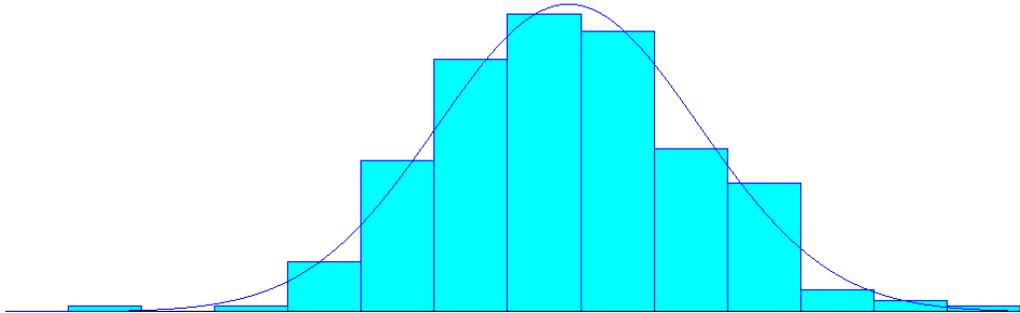
**Figura 17. Flujo de trabajo muros de contención**



**Figura 18. Flujo de trabajo vigas de cimentación**

Una vez recopilados y organizados los datos y tiempos de las actividades relacionadas en la Tabla 2, se ingresaron en la herramienta Input Analyzer de Arena® la cual toma los datos observados, los ajusta a varias distribuciones de probabilidad que pueden ser exponencial, triangular, weibull, beta, erlang, lognormal, uniforme o normal, y sugiere la más apropiada; Input Analyzer realiza las pruebas de bondad y ajuste Chicuadrado y Kolmogorov-Smirnov y verifica que los datos cumplan con un error permitido ( $p\text{-valor} > 0.15$ ). Finalmente Input Analyzer suministró la función de probabilidad para cada grupo de datos la cual fue ingresada al modelo de Arena®, ya que en un modelo computacional leer muchos datos de un archivo es más lento que representarlos en una función de probabilidad. En la Figura 19 se presenta un ejemplo de análisis de Input Analyzer,

que corresponde a una función de distribución uniforme cuya ecuación es  $NORM(1.23, 0.148)$



**Figura 19. Ejemplo función de distribución**

En el anexo 2 se presentan las distribuciones de probabilidad para cada una de las actividades analizadas.

En cuanto a la construcción del modelo de simulación de eventos discretos, este está compuesto por cuatro módulos: caissons, pilotes, muros de contención y vigas. Al modelo fueron ingresados los recursos que la obra tuvo disponibles quincena a quincena desde su inicio hasta la fecha de corte, y los recursos requeridos para ejecutar cada actividad.

- Módulo de caissons: las entidades que entran al modelo son las unidades de anillos de los caissons, este módulo toma desde un archivo de Excel la fecha de iniciación de cada anillo, el caisson al cual pertenece y la cantidad de anillos por caisson. Los anillos entran al programa en el tiempo cero, a cada uno se le asigna las características mencionadas, luego pasan por las actividades de excavación, refuerzo y fundida, y son puestos en cola hasta que cada caisson complete su número total de anillos; cuando un caisson completa su número total de anillos se agrupa para crear la entidad caisson y pasa a las actividades de refuerzo y fundida de fustes. El proceso se

realiza hasta que se completan los sesenta caissons construidos en el proyecto.

- Módulos de pilotes, muros de contención y vigas de cimentación: las entidades que entran al programa son las unidades de pilotes, los tramos de muros de contención y los segmentos de vigas de cimentación, estos módulos toman de Excel la fecha del inicio de las actividades y proceden a desarrollar los flujos de trabajo de acuerdo con los recursos requeridos y los rendimientos definidos previamente. El proceso se realiza hasta que se completan de acuerdo al módulo los cincuenta y siete pilotes, veinticinco tramos de muros de contención y veinticinco segmentos de vigas de cimentación construidos en el proyecto.

La duración total del modelo fue el resultado de la diferencia entre la fecha de inicio del proyecto y la fecha de la última actividad ejecutada a la fecha de corte.

### 6.2.1 Validación del modelo

Para validar el modelo inicial del proyecto, se verificó el sistema revisando el error obtenido entre la duración real del proyecto y los resultados de la modelación, esto se hizo por medio del método de intervalos de confianza, que proporciona la longitud de dicho intervalo, para una confiabilidad del  $100(1-\alpha)$  %, mediante la ecuación [1] (Banks et al. 2005).

$$H = t_{\frac{\alpha}{2}, R-1} \frac{S}{\sqrt{R}} [1]$$

Donde:

R es el número de réplicas

S es la desviación estándar, y

t es el valor correspondiente al 95% en la distribución t student

Para calcular una desviación estándar inicial, se realizaron 10 repeticiones obteniendo los resultados de duración total de la ejecución de las actividades presentados en la Tabla 3.

**Tabla 3. Resultados para 10 corridas**

<b>PARA 10 CORRIDAS</b>	
1	194.51
2	194.47
3	194.47
4	194.53
5	194.52
6	194.51
7	194.52
8	194.50
9	194.50
10	194.54
<b>PROMEDIO</b>	<b>194.51</b>
<b>D. EST (S)</b>	<b>0.02</b>
<b>VARIANZA (S<sup>2</sup>)</b>	<b>0.00053</b>
<b>HALF WIDTH</b>	<b>0.02</b>

El número de repeticiones que se deben realizar para garantizar la confiabilidad del 95% del modelo, se obtiene de la desigualdad [2].

$$R \geq \left( \frac{Z_{\alpha} Z_0}{\varepsilon} \right)^2 [2]$$

En la Tabla 4 se presenta el número de iteraciones necesarias para satisfacer la desigualdad [2]

**Tabla 4. Iteraciones requeridas para calcular el número de replicaciones**

<b>R</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
<i>t<sub>0.025, R-1</sub></i>	12.7062	4.3027	3.1824	2.7765	2.5706	2.4469	2.3646
<i>Ro</i>	215.71	24.74	13.53	10.30	8.83	8.00	7.47

De acuerdo con la Tabla 4, se requirió un mínimo de 8 replicaciones para garantizar una confiabilidad del 95%, para aumentar el grado de confiabilidad, los modelos generados fueron corridos con quince replicaciones.

El resultado promedio de las replicaciones realizadas corresponde a 194.49 días.

El modelo fue actualizado constantemente, con base en los datos obtenidos durante el tiempo que duró la auscultación visual del proyecto.

Una vez validado el modelo, se analizó cada uno de sus procesos y se propusieron acciones de mejora en la planeación, buscando disminuir los tiempos y costos del proyecto.

El modelo de simulación fue actualizado con las mejoras propuestas y se verificaron los resultados obtenidos comparándolos con los resultados reales de la obra y verificando que en realidad se logaran reducciones en los tiempos o costos del proyecto.

El modelo de simulación de eventos discretos se presenta en el anexo 3.

### **6.3 PROGRAMACIÓN DE OBRA CON LÍNEAS DE BALANCE**

A través de la metodología de líneas de balance se mostró la secuencia de ejecución de las actividades comprendidas en la etapa de cimentación del edificio en una sola línea o barra.

Se realizaron mediciones en campo de cada una de las actividades de la etapa de cimentación, y con base en la información suministrada por el proyecto se construyó un diagrama de actividades donde se calcularon los rendimientos de la

programación del estado inicial del proyecto y se seleccionaron los tiempos de espera condicionados que evitaran el riesgo de interferencias entre actividades.

Se dibujó el diagrama de avance de acuerdo con los rendimientos de cada actividad, permitiendo determinar la existencia o no de holguras entre inicio y fin de las actividades; observando el diagrama se consideraron posibles alternativas, y dependiendo de los resultados obtenidos se pudo cambiar el rendimiento de algunas actividades con el número de cuadrillas, el número de los integrantes de las cuadrillas o la duración de las actividades.

En las Figura 20 a Figura 22, se presentan los procesos de caissons, pilotes, vigas y muros de cimentación de acuerdo con la programación inicial suministrada por la obra, con el avance real de la obra y una posible alternativa; mostrando el desarrollo de cada proceso en un conjunto de líneas, cada línea es una actividad y se muestra el tiempo de duración de ejecución de esta en cada programación.

Se observó que las líneas indican la velocidad y ritmo de trabajo de cada actividad una vez inicia la obra, mostrando la correlación y desempeño de las otras actividades del proyecto, evidenciando que hay bastantes holguras entre actividades, por lo cual se propone alternativas de mejora en cada proceso.

La alternativa propuesta se basa en mantener las líneas con la misma pendiente para poder obtener un ritmo constante de cada proceso, encontrando la mejor distribución, eliminando las holguras entre actividades cumpliendo con el plazo de ejecución y manteniendo el número de recursos indicado.



Figura 20. Excavaciones - programado



Figura 21. Excavaciones – ejecutado

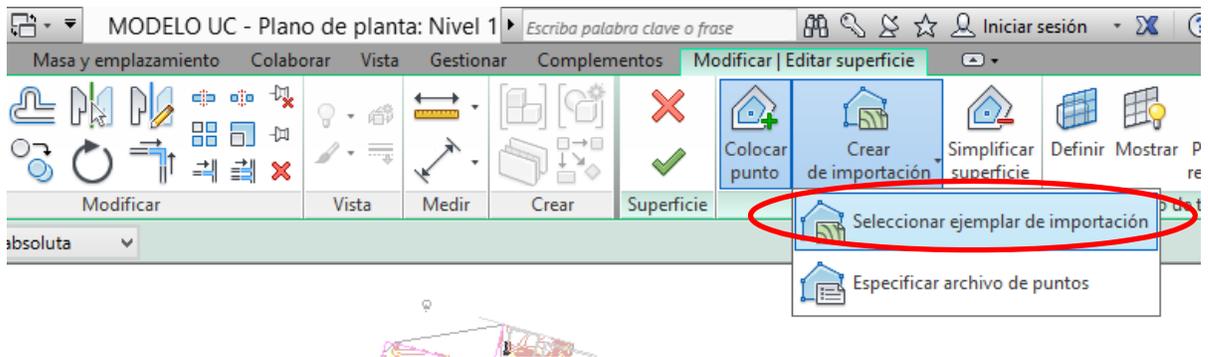


Figura 22. Excavaciones – alternativa

Las programaciones de líneas de balance realizadas, se presentan en el anexo 4.

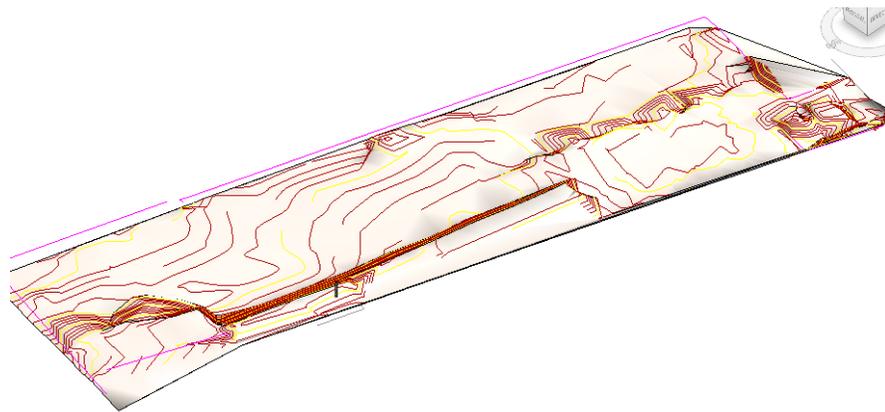
#### 6.4 ELABORACIÓN DEL MODELO PARAMÉTRICO 4D

Del plano topográfico se tomaron las curvas de nivel en tres dimensiones en un archivo de extensión DWG, este archivo fue importado al programa Revit® que pertenece a la suite BIM de Autodesk®, y se generó una superficie topográfica mediante el módulo masa y emplazamiento\crear de importación\seleccionar ejemplar de importación (ver Figura 23).



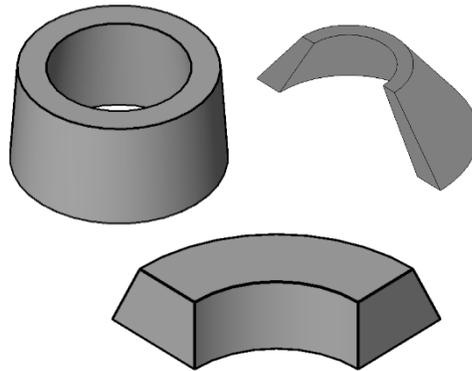
**Figura 23. Generación de superficie**

En la Figura 24 se presenta la superficie topográfica obtenida.



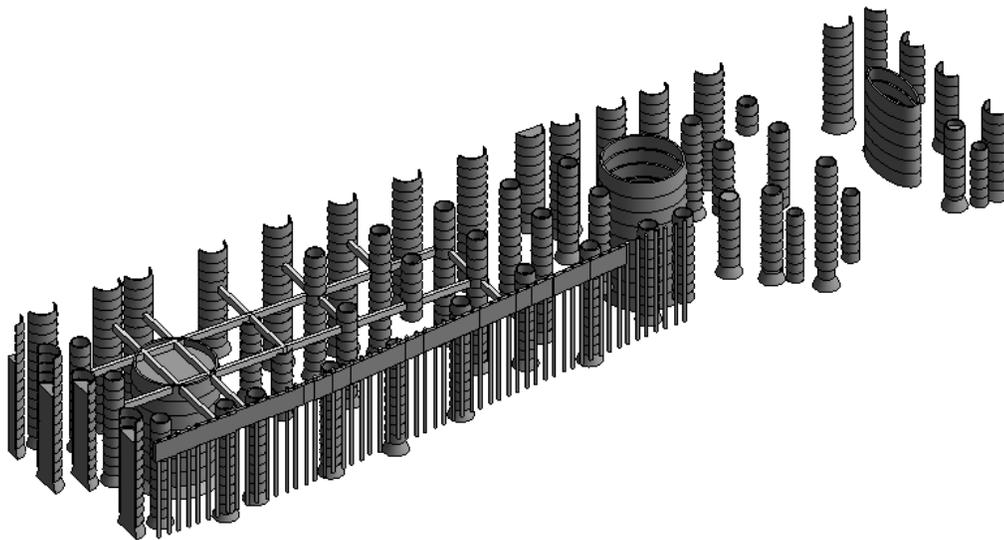
**Figura 24. Superficie topográfica**

Posteriormente de acuerdo con los planos de diseño y lo observado en obra se dibujaron uno a uno los anillos de caissons, fustes, pilotes, muros de contención, y vigas de cimentación construidas hasta la fecha de corte. Para los pilotes, muros y vigas se utilizaron las familias que trae Revit® por defecto, para los anillos de caissons circulares, medialuna, cuarto de luna, ovalado y fustes fue necesario crear las familias (ver Figura 25).



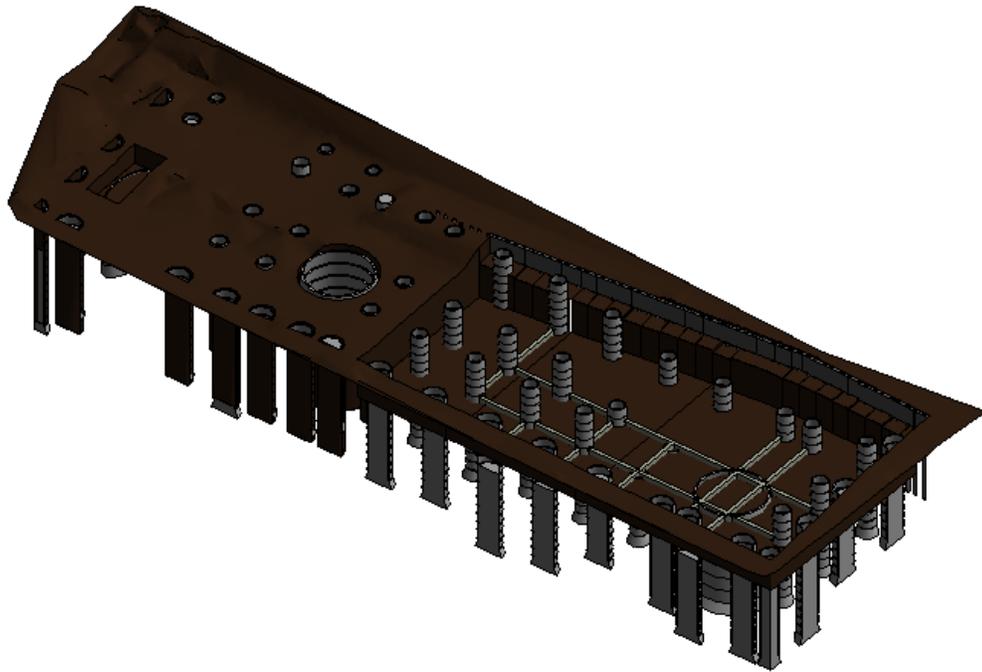
**Figura 25. Familias generadas**

En la Figura 26 cada uno de los elementos de cimentación que fueron ejecutados en la obra desde el inicio del proyecto hasta la fecha de corte.



**Figura 26. Caissons, pilotes, muros y vigas construidos**

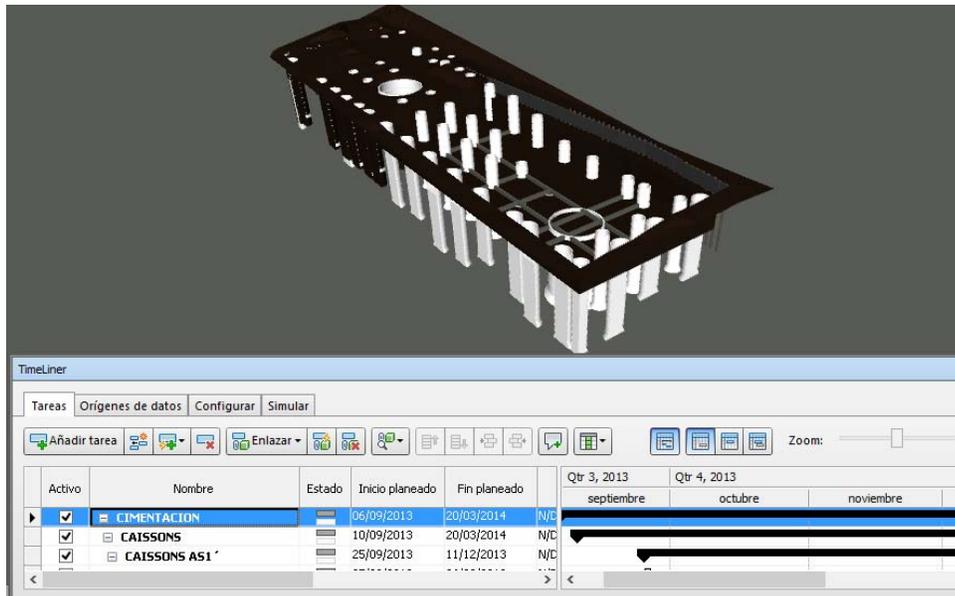
Como resultado final se obtuvo el modelo presentado en la Figura 27.



**Figura 27. Modelo terminado**

Una vez terminado el modelo de Revit® se procedió a exportarlo e importarlo en Navisworks® que también pertenece a la suite BIM de Autodesk®, para hacer la simulación en el tiempo se generó una programación detallada en Project, ya que la suministrada por la obra era muy general y no permitía observar el detalle de la construcción de cada uno de los elementos.

Una vez cargado el modelo en Navisworks®, se enlazaron las actividades del modelo con las actividades de la programación inicial del proyecto mediante la herramienta TimeLiner\Enlazar selección, y se validó la secuencia del proceso constructivo (ver Figura 28).



**Figura 28. Simulación en el tiempo**

Posteriormente se hizo la simulación y análisis en tiempo real del estado inicial del proyecto a través del módulo TimeLiner\Simular, se registraron los resultados y luego se realizó la simulación y análisis en tiempo real del proyecto con mejoras.

Finalmente se analizaron los impactos y viabilidad de las mejoras propuestas en el edificio Universidad Ciudad, en cuanto a tiempos, rendimientos y costos.

## 7 PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO

Una vez finalizado, verificado y validado el modelo de simulación de eventos discretos, se procedió a plantear propuestas de mejoramiento de acuerdo con lo observado en campo y de acuerdo con la filosofía Lean Construction; se plantearon once alternativas las cuales se describen a continuación:

- Alternativa 0: Fundamenta el modelo original que representa la construcción real de la obra Universidad Ciudad.

En las alternativas 1, 2 y 3 se buscó hacer un balance de cuadrillas, ya que de acuerdo con los porcentajes de utilización de recursos que dio como resultado el modelo de simulación, y de acuerdo con el alto porcentaje de actividades no contributivas que se observó en las visitas de campo, se concluyó que era viable disminuir los recursos empleados sin afectar la duración del proyecto.

- Alternativa 1: Reducción del personal de la primera quincena de diciembre de 2013: de 59 a 30 ayudantes y de 24 a 16 oficiales.
- Alternativa 2: Reducción personal segunda quincena de febrero de 2014: de 51 a 24 ayudantes y de 21 a 13 oficiales
- Alternativa 3: Disminución del número total de recursos de personal: de 454 a 314 ayudantes y de 161 a 149 oficiales.

El objetivo de las alternativas 4 a 8 fue aumentar la productividad reduciendo los tiempos de ciclo de las actividades, mediante la implementación de maquinaria y equipos, para esto se manejaron rendimientos teóricos tomados del edificio de Artes que también está siendo construido por la Pontificia Universidad Javeriana.

- Alternativa 4: Consiste en la utilización de una retroexcavadora pequeña en la excavación de los caissons circulares de 3.5 metros de radio, ya que en el edificio Universidad Ciudad esta actividad se realizó manualmente con unos tiempos de ciclo altos.
- Alternativa 5: Para la excavación de la totalidad de los caissons que se realizó manualmente en el edificio Universidad Ciudad, se implementó el uso de martillos eléctricos.
- Alternativa 6: Para este escenario se usó pólvora para fragmentar la roca en la actividad de excavación de los caissons.
- Alternativa 7: Se aumentó el volumen del balde que se manejó en la obra para el retiro de escombros en las excavaciones de los caissons.
- Alternativa 8: En la actividad de excavación de los muros de contención, se utilizó una retroexcavadora pequeña, ya que en la obra se realizó manualmente y había espacio para el uso de la retroexcavadora.

Se realizaron algunas combinaciones con las alternativas que era técnicamente viable combinar.

- Alternativa 9: Combinación de alternativas 4 y 5.
- Alternativa 10: Combinación de alternativas 6 y 7.
- Alternativa 11: Combinación de alternativas 4 y 8.

Para mejorar el proceso de producción en la obra y reducir la variabilidad, en este caso reducir la variación en la duración de las actividades, se propuso una alternativa mediante la técnica de programación con líneas de balance.

- Alternativa 12: Teniendo en cuenta la programación inicial entregada por la obra y la programación real ejecutada se plantea una alternativa para reducir las holguras y balancear los rendimientos mediante las líneas de balance

## 8 RESULTADOS Y ANÁLISIS

Como producto de los trabajos realizados, se obtuvieron resultados de la programación con líneas de balance, de la simulación de eventos discretos y de la modelación paramétrica en 4 dimensiones.

### 8.1 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS

Alternativa 0

Corresponde al modelo inicial del proyecto, en esta simulación se tuvo en cuenta el número total de ayudantes y oficiales empleados en la obra, los cuales se relacionan en la Tabla 5.

**Tabla 5. Número de Oficiales y Ayudantes**

Quincena		No de Oficiales	No de Ayudantes	No de días
06/09/2013	15/09/2013	6	15	9
16/09/2013	30/09/2013	10	28	15
01/10/2013	15/10/2013	11	41	15
16/10/2013	31/10/2013	11	40	16
01/11/2013	15/11/2013	10	38	15
16/11/2013	30/11/2013	8	45	15
01/12/2013	15/12/2013	24	59	15
16/12/2013	31/12/2013	12	31	16
01/01/2014	15/01/2014	14	33	15
16/01/2014	31/01/2014	19	46	16
01/02/2014	15/02/2014	21	51	15
16/02/2014	28/02/2014	23	56	13
<b>Total</b>		<b>169</b>	<b>483</b>	

De acuerdo con el modelo y teniendo en cuenta el número total de recursos como se mostró en la Tabla 5, Arena® presenta como resultado que se puede construir

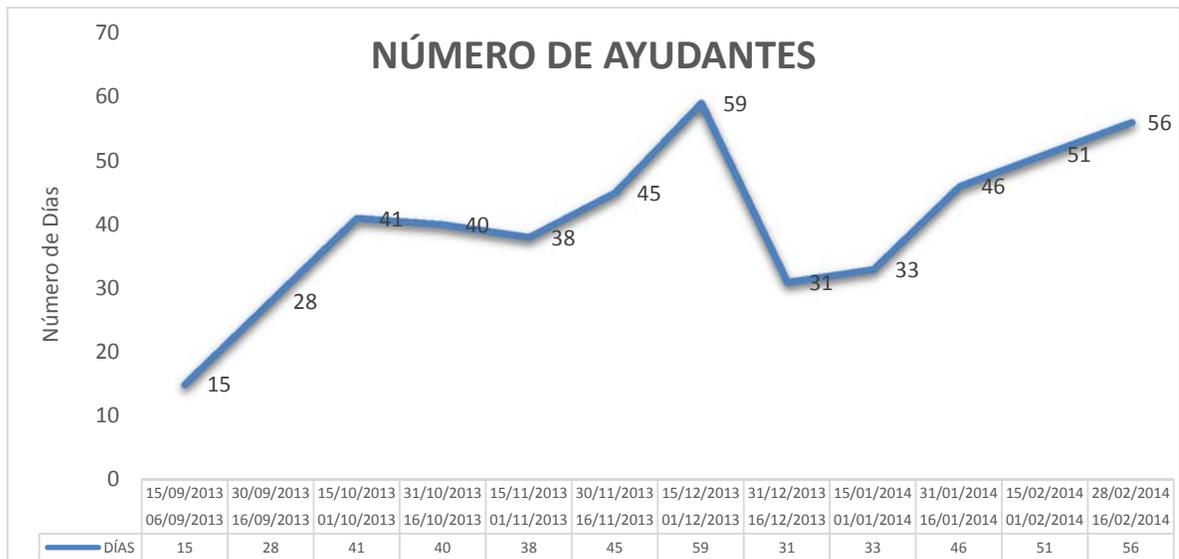
la cimentación del edificio en un tiempo de 194.49 días, que comparado la duración real del proyecto que corresponde a 196 días, se obtiene un error de 0.8%

### Alternativa 1

Para la alternativa 1 se tuvo en cuenta el modelo original (alternativa 0), donde se disminuye el número de recursos de la quincena con más pico, como se presenta en la Figura 29 y Figura 30.



**Figura 29. Número de Oficiales en el Proyecto**



**Figura 30. Número de Ayudantes en el Proyecto**

Se observó que en la primera quincena de diciembre de 2013, laboró un gran número de oficiales y ayudantes, por lo cual se optimizó el personal en esta quincena, y los resultados se presentan en la Tabla 6.

**Tabla 6. Resumen alternativa 1**

PARÁMETRO	UNIDAD	ORIGINAL	COSTO	ALT 1	COSTO	DIFERENCIA	COSTO
Duración total promedio	días	194.49		194.49			
Ayudantes (Quincena 1-dic-13/15-dic/13)	hombres	59	\$ 28,943,040	30	\$ 14,716,800	29	\$ 14,226,240
Oficiales (Quincena 1-dic-13/15-dic/13)	hombres	24	\$ 16,533,504	16	\$ 11,022,336	8	\$ 5,511,168
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 45,476,544</b>		<b>\$ 25,739,136</b>		<b>\$ 19,737,408</b>

Esta quincena se contrató a 59 ayudantes y 24 oficiales, con la eliminación de recursos quedaron 30 ayudantes y 16 oficiales, se modeló esta nueva alternativa teniendo como valor fijo los mismos días de ejecución de la etapa de cimentación, es decir, que se redujeron los recursos y no se modificó el tiempo, debido que los reportes de la simulación de Arena® mostraron que los recursos estaban

subutilizados. Con este escenario se obtuvo un ahorro de \$19,737,408, que corresponden aproximadamente a un 43% del valor total para esta quincena.

### Alternativa 2

Teniendo en cuenta el análisis de la Figura 29 y de la Figura 30, se evidenció que la segunda quincena de febrero de 2014 tiene un pico de personal y se confirmó con los reportes de utilización de personal de Arena® que mostraron que el personal estaba subutilizado, por lo cual se propuso disminuir el número de recursos en este periodo. Se obtuvo un ahorro de \$18,756,288 con el mismo tiempo de ejecución del proyecto, que corresponden aproximadamente a un 48% del valor total para esta quincena. Esta información se presenta en la Tabla 7.

**Tabla 7. Resumen Alternativa 2**

PARÁMETRO	UNIDAD	ORIGINAL	COSTO	ALT 2	COSTO	DIFERENCIA	COSTO
Duración total							
promedio	días	194.49		194.49			
Ayudantes							
(Quincena 15-							
feb-14/28-feb/14)	hombres	51	\$ 25,018,560	24	\$ 11,773,440	27	\$ 13,245,120
Oficiales							
(Quincena 15-							
feb-14/28-feb/14)	hombres	21	\$ 14,466,816	13	\$ 8,955,648	8	\$ 5,511,168
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 39,485,376</b>		<b>\$ 20,729,088</b>		<b>\$ 18,756,288</b>

### Alternativa 3

Dado que para las alternativas 1 y 2 se disminuyeron los recursos de las quincenas que tenían más personal, se planteó como alternativa 3, disminuir el total de ayudantes y oficiales manteniendo fija la duración del proyecto, estos datos se comparan con el modelo inicial obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 8.

**Tabla 8. Resumen alternativa 3**

PARÁMETRO	UNIDAD	ORIGINAL	COSTO	ALT 3	COSTO	DIFERENCIA	COSTO
Duración total							
promedio	días	194.49		194.49			
Ayudantes	hombres	454	\$ 222,714,240	314	\$ 154,035,840	140	\$ 68,678,400
Oficiales	hombres	161	\$ 110,912,256	149	\$ 102,645,504	12	\$ 8,266,752
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 333,626,496</b>		<b>\$ 256,681,344</b>		<b>\$ 76,945,152</b>

En el proyecto original se tenía un total de ayudantes de 454 y un total de oficiales de 161, se disminuyó a 314 ayudantes y 149 oficiales conservando los 194.49 días de duración del proceso de cimentación, esto indica que con este nuevo número de recursos se pueden cumplir con las actividades del cronograma, esta disminución representa un ahorro de \$76,945,152 que corresponden aproximadamente a un 23% del valor total de los recursos.

#### Alternativa 4

La alternativa 4 se plantea a partir de la alternativa 0. Para la actividad de los caissons de 3.5 m de radio que originalmente se excavaron a mano, se implementó una máquina retroexcavadora para la excavación de cada uno de los anillos, con los rendimientos de la excavación mecánica el tiempo de la actividad disminuye casi a la mitad de cómo se realizó en el proyecto realmente, ahorrando 55 días de ejecución y \$814,320 en el costo; aunque el ahorro en costos no es representativo, la disminución del tiempo de ejecución de un 44% aproximadamente puede representar grandes beneficios para el proyecto. El resumen de esta alternativa se presenta en la Tabla 9.

**Tabla 9. Resumen alternativa 4**

PARÁMETRO	UNIDAD	ORIGINAL	COSTO		COSTO ALT 4 \$	DIFERENCI A
			ORIGINAL \$	ALT 4		
Duración total promedio	días	125		70		55
Ayudantes	hombres	5	\$ 25550,000	5	14,308,000	
Oficiales	hombres	3	\$ 21,528,000	3	12,055,680	
Pluma	und	5	\$ 37,500,000	5	21,000,000	
Retroexcavadora 4 ton	und	0	\$ 0	1	36,400,000	
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 84,578,000</b>		<b>83,763,680</b>	<b>\$ 814,320</b>

### Alternativa 5

De la propuesta inicial, se plantea la alternativa 5 la cual consistió en utilizar martillos eléctricos en la excavación de todos los caissons, dado que esta es la actividad que más afecta la duración de la obra y se realizó de manera manual. Se obtuvo un ahorro aproximado del 21% en la duración de la actividad y un 6% de ahorro en el costo. Se muestran los resultados en la Tabla 10.

**Tabla 10 Resultados alternativa 5**

PARÁMETRO	UNIDAD	ORIGINAL	COSTO		COSTO ALT 5 \$	DIFERENCIA
			ORIGINAL \$	ALT 5		
Duración total promedio	días	194.49		153.12		41.37
Ayudantes	hombres	10	\$ 79,508,330	10	\$ 62,594,911	
Oficiales	hombres	10	\$ 111,653,967	10	\$ 87,902,364	
Pluma	und	10	\$ 116,695,200	10	\$ 91,871,200	
Martillo eléctrico	und	0	\$ 0	10	\$ 45,788,000	
					\$	
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 307,857,497</b>		<b>288,156,475</b>	<b>\$ 19,701,022</b>

### Alternativa 6

Para aumentar los rendimientos de la excavación manual de los caissons, se implementó el uso de pólvora para fragmentar la roca y reducir los tiempos de ciclo. Con esta alternativa se redujo el tiempo de ejecución de la actividad en

aproximadamente 29% y se obtuvo un ahorro en el costo del 27%. El resumen de la alternativa se presenta en la Tabla 11.

**Tabla 11. Resultados alternativa 6**

PARÁMETRO	UNIDAD	ORIGINAL	COSTO		COSTO ALT	DIFERENCIA
			ORIGINAL \$	ALT 6	6 \$	
Duración total promedio	días	194.49		138.15		56.34
Ayudantes	hombres	10	79,508,330	10	\$ 56,474,630	
Oficiales	hombres	10	111,653,967	10	\$ 79,307,621	
Pluma	und	10	116,695,200	10	\$ 82,888,400	
Tiro pólvora	und		0	350	\$ 5,950,000	
<b>TOTAL</b>			<b>\$307,857,497</b>		<b>\$ 224,620,651</b>	<b>\$83,236,846</b>

#### Alternativa 7

En la ejecución de la actividad de retiro de material de excavación durante la ejecución de caissons, se utilizó un balde de 0.023 m<sup>3</sup>. Para reducir los tiempos de ciclo se plantea la alternativa 7 que consiste en reemplazar el balde original por un balde con capacidad de 0.512 m<sup>3</sup>, esto optimizó el retiro de escombros en mayores volúmenes. Los resultados se presentan en la Tabla 12.

**Tabla 12. Resultados alternativa 7**

PARÁMETRO	UNIDAD	ORIGINAL	COSTO		COSTO ALT 7	DIFERENCIA
			ORIGINAL \$	ALT 7	\$	
Duración total promedio	días	194.46		186.49		7.968
Ayudantes	hombres	10	\$ 79,495,248	10	\$ 76,237,930	
Oficiales	hombres	10	\$ 111,635,597	10	\$ 107,061,327	
Pluma	und	10	\$ 116,676,000	10	\$ 111,895,200	
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 307,806,845</b>		<b>\$ 29,519,457</b>	<b>\$ 12,612,388</b>

Se obtiene aproximadamente un ahorro del 4% tanto de tiempo de ejecución como en costo de la actividad.

## Alternativa 8

La excavación de la actividad de muros de contención se realizó manualmente, se propuso en esta alternativa realizar las excavaciones con una retroexcavadora pequeña para poder optimizar el tiempo de esta tarea, los resultados se ven en la Tabla 13, donde el tiempo disminuyó en un 38% y se ahorró un 8% en el valor de la actividad.

**Tabla 13. Resumen alternativa 8**

PARÁMETRO	UNIDAD	ORIGINAL	COSTO		DIFERENCIA
			ORIGINAL \$	ALT 8	
Duración total promedio	días	113,00		70	43
Ayudantes	hombres	5	\$ 23,097,200	3	\$ 8,584,800
Oficiales	hombres	3	\$ 19461,312	2	\$ 8037120
Retroexcavadora 4 ton	und	0	\$ 0	1	\$ 22360,000
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 42,558,512</b>		<b>\$ 3,576,592</b>

## Alternativa 9

Consiste en la combinación de las alternativas 4 y 5, uso de martillos eléctricos en todos los caissons para la actividad de excavación y adicionalmente se realiza la excavación de los caissons de radio de 3.5 metros con retroexcavadora pequeña. Como resultado se obtuvo una disminución aproximada de tiempo del 25% y un 13% de ahorro en el costo de las actividades. Los resultados se muestran en la Tabla 14.

**Tabla 14. Resultados alternativa 9**

PARÁMETRO	UNIDAD	ORIGINAL	COSTO		DIFERENCIA
			ORIGINAL \$	ALT 9	
Duración total promedio	días	194.49		145	49.49
Ayudantes	hombres	15	\$119,262,494	15	\$88,914,000
Oficiales	hombres	13	\$145150,158	13	\$108,214,080
Pluma	und	15	\$175,042,800	15	\$130,500,000
Martillo eléctrico	und	0	\$0	10	\$43,352,400
Retroexcavadora 4 ton	und	0	\$0	1	\$ 7,800,000
<b>TOTAL</b>			<b>\$439,455,452</b>		<b>\$378,780,480</b>

La maquinaria empleada se distribuye como un recurso adicional en el desarrollo de la ejecución de cada caissons.

#### Alternativa 10

Consiste en la combinación de las alternativas 6 y 7, uso de pólvora para fragmentar la roca en las excavaciones de los caissons, y uso de baldes de mayor capacidad para el retiro de escombros y reducción de tiempos de ciclo. Con esta combinación se obtuvo una reducción de tiempo de obra de aproximadamente 32% y un ahorro en el costo de 30%.

En la simulación se adicionan estos dos recursos que se distribuyen en la actividad de excavación de cada caissons, manejando la base de ayudantes y oficiales como se tenía planteada en el escenario inicial, logrando optimizar la duración del proyecto, los resultados se visualizan en la Tabla 15.

**Tabla 15. Resultados alternativa 10**

PARÁMETRO	UNIDAD	COSTO			COSTO ALT	
		ORIGINAL	ORIGINAL \$	ALT 10	10 \$	DIFERENCIA
Duración total promedio	días	194.49		133.00		61.492
Ayudantes	hombres	10	\$79,508,330	10	\$54,370,400	
Oficiales	hombres	10	\$111,653,967	10	\$76,352,640	
Pluma	und	10	\$116,695,200	10	\$79,800,000	
Tiro pólvora	und		\$0	350	\$5,950,000	
<b>TOTAL</b>			<b>\$307,857,497</b>		<b>\$216,473,040</b>	<b>\$91,384,457</b>

#### Alternativa 11

Consistió en la combinación de las alternativas 4 y 8, utilización de retroexcavadoras para la excavación de los caissons de mayor radio y excavación mecánica de las trincheras de los muros de contención, ya que en la obra había espacio suficiente para implementar esta maquinaria pequeña. Se realizó la

modelación adicionando en los recursos estas nuevas herramientas, con las cuales como se evidenció en la Tabla 16, se optimizó la mano de obra y la duración de las excavaciones de muros de contención y caissons de radio 3.5 cm. Se redujo en un 48% el tiempo y un 3.5% el valor de las actividades.

**Tabla 16. Resultados alternativa 11**

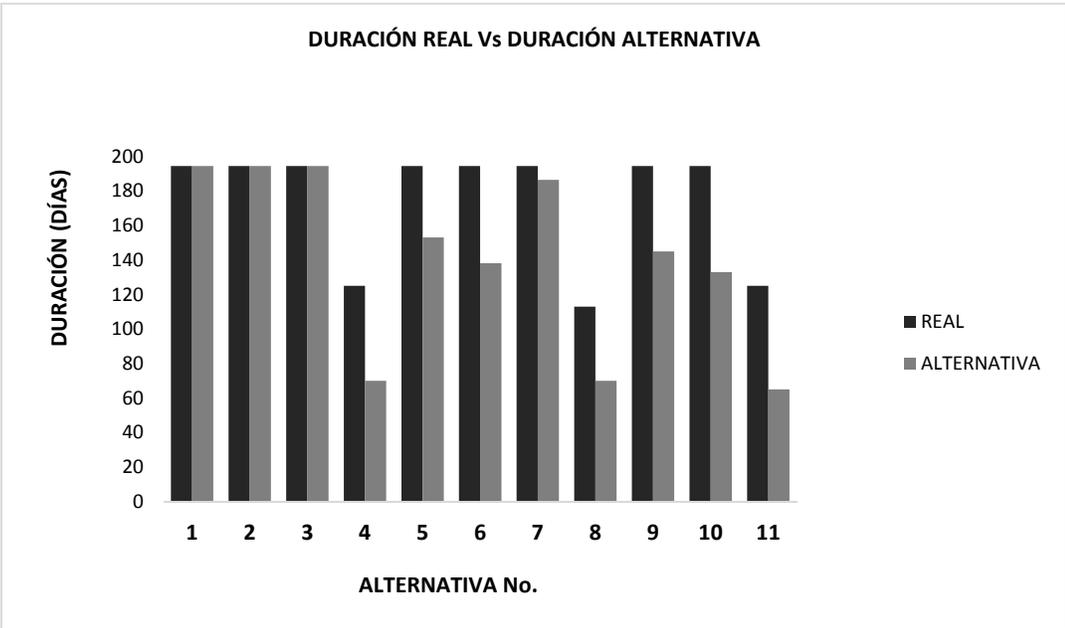
PARÁMETRO	UNIDAD	ORIGINAL	COSTO		DIFERENCIA
			ORIGINAL \$	ALT 11	
Duración total promedio	días	125.00		65.00	60
Ayudantes	hombres	10	\$51,100,000	8	\$21,257,600
Oficiales	hombres	6	\$43,056,000	5	\$18,657,600
Pluma	und	5	\$37,500,000	5	\$19,500,000
Retroexcavadora 4 ton	und	0	\$0	2	\$ 676,000,000
<b>TOTAL</b>			<b>\$131,656,000</b>		<b>\$127,015,200</b>

En la Tabla 17 se presentan el resumen de los resultados de las diferentes alternativas de mejora propuestas.

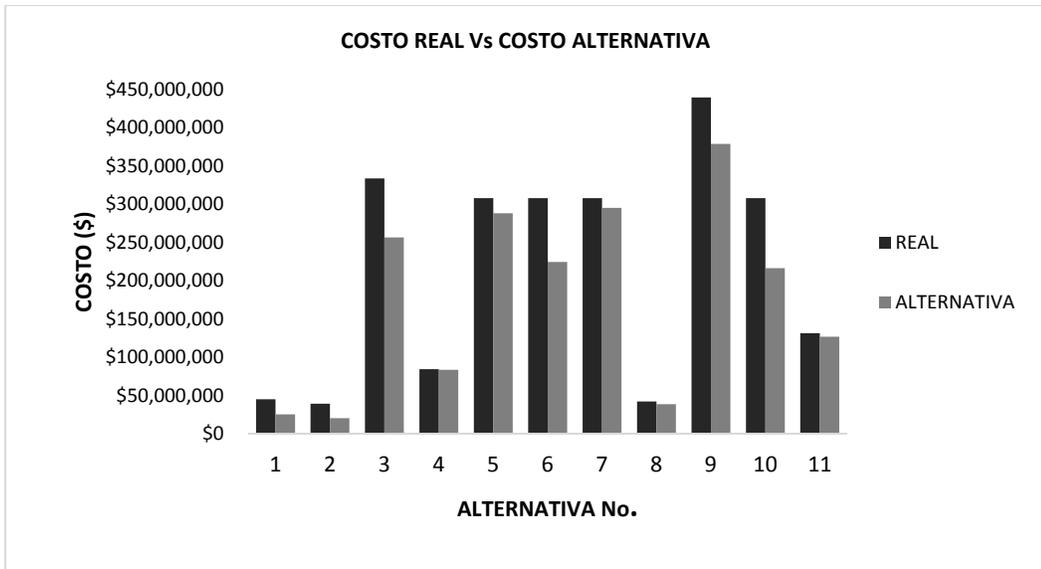
**Tabla 17. Resumen de resultados alternativas propuestas**

No	Alternativa	Duración Original (Días)	Duración Alternativa	Costo Original	Costo Alternativa	Diferencia Duración (Días)	Diferencia Costo (\$)	Diferencia Duración (%)	Diferencia Costo (%)
0	<b>Modelo Original Construcción con datos reales</b>	<b>194.49</b>							
1	Reducción personal primera quincena de diciembre de 2013	194.49	194.49	\$ 45,476,544	\$ 25,739,136	0.00	\$ 19,737,408	0.00%	43.40%
2	Reducción personal segunda quincena de febrero de 2014	194.49	194.49	\$ 39,485,376	\$ 20,729,088	0.00	\$ 18,756,288	0.00%	47.50%
3	Disminución del número total de recursos de personal	194.49	194.49	\$ 333,626,496	\$ 256,681,344	0.00	\$ 76,945,152	0.00%	23.06%
4	Excavación mecánica en los caissons de radio 3.5 m	125.00	70.00	\$ 84,578,000	\$ 83,763,680	55.00	\$ 814,320	44.00%	0.96%
5	Uso de martillos eléctricos en la excavación de caissons	194.49	153.12	\$ 307,857,497	\$ 288,156,475	41.37	\$ 19,701,022	21.27%	6.40%
6	Uso de pólvora en la excavación de caissons	194.49	138.15	\$ 307,857,497	\$ 224,620,651	56.34	\$ 83,236,846	28.97%	27.04%
7	Uso de balde de mayor tamaño para el retiro de escombros en la excavación de caissons	194.49	186.49	\$ 307,857,497	\$ 295,194,457	8.00	\$ 12,663,040	4.11%	4.11%
8	Excavación mecánica en muros de contención	113.00	70.00	\$ 42,558,512	\$ 38,981,920	43.00	\$ 3,576,592	38.05%	8.40%
9	Combinación de alternativas 4 y 5	194.49	145.00	\$ 439,455,452	\$ 378,780,480	49.49	\$ 60,674,972	25.45%	13.81%
10	Combinación de alternativas 6 y 7	194.49	133.00	\$ 307,857,497	\$ 216,473,040	61.49	\$ 91,384,457	31.62%	29.68%
11	Combinación de alternativas 4 y 8	125.00	65.00	\$ 131,656,000	\$ 127,015,200	60.00	\$ 4,640,800	48.00%	3.52%

En la Figura 31 y en la Figura 32 se observa gráficamente la comparación de los resultados obtenidos para cada una de las alternativas teóricas simuladas.



**Figura 31. Disminuciones en duración alternativas teóricas**



**Figura 32. Disminuciones en costo alternativas teóricas**

## 8.2 RESULTADOS DE LA PROGRAMACIÓN CON LÍNEAS DE BALANCE

### Alternativa 12

Se realizó una alternativa para los caissons, pilotes, vigas y muros de contención, manteniendo las líneas con la misma pendiente para poder obtener un ritmo constante de cada proceso, encontrando la mejor distribución, eliminando las holguras entre actividades cumpliendo con un menor plazo de ejecución y manteniendo el número de recursos indicado, para el análisis de cada proceso se tuvo en cuenta la programación inicial y la programación real de ejecución. Como resultado se obtuvo una disminución del 7% en el tiempo total de la obra con respecto a la programación inicial.

En la Figura 33 se visualiza que para la programación inicial para las excavaciones de caissons, en la Figura 34 se presenta la alternativa propuesta para estas excavaciones manejando una duración menor; esto se logró ya que se redujeron las holguras y tiempos muertos entre actividades.



Figura 33. Programación original excavaciones caissons



Figura 34. Alternativa propuesta excavaciones caissons

### **8.3 RESULTADOS MODELACIÓN PARAMÉTRICA EN 4D**

Al simular en el tiempo el modelo original y las alternativas propuestas se encontró lo siguiente:

- La simulación en el tiempo permitió observar de manera gráfica que no hubo avance significativo de los trabajos en los primeros dos meses del proyecto.
- La simulación en el tiempo permitió observar de manera gráfica que en algunos caissons se inició su construcción, de dejó en stand by y fue retomada mucho tiempo después.
- Con la simulación virtual se evidenció gráficamente que la obra no se ejecutó de una manera organizada.
- La simulación virtual permitió visualizar en cuatro dimensiones el avance de los escenarios propuestos.

## 9 DISCUSIÓN

Loría (2011) aplica la técnica de líneas de balance para acelerar la velocidad de las actividades de un proyecto de construcción, teniendo como restricción contar con suficientes recursos para ejecutar la obra, obteniendo como resultado un menor tiempo al que se realizó realmente cumpliendo un ritmo de trabajo. En el presente trabajo se planteó la alternativa número 12, al igual que Loría (2011) acelerando la velocidad de ejecución de ciertas actividades; adicionalmente se buscó mantener la holgura mínima y un ritmo de trabajo constante para cada proceso.

Gómez (2010) utilizó la simulación de procesos constructivos en una edificación de un piso y mezanine, para mejorar la planeación de los recursos del proyecto propuso como una de sus alternativas aumentar la cantidad de ayudantes y oficiales, obteniendo una disminución en tiempo de 18 días, manteniendo materiales siempre disponibles. En el presente trabajo mediante el balance de cuadrillas realizado en las alternativas 1 a 3, se redujo la cantidad de oficiales y ayudantes manteniendo fija la duración del proyecto, obteniendo un ahorro significativo en los costos de mano de obra.

Azhar et al. (2011) implementaron la tecnología BIM en un proyecto hotelero de 484,000 m<sup>2</sup> encontrando beneficios de costos significativos para el propietario ya que identificaron conflictos antes de la construcción lo que permitió evitar gastos imprevistos; en el proyecto Universidad Ciudad se aplicó esta tecnología en la cimentación del edificio cuyo lote tiene un área de 2,500 m<sup>2</sup>, igualmente encontrado beneficios de tiempo y costos al detectar errores en la planeación; esto indica que esta tecnología es viable y beneficiosa en proyectos de cualquier escala.

De acuerdo con la metodología de Banks et al. (2005), Gómez (2010) implementó en un caso real que consistió en el proceso constructivo de una estructura en concreto reforzado específicamente en las actividades de cimentación, pedestales,

vigas, placa de entrepiso y columnas en una edificación tipo bodega de un piso y mezanine de aproximadamente 600 m<sup>2</sup>, utilizó la simulación de eventos discretos para la modelación de los procesos de cimentación y estructura del proyecto, el objetivo principal de la simulación fue medir los siguientes parámetros: duración de actividades, cantidades de obra, recursos involucrados y detenciones; recolectó datos realizando visitas de obra semanales y llevó un registro fotográfico y fílmico de las actividades ejecutadas, posteriormente con toda la información creó el modelo en el software Arena® para los procesos de zapatas, vigas de cimentación, columnas y placa de entrepiso, realizó verificaciones con las duraciones de actividades y del proyecto en general comparadas con las observadas en campo. Como verificación se consultó al personal de obra para la aprobación de los datos obtenidos, para la validación del modelo implemento la metodología de intervalos de confianza. Después de simular el modelo original, propuso alternativas teniendo en cuenta las siguientes variables: saturación del suelo, fechas de inicio zapatas, fechas llegada materiales, disponibilidad de recursos por día, etc.

Siguiendo la metodología de Banks et al. (2005), en esta investigación el estudio de caso se realizó en la cimentación de un edificio en construcción de 9 pisos y 1 sótano, se utilizó la simulación de eventos discretos para modelar la cimentación, específicamente el software Arena®; se tuvo en cuenta variables como duración de ejecución de actividades y recursos de personal y maquinaria. A través de visitas de obra, entrevistas al personal, información suministrada por la obra, fotografías y videos time lapse se recolectaron los datos de entrada al modelo para los procesos de construcción de caissons, pilotes, vigas de cimentación y muros de contención. Para la verificación se tuvo en cuenta que la cantidad de datos de entrada y salida del modelo fuera la misma y que el modelo tuviera una estructura lógica adecuada, se comparó la duración del modelo con respecto al tiempo de ejecución de la obra y se obtuvo un 0.8% de error; para la validación del modelo se implementó la metodología de intervalos de confianza. Después de simular el modelo original, se propusieron doce alternativas basadas en la filosofía

lean construction. Adicional a la simulación de eventos discretos se manejaron las metodologías de líneas de balance y BIM como herramientas para la formulación y validación de alternativas, gracias a la integración de estas tres metodologías se obtuvieron reducciones de tiempo y costo respecto a la planeación inicial del proyecto.

## 10 CONCLUSIONES

A continuación se presentan las conclusiones preparadas de acuerdo con los objetivos propuestos y los resultados obtenidos en el trabajo.

- De acuerdo con los resultados de las alternativas propuestas, es importante mencionar que en relación a la duración, la alternativa que más impactó el proyecto es la número once que es la combinación de las alternativas 4 y 8. Con esta alternativa se reduce en un 48% la duración de las actividades de caissons de 7 metros de diámetro y los muros de contención.
- En relación a los costos, la alternativa que más impactó el proyecto es la número dos, con esta alternativa se reduce en un 47.5% el costo del personal que laboró en la segunda quincena del mes de febrero de 2014.
- En la ejecución del proyecto se observó que la excavación de los caissons fue la actividad que más afectó la duración del proceso constructivo debido a que se realizó manualmente, por consiguiente, seis de las alternativas propuestas están enfocadas a optimizar esta actividad.
- Con la alternativa planteada mediante la técnica de líneas de balance, se redujo la duración total del proyecto en un 7%, debido a que balancearon las velocidades de las actividades involucradas en el proyecto, y se buscó mantener la holgura mínima entre estas.
- Mediante la simulación de procesos constructivos se obtienen duraciones de actividades y del proyecto que reflejan el tiempo de ejecución de manera acertada, es preciso realizar una validación estadística para demostrar que puede usarse como una herramienta confiable de planeación de proyectos en la Ingeniería Civil.
- A partir de la simulación de eventos discretos es posible proponer alternativas de mejora a los procesos constructivos, modelarlas y definir si

son viables o no antes de su ejecución, evitando de esta manera sobrecostos y tiempos excesivos en la construcción de actividades.

- Las alternativas de mejora propuestas en el proyecto permitieron reducciones de tiempo y costo. Aunque en algunas la reducción del costo no fue significativa, la reducción de tiempo si puede representar grandes beneficios para el contratista como ahorros en carga prestacional y costos indirectos, para el dueño uso del bien de manera anticipada, y para los demás interesados del proyecto.
- La simulación en el tiempo permite visualizar gráficamente diferentes alternativas de planeación y ejecución de proyectos de construcción antes de que sean ejecutadas, con el fin de seleccionar la más viable técnica y económicamente.
- La técnica de líneas de balance proporciona información suficiente para analizar y determinar si la programación de un proyecto es eficiente, buscando mantener la holgura mínima entre actividades y una velocidad de avance constante, adicionalmente es una herramienta muy útil para detectar interferencias.
- La integración de herramientas de simulación de eventos discretos junto con las metodologías BIM, si se aplican de una manera adecuada, pueden llegar a ser de gran utilidad en la planeación y toma de decisiones en un proyecto civil, ya que con el uso de BIM se puede visualizar al detalle el proceso constructivo de los modelos de SED, y definir si es factible técnicamente su implementación.
- De acuerdo con los tiempos empleados en la construcción de los modelos de Arena® y Revit® en el proyecto, se encontró que una vez se adquiriera el conocimiento suficiente en el empleo de estos programas, su implementación en una empresa constructora no requerirá de una gran cantidad de recursos y si traerá beneficios en la planeación de proyectos.

- La integración de la simulación de eventos discretos, líneas de balance y metodologías BIM, permiten con mayor facilidad la detección de errores en diseño, interferencias e inconvenientes en planeación, que al ser corregidos de manera temprana, se pueden obtener resultados de mayor calidad a menores costos y en un menor tiempo de ejecución en los proyectos.

## 11 RECOMENDACIONES

Para su aplicación en proyectos futuros se proponen algunas recomendaciones que pueden ser útiles al planear y ejecutar proyectos de construcción.

- Se recomienda emplear tecnologías y herramientas computacionales que estimulen la investigación en la planeación de proyectos y que ayuden a disminuir el grado de incertidumbre, ya que en la actualidad este proceso está basado principalmente en la experiencia de los profesionales.
- Durante la planeación de un proyecto de construcción, se recomienda evaluar la posibilidad de utilizar maquinaria y equipos que incrementen la productividad. En principio la maquinaria y equipos pueden parecer sobrecostos pero al comparar su valor con la carga salarial que generan los días adicionales de ejecución, pueden representar ahorros para el proyecto.
- Es importante capacitar y motivar a los trabajadores del sector de la construcción para evitar la alta rotación, y de esta forma poder generar curvas de aprendizaje en las obras.
- Es importante que en un proyecto de construcción los diseñadores, el contratista y la interventoría trabajen en forma integrada para evitar la fragmentación del mismo y por ende disminución de la productividad.

## 12 BIBLIOGRAFÍA

- Autodesk. (2013). *http://www.autodesk.com/*.
- Azhar, S., & Brown, J. (2009). BIM for sustainability analyses, *International Journal of Construction Education and Research*.
- Azhar, S., Hein, M., & Sketo, B. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. *Leadership and Management in Engineering*, 241-252.
- Banks, J., Carson, J., & Nelson., B. (2005). *Introduction to simulation*. New Jersey.
- Berner, F., Kochkine, V., Habenicht, I., & Spieckermann, S. (2013). Simulation in manufacturing planning of buildings. *Winter Simulation Conference*, 3306-3317.
- Botero, L. (2006). *Construcción sin perdidas: Analisis de procesos y filosofía Lean Construcción*. Bogotá: Legis S.A.
- Botero, L. F., & Acevedo, H. A. (2011). Simulación de operaciones y línea de balance: herramientas integradas para la toma de decisiones. *Ingeniería y ciencia*.
- Botero, L. F., & Agudelo, H. A. (2009). Simulación digital en un proyecto de construcción en Colombia.
- Camargo, E., & Gonzalez, J. (2011). *propuesta de un sistema operativo de gestión basado en la filosofía "lean construction" que permita estandarizar las actividades implicadas en el montaje de la estructura metálica de un edificio*. Bogotá: Universidad de La Salle.
- Coloma, E. (2008). Introducción a la Tecnología BIM. *Departamento de Expresión Grafica Arquitectura I*, 40.
- Echeverry, J. D., & Giraldo, M. X. (2012). *Mejoramiento de Procesos Constructivos de una Edificación a Partir de Simulación Digital y Videos Time Lapse*. Bogotá: Universidad Javeriana.
- Gómez, A. (Abril de 2010). Simulación de procesos constructivos. *Ingeniería de Construcción*, 25(1), 121-141.
- Kelton, W., Sadowsky, R., & Sturrock, D. (2008). *Simulación con software Arena*. Mexico: McGraw-Hill.
- Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction. Technical Report No 72. Center for Integrated Facility Engineering. Department of Civil Engineer, Stanford University.*

- Labban, R., AbouRizk, S., Haddad, Z., & Elersy, A. (2013). A discrete eventsimulationmodel of asphalt paving operations. *Winter Simulation Conference*, 3215 - 3224.
- Loría, J. H. (2011). *PROGRAMACIÓN DE OBRAS CON LA TÉCNICA DE LA LÍNEA DE BALANCE*. México: Academia de Ingeniería.
- Martinez, C., Martinez , M., Briceño, M., & Gimenez, Z. (2011). *Simulación de procesos constructivo utilizando tecnología 4D. Caso: Obra Parque la Música Residencial. 5th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management XV Congreso de Ingenieria de Organizacion Cartagena*. Cartagena.
- Martínez, J. (1996). *STROBOSCOPE State and Resource Based Simulation of Construction*. Michigan: University of Michigan.
- Pontificia Iniversidad Javeriana. (2012). *Plan maestro*. Bogotá: Pontificia Iniversidad Javeriana.
- Prieto, P. (2011). Implantación de la tecnología BIM en estudios universitarions de arquitectura e ingeniería. *Centro Universitario de Mérida Universidad de Extremadura*, 25.
- Shannon, R. E. (1975). *Systems Simulation the art and science*. Tennessee: Prentice Hall.
- Soini, M., Leskela, I., & Seppanen, O. (2004). *Implementation of line of balance based scheduling and project control system in a large construction company*. Elsinore Denmark.

## **13 ANEXOS**

## **Anexo 1 – Datos de campo**

## DATOS ANILLOS CAISSONS

Caisson	No. anillo	Altura anillo (m)	Fecha exc anillo	Tiempo exc (horas)	Fecha inicio ref anillo	Duración refuerzo (horas)	Fecha inicio fundida anillo	Duración Fundida (horas)
CIRCULAR								
B2	1	1.40	21-feb-14	8.20	22-feb-14	1.21	22-feb-14	0.79
B2	2	1.40	24-feb-14	8.50	25-feb-14	1.34	25-feb-14	0.70
B2	3	1.50	26-feb-14	9.10	27-feb-14	1.2	27-feb-14	0.51
B3	1	1.40	28-nov-13	7.7	29-nov-13	1.75	29-nov-13	0.69
B3	2	1.40	30-nov-13	8.2	02-dic-13	1.19	02-dic-13	0.71
B3	3	1.50	03-dic-13	9.1	04-dic-13	1.64	04-dic-13	0.70
B3	4	1.50	05-dic-13	8.5	06-dic-13	1.51	06-dic-13	0.54
B3	5	1.60	07-dic-13	8.1	09-dic-13	2.15	09-dic-13	0.62
B3	6	1.50	15-dic-13	8.6	16-dic-13	1.22	16-dic-13	0.55
B3	7	1.20	19-dic-13	9.5	20-dic-13	1.47	20-dic-13	0.47
B3	8	1.20	21-dic-13	10.1	23-dic-13	0.82	23-dic-13	0.51
B3	9	1.20	26-dic-13	9.8	27-dic-13	1.01	27-dic-13	0.55
B6	1	1.00	12-nov-13	8.8	12-nov-13	1.55	14-nov-13	0.53
B6	2	1.00	14-nov-13	8.3	14-nov-13	2.02	15-nov-13	0.53
B6	3	1.00	16-nov-13	8.4	16-nov-13	1.4	18-nov-13	0.53
B6	4	1.20	21-nov-13	9.2	21-nov-13	1.43	22-nov-13	0.64
B6	5	1.20	25-nov-13	8.2	25-nov-13	1.71	26-nov-13	0.64
B6	6	1.20	26-nov-13	7.8	26-nov-13	1.39	27-nov-13	0.64
B6	7	1.20	30-nov-13	10.7	30-nov-13	1.25	02-dic-13	0.64
B6	8	1.50	06-dic-13	11.3	06-dic-13	1.34	07-dic-13	0.80
B6	9	1.50	11-dic-13	10.8	11-dic-13	1.25	12-dic-13	0.80
B7	1	1.20	23-oct-13	6.9	23-oct-13	1.48	24-oct-13	0.48
B7	2	1.30	24-oct-13	8.5	24-oct-13	1.32	25-oct-13	0.48
B7	3	1.30	26-oct-13	8	26-oct-13	1.33	28-oct-13	0.56
B7	4	1.30	28-oct-13	8.9	28-oct-13	1.59	29-oct-13	0.84
B7	5	1.40	30-oct-13	8.7	30-oct-13	1.55	31-oct-13	0.62
B7	6	1.40	31-oct-13	8	31-oct-13	1.63	01-nov-13	0.50
B7	7	1.50	02-nov-13	9.3	02-nov-13	1.42	05-nov-13	0.62
B7	8	1.40	06-nov-13	10.6	06-nov-13	1.71	07-nov-13	0.70
B7	9	1.40	09-nov-13	10.4	09-nov-13	1.7	12-nov-13	0.80
B7	10	1.40	13-nov-13	10.3	13-nov-13	1.29	14-nov-13	0.54
B7	11	1.00	19-nov-13	10.3	19-nov-13	1.44	20-nov-13	0.58
B7	12	1.90	22-nov-13	12.4	22-nov-13	0.98	23-nov-13	0.63

Caisson	No. anillo	Altura anillo (m)	Fecha exc anillo	Tiempo exc (horas)	Fecha inicio ref anillo	Duración refuerzo (horas)	Fecha inicio fundida anillo	Duración Fundida (horas)
B8	1	1.20	18-sep-13	8.3	18-sep-13	1.49	19-sep-13	0.64
B8	2	1.20	19-sep-13	8.7	19-sep-13	1.43	20-sep-13	0.64
B8	3	1.20	23-sep-13	8.6	23-sep-13	1.65	24-sep-13	0.64
B8	4	1.30	24-sep-13	7.9	24-sep-13	1.23	25-sep-13	0.69
B8	5	1.30	27-sep-13	8.2	27-sep-13	1.28	30-sep-13	0.69
B8	6	1.20	30-sep-13	8.8	30-sep-13	1.67	01-oct-13	0.64
B8	7	1.20	03-oct-13	11.4	03-oct-13	1.19	04-oct-13	0.64
B8	8	1.20	04-oct-13	10	04-oct-13	1.39	07-oct-13	0.64
B8	9	1.20	09-oct-13	10.5	09-oct-13	1.49	10-oct-13	0.64
B8	10	1.40	10-oct-13	12.2	10-oct-13	1.22	11-oct-13	0.75
B8	11	1.40	11-oct-13	11.7	11-oct-13	1.73	15-oct-13	0.75
B8	12	1.40	17-oct-13	10.1	17-oct-13	0.95	18-oct-13	0.75
B8	13	1.80	23-oct-13	10.7	23-oct-13	1.27	24-oct-13	0.96
B9	1	1.40	30-oct-13	8.2	30-oct-13	1.48	31-oct-13	0.66
B9	2	1.00	01-nov-13	8.6	01-nov-13	1.71	02-nov-13	0.70
B9	3	1.40	04-nov-13	8.4	04-nov-13	1.14	05-nov-13	0.56
B9	4	1.40	06-nov-13	8.3	06-nov-13	1.4	07-nov-13	0.54
B9	5	1.40	07-nov-13	8.8	07-nov-13	1.07	08-nov-13	0.55
B9	6	1.30	08-nov-13	8.6	08-nov-13	1.14	09-nov-13	0.59
B9	7	1.30	12-nov-13	9.7	12-nov-13	1.33	13-nov-13	0.37
B9	8	1.50	14-nov-13	11.3	14-nov-13	1.02	15-nov-13	0.81
B9	9	1.50	30-nov-13	10.8	30-nov-13	1.5	02-dic-13	0.49
B9	10	1.00	03-dic-13	10.4	03-dic-13	1.68	04-dic-13	0.63
B9	11	1.00	05-dic-13	11.8	05-dic-13	1.27	06-dic-13	0.47
B9	12	1.90	07-dic-13	12.8	09-dic-13	1.46	09-dic-13	0.50
B10	1	1.40	30-oct-13	7.9	30-oct-13	1.27	31-oct-13	0.56
B10	2	1.40	31-oct-13	8.8	31-oct-13	1.46	01-nov-13	0.73
B10	3	1.30	01-nov-13	8.7	01-nov-13	1.52	02-nov-13	0.65
B10	4	1.50	01-nov-13	8.8	01-nov-13	1.8	05-nov-13	0.65
B10	5	1.50	05-nov-13	7.8	05-nov-13	1.67	06-nov-13	0.58
B10	6	1.50	06-nov-13	8	06-nov-13	1.46	07-nov-13	0.64
B10	7	1.40	08-nov-13	9.7	08-nov-13	1.52	09-nov-13	0.51
B10	8	1.40	12-nov-13	10.1	12-nov-13	1.72	14-nov-13	0.55
B10	9	1.30	14-nov-13	9.7	14-nov-13	1.71	15-nov-13	0.77
B10	10	1.30	16-nov-13	10	16-nov-13	1.38	18-nov-13	0.64

Caisson	No. anillo	Altura anillo (m)	Fecha exc anillo	Tiempo exc (horas)	Fecha inicio ref anillo	Duración refuerzo (horas)	Fecha inicio fundida anillo	Duración Fundida (horas)
B10	11	1.20	19-nov-13	9.4	21-nov-13	1.42	22-nov-13	0.62
B10	12	1.90	23-nov-13	11.4	25-nov-13	1.69	26-nov-13	0.70
B11	1	1.40	25-nov-13	8.8	25-nov-13	1.67	26-nov-13	0.42
B11	2	1.50	26-nov-13	8.9	26-nov-13	1.12	27-nov-13	0.84
B11	3	1.50	30-nov-13	7.8	30-nov-13	1.46	02-dic-13	0.56
B11	4	1.60	06-dic-13	8.3	06-dic-13	1.6	07-dic-13	0.61
B11	5	1.50	10-dic-13	8.4	10-dic-13	1.42	11-dic-13	0.54
B11	6	1.40	19-dic-13	8.4	19-dic-13	1.33	20-dic-13	0.61
B11	7	1.40	04-ene-14	10.1	04-ene-14	1.34	05-ene-14	0.57
B11	8	1.40	04-ene-14	11.1	04-ene-14	1.45	07-ene-14	0.61
B14	1	1.20	11-oct-13	9.2	11-oct-13	1.69	15-oct-13	0.72
B14	2	1.20	16-oct-13	8.7	16-oct-13	1.95	17-oct-13	0.77
B14	3	1.30	18-oct-13	9	18-oct-13	1.53	19-oct-13	0.58
B14	4	1.30	22-oct-13	8.5	22-oct-13	1.19	23-oct-13	0.73
B14	5	1.30	23-oct-13	8.3	23-oct-13	1.31	24-oct-13	0.76
B14	6	1.30	25-oct-13	8.3	25-oct-13	1.22	26-oct-13	0.56
B14	7	1.30	29-oct-13	9.9	29-oct-13	1.56	30-oct-13	0.54
B14	8	1.50	05-nov-13	10.9	05-nov-13	1.44	06-nov-13	0.70
B14	9	1.50	13-nov-13	11.7	13-nov-13	1.16	14-nov-13	0.64
B14	10	1.20	17-nov-13	11.9	17-nov-13	1.46	18-nov-13	0.63
A2	1	1.40	18-feb-14	8.6	19-feb-14	1.56	19-feb-14	0.57
A2	2	1.40	20-feb-14	8.6	21-feb-14	1.44	21-feb-14	0.56
A2	3	1.40	22-feb-14	7.9	22-feb-14	1.43	22-feb-14	0.58
A2	4	1.40	23-feb-14	9.2	25-feb-14	1.72	25-feb-14	0.61
A2	5	1.40	26-feb-14	8.3	27-feb-14	1.4	27-feb-14	0.41
A2	6	1.40	28-feb-14	8.5	01-mar-14	1.43	03-mar-14	0.49
A2	7	1.40	04-mar-14	10.6	05-mar-14	1.45	05-mar-14	0.70
A2	8	1.40	06-mar-14	10	07-mar-14	1.68	10-mar-14	0.58
A3	1	1.40	08-feb-14	8.4	08-feb-14	1.69	11-feb-14	0.56
A3	2	1.40	12-feb-14	9.1	12-feb-14	1.52	13-feb-14	0.65
A3	3	1.40	14-feb-14	8.8	14-feb-14	1.46	15-feb-14	0.51
A3	4	1.40	18-feb-14	8.7	18-feb-14	1.16	19-feb-14	0.53
A3	5	1.40	19-feb-14	8.5	19-feb-14	1.06	20-feb-14	0.52
A3	6	1.40	21-feb-14	9	21-feb-14	1.48	22-feb-14	0.65
A3	7	1.40	22-feb-14	9.6	23-feb-14	1.17	25-feb-14	0.59

Caisson	No. anillo	Altura anillo (m)	Fecha exc anillo	Tiempo exc (horas)	Fecha inicio ref anillo	Duración refuerzo (horas)	Fecha inicio fundida anillo	Duración Fundida (horas)
A6	1	1.50	14-nov-13	9	15-nov-13	1.12	15-nov-13	0.38
A6	2	1.50	16-nov-13	8.5	18-nov-13	1.48	18-nov-13	0.68
A6	3	1.50	19-nov-13	8.9	20-nov-13	1.71	20-nov-13	0.69
A6	4	1.50	21-nov-13	8.5	22-nov-13	1.53	22-nov-13	0.52
A6	5	1.40	25-nov-13	8.7	26-nov-13	1.75	26-nov-13	0.61
A6	6	1.40	27-nov-13	8.7	28-nov-13	1.64	28-nov-13	0.70
A6	7	1.40	29-nov-13	11.4	30-nov-13	1.49	02-dic-13	0.61
A6	8	1.80	03-dic-13	12.1	04-dic-13	1	05-dic-13	0.70
A7	1	1.50	23-oct-13	8.3	24-oct-13	1.03	24-oct-13	0.67
A7	2	1.50	25-oct-13	8.5	26-oct-13	1.07	26-oct-13	0.63
A7	3	1.50	28-oct-13	8.2	29-oct-13	1.28	29-oct-13	0.68
A7	4	1.30	30-oct-13	8.2	31-oct-13	2.14	31-oct-13	0.66
A7	5	1.40	01-nov-13	8.4	02-nov-13	1.53	02-nov-13	0.68
A7	6	1.40	05-nov-13	8.9	06-nov-13	1.59	06-nov-13	0.53
A7	7	1.40	07-nov-13	9.3	08-nov-13	1.44	08-nov-13	0.63
A7	8	1.40	09-nov-13	11.1	12-nov-13	1.36	12-nov-13	0.46
A7	9	1.40	13-nov-13	10.5	14-nov-13	0.76	14-nov-13	0.49
A7	10	1.40	15-nov-13	10.1	16-nov-13	1.42	18-nov-13	0.62
A7	11	0.50	19-nov-13	11.2	20-nov-13	1.61	20-nov-13	0.59
A7	12	1.80	21-nov-13	11.2	22-nov-13	1.54	23-nov-13	0.58
A8	1	1.20	17-sep-13	7.5	18-sep-13	1.26	18-sep-13	0.72
A8	2	1.20	19-sep-13	8.8	20-sep-13	1.42	20-sep-13	0.73
A8	3	1.20	21-sep-13	8.2	23-sep-13	1.27	23-sep-13	0.55
A8	4	1.20	24-sep-13	8.1	25-sep-13	1.36	25-sep-13	0.68
A8	5	1.20	26-sep-13	9	27-sep-13	1.27	27-sep-13	0.54
A8	6	1.20	28-sep-13	9.6	30-sep-13	1.54	30-sep-13	0.38
A8	7	1.20	02-oct-13	8.9	04-oct-13	1.5	04-oct-13	0.69
A8	8	1.30	05-oct-13	9.8	08-oct-13	1.71	08-oct-13	0.81
A8	9	1.40	09-oct-13	11.4	10-oct-13	1.87	11-oct-13	0.68
A8	10	1.30	12-oct-13	10.8	15-oct-13	1.26	15-oct-13	0.75
A8	11	1.30	16-oct-13	10.2	17-oct-13	1.17	17-oct-13	0.58
A8	12	1.30	18-oct-13	12	21-oct-13	0.88	21-oct-13	0.54
A8	13	1.80	22-oct-13	11.9	24-oct-13	1.55	24-oct-13	0.61
A9	1	1.20	14-feb-14	7.5	15-feb-14	1.15	15-feb-14	0.58
A9	2	1.20	17-feb-14	7.6	18-feb-14	1.6	18-feb-14	0.53

Caisson	No. anillo	Altura anillo (m)	Fecha exc anillo	Tiempo exc (horas)	Fecha inicio ref anillo	Duración refuerzo (horas)	Fecha inicio fundida anillo	Duración Fundida (horas)
A9	3	1.20	19-feb-14	7.3	20-feb-14	1.3	20-feb-14	0.67
A9	4	1.20	21-feb-14	8.1	22-feb-14	1.19	22-feb-14	0.44
A9	5	1.20	24-feb-14	8.6	25-feb-14	1.36	25-feb-14	0.43
A9	6	1.20	26-feb-14	9.2	27-feb-14	1.8	27-feb-14	0.62
A10	1	1.40	08-ene-14	8.6	09-ene-14	1.67	09-ene-14	0.74
A10	2	1.40	18-ene-14	8.3	20-ene-14	1.49	20-ene-14	0.64
A10	3	1.40	21-ene-14	8.3	22-ene-14	1.75	22-ene-14	0.50
A10	4	1.40	23-ene-14	8.1	24-ene-14	1.32	24-ene-14	0.62
A10	5	1.40	25-ene-14	8.9	27-ene-14	1.59	27-ene-14	0.70
A10	6	1.40	28-ene-14	8.2	29-ene-14	1.48	29-ene-14	0.59
A10	7	1.40	30-ene-14	10.1	31-ene-14	1.11	31-ene-14	0.59
A10	8	1.40	01-feb-14	10.5	04-feb-14	1.49	04-feb-14	0.65
A10	9	1.40	05-feb-14	11.5	07-feb-14	1.64	07-feb-14	0.62
A11	1	1.50	21-nov-13	8.2	22-nov-13	1.14	22-nov-13	0.33
A11	2	1.50	23-nov-13	8.2	25-nov-13	1.09	25-nov-13	0.76
A11	3	1.50	26-nov-13	8.2	27-nov-13	1.84	27-nov-13	0.59
A11	4	1.50	29-nov-13	8.1	30-nov-13	1.34	30-nov-13	0.63
A11	5	1.60	23-dic-13	9	26-dic-13	1.37	26-dic-13	0.72
A11	6	1.40	27-dic-13	8.5	28-dic-13	1.47	30-dic-13	0.67
A11	7	1.40	02-ene-14	11	04-ene-14	1.41	04-ene-14	0.70
A14	1	1.40	17-oct-13	8.2	18-oct-13	1.1	18-oct-13	0.61
A14	2	1.40	18-oct-13	8.9	19-oct-13	1.76	19-oct-13	0.72
A14	3	1.40	21-oct-13	8.8	22-oct-13	1.65	22-oct-13	0.58
A14	4	1.40	23-oct-13	8.8	24-oct-13	1.07	24-oct-13	0.58
A14	5	1.40	31-oct-13	9.2	01-nov-13	0.98	01-nov-13	0.47
A14	6	1.30	07-nov-13	8	08-nov-13	1.23	08-nov-13	0.61
A14	7	1.30	13-nov-13	10.9	14-nov-13	1.43	14-nov-13	0.44
A14	8	1.45	15-nov-13	11	18-nov-13	1.57	18-nov-13	0.68
A14	9	1.20	20-nov-13	12.3	21-nov-13	0.99	21-nov-13	0.66
A14	10	0.30	22-nov-13	12.9	22-nov-13	0.92	22-nov-13	0.57
AS1	1	1.00	25-oct-13	8.6	28-oct-13	1.36	28-oct-13	0.40
AS1	2	1.00	30-oct-13	8.5	31-oct-13	1.25	01-nov-13	0.54
AS1	3	1.30	05-nov-13	8.9	06-nov-13	1.2	07-nov-13	0.49
AS1	4	1.10	18-nov-13	8.1	19-nov-13	0.98	20-nov-13	0.62
AS1	5	1.40	24-ene-14	8.2	27-ene-14	1.04	28-ene-14	0.47

Caisson	No. anillo	Altura anillo (m)	Fecha exc anillo	Tiempo exc (horas)	Fecha inicio ref anillo	Duración refuerzo (horas)	Fecha inicio fundida anillo	Duración Fundida (horas)
AS1	6	1.40	29-ene-14	9	30-ene-14	1.71	30-ene-14	0.64
AS1	7	1.00	05-feb-14	10.32	06-feb-14	1.42	07-feb-14	0.74
AS2	1	1.30	24-oct-13	7.5	25-oct-13	1.43	25-oct-13	0.69
AS2	2	1.30	28-oct-13	8	29-oct-13	1.34	29-oct-13	0.60
AS2	3	1.40	31-oct-13	8.6	01-nov-13	1.26	01-nov-13	0.62
AS2	4	1.40	05-nov-13	8.1	06-nov-13	1.2	07-nov-13	0.49
AS2	5	1.40	08-nov-13	8.4	09-nov-13	1.46	12-nov-13	0.58
AS2	6	1.40	14-nov-13	9.1	15-nov-13	1.41	15-nov-13	0.66
AS2	7	1.20	18-nov-13	11.5	19-nov-13	1.67	20-nov-13	0.67
AS2	8	1.40	22-nov-13	11.7	25-nov-13	1.3	26-nov-13	0.64
AS2	9	1.40	28-nov-13	10.2	29-nov-13	1.7	30-nov-13	0.70
AS2	10	1.40	02-dic-13	11.4	03-dic-13	1.23	04-dic-13	0.57
AS2	11	1.00	05-dic-13	12.4	06-dic-13	1.03	06-dic-13	0.78
AS3	1	1.30	24-oct-13	7.8	25-oct-13	1.8	25-oct-13	0.54
AS3	2	1.20	28-oct-13	8.6	29-oct-13	1.26	29-oct-13	0.53
AS3	3	1.40	31-oct-13	9	01-nov-13	1.7	02-nov-13	0.54
AS3	4	1.40	06-nov-13	7.9	07-nov-13	1.12	07-nov-13	0.59
AS3	5	1.40	08-nov-13	8.4	09-nov-13	1.06	12-nov-13	0.62
AS3	6	1.40	14-nov-13	8.2	15-nov-13	1.38	15-nov-13	0.50
AS3	7	1.40	20-nov-13	11.3	21-nov-13	1.85	21-nov-13	0.87
AS3	8	1.50	22-nov-13	10.7	23-nov-13	1.39	23-nov-13	0.77
AS3	9	0.30	25-nov-13	11.3	26-nov-13	1.55	26-nov-13	0.85
AS4	1	1.50	01-nov-13	7.9	02-nov-13	1.39	02-nov-13	0.61
AS4	2	1.40	12-nov-13	8.3	13-nov-13	1.2	13-nov-13	0.67
AS4	3	1.40	19-nov-13	7.7	20-nov-13	2.24	20-nov-13	0.60
AS4	4	1.40	05-dic-13	8.6	06-dic-13	1.42	06-dic-13	0.76
AS4	5	1.40	19-dic-13	9	20-dic-13	1.8	20-dic-13	0.51
AS4	6	1.40	21-dic-13	8.2	23-dic-13	1.14	23-dic-13	0.59
AS4	7	1.40	27-dic-13	11.2	30-dic-13	1.33	30-dic-13	0.54
AS5	1	1.50	23-oct-13	8.5	24-oct-13	1.39	25-oct-13	0.68
AS5	2	1.20	28-oct-13	8.7	29-oct-13	1.33	30-oct-13	0.65
AS5	3	1.40	31-oct-13	9.2	01-nov-13	1.44	02-nov-13	0.78
AS5	4	1.50	05-nov-13	9	06-nov-13	1.17	06-nov-13	0.59
AS5	5	1.40	07-nov-13	8.5	08-nov-13	1.86	09-nov-13	0.66
AS5	6	1.25	18-nov-13	8.7	19-nov-13	1.05	20-nov-13	0.80

Caisson	No. anillo	Altura anillo (m)	Fecha exc anillo	Tiempo exc (horas)	Fecha inicio ref anillo	Duración refuerzo (horas)	Fecha inicio fundida anillo	Duración Fundida (horas)
AS5	7	1.50	25-nov-13	12.3	26-nov-13	1.26	27-nov-13	0.52
AS5	8	1.50	28-nov-13	11.8	29-nov-13	1.42	29-nov-13	0.66
AS5	9	0.85	30-nov-13	9.6	30-nov-13	1.48	30-nov-13	0.72
AS6	1	1.50	23-oct-13	9.1	24-oct-13	1.49	24-oct-13	0.76
AS6	2	1.50	28-oct-13	9	29-oct-13	1.85	29-oct-13	0.69
AS6	3	1.50	30-nov-13	8.4	31-oct-13	1.52	31-oct-13	0.72
AS6	4	1.50	31-oct-13	8.5	01-nov-13	1.3	01-nov-13	0.58
AS6	5	1.50	05-nov-13	9	06-nov-13	1.58	06-nov-13	0.74
AS6	6	1.40	06-nov-13	9	07-nov-13	1.5	07-nov-13	0.50
AS6	7	1.50	08-nov-13	9.2	09-nov-13	1.15	09-nov-13	0.72
AS6	8	1.40	12-nov-13	11.2	13-nov-13	1.38	13-nov-13	0.56
AS6	9	1.50	16-nov-13	12	18-nov-13	1.32	18-nov-13	0.61
AS7	1	1.00	13-sep-13	7.9	14-sep-13	1.31	16-sep-13	0.56
AS7	2	1.00	17-sep-13	8.5	18-sep-13	1.16	18-sep-13	0.60
AS7	3	1.30	19-sep-13	8.8	20-sep-13	1.41	21-sep-13	0.51
AS7	4	1.20	24-sep-13	8.4	25-sep-13	1.18	25-sep-13	0.62
AS7	5	1.20	26-sep-13	8.3	27-sep-13	1.73	27-sep-13	0.62
AS7	6	1.25	30-sep-13	8.3	01-oct-13	1.66	01-oct-13	0.77
AS7	7	1.25	04-oct-13	11.5	05-oct-13	1.32	07-oct-13	0.67
AS7	8	1.25	23-oct-13	11.8	24-oct-13	1.39	25-oct-13	0.62
AS7	9	1.25	27-oct-13	11.2	28-oct-13	1.34	29-oct-13	0.62
AS7	10	1.30	01-nov-13	10	02-nov-13	1.46	05-nov-13	0.65
AS7	11	1.40	06-nov-13	10.1	07-nov-13	1.02	07-nov-13	0.55
AS8	1	1.00	17-sep-13	8	18-sep-13	1.72	18-sep-13	0.65
AS8	2	1.00	19-sep-13	8.5	20-sep-13	1.19	20-sep-13	0.59
AS8	3	1.50	11-dic-13	8.2	12-dic-13	1.46	12-dic-13	0.63
AS8	4	1.50	16-dic-13	8.7	17-dic-13	1.32	17-dic-13	0.51
AS8	5	1.40	18-dic-13	9	19-dic-13	1.32	19-dic-13	0.55
AS8	6	1.50	20-dic-13	9.5	21-dic-13	1.04	21-dic-13	0.36
AS8	7	1.50	22-dic-13	10.4	23-dic-13	1.8	23-dic-13	0.61
AS8	8	1.30	24-dic-13	11.3	26-dic-13	1.36	26-dic-13	0.64
AS8	9	1.50	27-dic-13	12.2	30-dic-13	1.21	30-dic-13	0.56
AS9	1	1.00	13-sep-13	8.1	14-sep-13	1.35	16-sep-13	0.71
AS9	2	1.00	16-sep-13	8.7	17-sep-13	1.86	18-sep-13	0.57
AS9	3	1.40	19-sep-13	8.5	20-sep-13	1.44	20-sep-13	0.56

Caisson	No. anillo	Altura anillo (m)	Fecha exc anillo	Tiempo exc (horas)	Fecha inicio ref anillo	Duración refuerzo (horas)	Fecha inicio fundida anillo	Duración Fundida (horas)
AS9	4	1.40	23-sep-13	7.9	24-sep-13	1.66	24-sep-13	0.67
AS9	5	1.40	25-sep-13	8.5	26-sep-13	1.58	26-sep-13	0.74
AS9	6	1.40	27-sep-13	8.3	28-sep-13	1.06	28-sep-13	0.62
AS9	7	1.30	30-sep-13	10.7	01-oct-13	1.23	01-oct-13	0.70
AS9	8	1.40	02-oct-13	9.4	03-oct-13	1.73	03-oct-13	0.77
AS9	9	1.30	04-oct-13	10.2	05-oct-13	1.7	05-oct-13	0.62
AS9	10	1.40	07-oct-13	10.8	08-oct-13	1.15	08-oct-13	0.71
AS9	11	1.30	27-oct-13	11.2	28-oct-13	1.98	29-oct-13	0.67
AS10	1	1.30	30-sep-13	7.7	01-oct-13	1.56	01-oct-13	0.66
AS10	2	1.30	02-oct-13	7.9	03-oct-13	1.77	03-oct-13	0.46
AS10	3	1.30	04-oct-13	7.9	05-oct-13	1.43	05-oct-13	0.55
AS10	4	1.30	07-oct-13	9.2	08-oct-13	1.17	08-oct-13	0.63
AS10	5	1.30	09-oct-13	8.4	10-oct-13	1.63	10-oct-13	0.67
AS10	6	1.30	11-oct-13	9	12-oct-13	1.31	12-oct-13	0.62
AS10	7	1.40	15-oct-13	10.8	16-oct-13	1.71	17-oct-13	0.85
AS10	8	1.40	18-oct-13	11.5	19-oct-13	1.57	19-oct-13	0.66
AS10	9	1.40	21-oct-13	11.1	22-oct-13	1.19	22-oct-13	0.62
AS10	10	1.40	26-oct-13	10	29-oct-13	1.42	29-oct-13	0.77
AS11	1	1.30	30-sep-13	7.7	01-oct-13	1.15	01-oct-13	0.59
AS11	2	1.10	02-oct-13	8.7	03-oct-13	1.22	03-oct-13	0.61
AS11	3	1.00	04-oct-13	8.3	05-oct-13	1.27	05-oct-13	0.61
AS11	4	1.40	07-oct-13	8.5	08-oct-13	1.36	08-oct-13	0.67
AS11	5	1.30	09-oct-13	8.9	10-oct-13	1.79	10-oct-13	0.88
AS11	6	1.30	11-oct-13	9.2	12-oct-13	1.35	12-oct-13	0.72
AS11	7	1.30	15-oct-13	11.9	16-oct-13	1.97	16-oct-13	0.54
AS11	8	1.30	17-oct-13	10.1	18-oct-13	1.62	18-oct-13	0.48
AS11	9	1.30	19-oct-13	10.9	21-oct-13	1.43	22-oct-13	0.56
AS11	10	1.30	24-oct-13	11.4	25-oct-13	1.49	25-oct-13	0.64
AS12	1	1.20	04-oct-13	8.6	05-oct-13	1.74	07-oct-13	0.75
AS12	2	1.20	08-oct-13	8.3	09-oct-13	1.64	09-oct-13	0.56
AS12	3	1.20	10-oct-13	8.1	11-oct-13	1.43	11-oct-13	0.58
AS12	4	1.20	12-oct-13	7.8	15-oct-13	1.63	15-oct-13	0.45
AS12	5	1.20	16-oct-13	8.6	17-oct-13	1.5	17-oct-13	0.70
AS12	6	1.40	18-oct-13	9	19-oct-13	1.41	19-oct-13	0.63
AS12	7	1.40	21-oct-13	10.2	22-oct-13	1.5	22-oct-13	0.59

Caisson	No. anillo	Altura anillo (m)	Fecha exc anillo	Tiempo exc (horas)	Fecha inicio ref anillo	Duración refuerzo (horas)	Fecha inicio fundida anillo	Duración Fundida (horas)
AS12	8	1.40	23-oct-13	11.7	24-oct-13	1.38	25-oct-13	0.62
AS12	9	1.30	26-oct-13	10.6	28-oct-13	1.93	28-oct-13	0.69
AS12	10	1.30	29-oct-13	11.1	30-oct-13	0.96	31-oct-13	0.45
AS13	1	1.20	08-oct-13	7.4	09-oct-13	1.12	09-oct-13	0.63
AS13	2	1.20	10-oct-13	9.1	11-oct-13	1.84	11-oct-13	0.60
AS13	3	1.20	12-oct-13	8.2	15-oct-13	1.42	15-oct-13	0.71
AS13	4	1.20	16-oct-13	8	17-oct-13	1.31	17-oct-13	0.35
AS13	5	1.20	18-oct-13	8.8	19-oct-13	1.08	19-oct-13	0.50
AS13	6	1.20	22-oct-13	8.2	23-oct-13	1.28	23-oct-13	0.69
AS13	7	1.00	25-oct-13	9.8	27-oct-13	1.31	28-oct-13	0.44
AS13	8	1.00	29-oct-13	10	31-oct-13	1.24	31-oct-13	0.75
AS13	9	1.00	02-nov-13	9.4	05-nov-13	1.29	06-nov-13	0.54
AS13	10	1.40	07-nov-13	10.9	08-nov-13	1.3	09-nov-13	0.60
AS13	11	1.40	12-nov-13	11.6	14-nov-13	1.24	14-nov-13	0.67
AS14	1	1.20	08-oct-13	7.7	09-oct-13	1.52	09-oct-13	0.76
AS14	2	1.20	10-oct-13	8.4	11-oct-13	1.51	11-oct-13	0.36
AS14	3	1.20	12-oct-13	7.6	15-oct-13	1.18	15-oct-13	0.71
AS14	4	1.20	16-oct-13	9	17-oct-13	1.38	17-oct-13	0.56
AS14	5	1.20	18-oct-13	9	19-oct-13	1.76	19-oct-13	0.63
AS14	6	1.20	22-oct-13	8	23-oct-13	0.84	23-oct-13	0.73
AS14	7	1.00	25-oct-13	9.3	27-oct-13	1.39	28-oct-13	0.44
AS14	8	1.00	29-oct-13	12.1	31-oct-13	1.49	31-oct-13	0.63
AS14	9	1.00	02-nov-13	12.1	05-nov-13	1.28	06-nov-13	0.71
AS14	10	1.30	07-nov-13	11.5	08-nov-13	1.85	08-nov-13	0.62
A-B-12-13	1	1.4	15-oct-13	16.3	15-oct-13	8.2	16-oct-13	4.5
A-B-12-13	2	1.5	16-oct-13	17.3	16-oct-13	8.3	17-oct-13	4
A-B-12-13	3	1.5	08-nov-13	18.5	13-nov-13	8.4	15-nov-13	3.6
A-B-12-13	4	1.5	19-nov-13	19	22-nov-13	8	25-nov-13	3.8
A-B-12-13	5	1.4	26-nov-13	18	02-dic-13	8.4	04-dic-13	3.6
A-B-12-13	6	1.4	05-dic-13	19	09-dic-13	8.2	09-dic-13	3.8
A-B-12-13	7	1.4	10-dic-13	18.5	16-dic-13	8	19-dic-13	4
A-B-4-5	1	1.4	28-nov-13	18.5	28-nov-13	8.4	29-nov-13	4.30
A-B-4-5	2	1.4	30-nov-13	19	30-nov-13	8.2	02-dic-13	4.30
A-B-4-5	3	1.4	04-dic-13	16.4	06-dic-13	8.3	07-dic-13	4.20
A-B-4-5	4	1.4	11-dic-13	16.3	13-dic-13	8.4	16-dic-13	3.80

Caisson	No. anillo	Altura anillo (m)	Fecha exc anillo	Tiempo exc (horas)	Fecha inicio ref anillo	Duración refuerzo (horas)	Fecha inicio fundida anillo	Duración Fundida (horas)
A-B-4-5	5	1.4	18-ene-14	16.8	22-ene-14	8.1	23-ene-14	3.70
A-B-4-5	6	1.4	25-ene-14	16.6	28-ene-14	8.3	29-ene-14	4.10
A-B-4-5	7	1.4	31-ene-14	18.4	05-feb-14	8.3	06-feb-14	4.30
A-B-4-5	8	1.4	07-feb-14	18.3	11-feb-14	8.2	12-feb-14	4.30
A-B-4-5	9	1.4	13-feb-14	18.7	17-feb-14	8	18-feb-14	4.20
AS''1	1	1	11-feb-14	7.00	12-feb-14	1.2	12-feb-14	0.47
AS''1	2	1	14-feb-14	7.50	15-feb-14	1	15-feb-14	0.53
AS''1	3	1	18-feb-14	7.20	19-feb-14	1.3	19-feb-14	0.50
AS''1	4	1	21-feb-14	8.00	22-feb-14	1.4	22-feb-14	0.62
AS''1	5	1	04-mar-14	7.60	04-mar-14	1.1	05-mar-14	0.67
AS''1	6	1	07-mar-14	7.40	07-mar-14	1.3	10-mar-14	0.63
AS''2	1	1.4	31-oct-13	7.3	01-nov-13	1.2	01-nov-13	0.50
AS''2	2	1.5	06-nov-13	7	07-nov-13	1	07-nov-13	0.58
AS''2	3	1.5	13-nov-13	7.2	14-nov-13	1.3	14-nov-13	0.57
AS''2	4	1.3	15-nov-13	7.4	16-nov-13	1.4	18-nov-13	0.67
AS''2	5	1.3	19-nov-13	7.5	20-nov-13	1.5	21-nov-13	0.58
AS''2	6	1.5	03-dic-13	8	04-dic-13	1.4	04-dic-13	0.53
AS''2	7	1.5	02-ene-14	8.5	03-ene-14	1.6	04-ene-14	0.62
AS''3	1	1.4	30-oct-13	7.4	31-oct-13	1.2	31-oct-13	0.57
AS''3	2	1.4	05-nov-13	7.3	06-nov-13	1.4	06-nov-13	0.55
AS''3	3	1.4	12-nov-13	7.2	13-nov-13	1.6	13-nov-13	0.50
AS''3	4	1.5	15-nov-13	7.5	16-nov-13	1.4	18-nov-13	0.58
AS''3	5	1.5	28-nov-13	8	29-nov-13	1.5	29-nov-13	0.55
AS''3	6	1.6	27-dic-13	8.5	28-dic-13	1	30-dic-13	0.57
AS''3	7	1.4	23-ene-14	9	24-ene-14	1.3	25-ene-14	0.55
MEDIA LUNA								
BS1	1	1	11-sep-13	8.28	12-sep-13	1.1	12-sep-13	0.61
BS1	2	1.3	17-sep-13	9.14	18-sep-13	1.1	18-sep-13	0.54
BS1	3	1	26-sep-13	9.19	27-sep-13	1.17	27-sep-13	0.59
BS1	4	1	28-sep-13	9.19	30-sep-13	1.4	30-sep-13	0.54
BS1	5	1.3	28-oct-13	8.7	29-oct-13	1.42	29-oct-13	0.55
BS1	6	1.2	11-nov-13	8.04	12-nov-13	1.31	12-nov-13	0.55
BS1	7	1.3	15-dic-13	11.2	17-dic-13	1.33	17-dic-13	0.54
BS1	8	1.5	26-dic-13	10.17	27-dic-13	1.15	28-dic-13	0.61
BS1	9	1.4	07-ene-14	11.72	08-ene-14	1.05	09-ene-14	0.58

Caisson	No. anillo	Altura anillo (m)	Fecha exc anillo	Tiempo exc (horas)	Fecha inicio ref anillo	Duración refuerzo (horas)	Fecha inicio fundida anillo	Duración Fundida (horas)
BS1	10	1.4	20-ene-14	10.9	21-ene-14	1.14	22-ene-14	0.51
BS2	1	0.9	13-sep-13	9.37	14-sep-13	1.09	16-sep-13	0.59
BS2	2	1	19-sep-13	9.24	20-sep-13	1.28	20-sep-13	0.56
BS2	3	1	23-sep-13	6.99	24-sep-13	1.23	24-sep-13	0.70
BS2	4	1.2	27-sep-13	7.96	28-sep-13	1.07	30-sep-13	0.60
BS2	5	1.1	04-oct-13	9.31	05-oct-13	1.19	07-oct-13	0.56
BS2	6	1.2	25-oct-13	7.36	26-oct-13	0.97	26-oct-13	0.61
BS2	7	1.3	25-oct-13	9.3	28-oct-13	1.19	29-oct-13	0.49
BS2	8	1.3	31-oct-13	12.28	01-nov-13	1.23	02-nov-13	0.55
BS2	9	1.2	07-nov-13	10.24	09-nov-13	1.1	09-nov-13	0.68
BS2	10	1.4	21-nov-13	10.48	22-nov-13	1.22	23-nov-13	0.56
BS2	11	1.4	25-nov-13	10.84	26-nov-13	1.46	27-nov-13	0.65
BS3	1	0.9	10-sep-13	8.42	11-sep-13	1.4	11-sep-13	0.51
BS3	2	1	11-sep-13	7.76	12-sep-13	1.18	12-sep-13	0.63
BS3	3	1	23-sep-13	9.51	24-sep-13	1.23	24-sep-13	0.66
BS3	4	1.05	25-sep-13	10.02	26-sep-13	1.49	26-sep-13	0.53
BS3	5	1	27-sep-13	7.92	28-sep-13	1.14	30-sep-13	0.58
BS3	6	1	03-oct-13	8.34	04-oct-13	1.34	04-oct-13	0.59
BS3	7	1	10-oct-13	10.46	11-oct-13	1.42	11-oct-13	0.59
BS3	8	1.05	15-oct-13	9.37	16-oct-13	1.14	16-oct-13	0.56
BS3	9	1	21-oct-13	11.26	22-oct-13	1.14	22-oct-13	0.59
BS3	10	1	25-oct-13	9.18	26-oct-13	1.16	28-oct-13	0.63
BS3	11	1	01-nov-13	10.84	02-nov-13	1.18	05-nov-13	0.57
BS3	12	1.3	23-nov-13	10.27	25-nov-13	1.3	25-nov-13	0.62
BS3	13	1.4	26-nov-13	10.34	27-nov-13	1.35	27-nov-13	0.63
BS4	1	1	11-sep-13	10.5	12-sep-13	1.11	12-sep-13	0.60
BS4	2	1	13-sep-13	8.83	14-sep-13	1.4	14-sep-13	0.59
BS4	3	1.3	20-sep-13	8.25	21-sep-13	1.18	21-sep-13	0.59
BS4	4	1.1	04-oct-13	8.23	05-oct-13	1.37	07-oct-13	0.54
BS4	5	1.3	23-oct-13	9.07	24-oct-13	1.23	24-oct-13	0.58
BS4	6	1.3	25-oct-13	7.66	26-oct-13	1.32	28-oct-13	0.64
BS4	7	1.3	01-nov-13	9.5	02-nov-13	1.13	05-nov-13	0.60
BS4	8	1.3	07-nov-13	9.7	08-nov-13	1.32	08-nov-13	0.59
BS4	9	1.2	23-nov-13	10.02	25-nov-13	1.09	25-nov-13	0.48
BS4	10	1.2	28-nov-13	10.33	29-nov-13	1.43	29-nov-13	0.45

Caisson	No. anillo	Altura anillo (m)	Fecha exc anillo	Tiempo exc (horas)	Fecha inicio ref anillo	Duración refuerzo (horas)	Fecha inicio fundida anillo	Duración Fundida (horas)
BS4	11	0.4	02-dic-13	10.44	03-dic-13	0.97	03-dic-13	0.57
BS5	1	0.95	17-sep-13	9.9	18-sep-13	1.42	18-sep-13	0.69
BS5	2	1.3	19-sep-13	8.31	20-sep-13	1.48	20-sep-13	0.59
BS5	3	1.3	24-sep-13	8.05	25-sep-13	1.02	25-sep-13	0.54
BS5	4	1.35	04-oct-13	9.36	05-oct-13	1.32	05-oct-13	0.55
BS5	5	1.3	23-oct-13	9.17	24-oct-13	1.32	24-oct-13	0.58
BS5	6	1.3	25-oct-13	6.72	26-oct-13	1.27	26-oct-13	0.50
BS5	7	1.3	31-oct-13	9.6	01-nov-13	1.17	01-nov-13	0.60
BS5	8	1.5	13-nov-13	9.86	14-nov-13	1.25	14-nov-13	0.62
BS5	9	1.3	30-nov-13	11.43	02-dic-13	1.47	02-dic-13	0.68
BS5	10	1.3	03-dic-13	9.54	04-dic-13	1.22	04-dic-13	0.56
BS5	11	0.9	05-dic-13	11.35	06-dic-13	1.27	06-dic-13	0.58
BS6	1	0.95	17-sep-13	9.03	18-sep-13	1.06	18-sep-13	0.62
BS6	2	1.2	19-sep-13	8.39	20-sep-13	1.06	20-sep-13	0.58
BS6	3	1.2	25-sep-13	8.95	26-sep-13	1.04	26-sep-13	0.58
BS6	4	1.3	04-oct-13	8.55	05-oct-13	1.41	05-oct-13	0.57
BS6	5	1.1	23-oct-13	7.56	24-oct-13	1.49	24-oct-13	0.61
BS6	6	1.2	07-nov-13	8.8	08-nov-13	1.11	08-nov-13	0.60
BS6	7	1.3	12-nov-13	10.28	13-nov-13	1.01	13-nov-13	0.61
BS6	8	1.25	14-nov-13	11.91	15-nov-13	1.27	15-nov-13	0.68
BS6	9	1	30-nov-13	9.69	02-dic-13	1.44	02-dic-13	0.50
BS7	1	1	19-sep-13	8.48	20-sep-13	1.18	20-sep-13	0.59
BS7	2	1.35	23-sep-13	8.62	24-sep-13	0.97	24-sep-13	0.61
BS7	3	1.3	26-sep-13	7.14	27-sep-13	1.54	27-sep-13	0.59
BS7	4	1.05	03-oct-13	9.58	04-oct-13	1.3	04-oct-13	0.59
BS7	5	1.3	08-oct-13	8.14	09-oct-13	1.08	09-oct-13	0.50
BS7	6	1.3	18-oct-13	7.9	19-oct-13	1.14	21-oct-13	0.63
BS7	7	1.2	22-oct-13	10.88	23-oct-13	1.28	23-oct-13	0.61
BS7	8	1.2	24-oct-13	9.88	25-oct-13	1.24	25-oct-13	0.54
BS7	9	1.3	27-oct-13	10.18	28-oct-13	1.12	28-oct-13	0.55
BS7	10	1	16-nov-13	11.78	18-nov-13	1.45	18-nov-13	0.51
BS7	11	1.3	05-dic-13	10.7	06-dic-13	1.03	06-dic-13	0.62
BS7	12	1.4	07-dic-13	10.75	09-dic-13	1.36	09-dic-13	0.54
BS7	13	1.2	10-dic-13	10.18	11-dic-13	0.89	11-dic-13	0.57
BS8	1	1.3	18-sep-13	8.36	19-sep-13	1.21	19-sep-13	0.54

Caisson	No. anillo	Altura anillo (m)	Fecha exc anillo	Tiempo exc (horas)	Fecha inicio ref anillo	Duración refuerzo (horas)	Fecha inicio fundida anillo	Duración Fundida (horas)
BS8	2	1.3	20-sep-13	8.14	21-sep-13	1.24	21-sep-13	0.62
BS8	3	1.15	24-sep-13	8.73	25-sep-13	1.22	25-sep-13	0.67
BS8	4	1.3	27-sep-13	9.74	28-sep-13	1.35	30-sep-13	0.57
BS8	5	1.3	01-oct-13	8.4	02-oct-13	1.44	02-oct-13	0.57
BS8	6	1.3	03-oct-13	8.19	04-oct-13	1.39	04-oct-13	0.62
BS8	7	1.3	07-oct-13	9.52	08-oct-13	1.31	08-oct-13	0.57
BS8	8	1.3	09-oct-13	10.32	10-oct-13	1.33	10-oct-13	0.62
BS8	9	1.2	11-oct-13	11.1	12-oct-13	1.39	15-oct-13	0.58
BS8	10	1.1	16-oct-13	8.65	17-oct-13	1.27	17-oct-13	0.48
BS8	11	1.1	22-oct-13	9.71	23-oct-13	1.11	23-oct-13	0.57
BS8	12	1.2	24-oct-13	9.35	25-oct-13	1.4	25-oct-13	0.60
BS9	1	1.15	19-sep-13	9.06	20-sep-13	1.44	20-sep-13	0.55
BS9	2	1.05	24-sep-13	9.02	25-sep-13	1.01	25-sep-13	0.65
BS9	3	1.25	27-sep-13	9.53	28-sep-13	1.5	30-sep-13	0.62
BS9	4	1.4	01-oct-13	8.76	02-oct-13	1.2	02-oct-13	0.69
BS9	5	1.4	03-oct-13	8.72	04-oct-13	1.19	04-oct-13	0.63
BS9	6	1.2	05-oct-13	8.82	07-oct-13	1.22	07-oct-13	0.56
BS9	7	1.2	08-oct-13	10.36	09-oct-13	1.29	09-oct-13	0.48
BS9	8	1.2	10-oct-13	9.17	11-oct-13	1.04	11-oct-13	0.51
BS9	9	1.2	10-oct-13	10.55	11-oct-13	1.37	11-oct-13	0.63
BS9	10	1	12-oct-13	11.3	15-oct-13	1.2	16-oct-13	0.54
BS9	11	1	17-oct-13	10.96	18-oct-13	0.69	18-oct-13	0.58
BS9	12	1	21-oct-13	10.25	22-oct-13	1.09	22-oct-13	0.59
BS9	13	1	27-oct-13	10.42	28-oct-13	1.24	28-oct-13	0.54
BS9	14	1	31-oct-13	9.33	01-nov-13	1.06	01-nov-13	0.65
BS9	15	1	02-nov-13	10.02	05-nov-13	1.28	05-nov-13	0.50
BS10	1	1	16-sep-13	8.94	17-sep-13	1.02	17-sep-13	0.60
BS10	2	0.9	19-sep-13	10.52	20-sep-13	1.23	20-sep-13	0.64
BS10	3	0.9	23-sep-13	8.84	24-sep-13	1.14	24-sep-13	0.55
BS10	4	1	26-sep-13	9.38	27-sep-13	1.12	27-sep-13	0.53
BS10	5	1	03-oct-13	9.49	04-oct-13	1.37	04-oct-13	0.58
BS10	6	1	07-oct-13	8.48	08-oct-13	1.28	08-oct-13	0.53
BS10	7	0.9	11-oct-13	10.68	12-oct-13	0.95	15-oct-13	0.56
BS10	8	0.9	17-oct-13	10.81	18-oct-13	1.31	18-oct-13	0.59
BS10	9	1	22-oct-13	10.54	23-oct-13	1.16	23-oct-13	0.58

Caisson	No. anillo	Altura anillo (m)	Fecha exc anillo	Tiempo exc (horas)	Fecha inicio ref anillo	Duración refuerzo (horas)	Fecha inicio fundida anillo	Duración Fundida (horas)
BS10	10	1	25-oct-13	11.02	26-oct-13	1.12	26-oct-13	0.51
BS10	11	1.5	07-nov-13	9.98	08-nov-13	1.45	08-nov-13	0.50
BS10	12	1.5	30-nov-13	11.69	02-dic-13	1.4	02-dic-13	0.59
BS10	13	1.5	06-dic-13	9.76	07-dic-13	1.27	07-dic-13	0.65
BS10	14	1.4	16-dic-13	9.68	17-dic-13	1.21	17-dic-13	0.71
BS11	1	1.4	31-oct-13	9.41	01-nov-13	1.08	01-nov-13	0.56
BS11	2	1	04-nov-13	9.23	05-nov-13	1.02	05-nov-13	0.62
BS11	3	1	07-nov-13	9.04	08-nov-13	1.27	08-nov-13	0.55
BS11	4	1.4	13-nov-13	8.43	14-nov-13	1.53	14-nov-13	0.61
BS11	5	1.4	21-nov-13	8.64	23-nov-13	1.37	23-nov-13	0.58
BS11	6	1.4	26-nov-13	9.3	27-nov-13	1.29	27-nov-13	0.62
BS11	7	1.4	10-dic-13	9.73	11-dic-13	1.15	11-dic-13	0.59
BS11	8	1.4	17-dic-13	10.17	18-dic-13	1.33	18-dic-13	0.56
BS11	9	1.4	19-dic-13	10.39	20-dic-13	0.95	20-dic-13	0.54
BS11	10	1.4	21-dic-13	9.39	23-dic-13	1.2	26-dic-13	0.55
BS12	1	0.85	11-sep-13	7.65	12-sep-13	1.2	12-sep-13	0.70
BS12	2	1	19-sep-13	7.6	20-sep-13	1.46	20-sep-13	0.60
BS12	3	0.9	25-sep-13	7.33	26-sep-13	1.24	26-sep-13	0.59
BS12	4	1	29-sep-13	8.85	30-sep-13	1.1	30-sep-13	0.58
BS12	5	1	01-oct-13	7.59	02-oct-13	1.26	02-oct-13	0.60
BS12	6	1.05	07-oct-13	8.22	08-oct-13	1.3	08-oct-13	0.54
BS12	7	1	11-oct-13	12.36	12-oct-13	1.36	15-oct-13	0.53
BS12	8	1	18-oct-13	11.6	19-oct-13	1.2	19-oct-13	0.66
BS12	9	1	27-oct-13	12.23	28-oct-13	1.24	28-oct-13	0.51
BS12	10	1	06-nov-13	10.33	07-nov-13	1.27	07-nov-13	0.70
BS12	11	1	14-nov-13	10.75	15-nov-13	1.23	15-nov-13	0.65
BS12	12	1	22-nov-13	10.22	23-nov-13	1.13	23-nov-13	0.58
BS13	1	1.2	25-sep-13	8.29	26-sep-13	1.13	26-sep-13	0.54
BS13	2	1.1	27-sep-13	8.38	28-sep-13	1.19	30-sep-13	0.54
BS13	3	1	01-oct-13	8.64	02-oct-13	1.47	02-oct-13	0.51
BS13	4	1	03-oct-13	7.77	04-oct-13	1.11	04-oct-13	0.59
BS13	5	1	05-oct-13	8.16	07-oct-13	1.62	07-oct-13	0.58
BS13	6	1	11-oct-13	9.01	12-oct-13	1.15	12-oct-13	0.63
BS13	7	1.5	25-oct-13	11.49	26-oct-13	1.72	26-oct-13	0.51
BS13	8	0.85	01-nov-13	9.52	05-nov-13	1.2	05-nov-13	0.69

Caisson	No. anillo	Altura anillo (m)	Fecha exc anillo	Tiempo exc (horas)	Fecha inicio ref anillo	Duración refuerzo (horas)	Fecha inicio fundida anillo	Duración Fundida (horas)
BS13	9	1	08-nov-13	10.11	09-nov-13	1.36	09-nov-13	0.54
BS13	10	1	14-nov-13	9.7	15-nov-13	1.03	15-nov-13	0.64
BS13	11	1	22-nov-13	10.86	23-nov-13	0.92	23-nov-13	0.60
BS13	12	1.5	26-nov-13	10.59	27-nov-13	1.04	27-nov-13	0.58
BS13	13	1.5	29-nov-13	11.68	30-nov-13	1	30-nov-13	0.52
BS13	14	0.7	02-dic-13	10.17	02-dic-13	1.15	02-dic-13	0.48
BS14	1	0.9	11-sep-13	9.21	12-sep-13	1.24	12-sep-13	0.68
BS14	2	1	19-sep-13	8.09	20-sep-13	1.26	20-sep-13	0.57
BS14	3	0.9	23-sep-13	9.09	24-sep-13	0.97	24-sep-13	0.62
BS14	4	0.9	25-sep-13	8.91	26-sep-13	1.12	26-sep-13	0.69
BS14	5	1	29-sep-13	9.49	30-sep-13	1.2	30-sep-13	0.56
BS14	6	0.9	01-oct-13	8.13	02-oct-13	1.32	02-oct-13	0.65
BS14	7	1	03-oct-13	10.66	04-oct-13	1.21	04-oct-13	0.58
BS14	8	1	07-oct-13	11.85	08-oct-13	1.08	08-oct-13	0.53
BS14	9	1	11-oct-13	9.6	13-oct-13	1.49	13-oct-13	0.57
BS14	10	1	16-oct-13	10.7	17-oct-13	1.47	17-oct-13	0.58
BS14	11	1	18-oct-13	11.17	19-oct-13	1.04	21-oct-13	0.55
BS14	12	1	24-oct-13	11.46	25-oct-13	1.15	25-oct-13	0.54
BS14	13	1	29-oct-13	10.9	30-oct-13	1.3	30-oct-13	0.51
B´1	1	1.2	08-nov-13	7.92	09-nov-13	1.3	12-nov-13	0.53
B´1	2	1.5	14-nov-13	9.38	15-nov-13	1.18	15-nov-13	0.53
B´1	3	1.4	16-dic-13	8.9	17-dic-13	1.34	17-dic-13	0.58
B´1	4	1.4	20-ene-14	8.32	21-ene-14	1.22	21-ene-14	0.50
B´1	5	1.4	23-ene-14	9.85	24-ene-14	1.05	25-ene-14	0.57
B´1	6	1.4	27-ene-14	8.12	28-ene-14	1.22	28-ene-14	0.58
A´1	1	1.3	07-nov-13	7.07	08-nov-13	1.2	09-nov-13	0.52
A´1	2	1.3	13-nov-13	9.17	14-nov-13	1.24	14-nov-13	0.62
A´1	3	1.2	15-nov-13	8.44	16-nov-13	1.3	18-nov-13	0.55
A´1	4	1.2	27-nov-13	9.33	28-nov-13	1.34	29-nov-13	0.58
A´1	5	1.3	16-dic-13	9.49	17-dic-13	1.16	17-dic-13	0.59
A´1	6	1.3	23-dic-13	8.66	24-dic-13	1.26	26-dic-13	0.56
A´1	7	1	30-ene-14	11.03	31-ene-14	1.25	01-feb-14	0.52
AS´1	1	1	25-sep-13	9.97	26-sep-13	1.15	26-sep-13	0.54
AS´1	2	1.25	27-sep-13	8.44	28-sep-13	1.15	01-oct-13	0.59
AS´1	3	1.25	07-oct-13	8.71	08-oct-13	1.22	09-oct-13	0.61

Caisson	No. anillo	Altura anillo (m)	Fecha exc anillo	Tiempo exc (horas)	Fecha inicio ref anillo	Duración refuerzo (horas)	Fecha inicio fundida anillo	Duración Fundida (horas)
AS'1	4	1.3	01-nov-13	8.56	02-nov-13	1.25	05-nov-13	0.56
AS'1	5	1.2	06-nov-13	8.33	07-nov-13	1.29	07-nov-13	0.59
AS'1	6	1	08-nov-13	8.44	09-nov-13	1.18	12-nov-13	0.53
AS'1	7	1	15-nov-13	10	16-nov-13	1.48	18-nov-13	0.59
AS'1	8	1	05-dic-13	11	06-dic-13	1.03	07-dic-13	0.61
B15	1	0.85	11-sep-13	7.89	11-sep-13	1.11	12-sep-13	0.63
B15	2	1	19-sep-13	8.81	19-sep-13	1.32	20-sep-13	0.57
B15	3	0.95	23-sep-13	8.28	23-sep-13	1.16	24-sep-13	0.54
B15	4	1	25-sep-13	9.79	25-sep-13	1.24	26-sep-13	0.61
B15	5	0.8	27-sep-13	8.77	27-sep-13	1.21	30-sep-13	0.62
B15	6	1	01-oct-13	9.38	01-oct-13	1.14	02-oct-13	0.52
B15	7	1.05	08-oct-13	9.32	08-oct-13	1.23	09-oct-13	0.52
B15	8	0.9	16-oct-13	10.66	16-oct-13	1.1	17-oct-13	0.60
B15	9	0.9	25-oct-13	11.09	25-oct-13	1.15	26-oct-13	0.64
B15	10	1	30-oct-13	10.82	30-oct-13	1.07	31-oct-13	0.55
B15	11	1	01-nov-13	11.25	01-nov-13	1.44	02-nov-13	0.66
B15	12	1	06-nov-13	9.8	06-nov-13	1.29	07-nov-13	0.62
B15	13	1.1	11-nov-13	9.24	11-nov-13	1.12	12-nov-13	0.64
A15	1	1.2	09-oct-13	8.67	10-oct-13	1.21	10-oct-13	0.54
A15	2	1.2	16-oct-13	8.95	17-oct-13	1.05	17-oct-13	0.53
A15	3	1.2	18-oct-13	8.26	19-oct-13	1.24	21-oct-13	0.62
A15	4	1.2	23-oct-13	7.7	24-oct-13	1.27	24-oct-13	0.60
A15	5	1.2	30-oct-13	8.68	31-oct-13	1.12	31-oct-13	0.59
A15	6	1.5	13-nov-13	7.96	14-nov-13	1.29	14-nov-13	0.46
A15	7	1.5	26-nov-13	10.62	27-nov-13	1.6	27-nov-13	0.61
A15	8	1.3	11-dic-13	9.98	12-dic-13	1	12-dic-13	0.61
A15	9	1.5	14-dic-13	10.58	16-dic-13	1.26	16-dic-13	0.68
A15	10	1.5	17-dic-13	11.99	18-dic-13	0.97	18-dic-13	0.53
AS15	1	1	11-oct-13	8.35	12-oct-13	1.36	15-oct-13	0.57
AS15	2	1.3	16-oct-13	8.27	17-oct-13	1.45	17-oct-13	0.55
AS15	3	1.2	21-oct-13	9.91	22-oct-13	1.27	22-oct-13	0.63
AS15	4	1.4	24-oct-13	8.6	24-oct-13	1.29	25-oct-13	0.52
AS15	5	1.4	31-oct-13	8.37	01-nov-13	1.3	01-nov-13	0.64
AS15	6	1	05-nov-13	9.09	06-nov-13	1.29	06-nov-13	0.64
AS15	7	0.9	21-nov-13	10.76	22-nov-13	1.29	22-nov-13	0.58

Caisson	No. anillo	Altura anillo (m)	Fecha exc anillo	Tiempo exc (horas)	Fecha inicio ref anillo	Duración refuerzo (horas)	Fecha inicio fundida anillo	Duración Fundida (horas)
AS15	8	0.9	29-nov-13	9.8	30-nov-13	1.15	30-nov-13	0.63
AS15	9	1.5	16-dic-13	10.66	17-dic-13	1.2	17-dic-13	0.65
AS15	10	1.7	23-dic-13	10	26-dic-13	1.28	26-dic-13	0.58
AS15	11	1.3	27-dic-13	9.35	28-dic-13	1.55	30-dic-13	0.53
CUARTO DE LUNA								
BS'1	1	1.15	27-sep-13	7.3	28-sep-13	1.2	30-sep-13	0.58
BS'1	2	1.25	03-oct-13	7.6	03-oct-13	1.2	04-oct-13	0.55
BS'1	3	1.1	28-oct-13	7.8	28-oct-13	1.2	29-oct-13	0.63
BS'1	4	1.1	30-oct-13	7.4	30-oct-13	1.1	31-oct-13	0.57
BS'1	5	1.1	06-nov-13	7.2	06-nov-13	1.2	07-nov-13	0.63
BS'1	6	1.1	13-nov-13	7.8	13-nov-13	1.4	14-nov-13	0.55
BS'1	7	1.4	18-dic-13	8.3	19-dic-13	1.5	20-dic-13	0.53
BS'1	8	1.4	22-ene-14	8.5	23-ene-14	1.5	23-ene-14	0.50
BS15	1	1	11-sep-13	7.8	12-sep-13	1.2	12-sep-13	0.57
BS15	2	1	19-sep-13	7.4	20-sep-13	1.1	20-sep-13	0.50
BS15	3	1	24-sep-13	7.6	25-sep-13	1.3	25-sep-13	0.60
BS15	4	0.9	26-sep-13	7.7	27-sep-13	1.1	27-sep-13	0.50
BS15	5	0.9	01-oct-13	7.9	02-oct-13	1.2	02-oct-13	0.50
BS15	6	1	03-oct-13	7.3	04-oct-13	1.2	04-oct-13	0.58
BS15	7	1.2	09-oct-13	8.6	10-oct-13	1.5	10-oct-13	0.50
BS15	8	1	17-oct-13	8.5	18-oct-13	1.1	18-oct-13	0.60
BS15	9	1	23-oct-13	8.8	24-oct-13	1.7	24-oct-13	0.50
BS15	10	1	29-oct-13	8.4	30-oct-13	1.2	30-oct-13	0.58
BS15	11	1	01-nov-13	8.8	02-nov-13	1.1	02-nov-13	0.50
BS15	12	1	14-nov-13	8.4	15-nov-13	1.5	15-nov-13	0.53
BS15	13	1	22-nov-13	9	23-nov-13	1.2	23-nov-13	0.50
BS15	14	1.2	25-nov-13	9.2	27-nov-13	1.3	27-nov-13	0.62
OVALO								
A/B 1	1	1.4	05-feb-14	10.5	07-feb-14	5.4	10-feb-14	1.2
A/B 1	1	1.4	12-feb-14	10.4	13-feb-14	5.3	14-feb-14	1.5
A/B 1	1	1.4	18-feb-14	10.9	20-feb-14	5.9	21-feb-14	2
A/B 1	1	1.4	24-feb-14	10.3	27-feb-14	5.6	28-feb-14	2.1
A/B 1	1	1.4	04-mar-14	10.8	06-mar-14	5.4	07-mar-14	1.7
A/B 1	1	1.4	08-mar-14	10.5	10-mar-14	5.8	11-mar-14	1.4

## DATOS FUSTES CAISSONS

Caisson	Fecha inicio ref fuste	Tiempo ref fuste (horas)	Fecha fundida fuste	Tiempo fundida fuste (horas)
CIRCULAR				
B2	28-feb-14	4.28	01-mar-14	4.00
B3	30-dic-13	4.12	02-ene-14	4.09
B6	16-dic-13	4.15	17-dic-13	3.87
B7	25-nov-13	3.87	28-nov-13	4.15
B9	09-dic-13	4.28	10-dic-13	4.03
B10	27-nov-13	4.07	28-nov-13	3.79
B11	08-ene-14	3.96	11-ene-14	3.84
B14	20-nov-13	4.08	28-nov-13	3.72
A2	11-mar-14	4.06	14-mar-14	4.00
A3	26-feb-14	4.25	28-feb-14	4.13
A6	06-dic-13	4.17	09-dic-13	3.7
A7	25-nov-13	3.75	28-nov-13	4.23
A8	28-oct-13	3.69	02-nov-13	3.94
A9	28-feb-14	4.05	01-mar-14	4.11
A10	10-feb-14	4.21	13-feb-14	3.77
A11	07-ene-14	4.12	08-ene-14	3.83
A14	25-nov-13	4.16	29-nov-13	4.09
AS1	09-feb-14	4.05	12-feb-14	4.22
AS2	07-dic-13	3.83	09-dic-13	3.7
AS2	07-dic-13	3.83	09-dic-13	3.7
AS2	07-dic-13	3.83	09-dic-13	3.7
AS2	07-dic-13	3.83	09-dic-13	3.7
AS2	07-dic-13	3.83	09-dic-13	3.7
AS2	07-dic-13	3.83	09-dic-13	3.7
AS2	07-dic-13	3.83	09-dic-13	3.7
AS2	07-dic-13	3.83	09-dic-13	3.7
AS2	07-dic-13	3.83	09-dic-13	3.7
AS2	07-dic-13	3.83	09-dic-13	3.7
AS2	07-dic-13	3.83	09-dic-13	3.7
AS2	07-dic-13	3.83	09-dic-13	3.7
AS2	07-dic-13	3.83	09-dic-13	3.7
AS2	07-dic-13	3.83	09-dic-13	3.7
AS2	07-dic-13	3.83	09-dic-13	3.7
AS3	27-nov-13	3.85	28-nov-13	4.04
AS3	27-nov-13	3.85	28-nov-13	4.04
AS3	27-nov-13	3.85	28-nov-13	4.04
AS3	27-nov-13	3.85	28-nov-13	4.04

<b>Caisson</b>	<b>Fecha inicio ref fuste</b>	<b>Tiempo ref fuste (horas)</b>	<b>Fecha fundida fuste</b>	<b>Tiempo fundida fuste (horas)</b>
AS3	27-nov-13	3.85	28-nov-13	4.04
AS3	27-nov-13	3.85	28-nov-13	4.04
AS3	27-nov-13	3.85	28-nov-13	4.04
AS3	27-nov-13	3.85	28-nov-13	4.04
AS3	27-nov-13	3.85	28-nov-13	4.04
AS4	02-ene-14	3.91	03-ene-14	3.93
AS4	02-ene-14	3.91	03-ene-14	3.93
AS4	02-ene-14	3.91	03-ene-14	3.93
AS4	02-ene-14	3.91	03-ene-14	3.93
AS4	02-ene-14	3.91	02-dic-13	3.93
AS4	02-ene-14	3.91	02-dic-13	3.93
AS4	02-ene-14	3.91	02-dic-13	3.93
AS5	01-dic-13	4.08	03-dic-13	3.85
AS5	01-dic-13	4.08	03-dic-13	3.85
AS5	01-dic-13	4.08	03-dic-13	3.85
AS5	01-dic-13	4.08	03-dic-13	3.85
AS5	01-dic-13	4.08	03-dic-13	3.85
AS5	01-dic-13	4.08	03-dic-13	3.85
AS5	01-dic-13	4.08	03-dic-13	3.85
AS5	01-dic-13	4.08	03-dic-13	3.85
AS5	01-dic-13	4.08	03-dic-13	3.85
AS5	01-dic-13	4.08	03-dic-13	3.85
AS6	18-nov-13	4.25	19-nov-13	4.06
AS6	18-nov-13	4.25	19-nov-13	4.06
AS6	18-nov-13	4.25	19-nov-13	4.06
AS6	18-nov-13	4.25	19-nov-13	4.06
AS6	18-nov-13	4.25	19-nov-13	4.06
AS6	18-nov-13	4.25	19-nov-13	4.06
AS6	18-nov-13	4.25	19-nov-13	4.06
AS6	18-nov-13	4.25	19-nov-13	4.06
AS6	18-nov-13	4.25	19-nov-13	4.06
AS6	18-nov-13	4.25	19-nov-13	4.06
AS7	11-nov-13	3.97	13-nov-13	4.06
AS7	11-nov-13	3.97	13-nov-13	4.06
AS7	11-nov-13	3.97	13-nov-13	4.06
AS7	11-nov-13	3.97	13-nov-13	4.06
AS7	11-nov-13	3.97	13-nov-13	4.06
AS7	11-nov-13	3.97	13-nov-13	4.06

<b>Caisson</b>	<b>Fecha inicio ref fuste</b>	<b>Tiempo ref fuste (horas)</b>	<b>Fecha fundida fuste</b>	<b>Tiempo fundida fuste (horas)</b>
AS7	11-nov-13	3.97	13-nov-13	4.06
AS7	11-nov-13	3.97	13-nov-13	4.06
AS7	11-nov-13	3.97	13-nov-13	4.06
AS7	11-nov-13	3.97	13-nov-13	4.06
AS7	11-nov-13	3.97	13-nov-13	4.06
AS8	03-ene-14	4.06	04-ene-14	3.98
AS8	03-ene-14	4.06	04-ene-14	3.98
AS8	03-ene-14	4.06	04-ene-14	3.98
AS8	03-ene-14	4.06	04-ene-14	3.98
AS8	03-ene-14	4.06	04-ene-14	3.98
AS8	03-ene-14	4.06	04-ene-14	3.98
AS8	03-ene-14	4.06	04-ene-14	3.98
AS8	03-ene-14	4.06	04-ene-14	3.98
AS8	03-ene-14	4.06	04-ene-14	3.98
AS8	03-ene-14	4.06	04-ene-14	3.98
AS8	03-ene-14	4.06	04-ene-14	3.98
AS8	03-ene-14	4.06	04-ene-14	3.98
AS9	04-nov-13	3.87	06-nov-13	3.8
AS9	04-nov-13	3.87	06-nov-13	3.8
AS9	04-nov-13	3.87	06-nov-13	3.8
AS9	04-nov-13	3.87	06-nov-13	3.8
AS9	04-nov-13	3.87	06-nov-13	3.8
AS9	04-nov-13	3.87	06-nov-13	3.8
AS9	04-nov-13	3.87	06-nov-13	3.8
AS9	04-nov-13	3.87	06-nov-13	3.8
AS9	04-nov-13	3.87	06-nov-13	3.8
AS9	04-nov-13	3.87	06-nov-13	3.8
AS9	04-nov-13	3.87	06-nov-13	3.8
AS9	04-nov-13	3.87	06-nov-13	3.8
AS9	04-nov-13	3.87	06-nov-13	3.8
AS9	04-nov-13	3.87	06-nov-13	3.8
AS9	04-nov-13	3.87	06-nov-13	3.8
AS9	04-nov-13	3.87	06-nov-13	3.8
AS10	05-nov-13	3.98	06-nov-13	4.1
AS10	05-nov-13	3.98	06-nov-13	4.1
AS10	05-nov-13	3.98	06-nov-13	4.1
AS10	05-nov-13	3.98	06-nov-13	4.1
AS10	05-nov-13	3.98	06-nov-13	4.1
AS10	05-nov-13	3.98	06-nov-13	4.1
AS10	05-nov-13	3.98	06-nov-13	4.1
AS10	05-nov-13	3.98	06-nov-13	4.1
AS10	05-nov-13	3.98	06-nov-13	4.1
AS10	05-nov-13	3.98	06-nov-13	4.1
AS10	05-nov-13	3.98	06-nov-13	4.1
AS10	05-nov-13	3.98	06-nov-13	4.1
AS10	05-nov-13	3.98	06-nov-13	4.1
AS10	05-nov-13	3.98	06-nov-13	4.1
AS10	05-nov-13	3.98	06-nov-13	4.1
AS11	27-oct-13	3.72	29-oct-13	3.62

<b>Caisson</b>	<b>Fecha inicio ref fuste</b>	<b>Tiempo ref fuste (horas)</b>	<b>Fecha fundida fuste</b>	<b>Tiempo fundida fuste (horas)</b>
AS11	27-oct-13	3.72	29-oct-13	3.62
AS11	27-oct-13	3.72	29-oct-13	3.62
AS11	27-oct-13	3.72	29-oct-13	3.62
AS11	27-oct-13	3.72	29-oct-13	3.62
AS11	27-oct-13	3.72	29-oct-13	3.62
AS11	27-oct-13	3.72	29-oct-13	3.62
AS11	27-oct-13	3.72	29-oct-13	3.62
AS11	27-oct-13	3.72	29-oct-13	3.62
AS11	27-oct-13	3.72	29-oct-13	3.62
AS12	04-nov-13	3.98	06-nov-13	3.87
AS12	04-nov-13	3.98	06-nov-13	3.87
AS12	04-nov-13	3.98	06-nov-13	3.87
AS12	04-nov-13	3.98	06-nov-13	3.87
AS12	04-nov-13	3.98	06-nov-13	3.87
AS12	04-nov-13	3.98	06-nov-13	3.87
AS12	04-nov-13	3.98	06-nov-13	3.87
AS12	04-nov-13	3.98	06-nov-13	3.87
AS12	04-nov-13	3.98	06-nov-13	3.87
AS12	04-nov-13	3.98	06-nov-13	3.87
AS12	04-nov-13	3.98	06-nov-13	3.87
AS12	04-nov-13	3.98	06-nov-13	3.87
AS13	17-nov-13	4.11	18-nov-13	4.2
AS13	17-nov-13	4.11	18-nov-13	4.2
AS13	17-nov-13	4.11	18-nov-13	4.2
AS13	17-nov-13	4.11	18-nov-13	4.2
AS13	17-nov-13	4.11	18-nov-13	4.2
AS13	17-nov-13	4.11	18-nov-13	4.2
AS13	17-nov-13	4.11	18-nov-13	4.2
AS13	17-nov-13	4.11	18-nov-13	4.2
AS13	17-nov-13	4.11	18-nov-13	4.2
AS13	17-nov-13	4.11	18-nov-13	4.2
AS13	17-nov-13	4.11	18-nov-13	4.2
AS13	17-nov-13	4.11	18-nov-13	4.2
AS13	17-nov-13	4.11	18-nov-13	4.2
AS13	17-nov-13	4.11	18-nov-13	4.2
AS13	17-nov-13	4.11	18-nov-13	4.2
AS13	17-nov-13	4.11	18-nov-13	4.2
AS14	11-nov-13	4.05	12-nov-13	3.92
AS14	11-nov-13	4.05	12-nov-13	3.92
AS14	11-nov-13	4.05	12-nov-13	3.92
AS14	11-nov-13	4.05	12-nov-13	3.92
AS14	11-nov-13	4.05	12-nov-13	3.92
AS14	11-nov-13	4.05	12-nov-13	3.92

<b>Caisson</b>	<b>Fecha inicio ref fuste</b>	<b>Tiempo ref fuste (horas)</b>	<b>Fecha fundida fuste</b>	<b>Tiempo fundida fuste (horas)</b>
AS14	11-nov-13	4.05	12-nov-13	3.92
AS14	11-nov-13	4.05	12-nov-13	3.92
AS14	11-nov-13	4.05	12-nov-13	3.92
AS14	11-nov-13	4.05	12-nov-13	3.92
A-B-12-13	13-ene-14	40.00	25-ene-14	35.00
A-B-12-13	13-ene-14	40.00	25-ene-14	35.00
A-B-12-13	13-ene-14	40.00	25-ene-14	35.00
A-B-12-13	13-ene-14	40.00	25-ene-14	35.00
A-B-12-13	13-ene-14	40.00	25-ene-14	35.00
A-B-12-13	13-ene-14	40.00	25-ene-14	35.00
A-B-12-13	13-ene-14	40.00	25-ene-14	35.00
A-B-12-13	13-ene-14	40.00	25-ene-14	35.00
A-B-4-5	05-mar-14	35.00	15-mar-14	32.00
A-B-4-5	05-mar-14	35.00	15-mar-14	32.00
A-B-4-5	05-mar-14	35.00	15-mar-14	32.00
A-B-4-5	05-mar-14	35.00	15-mar-14	32.00
A-B-4-5	05-mar-14	35.00	15-mar-14	32.00
A-B-4-5	05-mar-14	35.00	15-mar-14	32.00
A-B-4-5	05-mar-14	35.00	15-mar-14	32.00
A-B-4-5	05-mar-14	35.00	15-mar-14	32.00
A-B-4-5	05-mar-14	35.00	15-mar-14	32.00
A-B-4-5	05-mar-14	35.00	15-mar-14	32.00
AS''1	12-mar-14	3.83	19-mar-14	4.12
AS''1	12-mar-14	3.83	19-mar-14	4.12
AS''1	12-mar-14	3.83	19-mar-14	4.12
AS''1	12-mar-14	3.83	19-mar-14	4.12
AS''1	12-mar-14	3.83	19-mar-14	4.12
AS''1	12-mar-14	3.83	19-mar-14	4.12
AS''2	07-ene-14	4.19	09-ene-14	4.18
AS''2	07-ene-14	4.19	09-ene-14	4.18
AS''2	07-ene-14	4.19	09-ene-14	4.18
AS''2	07-ene-14	4.19	09-ene-14	4.18
AS''2	07-ene-14	4.19	09-ene-14	4.18
AS''2	07-ene-14	4.19	09-ene-14	4.18
AS''2	07-ene-14	4.19	09-ene-14	4.18
AS''2	07-ene-14	4.19	09-ene-14	4.18
AS''3	28-ene-14	3.84	30-ene-14	4.06
AS''3	28-ene-14	3.84	30-ene-14	4.06
AS''3	28-ene-14	3.84	30-ene-14	4.06

<b>Caisson</b>	<b>Fecha inicio ref fuste</b>	<b>Tiempo ref fuste (horas)</b>	<b>Fecha fundida fuste</b>	<b>Tiempo fundida fuste (horas)</b>
AS´3	28-ene-14	3.84	30-ene-14	4.06
AS´3	28-ene-14	3.84	30-ene-14	4.06
AS´3	28-ene-14	3.84	30-ene-14	4.06
AS´3	28-ene-14	3.84	30-ene-14	4.06
MEDIA LUNA				
BS1	23-ene-14	2.83	24-ene-14	3.93
BS2	02-dic-13	6.86	05-dic-13	4.24
BS3	30-nov-13	4.16	05-dic-13	4.15
BS4	03-dic-13	4.19	09-dic-13	3.85
BS5	07-dic-13	6.02	09-dic-13	3.96
BS6	03-dic-13	3.97	04-dic-13	4.36
BS7	12-dic-13	2.02	13-dic-13	3.98
BS8	29-oct-13	2.86	06-nov-13	3.91
BS9	07-nov-13	2.46	13-nov-13	4.08
BS10	18-dic-13	3.68	19-dic-13	4.16
BS11	27-dic-13	4.64	30-dic-13	3.78
BS12	29-nov-13	3.87	03-dic-13	4.09
BS13	06-dic-13	6.15	06-dic-13	3.78
BS14	05-nov-13	3.61	09-nov-13	3.83
B´1	31-ene-14	3.31	03-feb-14	3.72
A´1	04-feb-14	3.12	06-feb-14	3.86
AS´1	09-dic-13	1.74	11-dic-13	3.84
B15	14-nov-13	3.18	18-nov-13	4.04
A15	19-dic-13	4.74	20-dic-13	3.82
AS15	02-ene-14	2.64	07-ene-14	4.01
CUARTO DE LUNA				
BS´1	27-ene-14	4.00	28-ene-14	4.00
BS15	27-nov-13	5.00	06-dic-13	5.00
OVALO				
A/B 1	13-mar-14	15.00	17-mar-14	10.00

## DATOS PILOTES

No pilote	Fecha excavación	Duración excavación (horas)	Fecha refuerzo	Duración refuerzo (horas)	Fecha fundida	Duración fundida (horas)
8	21-oct-13	2.90	21-oct-13	0.35	22-oct-13	1.61
10	21-oct-13	3.10	21-oct-13	0.66	22-oct-13	1.57
12	21-oct-13	3.20	21-oct-13	0.62	22-oct-13	1.6
14	21-oct-13	2.70	21-oct-13	0.48	22-oct-13	1.65
16	21-oct-13	3.20	21-oct-13	0.57	22-oct-13	1.66
18	23-oct-13	3.20	23-oct-13	0.70	24-oct-13	1.68
20	23-oct-13	2.80	23-oct-13	0.42	24-oct-13	1.65
27	23-oct-13	2.90	23-oct-13	0.53	24-oct-13	1.6
28	23-oct-13	3.00	23-oct-13	0.51	24-oct-13	1.58
29	23-oct-13	2.70	23-oct-13	0.50	24-oct-13	1.65
9	25-oct-13	3.10	25-oct-13	0.49	26-oct-13	1.59
11	25-oct-13	3.20	25-oct-13	0.52	26-oct-13	1.59
13	25-oct-13	2.70	25-oct-13	0.65	26-oct-13	1.61
15	25-oct-13	3.00	25-oct-13	0.76	26-oct-13	1.61
17	25-oct-13	3.10	25-oct-13	0.57	26-oct-13	1.59
19	30-oct-13	3.00	30-oct-13	0.55	31-oct-13	1.68
21	30-oct-13	2.80	30-oct-13	0.48	31-oct-13	1.58
23	30-oct-13	3.10	30-oct-13	0.53	31-oct-13	1.65
24	30-oct-13	3.20	30-oct-13	0.60	31-oct-13	1.6
25	30-oct-13	3.00	30-oct-13	0.55	31-oct-13	1.63
5	05-nov-13	3.10	05-nov-13	0.55	06-nov-13	1.62
6	05-nov-13	3.30	05-nov-13	0.45	06-nov-13	1.62
7	05-nov-13	3.10	05-nov-13	0.61	06-nov-13	1.6
26	05-nov-13	3.00	05-nov-13	0.71	06-nov-13	1.65
30	05-nov-13	3.00	05-nov-13	0.40	06-nov-13	1.65
3	08-nov-13	3.10	08-nov-13	0.59	09-nov-13	1.58
32	08-nov-13	3.00	08-nov-13	0.61	09-nov-13	1.6
35	08-nov-13	2.80	08-nov-13	0.69	09-nov-13	1.66
38	08-nov-13	2.90	08-nov-13	0.53	09-nov-13	1.66
40	08-nov-13	2.90	08-nov-13	0.55	09-nov-13	1.58
4	12-nov-13	2.90	12-nov-13	0.59	13-nov-13	1.68
22	12-nov-13	2.90	12-nov-13	0.45	13-nov-13	1.71
36	12-nov-13	3.00	12-nov-13	0.63	13-nov-13	1.6
37	12-nov-13	3.10	12-nov-13	0.48	13-nov-13	1.64

<b>No pilote</b>	<b>Fecha excavación</b>	<b>Duración excavación (horas)</b>	<b>Fecha refuerzo</b>	<b>Duración refuerzo (horas)</b>	<b>Fecha fundida</b>	<b>Duración fundida (horas)</b>
39	12-nov-13	3.10	12-nov-13	0.75	13-nov-13	1.62
41	12-nov-13	3.00	12-nov-13	0.51	13-nov-13	1.64
2	14-nov-13	3.10	14-nov-13	0.48	15-nov-13	1.6
33	14-nov-13	2.80	14-nov-13	0.46	15-nov-13	1.59
34	14-nov-13	3.20	14-nov-13	0.52	15-nov-13	1.62
42	14-nov-13	2.80	14-nov-13	0.60	15-nov-13	1.62
44	14-nov-13	2.70	14-nov-13	0.44	15-nov-13	1.72
47	14-nov-13	2.70	14-nov-13	0.47	15-nov-13	1.65
55	21-nov-13	3.20	21-nov-13	0.66	22-nov-13	1.62
48	24-nov-13	3.20	24-nov-13	0.41	25-nov-13	1.68
49	24-nov-13	3.20	24-nov-13	0.48	25-nov-13	1.69
50	24-nov-13	2.90	24-nov-13	0.47	25-nov-13	1.61
51	24-nov-13	3.10	24-nov-13	0.58	25-nov-13	1.63
53	24-nov-13	2.80	24-nov-13	0.56	25-nov-13	1.6
54	24-nov-13	3.10	24-nov-13	0.64	25-nov-13	1.7
43	25-nov-13	2.80	25-nov-13	0.64	26-nov-13	1.58
45	25-nov-13	3.00	25-nov-13	0.61	26-nov-13	1.66
46	25-nov-13	3.10	25-nov-13	0.44	26-nov-13	1.61
56	25-nov-13	2.70	25-nov-13	0.56	26-nov-13	1.66
1	28-nov-13	3.30	28-nov-13	0.52	29-nov-13	1.67
31	28-nov-13	3.10	28-nov-13	0.50	29-nov-13	1.61
52	28-nov-13	2.80	28-nov-13	0.46	29-nov-13	1.53
57	28-nov-13	3.00	28-nov-13	0.72	29-nov-13	1.61

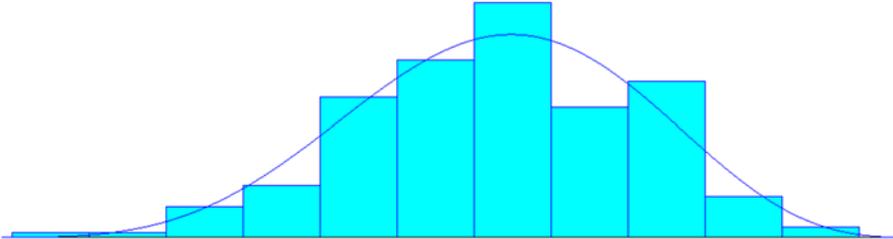
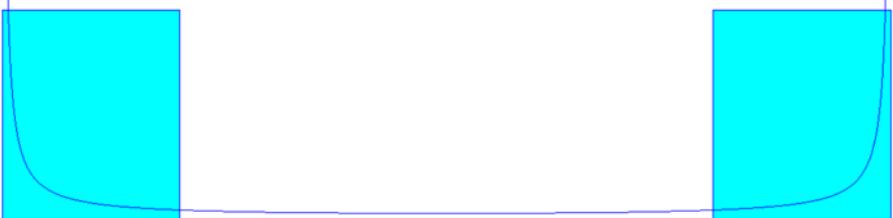
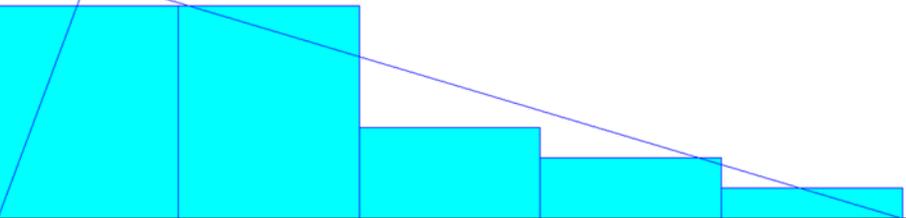
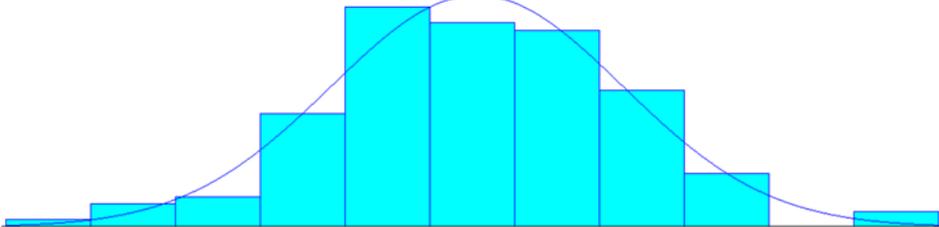
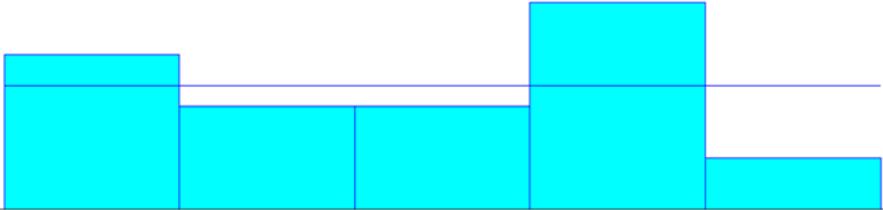
## DATOS MUROS DE CONTENCIÓN

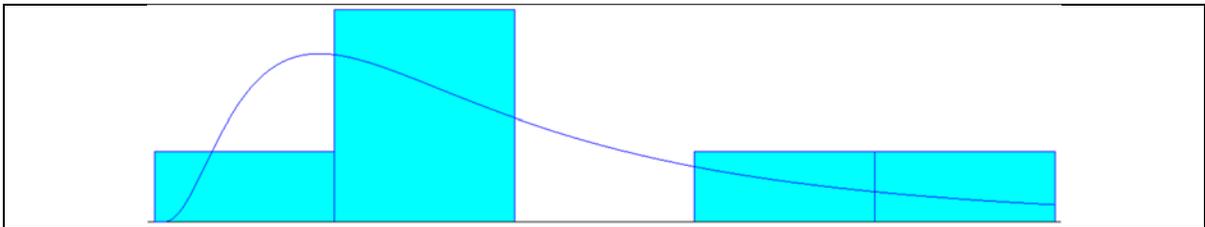
No tramo	Longitud	Fecha excavación	Duración excavación (horas)	Fecha refuerzo	Duración refuerzo (horas)	Fecha fundida	Duración fundida (horas)
3	2.4	25-nov-13	14.96	27-nov-13	6.66	28-nov-13	4.75
6	2.4	29-nov-13	15.22	03-dic-13	6.4	04-dic-13	5.14
9	2.4	23-dic-13	15.38	27-dic-13	6.7	28-dic-13	4.91
12	2.4	02-ene-14	15.18	04-ene-14	6.96	07-ene-14	4.51
10	2.4	08-ene-14	14.69	10-ene-14	7.12	11-ene-14	4.85
11	2.4	08-ene-14	15.01	10-ene-14	7.13	11-ene-14	4.81
13	2.4	13-ene-14	14.73	15-ene-14	6.6	16-ene-14	4.82
14	2.4	13-ene-14	15.3	15-ene-14	7.2	16-ene-14	5.16
16	2.4	16-ene-14	15.06	20-ene-14	6.74	21-ene-14	4.88
17	2.4	16-ene-14	14.58	20-ene-14	7.39	21-ene-14	5.4
15	2.4	22-ene-14	14.87	24-ene-14	6.24	25-ene-14	4.71
4	2.4	27-ene-14	14.45	29-ene-14	7.18	30-ene-14	4.66
5	2.4	27-ene-14	14.96	29-ene-14	7.45	30-ene-14	4.93
7	2.4	03-feb-14	15.09	05-feb-14	7.08	06-feb-14	4.97
8	2.4	03-feb-14	14.66	05-feb-14	6.85	06-feb-14	5.47
19	2.4	07-feb-14	14.44	10-feb-14	7.24	11-feb-14	4.74
20	2.4	07-feb-14	15	10-feb-14	7.36	11-feb-14	4.93
18	2.4	12-feb-14	14.68	14-feb-14	6.85	15-feb-14	5.24
1	2.4	17-feb-14	15.11	19-feb-14	7.22	20-feb-14	4.99
2	2.4	17-feb-14	14.75	19-feb-14	6.53	20-feb-14	4.57
21	2.4	21-feb-14	15.26	24-feb-14	6.69	25-feb-14	5.6
22	2.4	26-feb-14	14.41	28-feb-14	7.75	01-mar-14	4.97
23	2.4	26-feb-14	15.46	28-feb-14	7.04	01-mar-14	4.85
25	2.4	07-mar-14	14.87	10-mar-14	7.53	11-mar-14	5.27
24	2.4	14-mar-14	15.46	17-mar-14	7.05	18-mar-14	5.13

## DATOS VIGAS DE CIMENTACIÓN

Tramo	Fecha excavación	Duración excavación (horas)	Fecha refuerzo	Duración refuerzo (horas)	Fecha fundida	Duración fundida (horas)
8/AS-A	23-ene-14	7.75	24-ene-14	3.88	25-ene-14	1.55
8/A-B	23-ene-14	5.7	24-ene-14	2.85	25-ene-14	1.14
9/B-BS	30-ene-14	6.35	31-ene-14	3.18	01-feb-14	1.27
10/A-B	20-ene-14	5.7	21-ene-14	2.85	22-ene-14	1.14
10/B-BS	30-ene-14	6.35	31-ene-14	3.18	01-feb-14	1.27
11/A-B	16-ene-14	5.7	17-ene-14	2.85	18-ene-14	1.14
11/B-BS	30-ene-14	6.35	31-ene-14	3.18	01-feb-14	1.27
12/AS-A	27-ene-14	7.75	28-ene-14	3.88	29-ene-14	1.55
12/A-B	27-ene-14	5.7	28-ene-14	2.85	29-ene-14	1.14
12/B-BS	27-ene-14	6.35	28-ene-14	3.18	29-ene-14	1.27
13/AS-A	27-ene-14	7.75	28-ene-14	3.88	29-ene-14	1.55
13/A-B	27-ene-14	5.7	28-ene-14	2.85	29-ene-14	1.14
13/B-BS	27-ene-14	6.35	28-ene-14	3.18	29-ene-14	1.27
A/8-9	23-ene-14	6.6	24-ene-14	3.30	25-ene-14	1.32
A/9-10	20-ene-14	5.6	21-ene-14	2.80	22-ene-14	1.12
A/10-11	16-ene-14	6.6	17-ene-14	3.30	18-ene-14	1.32
A/11-12	16-ene-14	7.6	17-ene-14	3.80	18-ene-14	1.52
A/12-13	30-ene-14	3.13	31-ene-14	1.57	01-feb-14	0.63
A/13-14	30-ene-14	5.1	31-ene-14	2.55	01-feb-14	1.02
B/8-9	23-ene-14	6.6	24-ene-14	3.30	25-ene-14	1.32
B/9-10	20-ene-14	5.6	21-ene-14	2.80	22-ene-14	1.12
B/10-11	20-ene-14	6.6	21-ene-14	3.30	22-ene-14	1.32
B/11-12	20-ene-14	7.6	21-ene-14	3.80	22-ene-14	1.52
B/12-13	30-ene-14	3.13	31-ene-14	1.57	01-feb-14	0.63
B/13-14	30-ene-14	5.1	31-ene-14	2.55	01-feb-14	1.02

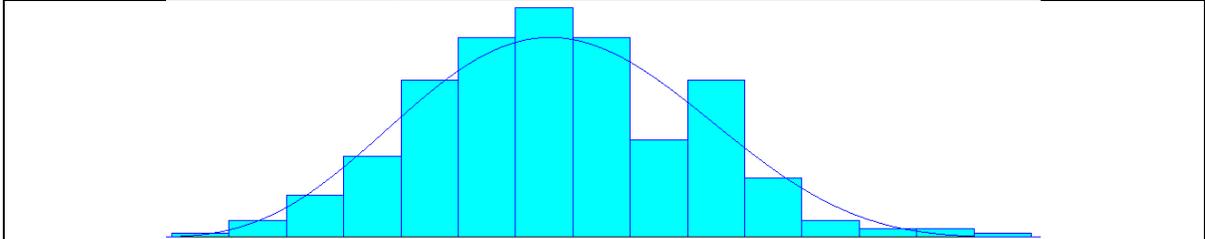
## **Anexo 2 – Funciones de distribución de probabilidad**

<b>Actividad:</b> Excavación anillo caisson circular R= 0.75m
<b>Expresión:</b> $6.63 + 3.24 * \text{BETA}(6.31, 4.93)$

<b>Actividad:</b> Excavación anillo caisson circular R= 3.5m
<b>Expresión:</b> $1.17 + 0.36 * \text{BETA}(0.04, 0.04)$

<b>Actividad:</b> Excavación anillo caisson circular R= 0.6m
<b>Expresión:</b> $\text{TRIA}(7, 7.2, 9)$

<b>Actividad:</b> Excavación anillo caisson media luna R= 0.6m
<b>Expresión:</b> $\text{NORM}(8.64, 0.713)$

<b>Actividad:</b> Excavación anillo caisson cuarto de luna R= 0.6m
<b>Expresión:</b> $\text{UNIF}(7.13, 7.98)$

<b>Actividad:</b> Excavación anillo caisson ovalado
<b>Expresión:</b> $10.2 + \text{LOGN}(0.343, 0.324)$



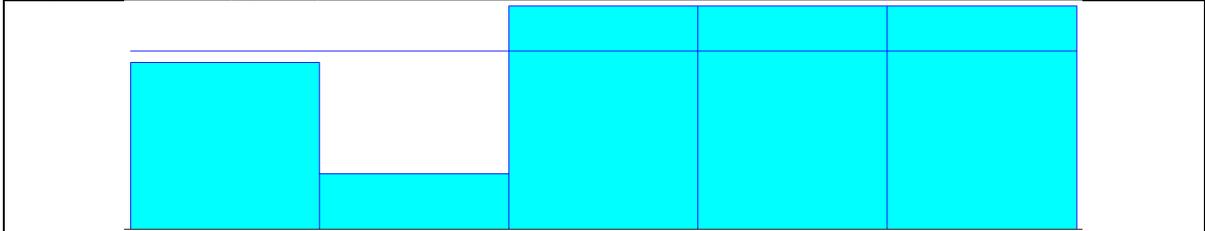
**Actividad:** Refuerzo anillo caisson circular R= 0.75m

**Expresión:**  $0.61 + 1.78 * \text{BETA}(5.34, 6.37)$



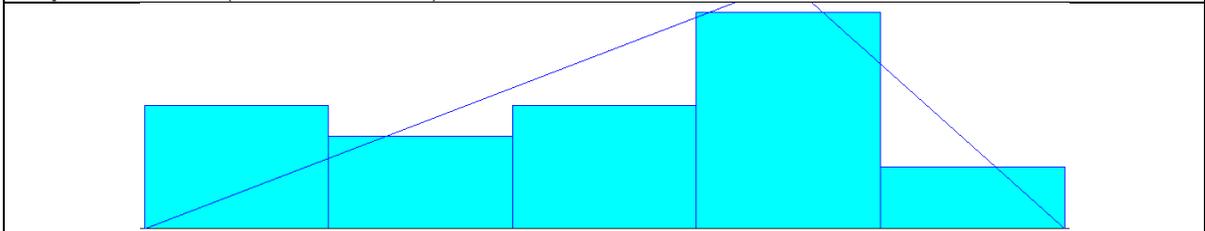
**Actividad:** Refuerzo anillo caisson circular R= 3.5m

**Expresión:**  $\text{UNIF}(8, 8.45)$



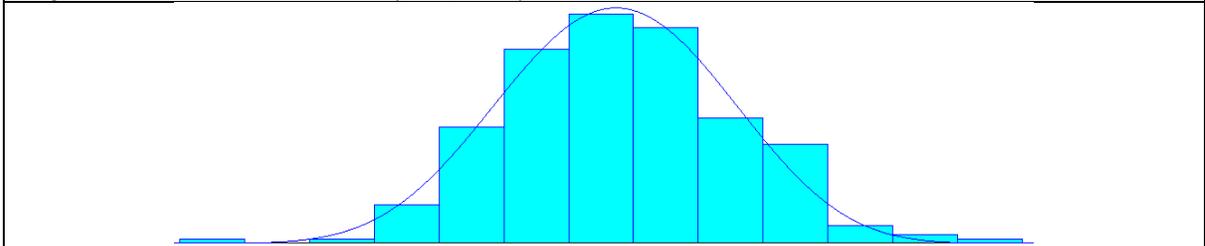
**Actividad:** Refuerzo anillo caisson circular R= 0.6m

**Expresión:**  $\text{TRIA}(0.999, 1.46, 1.66)$



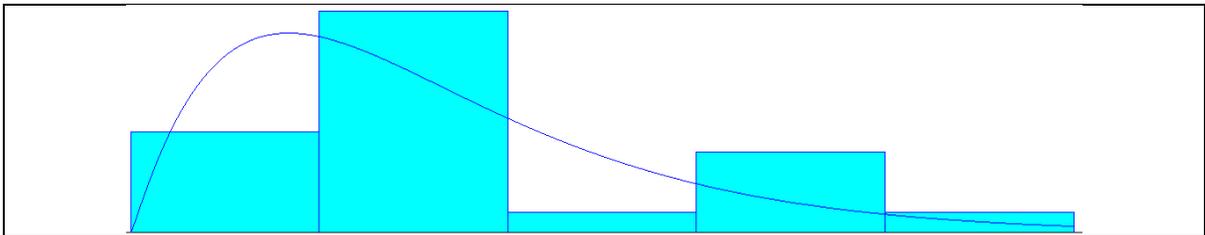
**Actividad:** Refuerzo anillo caisson media luna R= 0.6m

**Expresión:**  $0.58 + 1.25 * \text{BETA}(9.53, 9.04)$



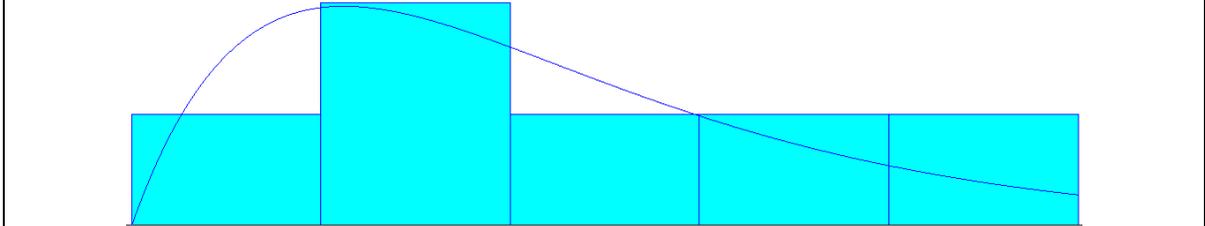
**Actividad:** Refuerzo anillo caisson cuarto de luna R= 0.6m

**Expresión:**  $1.04 + \text{GAMM}(0.112, 2.07)$



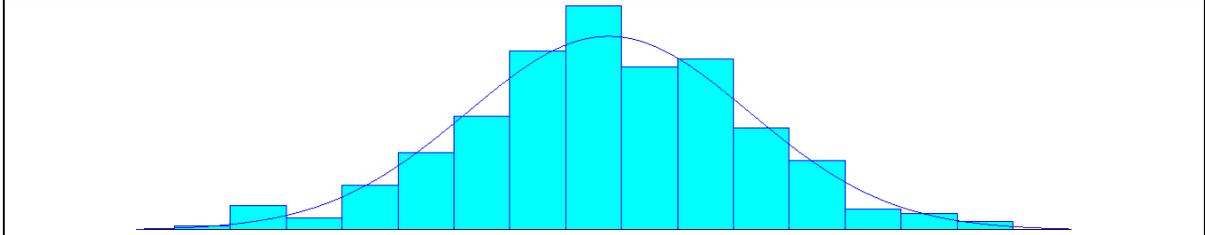
**Actividad:** Refuerzo anillo caisson ovalado

**Expresión:**  $5.24 + \text{ERLA}(0.163, 2)$



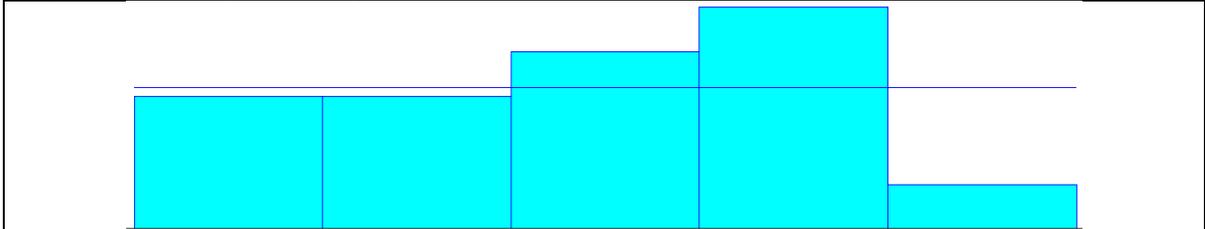
**Actividad:** Fundida anillo caisson circular R= 0.75m

**Expresión:**  $\text{NORM}(0.615, 0.0997)$



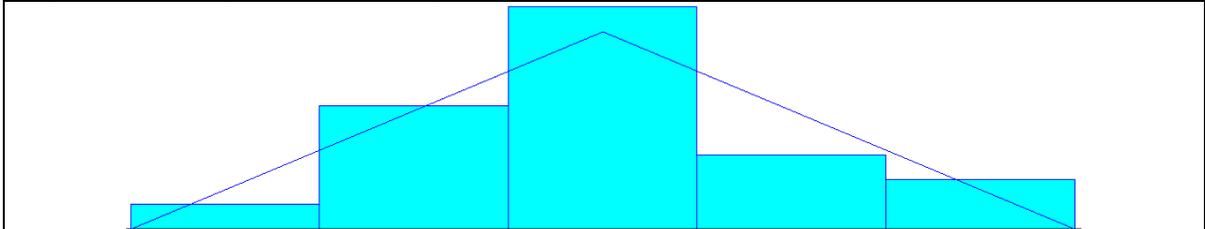
**Actividad:** Fundida anillo caisson circular R= 3.5m

**Expresión:**  $\text{UNIF}(3.51, 4.59)$



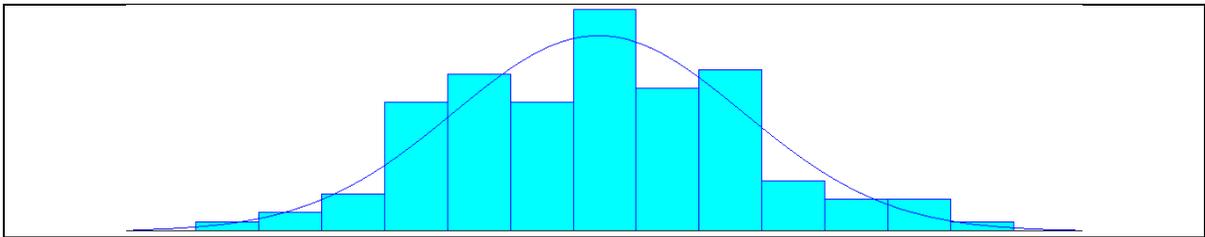
**Actividad:** Fundida anillo caisson circular R= 0.6m

**Expresión:**  $\text{TRIA}(0.44, 0.565, 0.69)$



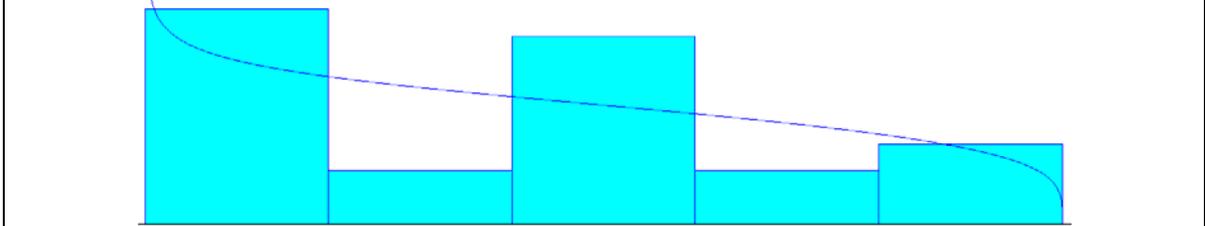
**Actividad:** Fundida anillo caisson media luna R= 0.6m

**Expresión:**  $\text{NORM}(0.583, 0.0507)$



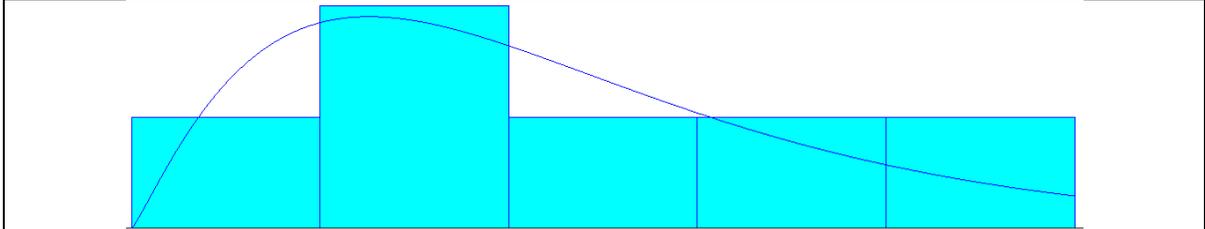
**Actividad:** Fundida anillo caisson cuarto de luna R= 0.6m

**Expresión:**  $0.48 + 0.17 * \text{BETA}(0.893, 1.25)$



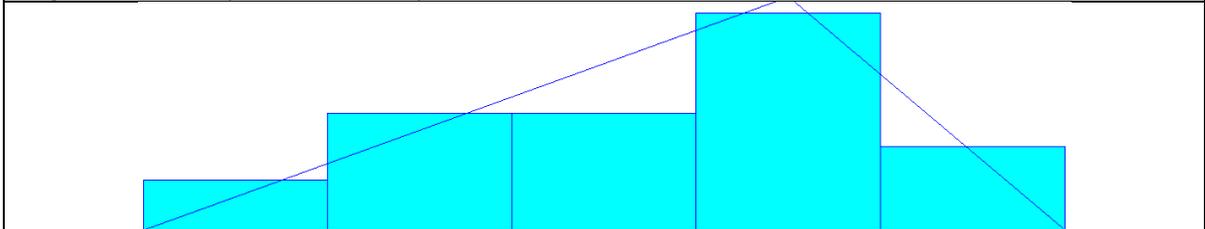
**Actividad:** Fundida anillo caisson ovalado

**Expresión:**  $2.66 + \text{GAMM}(0.103, 2.17)$



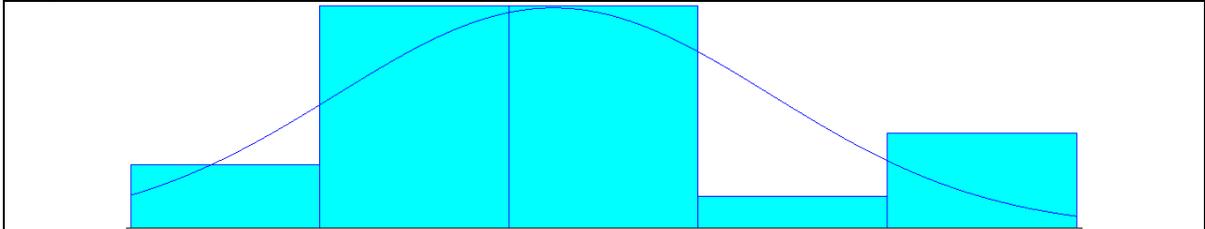
**Actividad:** Refuerzo fuste caisson circular R= 0.75m y R=0.60m

**Expresión:**  $\text{TRIA}(3.63, 4.13, 4.34)$



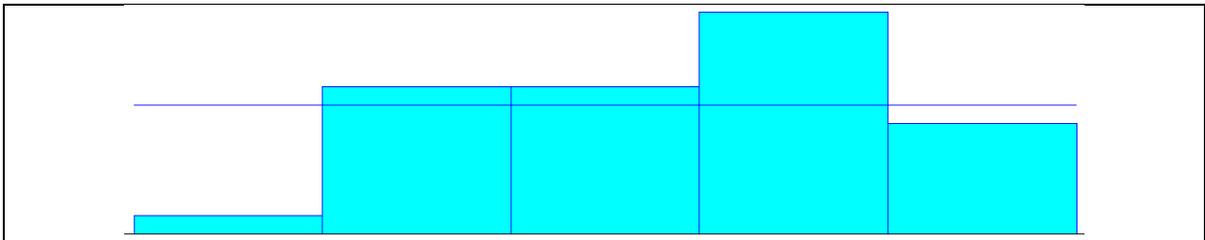
**Actividad:** Refuerzo fuste caisson media luna R= 0.6m

**Expresión:**  $\text{NORM}(3.8, 1.33)$



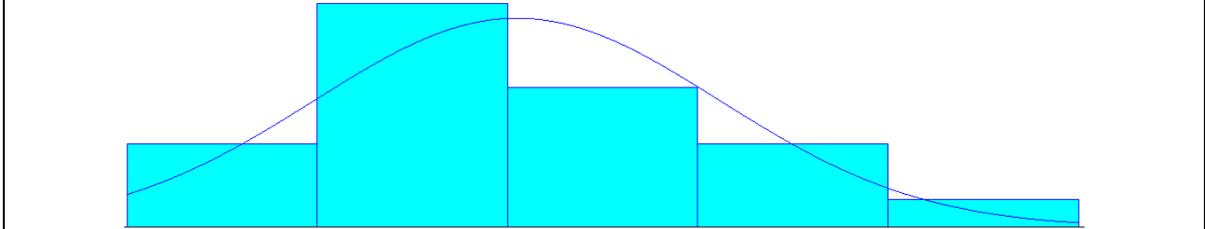
**Actividad:** Fundida fuste caisson circular R= 0.75m y R=0.60m

**Expresión:**  $\text{UNIF}(3.55, 4.3)$



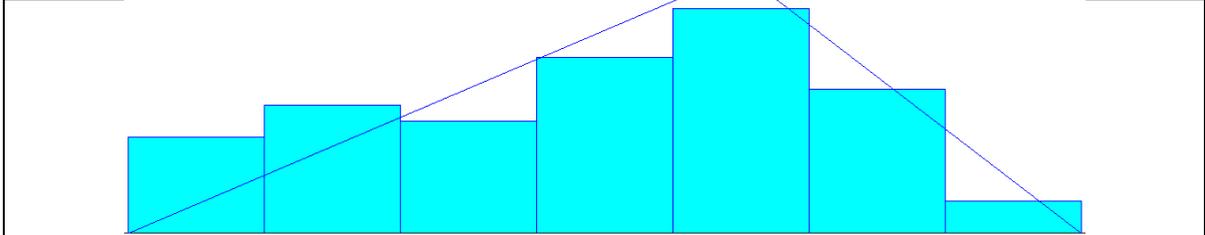
**Actividad:** Fundida fuste caisson media luna R= 0.6m

**Expresión:** NORM(3.97, 0.166)



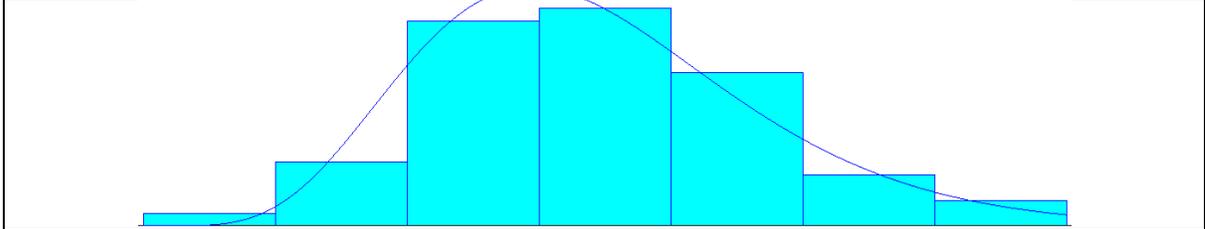
**Actividad:** Excavación pilotes D= 0.30m

**Expresión:** TRIA(2.64, 3.1, 3.36)



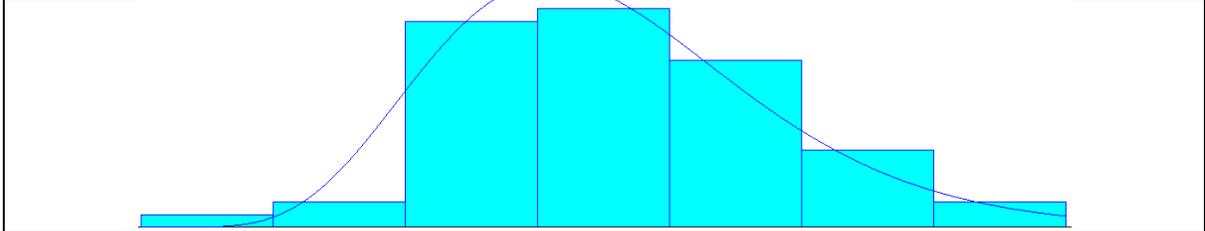
**Actividad:** Refuerzo pilotes D= 0.30m

**Expresión:** 0.3 + ERLA(0.0357, 7)



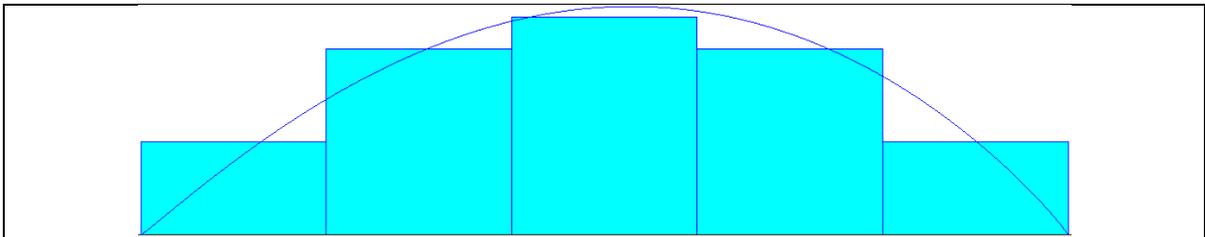
**Actividad:** Fundida pilotes D= 0.30m

**Expresión:** 1.51 + ERLA(0.0146, 8)



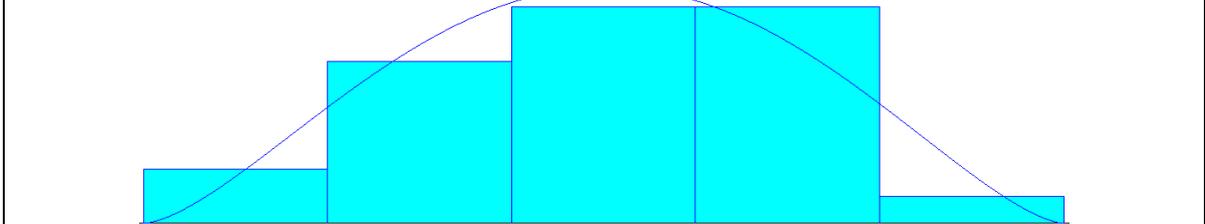
**Actividad:** Excavación muros de contención

**Expresión:** 14.3 + 1.27 \* BETA(2.04, 1.93)



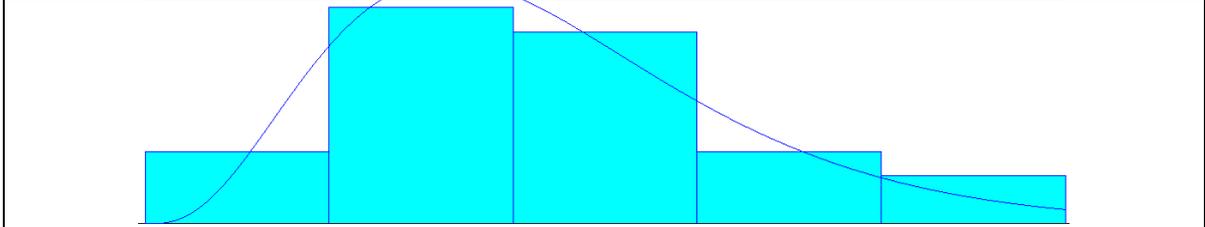
**Actividad:** Refuerzo muros de contención

**Expresión:**  $6.08 + 1.83 * \text{BETA}(2.57, 2.55)$



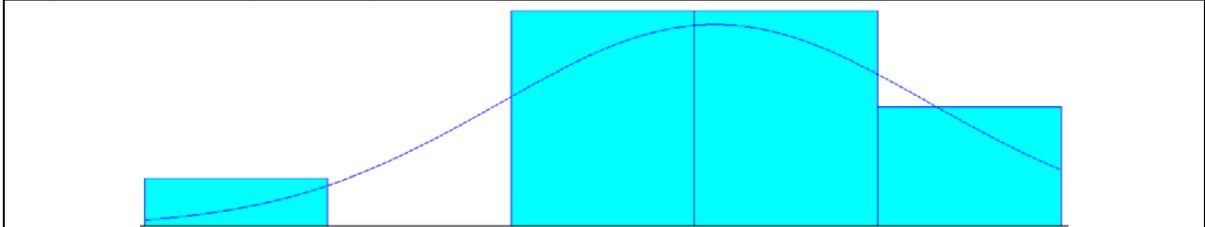
**Actividad:** Fundida muros de contención

**Expresión:**  $4.4 + \text{GAMM}(0.142, 4.03)$



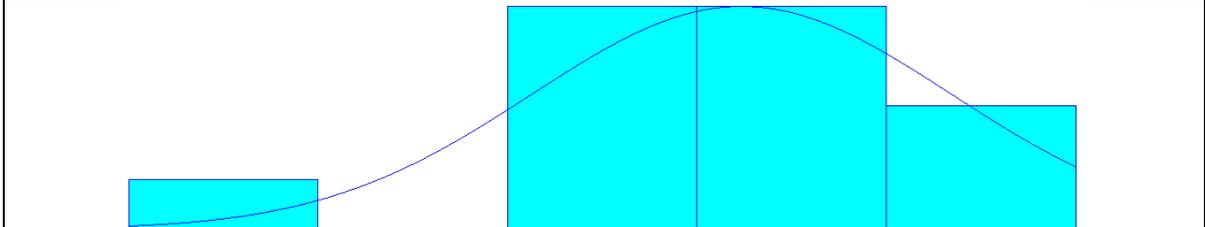
**Actividad:** Excavación vigas de cimentación

**Expresión:**  $\text{NORM}(6.11, 1.18)$



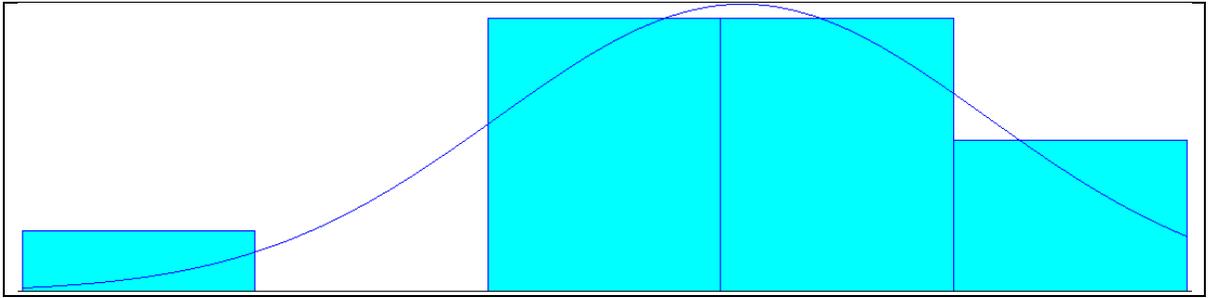
**Actividad:** Refuerzo vigas de cimentación

**Expresión:**  $\text{NORM}(3.06, 0.591)$



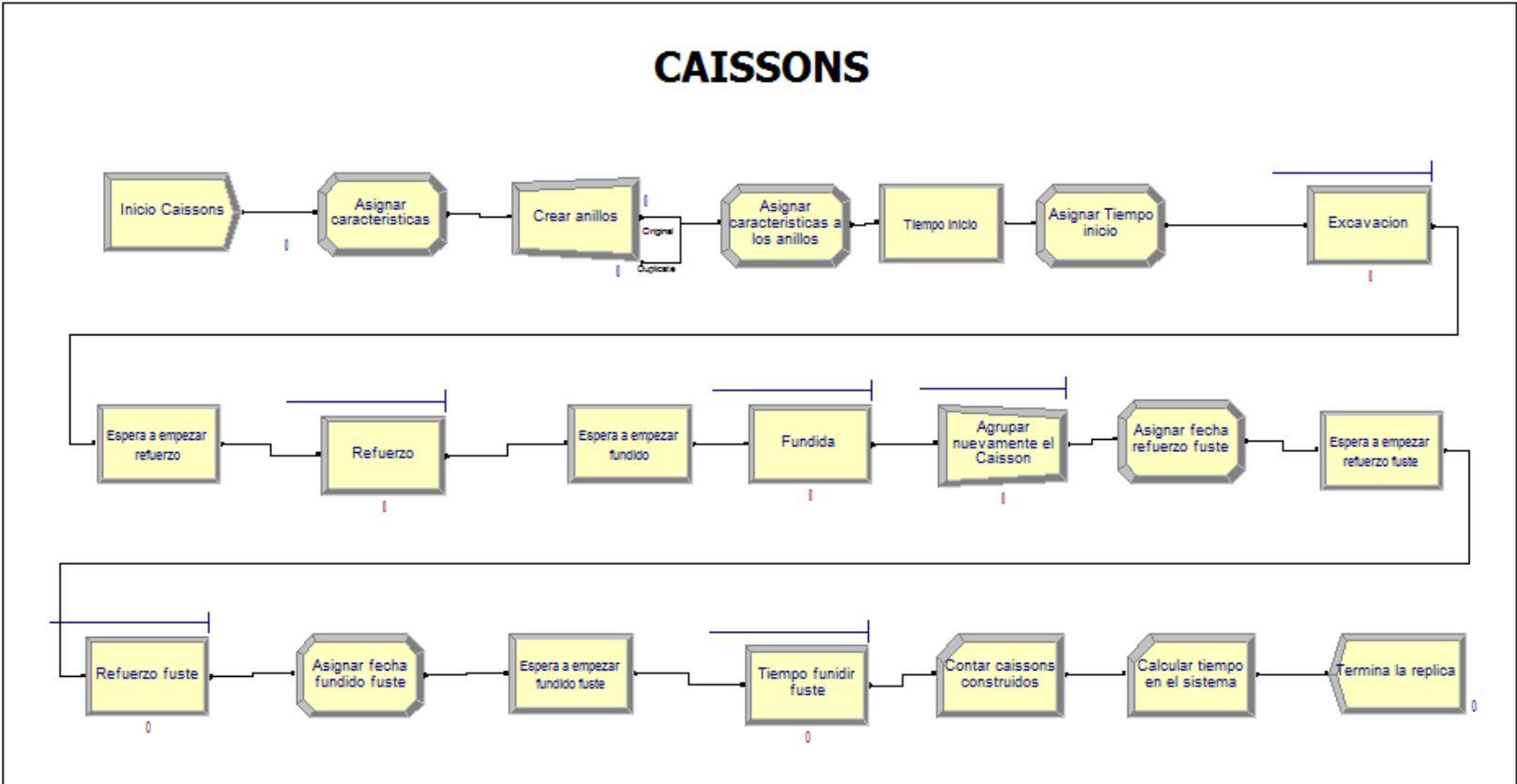
**Actividad:** Fundida vigas de cimentación

**Expresión:**  $\text{NORM}(1.22, 0.236)$

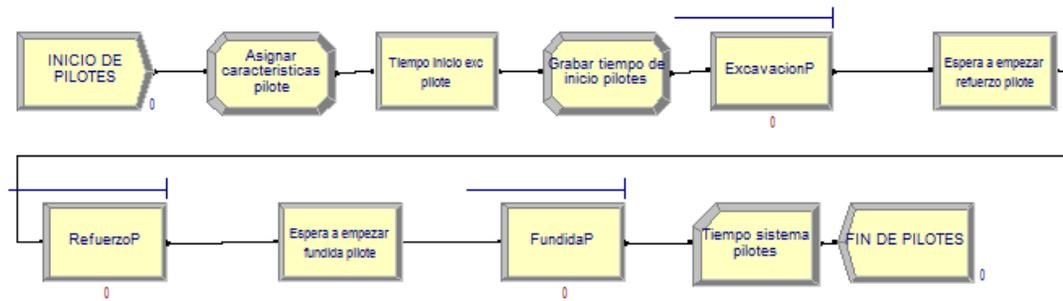


### **Anexo 3 – Modelos de simulación de eventos discretos**

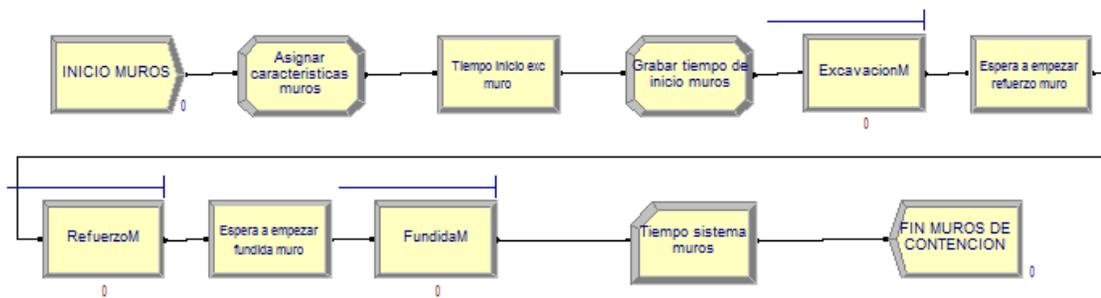
# CAISSONS



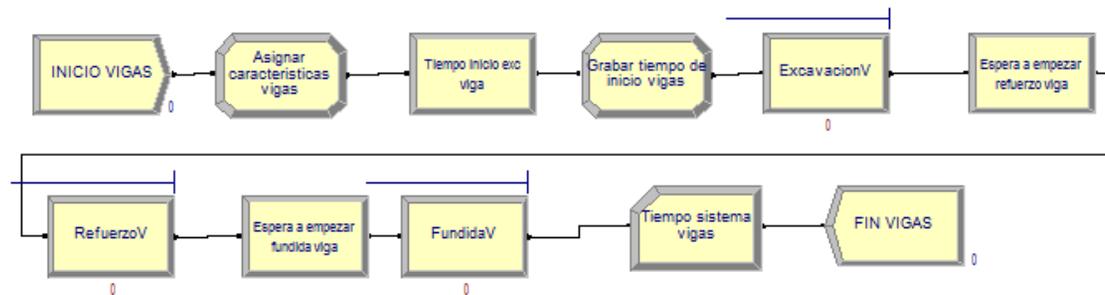
## PILOTES



## MUROS DE CONTENCIÓN

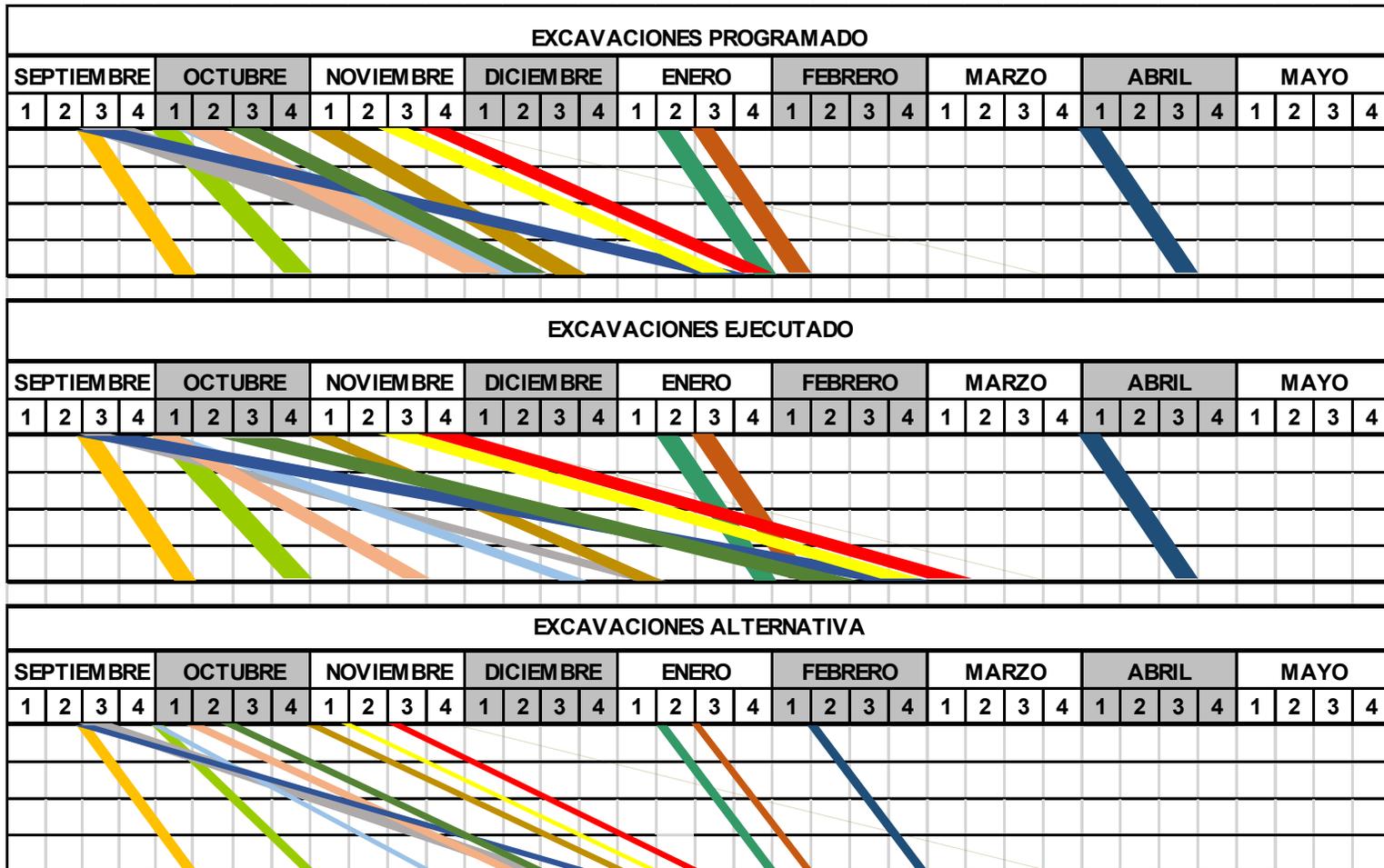


## VIGAS DE CIMENTACIÓN

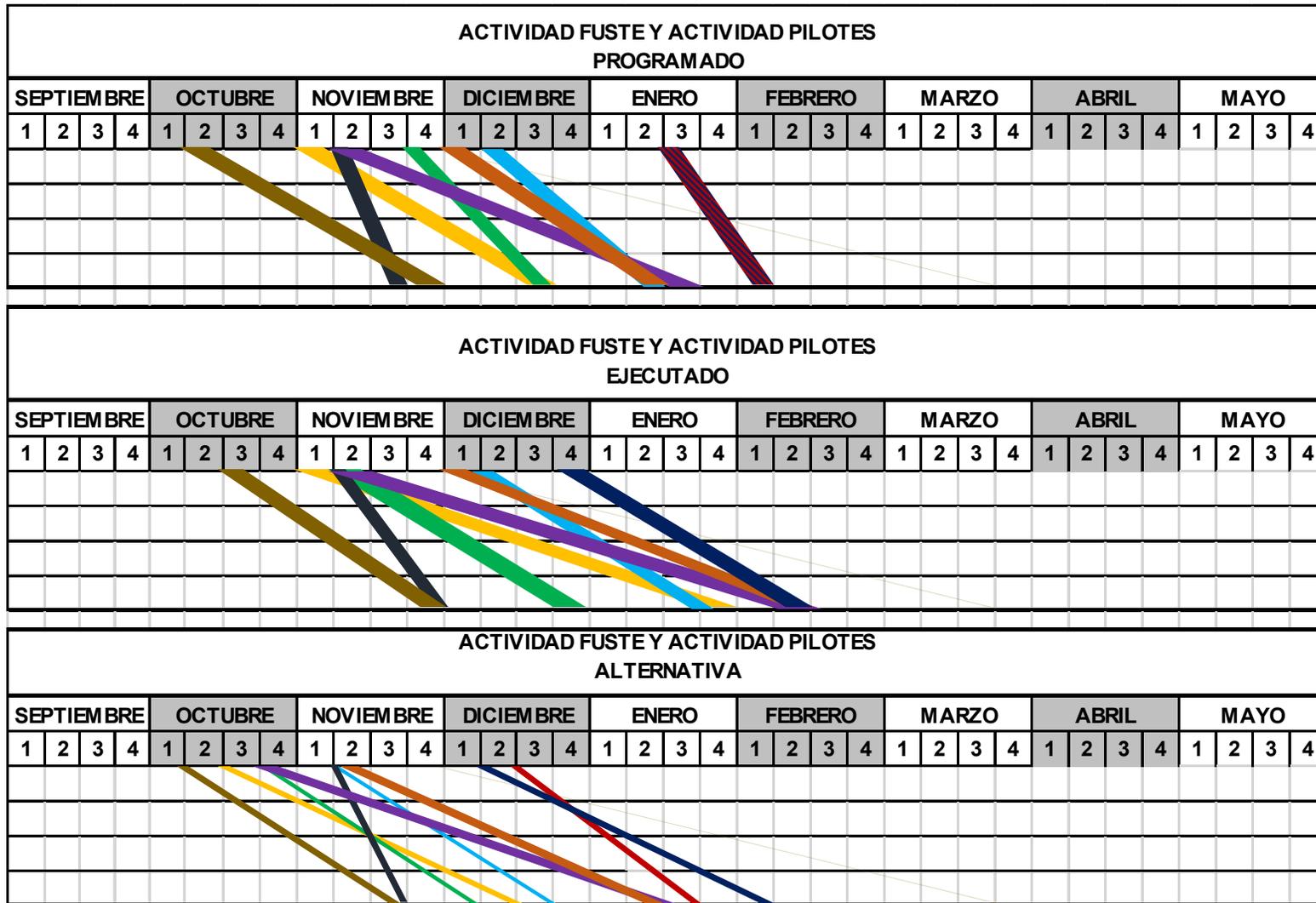


## **Anexo 4 – Programaciones con líneas de balance**

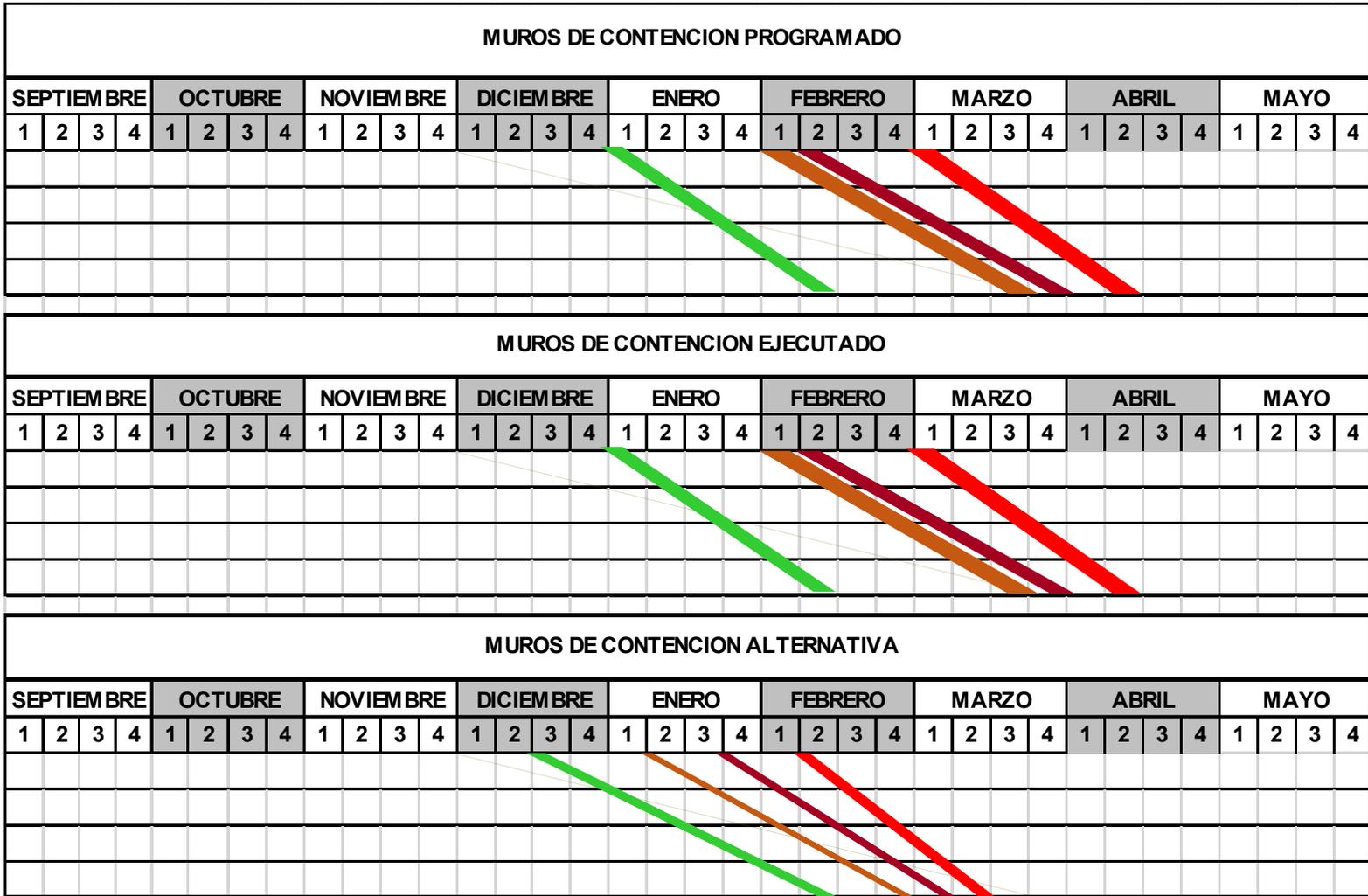
## Excavaciones



## Fustes y pilotes



### Muros de contención



### Vigas de cimentación

VIGAS DE CIMENTACION PROGRAMADO																																											
SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE				ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO											
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				

VIGAS DE CIMENTACION EJECUTADO																																											
SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE				ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO											
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				

VIGAS DE CIMENTACION ALTERNATIVA																																											
SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE				ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO											
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				