

# Metodología para la implementación de un sistema de gestión de obras basado en el estudio de productividades de dos proyectos de construcción.

Yimabel J. Cevallos Sacón <sup>(1)</sup>, Ph.D. MSc. Carlos R. Rodríguez Díaz. <sup>(2)</sup>, MSc. Gonzalo G. Villa Cox. <sup>(3)</sup>

Facultad de Ciencia de la Tierra (FICT)

Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral

Guayaquil-Ecuador

yjcevall@espol.edu.ec <sup>(1)</sup>, crodrigu@espol.edu.ec <sup>(2)</sup>, gonzalo.villa@barcelonagse.eu <sup>(3)</sup>

## Resumen

*Gran parte de los proyectos de construcción que se desarrollan en el país dependen de un flujo de caja inestable, principal motivo por el que se reducen las productividades que se manejan en cada obra, es por ello que el presente proyecto plantea la implementación de un modelo de gestión que considere no solo el efecto de la variabilidad económica sino también la optimización de recursos a través de la implementación de un software que permita controlar las productividades de cada actividad, para luego someterlas a un análisis estadístico y de este modo determinar si existen o no diferencias significativas entre los rendimientos planificados y los teóricos, si existen retrasos en la planificación, a qué se deben dichos retrasos, y poder tomar medidas oportunas para reducir los efectos negativos sobre las productividades.*

**Palabras Claves:** *Planificación, Control de Proyectos, Productividad, Proyectos de Construcción, Rendimientos.*

## Abstract

*Most of the construction projects taking place in the country depend on an unstable cash flow, the main reason of reduced productivity handled in each work, which is why this project involves the implementation of a management model that consider not only the effect of economic variability but also the optimization of resources through the implementation of a software to control the productivity of each activity and then subject them to statistical analysis and determine whether there differences are significant between planned and theoretical yields, if there are delays in the schedule, what the motives for the delays and to take appropriate measures to reduce negative effects on productivity.*

**Keywords:** *Management, Project Control, Productivity, Construction Projects, Performance.*

## 1. Introducción

Todo proyecto, los de construcción en este caso de estudio, requiere llevar un correcto control en su avance, dicho control no sería posible si no se hubiera realizado antes una adecuada planificación del proyecto, esto se logra cuando el equipo de programadores o proyectistas de obra, pueden dar solución a unas cuantas interrogantes que se plantean al inicio, que implican el cuestionamiento del costo, tiempo, alcance y calidad del proyecto, ¿quiénes y cómo lo llevarán a cabo? entre otras.

Según (Arboleda Vélez, 2013), como respuesta a estas y algunas otras interrogantes que puedan surgir en el camino, planificar un proyecto de manera eficiente, implica el desarrollo de las siguientes actividades:

1. Enunciado del trabajo
2. Recopilar los requisitos
3. Definir el alcance
4. Crear la Estructura de Desglose del Trabajo (EDT)
5. Definir la duración de cada actividad
6. Diagrama de precedencias
7. Programación con Diagrama de Pert y Gantt
8. Organización para la ejecución del proyecto
  - a. Organigrama de actividades
  - b. Descripción de cargos y asignación de responsabilidades
  - c. Asignación de personal y recursos
9. Matriz de Riesgos
10. Análisis de Costos

Lo antes descrito, da como resultado lo que se conoce como un “Sistema de Información de Gerencia de Proyectos” (SIGP) que se podrá controlar de mejor manera, con la ayuda de instrumentos computacionales como los de Microsoft Project, Planner o el que se propone en el desarrollo de la presente investigación.

## 2. Objetivos

### 2.1 Objetivo General

- ✓ Implementar un Sistema de Gestión de Obras basado en el análisis de productividades, capaz de reducir los retrasos durante el avance de las mismas

### 2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Analizar dos proyectos de construcción de similares características y determinar las posibles causas en la diferencia de productividades.
- ✓ Estudiar la forma de implementar una adecuada programación de obra que considere el control diario, semanal, mensual y anual de un proyecto de construcción además de factores que incidan en el retraso de la misma.
- ✓ Identificar los factores que pudieren afectar la productividad de una obra.

- ✓ Proponer posibles soluciones a los problemas que generan retrasos en los proyectos de construcción.

## 3. Bases para la Gestión de Obras (EPCM)

Por mucho tiempo, para proyectos de construcción que necesitaran grandes inversiones o financiamiento de entidades bancarias, se consideró que requerían contratos a precio fijo, o EPC (Ingeniería, Adquisiciones y Construcción, por sus siglas en inglés). Contratos que brindaban un nivel de certidumbre en cuanto a tiempo y costos que requerían. (Donoso, 2011) En un contrato EPC, la contratista construye y desarrolla la ingeniería de detalles y ejecuta las adquisiciones.

Pese a ser un mecanismo considerado eficiente, en la actualidad se ha modificado la opción de un contrato EPC por otro tipo de contrato a costos reembolsables (precio inicial más un componente de premio/castigo). Pese a que esta forma de contratación no es poco común en distintos sectores comerciales del país, la implementación de los contratos EPCM (Ingeniería, Adquisiciones, Construcción y Gestión) se ha vuelto más frecuente en proyectos de construcción.

El concepto de EPCM tiene un significado nuevo para la industria de la construcción, diferente en cierto modo del de EPC. Ocurre una confusión al interpretar el significado de las siglas, pues si bien es cierto, la "C" en "EPCM" representa "construcción", se orienta al contexto de "CM", (Construction Management), Gestión de la Construcción.

En un contrato EPCM, la contratista no es la encargada de la construcción, sino que se convierte en el Agente o Representante del Propietario, creando relaciones contractuales directas con los proveedores o subcontratistas.

### 3.1 Ingeniería del Proyecto (Engineering)

Contar con un equipo de diseñadores con experiencia, analizar los requerimientos del proyecto, y prever posibles inconvenientes que pudieren ocurrir durante el proceso de construcción o adquisición de materiales, es de vital importancia para el correcto desempeño de las actividades a realizarse.

Esto se logra con un estudio minucioso que va desde los detalles de los pliegos de la licitación, análisis de las especificaciones técnicas y valoración de planos, y no simplemente con una comparación cualitativa, que es lo que se practica comúnmente, por la que es frecuente encontrar el mismo tipo de errores en obras de cierto parecido.

La forma correcta sería evaluando los siguientes parámetros:

- ✓ Enfoque del Proyecto
- ✓ Estudio de Licitación y pliegos
- ✓ Estudio de Detalles y Especificaciones Técnicas

### 3.2 Adquisiciones (Procurement)

Llevar un control adecuado y oportuno de las compras o adquisiciones para un proyecto de construcción es de vital importancia en el desarrollo del mismo, puesto que con el correcto manejo de los materiales, implementos, e inclusive equipos o maquinarias que se requerirán con el transcurso del tiempo, se podrán ahorrar recursos tanto humanos como económicos.

- ✓ Gestión de Compras
- ✓ Análisis del Mercado
- ✓ Gestión de Subcontratos

### 3.3 Construcción (Construction)

Sin restarle importancia a las demás, quizá el área de Construcción es la que mayor participación tiene en el mercado entre de los proyectos EPCM. Debido a que se basa en la realización de las actividades con montos más significativos, es la que se controlara con mayor detenimiento.

En este parámetro se considera el estudio de:

- ✓ Especificaciones Técnicas
- ✓ Presupuestos Referenciales
- ✓ Proveedores
- ✓ Fiscalización
- ✓ Imprevistos
- ✓ Multas

### 3.4 Gestión de Proyectos (Management)

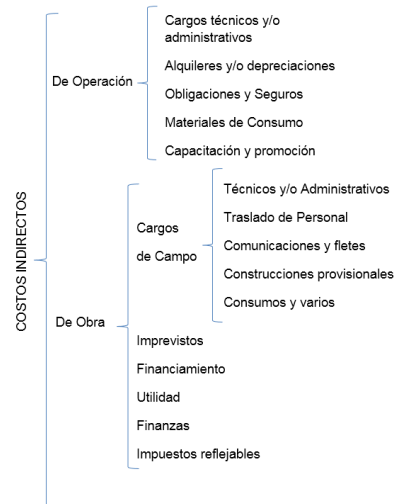
Considera:

- ✓ Análisis de Costos
  - Costos Directos



**Ilustración 1.-** Costos Directos de Obra Civil (Salazar, 2002)

- Costos Indirectos



**Ilustración 2.-** Costos Indirectos de Obra Civil (Salazar, 2002)

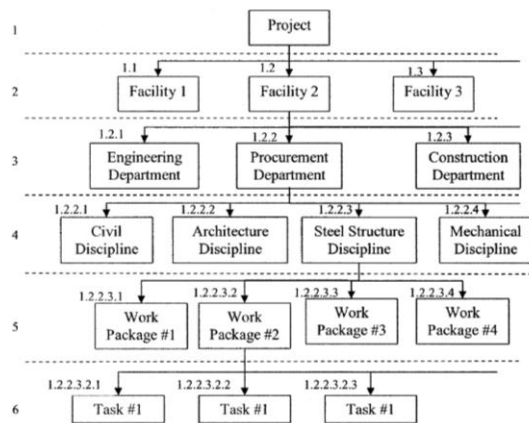
- ✓ Programación de Obra

Planificar una obra, dependerá básicamente de determinar cuatro preguntas clave para todo constructor, ¿Qué se planea construir?, ¿Cómo?, ¿Dónde? Y por ¿Quiénes?, en programación, esta información es sumamente necesaria para determinar los tiempos de construcción y de este modo asignar horas/hombre u horas/máquina de trabajo a cada actividad. (Naylor, 1995)

La programación de obras, se basa en planificar y organizar los eventos que se llevaran a cabo, a través de la construcción de diagramas de barras que manifiesten la relación entre la secuencia de actividades de cada rubro a efectuarse y el tiempo que se demorara en llevarlo a cabo. (Hinze, 2010).

En este capítulo, se observara la forma en que un proyecto puede dividirse en sus elementos de construcción básicos y luego cómo mostrar de forma concisa la totalidad del proyecto en lo que se conoce como una “Estructura de Desglose de Trabajo” (EDT), mejor conocida en inglés como “Work Breakdown Structure” (WBS). Como planificador de un proyecto se debe tener consciencia de todos los componentes del proyecto de construcción para asegurar que todas las partes de la obra se toman en cuenta y que se puedan correlacionar adecuadamente. Cuando se cuenta con una EDT concisa y ordenada, se puede ver todo el proyecto a la vez y de este modo se puede planificar contratos, visualizar el alcance de las responsabilidades de gestión, y de forma más eficaz explicar los aspectos del proyecto a los demás implicados.

La estructuración, realización de una EDT, de un proyecto es el primer paso hacia la elaboración de un cronograma. Se empieza por escribir con precisión una declaración de metas para el proyecto y después subdividiendo sucesivamente esas metas en partes cada vez más pequeñas hasta que se hayan identificado todos los objetivos básicos de construcción.



**Ilustración 3.-** Esquema de una EDT (Hinze, 2010)

Un proyecto de construcción fácilmente se puede subdividir en varios cientos de componentes, en nuestro medio, conocidos como “rubros” que serán cuantificados con precisión, cantidad y costo de todos los materiales de que requiera el rubro y luego estimar cuánto tiempo se tardará en construirlo.

Cuando todos los elementos de la obra han sido analizados de manera similar y se conocen los métodos de construcción, se puede elaborar el primer borrador de un cronograma. La EDT inicia este proceso mediante la identificación de todos los componentes y entonces todas las actividades necesarias para la construcción de la obra. Habrán más actividades que componentes debido a que componentes, como por ejemplo, un “oleoducto” requieren al menos las cuatro actividades: excavación, colocación, conexión, y el relleno para su construcción.

Las metas pueden ser medidas y evaluadas sólo cuando están correctamente definidas. Por lo tanto, cuando se han supervisado todas las metas del componente, evaluadas y consideradas completas por el director del proyecto, entonces se puede decir que se ha alcanzado dicha meta.

Muchas veces, los medios de comunicación y otros observadores pueden no estar de acuerdo con la evaluación del director del proyecto, puesto que a menudo las nuevas metas están dispuestas para conseguir publicidad durante la vida de la construcción a largo de un proyecto público. Directamente metas y objetivos pertinentes están claramente establecidos en los contratos antes de que comience el trabajo; nuevos objetivos sólo se reconocen a través de modificaciones del contrato. (Haggag, 2006).

### **Metodologías y Técnicas de Planificación y Avance de Proyectos**

Para la realización de un proyecto que respeten un plazo y costo adecuados, se requiere de la elaboración de un plan base, capaz de controlar y programar la totalidad de la obra. (Oberlender, 1993)

Es el gerente de proyectos, quien deberá encargarse de la elaboración de dicho plan de trabajo, plantear de forma escrita, el trabajo que requiera hacerse, la persona que lo realizara, cuando y como deberá

hacerse, y a que costo se referirá. A todo esto deberá sumársele una ficha con las condiciones de acceso al sitio, las condiciones climáticas, los posibles proveedores, las capacidades de la mano de obra que se contratará, entre otros factores que se crean convenientes para evitar afectaciones externas al proyecto.

Sera vital también, implementar un plan a detalle de cómo controlar o prevenir posibles contingencias durante el desarrollo de la obra, al tener debidamente identificadas tales eventualidades y llevar un listado de sugerencias para solucionar las mismas, el gerente o el superintendente a cargo, podrán elegir la forma más eficiente y oportuna de solucionarla. También deberán identificarse los rubros cuyos procesos constructivos representaran una mayor complejidad al momento de su desarrollo, para tratarlos de forma especial, evitando así retrasos o problemas durante su ejecución.

Una vez planificada la obra, se continúa con el proceso de programación, que no es otra cosa más que la elaboración de un diagrama esquemático en el que consten todas las actividades o rubros que conforman el proyecto, detallando su duración y las relaciones que existan entre actividades, a partir de esta programación, se podrá estimar con mayor precisión el tiempo requerido para la culminación de dicho proyecto. (Oberlender, 1993)

Todos estos procesos deberán realizarse antes del inicio de la obra, sin embargo, si el caso lo amerita, deberán ser sometidos a una re-planificación y reprogramación.

El control del proyecto consistirá en, conforme avanza el mismo, ir midiendo la evolución de los rubros, y comparándolos con la programación previamente realizada, elaborar un informe de avance "diario", "semanal" y "mensual" del proyecto rubro por rubro, la proyección de costos, la previsión de certificación (cobros al cliente), el plazo de entrega previsto final, actualización "diaria" del cronograma de trabajo, seguimiento de las Horas Hombre de cada tarea; el análisis de los retrasos, los planes de corrección de los tiempos de trabajo, el plan de contingencias para evitar futuros inconvenientes; la metodología constructiva, los procedimientos de construcción y montaje, el seguimiento de ingresos de materiales, el seguimiento de la producción de hormigones, plan de coordinación de ingeniería, compras y construcción. Minutas de reuniones, seguimiento del libro de obra, planes de coordinación con la fiscalización y el cliente. Seguimiento diario de las horas máquina, horas hombre y volúmenes insumidos por los Contratistas; seguimiento de anticipos, gastos, descuentos y planillaje de los trabajos para el pago a los mismos.

Detección de trabajos adicionales no previstos en el contrato; valoración de los mismos y presentación al cliente para su aprobación; modificación del monto del Contrato; análisis de ampliación de plazos por adicionales.

En resumen, lo preponderante será llevar un control minucioso y administrar correctamente costo y tiempos de la obra.

### **Técnicas de Programación**

Para el control de obras en general, se utilizan técnicas muy conocidas de programación, algunas sencillas tanto de elaborar como de interpretar pero que presentan varias restricciones, otras muy complejas al momento de construirlas, pero que resultan muy útiles para guiar el proyecto.

Las más usuales son:

- ✓ Diagrama de Barras
- ✓ Curvas de Producción Acumulada
- ✓ Diagrama de Precedencias
- ✓ Técnicas de Programa Evaluación Revisión PERT
- ✓ Método de la Ruta Crítica
- ✓ Enfoque del Instituto de Gerencia de Proyectos PMI

## **4. Factores que Afectan la Productividad**

### **4.1. Percepción de la Industria**

Para analizar de mejor manera la percepción que tiene la industria respecto del por qué de la variación de los rendimientos en obra, se realizó una entrevista a 28 empresas entre grandes y pequeñas que se mueven en el sector de la construcción o afines en el país.

La mayoría de las entrevistas realizadas a empresas nacionales, develaron una falta de control en los rendimientos de los obreros, además de la mínima importancia que le prestan al bienestar de los mismos, fueron pocas las empresas que demuestran llevar un control adecuado de sus rendimientos, y de su equipo de mano de obra.

Es de mi parecer, que para la industria ecuatoriana, lamentablemente el obrero queda en tercer plano, luego del control de productividades y obviamente quien se lleva el primer lugar es el avance económico de obra.

Al finalizar las entrevistas, se solicitó que de acuerdo con los problemas y factores que plantearon, se brindaran soluciones viables para mejorar la productividad en obra, a lo que respondieron:

- ✓ Mejorar la coordinación con los proveedores ya sea de equipos, materiales, o maquinaria pesada, pactar horarios específicos de llegada a obra y exigir que se respeten tales horarios para reducir la pérdida de horas de trabajo (paralización de los obreros) por falta de alguno de estos implementos.
- ✓ Realizar una planificación realista de las actividades que se realizaran, esto analizando los rendimientos de cada equipo de trabajo en las condiciones actuales de obra, no asumir los de otras obras.
- ✓ Mantener siempre la obra limpia, es decir, estoquear los materiales y escombros para

hacer las labores de limpieza de forma eficiente, y evitar accidentes.

- ✓ En caso de que se presenten retrasos de algún tipo con los proveedores, tener un plan de actividades realizables que no dependa de otras actividades o recursos retrasados, de este modo se reduciría los tiempos improductivos.
- ✓ Al finalizar cada día, o cada semana según se prefiera, hacer un control de las productividades de los operarios (incluye maquinaria y obreros) para poder darles indicaciones que mejoren su metodología de trabajo.
- ✓ Estudiar la posibilidad de proporcionar líquido a los obreros a través ya sea de dispensadores o simplemente bidones ubicados en sitios estratégicos, para que no deban movilizarse muy lejos.
- ✓ Invertir más en la alimentación e hidratación de los trabajadores, suena trivial, pero es una forma de tener motivados a los obreros, y a su vez, eleva la productividad.
- ✓ Crear cuadrillas de apoyo con personal que no se requiera en las actividades principales, para que aporten transportando herramientas y materiales de un sitio a otro dentro de la obra.
- ✓ Para agilizar los procesos de construcción, se recomienda definir espacios específicos cercanos a los sitios de trabajo, para ubicar los materiales que dicha actividad requiera.
- ✓ Controlar, y de ser necesario reestructurar la metodología de trabajo efectuada para actividades que se consideren críticas.
- ✓ Realizar un control minucioso de las actividades de la ruta crítica, procurar que estas estén siempre al día. Estandarizar cuadrillas tipo de trabajo.
- ✓ Implementar un sistema de recompensas para mantener al personal motivado.
- ✓ Realizar una planificación semanal y diaria, es decir, definir tareas a ejecutar en el día de labores y durante el transcurso de la semana, de modo que si una meta diaria no se cumple, se pueda reorganizar las de la semana.
- ✓ Envolver tanto a subcontratistas como a la gerencia de proyectos en la implementación de herramientas tales como las de “Lean Construction” Construcción sin Pérdidas.
- ✓ Seleccionar adecuadamente a los subcontratistas por su experiencia y habilidades en procesos similares, y por su predisposición a implementar un sistema de control de productividad.
- ✓ Analizar a fondo las fallas de procesos anteriores para evitar cometer los mismos errores.
- ✓ Programar las fechas de revisión y mantenimiento preventivos y correctivos de maquinaria y equipos. En caso de ser

- alquilados, exigir al arrendador equipos en correcto estado de funcionamiento.
- ✓ Establecer procesos ágiles para la adquisición de repuestos para los casos emergentes, ya sea para los equipos, maquinaria, o los mismos elementos que forman parte de los rubros de cada obra.
- ✓ Planificar diariamente los cronogramas y rutas de transporte.
- ✓ Registrar los retrasos en que incurren los proveedores para hacer llamados de atención a los mismos, o en el peor de los casos, estudiar la posibilidad de cambiar de proveedor o anticipar los pedidos.
- ✓ Conciliar los pedidos a los proveedores acorde a la capacidad de producción.
- ✓ Establecer el personal por etapas que será responsable de la realización de pedidos de materiales.
- ✓ Desarrollar sistemas de gestión que involucren el control de maquinaria, equipo, mano de obra y disponibilidad de materiales.

#### 4.2. Factores que Afectan la Productividad

Productividad es la relación entre lo concebido por un sistema de producción y los recursos invertidos en ello, pero también se constituye por la medida de la eficiencia con que se administran tales recursos, es decir la relación producto – tiempo invertido. (Cantu, 2009)

De entre todos los factores que pueden afectar la productividad en obra, es vital determinar cuáles de ellos afectan de manera negativa para así poder tomar medidas de prevención o remediación ante la presencia de alguno de ellos.

Es importante determinar también cuáles serán las actividades principales (aquellas que intervienen en la realización de un rubro específico) y cuales las secundarias, es decir, aquellas que contribuyen con el desarrollo de las actividades principales. Si no se identifican a tiempo estas actividades secundarias, se corre el riesgo de restar horas de trabajo necesarias para cubrir las actividades principales.

Ahora bien, para la correcta evaluación de los rendimientos de cada actividad, será necesario medir el porcentaje de tiempo, mano de obra, equipo y maquinaria que se invierten en cada grupo de actividades del muestreo segregado. De este modo, al saber cómo se utiliza cada recurso, se reflejarán los problemas que afectan a los rendimientos, una vez identificados se podrán tomar medidas correctivas y ello reducirá los costos que implica la realización de dicha actividad. A esto es a lo que se llama Técnica de Muestreo (Botero, 2003), las características principales de esta técnica son:

- ✓ Realiza un análisis cuantitativo en función del tiempo, actividades y recursos.

- ✓ Su aplicación es fundamentalmente a mano de obra, equipo y maquinaria.
- ✓ Por tratarse de un muestreo, este debe realizarse de forma aleatoria para mayor validez de los datos.
- ✓ Se recomienda establecer grupos de actividades para clasificar los recursos.
- ✓ Con los datos obtenidos del muestreo, y el debido análisis, se podrá realizar una inferencia estadística de las actividades de los recursos.

Según (Alarcón, 2001), los grupos de actividades que se deberían analizar son:

**Trabajo Productivo.-** Dentro de los que constan las labores requeridas para llevar a cabo las actividades principales de la obra, como por ejemplo obras de movimiento de tierras, de armado, encofrado y hormigonado de elementos estructurales, colocación, enlucido, empastado de mamposterías, entre otras.

**Trabajo Contributivo.-** Se refiere a aquellas actividades que contribuyen al desarrollo de una actividad principal, por ejemplo la interpretación de planos, emisión-transmisión de instrucciones, traslado de materiales, actividades de limpieza, etc.

**Trabajo No Contributivo.-** Aquí se consideran actividades que más bien influyen negativamente en las productividades, como lo son actividades de ocio, tiempos de esperas, traslados de un sitio a otro, cumplimiento de necesidades fisiológicas, descansos, reprocesos y muchas otras relacionadas.

Para la observación, recolección y registro de datos de las actividades en análisis, se recomienda realizar recorridos constantes de la obra, u observaciones desde una ubicación estratégica, también el uso de técnicas tales como los registros con cámaras fotográficas programadas a intervalos de tiempo determinados, o video filmadoras que capturen imágenes de los procesos de construcción durante cierto periodo de tiempo (elapsed time)

Como ya se mencionó, para determinar las principales actividades q ocasionan retrasos en construcción se procedió a llevar una entrevista estructurada, de las respuestas a las preguntas del formulario, las de mayor frecuencia fueron:

- ✓ Retrasos por falta o demora de materiales, maquinaria, equipos o herramienta menor.
- ✓ Paralización debido a demora en el cumplimiento de actividades previas o reproceso de las ya existentes por haber sido mal ejecutadas.
- ✓ Demoras por no brindar a los obreros una adecuada instrucción del trabajo que realizarán.
- ✓ Tiempo muerto a causa de ocio, cumplimiento de necesidades fisiológicas, etc., por parte de los trabajadores.
- ✓ Sobre población de trabajadores en áreas donde no son tan requeridos.

- ✓ Rediseños que retrasan los procesos, o que obligan a reprocesar una actividad.

## 5. Propuesta de Modelo de Gestión

### 5.1. Metodología

Como es conocido, todo modelo de gestión cuenta con tres fases básicas (Ilustración 4), la fase inicial, la fase intermedia y la fase final.



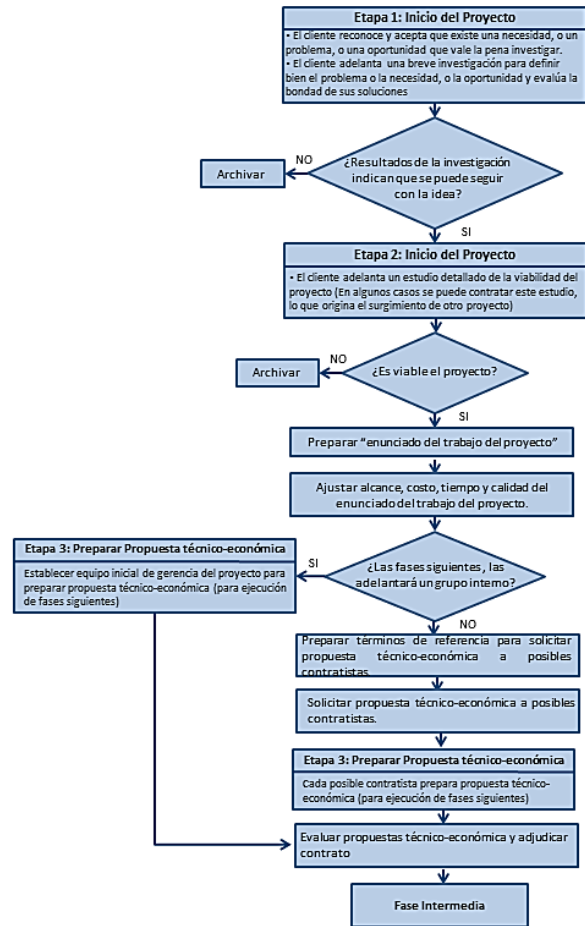
**Ilustración 4.-** Secuencia de Fases Típicas del Ciclo de Vida de un Proyecto

La rigurosidad de detalle que cada una de estas fases contenga al final, dependerá de los requerimientos del producto final a entregar y del sistema al cual se aplicará.

(Arboleda Vélez, 2013) Sintetiza en la etapa inicial en la Ilustración 5. Indica que la Fase Inicial de un proyecto arranca desde el reconocimiento de la existencia de una necesidad o un problema, al cual se le encontrará una solución mediante una investigación que evalúe las posibles metodologías a seguir. Una vez claro el concepto de lo que se va a hacer, se prepara el enunciado del proyecto, luego se ajustan el alcance, costo, tiempo y calidad del mismo, posteriormente se procede a la elaboración de una propuesta económica con la cual se participará en un concurso para adjudicarse el contrato.

La Fase Intermedia corresponde a la definición del proyecto, es decir, definir el proyecto como tal, definir el sistema que se aplicará y los requerimientos por parte de los usuarios de dicho sistema; y a la ejecución del proyecto, diseño, construcción e implementación.

La Fase Final contempla la aprobación del producto final, su entrega-recepción a la entidad contratante y la liquidación o cierre del proyecto.



**Ilustración 5.-** Fase Inicial - Ciclo de Vida de un Proyecto

### 5.2. Desarrollo del Marco de Gestión

En esta sección se establecerá un marco de gestión basado en el análisis de las productividades de dos proyectos de construcción que se describirán en el siguiente capítulo.

En Ecuador, una de las principales industrias que intervienen en el PIB es la de la construcción, sin embargo, a diferencia de otros procesos industriales, tiene muchos problemas con la gestión de la misma. El presente proyecto de investigación, busca servir como guía para la implementación de sistemas de gestión de obras basándose principalmente en el estudio de las productividades que estas manejan, para de ese modo solucionar las principales causas de problemas que se generan a partir de una deficiente gestión o administración de proyectos de construcción.

El esquema general de esta investigación se basa en la adecuada y oportuna detección de problemas y presentar posibles soluciones acordes a las necesidades de la contratante y de los futuros usuarios. También se considera el análisis de productividades de varios proyectos de construcción para generar una base estadística de como varían los rendimientos o productividades en obra. Además se estudian distintos

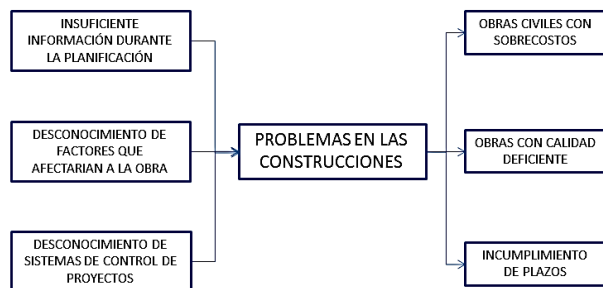
Modelos de Gestión aplicados por distintas instituciones (Filosofías como las de PMI – Project Management Institute o LEAN Construction – Construcción sin Pérdidas) estandarización de procedimientos para desarrollar proyectos, establecida en “A Guide to the Project Management Body Of Knowledge (PMBOK®)”, permite la sistematización para su aplicación contenida en el Diseño del Modelo de Gestión para Monitoreo y Control (MGMC) de Obras Civiles.

Existe quizá una falta de conocimiento o de aplicación de modelos de gestión de obras civiles que permitan un mejor control y seguimiento de las actividades realizadas en los procesos constructivos, lo que da como resultado obras que no se desarrollan según la planificación inicial, quizá debido a conflictos políticos, económicos, sociales, que incurren también en mayores gastos y mayor uso de recursos, lo que incrementa el presupuesto planteado al inicio del proyecto. Por todo esto, en la actualidad, no se aprovechan eficientemente las experiencias de obras anteriores para la mejora en el desarrollo de las actuales, puesto que estas variaciones se convierten en errores reiterativos que no se corrigen durante la planificación y ejecución, generando pérdidas ya sea económicas o de calidad en el producto final. En nuestro medio, un proyecto se considera exitoso si se desarrolla en el tiempo establecido, con la calidad y costo adecuados, para ello debe desarrollarse bajo el estricto control que un marco de gestión ofrece. (Ayala, 2012)

Repetir los errores cometidos en otras obras, es una práctica común, es por ello que se requiere un análisis individual para cada obra, puesto que los problemas que se generen en ella serán exclusivos de su desarrollo, esto no quita que se puedan aplicar soluciones similares empleadas en casos parecidos, siempre que se adapten al caso actual.

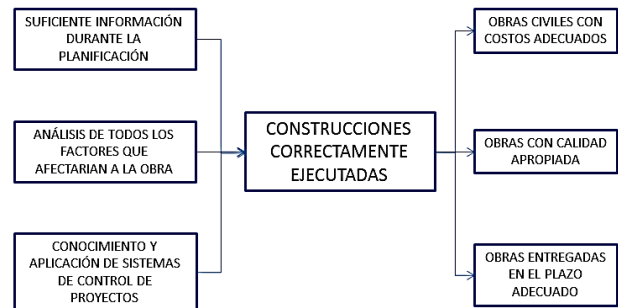
Es importante definir quiénes serán y que rol cumple cada uno de los involucrados en el desarrollo de cualquier proyecto, esto para poder determinar los conflictos potenciales que pudieran generarse.

Análisis de problemas.- Realizar un análisis integral de problemas mediante el uso de medios visuales, es se considera la forma más apropiada para lograr una perspectiva amplia de cuáles son las causas y efectos de cada problema.



**Ilustración 6.-** Problemas en las Construcciones: Causas y Efectos

Análisis de objetivos.- Una vez identificados los problemas, se podrán plantear objetivos a alcanzar para la resolución de los mismos, y asignar al responsable a cargo de dicha solución.



**Ilustración 7.-** Objetivos para una Correcta Ejecución

Análisis de alternativas.- Una vez planteados los objetivos, lo recomendable es plantear también más de una posible solución a los mismos, de las cuales se seleccionarán las más importantes, pero se dejarán las demás como alternativas en caso de necesitarse posteriormente.

Para el desarrollo y análisis de estas actividades, se suele utilizar una Matriz de Marco Lógico que funciona como una herramienta explicativa de la relación entre los objetivos, componentes, actividades, indicadores, medios de verificación y supuestos del proyecto, con cuyo análisis se puede determinar si la solución propuesta al problema es la adecuada. Permite armar un plan estratégico para la solución de problemas y establecer la coherencia entre actividades, resultados, propósito y objetivo de desarrollo de un proyecto.

### Modelo de Gestión

“Gestión es hacer que las cosas sucedan”, según Peter Ferdinand Drucker (Viena, 19 de noviembre de 1909 – Claremont, 11 de noviembre de 2005). Lo que nos lleva a deducir que un Modelo de Gestión, es un esquema de procesos a seguir para administrar o gestionar actividades que cumplirán con las metas propuestas para un proyecto. Esto es, un plan para gobernar, dirigir, ordenar, disponer u organizar acciones que lleven al cumplimiento de un objetivo que generará satisfacción en el usuario. (Concepto deducido de la RAE)

Un Modelo de Gestión brinda al usuario, en este caso la empresa constructora, las herramientas necesarias para optimizar su sistema de gestión, a través del mejoramiento de los procesos.

Existen muchos tipos de Gerenciamiento, pero la mayoría se generan en respuesta a las siguientes interrogantes:

1. ¿QUÉ ES LO QUE SE DEBE CONTROLAR?
2. ¿CUÁL ES EL PROCESO A IMPLEMENTAR?



3. ¿CUÁLES SON LAS HERRAMIENTAS DISPONIBLES?
4. ¿CUÁL SERÁ LA PERIODICIDAD DEL CONTROL?
5. ¿QUIÉN ESTARÁ A CARGO?
6. ¿CUÁNDO SE IMPLANTARÁ?
7. ¿CÓMO SE IMPLANTARÁ?
8. ¿CUÁLES SERÍAN LOS PRINCIPALES INCONVENIENTES?
9. ¿CUÁLES SERÍAN SUS PRINCIPALES BENEFICIOS?

Para el presente proyecto de investigación, se sugiere la implementación de un sistema de Gestión de Obras basado en el Análisis de Productividades de proyectos anteriores, esto es, mediante un análisis multivariado que permita establecer cuál es la afectación de los factores mencionadas en el Capítulo 3, sobre la Productividad de cada actividad.

### ¿QUÉ ES LO QUE SE DEBE CONTROLAR?

Como primer punto, se deberá definir la problemática, ¿qué es lo que se debe controlar?, detallar desde una perspectiva amplia grupos de actividades dentro del proyecto general, es decir, armar paquetes de rubros que estén relacionados entre sí o que tengan características similares, partiendo del presupuesto referencial con el que se concursó, se puede hacer esta distribución de manera más sencilla, es importante declarar para cada "rubro" (así le llamaremos a cada actividad) cuáles serán las unidades de medición y un código interno para mayor facilidad en el registro.

Habrán quienes prefieran incluir en la hoja de control una columna para el precio del rubro, en lo personal, preferiría llevar esa contabilidad en otro cuadro, puesto que lo que nos interesa para este sistema, es principalmente son las productividades, como proyectista será mi punto de control, pero para demostrar un avance financiero será muy útil reflejar estas productividades en función de los costos.

Se propone la utilización de una tabla electrónica que guarde el registro de las cantidades presupuestadas, pero incluya también las "Cantidades Actuales" ejecutadas.

			CANTIDADES					
Fase	Descrip. del Item	U.M.	ACTUAL			PRESUPUESTO		
			Acum.	Faltante	Final	Original	Cambios	Actual
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>TOTALES GENERALES :</b>								
<b>100 - OBRA CIVIL</b>								
10	EXCAVACIONES	M3	6,817		6,817		6,817	6,817
11	RELLENO, COMP. Y NIVELAC.	M3	3,831		3,831		3,831	3,831
12	ARMADURAS	Kg	314,969		314,969	206,000	108,969	314,969
13	ARMADURAS C/MALLAS	Kg						
14	ARMAD. ELEM. PREFABRICAD.	Kg	56,849		56,849	8,000	48,849	56,849
15	ENCOPRADOS PARA BASES	M2	2,129		2,129	2,172	(43)	2,129
16	ENCOF. TABL. COLUM. Y VIGAS	M2	6,835		6,835	3,581	3,254	6,835
17	ENCOF. PIREMOLDEADOS	M2	4,820		4,820		4,820	4,820
18	HORMIGONES PBASES	M3	1,218		1,218	1,126	92	1,218
19	HORM. COLUMNAS Y TABIQUES	M3	907		907	997	(90)	907
20	HORM. PIREMOLDEADOS	M3	429		429	495	(66)	429
21	HORMIGON DE PAVIMENTOS	M3	1,580		1,580	1,240	340	1,580
22	GROUTING	M3	3.30		3.30	0.17	3.13	3.30
23	PAV. MENTOS ASFALTICOS	M2						
24	PERNOS DE ANCLAJE	Kg	1,774		1,774	1,200	574	1,774
25	COLOCACION DE INSERTOS	Kg	36,173		36,173	1,980	34,193	36,173
26	JUNTAS DE PAVIM. Y PASAD.	Lm	922		922		922	922
01	MISCLANEOS O. CIVIL	GI	98.5%	1.5%	100%		100%	100%

**Tabla I.- Cuadro de Cantidades: Actual - Presupuesto**

Para el grupo "Actual", se generará una columna que agrupe la cantidad "Acumulada", la cantidad "Faltante" a la fecha y la "Final" o la meta a alcanzar.

Para el grupo "Presupuesto", se tiene la columna de "Cantidad Original" que tendrá los valores contratados, se recomienda incluir una columna con el detalle de los "Cambios" en las cantidades originales al finalizar la obra, y un resumen de la cantidad "Actual" de cada rubro.

Se implementará un proceso de control de productividades a través de la medición de las horas de trabajo vs. las cantidades de cada rubro ejecutado, del mismo modo que en el caso anterior, se dividirá en "Actual" y "Presupuesto". Tabla II y Tabla III.

			HORAS - HOMBRE						
Fase	Descrip. del Item	U.M.	ACTUAL			PRESUPUESTO			
			Mes.	Acum.	Faltante	Final	Original	Cambios	Actual
1	2	3	10	11	12	13	14	15	16
			201772	2726	204498	94598	126473	221070	
<b>100 - OBRA CIVIL</b>									
10	EXCAVACIONES	M3	5,962		5,962		8,180	8,180	
11	RELLENO, COMP. Y NIVELAC.	M3	4,137		4,137		7,663	7,663	
12	ARMADURAS	Kg	30,676		30,676	20,600	10,897	31,497	
13	ARMADURAS C/MALLAS	Kg							
14	ARMAD. ELEM. PREFABRICAD.	Kg	15,806		15,806	1,600	9,770	11,376	
15	ENCOPRADOS PARA BASES	M2	12,714		12,714	11,294	(229)	11,071	
16	ENCOF. TABL. COLUM. Y VIGAS	M2	28,849		28,849	21,486	19,524	41,010	
17	ENCOF. PIREMOLDEADOS	M2	20,277		20,277		28,920	28,920	
18	HORMIGONES PBASES	M3	7,814		7,814	5,630	461	6,091	
19	HORM. COLUMNAS Y TABIQUES	M3	8,299		8,299	4,985	(449)	4,536	
20	HORM. PIREMOLDEADOS	M3	2,868		2,868	2,475	(329)	2,146	
21	HORMIGON DE PAVIMENTOS	M3	5,733		5,733	6,200	1,699	7,899	
22	GROUTING	M3	339		339	12	219	231	
23	PAV. MENTOS ASFALTICOS	M2							
24	PERNOS DE ANCLAJE	Kg	676		676	204	98	302	
25	COLOCACION DE INSERTOS	Kg	7,674		7,674	396	6,839	7,235	
26	JUNTAS DE PAVIM. Y PASAD.	Lm	1,391		1,391		2,765	2,765	
01	MISCLANEOS O. CIVIL	GI	1,668	33	1,700		1,700	1,700	
<b>TOTALES OBRA CIVIL:</b>			<b>154880</b>	<b>33</b>	<b>154912</b>	<b>74882</b>	<b>97733</b>	<b>172615</b>	

**Tabla II.- Cuadro de Horas de Trabajo: Actual - Presupuesto**

			PRODUCTIVIDAD (HH/Cantidad)					
Fase	Descrip. del Item	U.M.	ACTUAL			PRESUPUESTO		
			Acum.	Faltante	Final	Original	Cambios	Actual
1	2	3	19	20	21	22	23	24
<b>100 - OBRA CIVIL</b>								
10	EXCAVACIONES	M3	0.87		0.87		1.20	1.20
11	RELLENO, COMP. Y NIVELAC.	M3	1.08		1.08		2.00	2.00
12	ARMADURAS	Kg	0.10		0.10	0.10		0.10
13	ARMADURAS O MALLAS	Kg						
14	ARMAD. ELEM. PREFABRICAD.	Kg	0.28		0.28	0.20		0.20
15	ENCOFRADOS PARA BASES	M2	5.97		5.97	5.20		5.20
16	ENCOF. TAB., COLUM. Y VIGAS	M2	4.22		4.22	6.00		6.00
17	ENCOF. PIPREMOLDEADOS	M2	4.21		4.21		6.00	6.00
18	HORMIGONES PBASES	M3	6.41		6.41	5.00		5.00
19	HORM. COLUMNAS Y TABIQUES	M3	9.15		9.15	5.00		5.00
20	HORM. PIPREMOLDEADOS	M3	6.68		6.68	5.00		5.00
21	HORMIGON DE PAVIMENTOS	M3	3.63		3.63	5.00		5.00
22	GROUTING	M3	103		103	70.00		70.00
23	PAV. IMENTOS ASFALTICOS	M2						
24	PERNOS DE ANCLAJE	Kg	0.38		0.38	0.17		0.17
25	COLOCACION DE INSERTOS	Kg	0.21		0.21	0.20		0.20
26	JUNTAS DE PAVIM. Y PASAD.	Un	1.51		1.51		3.00	3.00
01	MISCELANEOS O. CIVIL	GI	1693	1700	1700		1,700	1700

**Tabla III.- Cuadro de Productividad por actividad:**  
Actual – Presupuesto

Otra herramienta útil, sería llevar el control de los “Desvíos” u horas disponibles para reasignar a otros rubros si el cálculo diese positivo, en caso de resultar negativo, serán las horas necesarias para cumplir con tal rubro en el balance general.

Incluir en un lugar de fácil visibilidad dentro de la hoja de cálculo, el porcentaje de avance en horas programado, vs. el ejecutado, sería de mucha utilidad para ver cuál es el porcentaje de retraso o de adelanto en las actividades de forma global.

ACTUALIZADO AL: FECHA ACTUAL  
 AVANCE HORAS: 98.7%  
 AVANCE PONDERADO: 98.4%  
 DIFERENCIA: 0.3%

			DESVIOS		INCID. Y AVANCES			
Fase	Descrip. del Item	U.M.	h-H	%	Item	Avances		
						Prod.	Pond.	h-H
1	2	3	25	26	27	28	29	30
			(16,573)	-7.5%	100%		98.4%	98.7%
<b>100 - OBRA CIVIL</b>								
10	EXCAVACIONES	M3	(2,218.6)	-27%	3.70%	100%	3.7%	100%
11	RELLENO, COMP. Y NIVELAC.	M3	(3,526.0)	-46%	3.47%	100%	3.5%	100%
12	ARMADURAS	Kg	(821.4)	-3%	14.25%	100%	14.2%	100%
13	ARMADURAS O MALLAS	Kg						
14	ARMAD. ELEM. PREFABRICAD.	Kg	4,435.8	39%	5.14%	100%	5.1%	100%
15	ENCOFRADOS PARA BASES	M2	1,642.7	15%	5.01%	100%	5.0%	100%
16	ENCOF. TAB., COLUM. Y VIGAS	M2	(12,161.5)	-30%	18.55%	100%	18.6%	100%
17	ENCOF. PIPREMOLDEADOS	M2	(8,643.0)	-30%	13.08%	100%	13.1%	100%
18	HORMIGONES PBASES	M3	1,723.0	28%	2.76%	100%	2.8%	100%
19	HORM. COLUMNAS Y TABIQUES	M3	3,763.0	83%	2.05%	100%	2.1%	100%
20	HORM. PIPREMOLDEADOS	M3	721.9	34%	0.97%	100%	1.0%	100%
21	HORMIGON DE PAVIMENTOS	M3	(2,166.1)	-27%	3.57%	100%	3.6%	100%
22	GROUTING	M3	108.0	47%	0.10%	100%	0.10%	100%
23	PAV. IMENTOS ASFALTICOS	M2						
24	PERNOS DE ANCLAJE	Kg	374.4	124%	0.14%	100%	0.1%	100%
25	COLOCACION DE INSERTOS	Kg	439.4	6%	3.27%	100%	3.3%	100%
26	JUNTAS DE PAVIM. Y PASAD.	Un	(1,374.6)	-50%	1.25%	100%	1.3%	100%
01	MISCELANEOS O. CIVIL	GI			0.77%	98.5%	0.8%	98.1%
<b>TOTALES OBRA CIVIL:</b>			<b>(17,703)</b>	<b>-10.3%</b>	<b>78.1%</b>		<b>78.1%</b>	<b>100%</b>

**Tabla IV.- Desvíos y Porcentajes de Avance Real vs. Actual**

¿CUÁL ES EL PROCESO A IMPLEMENTAR?

El presente proyecto tiene como objetivo implementar un sistema capaz de llevar el control de productividades de cada actividad, cuántas unidades se producen de cada rubro, en relación al tiempo de producción. Con

este dato, se podrá evaluar la cantidad de horas (horas hombre / horas máquina) de que se dispone en cada actividad y poderlas redistribuir en caso de ser necesario. Se podrán evitar los tiempos muertos por falta de asignación de actividades, por mala coordinación con los proveedores, etc., así también se podrá reevaluar constantemente la obra y redistribuir actividades.

¿CUÁL SERÁ LA PERIODICIDAD DEL CONTROL?

En el caso de estudio, se analiza una valoración mensual de los resultados, y con ello se realiza un control de las productividades, sin embargo, para realizar una correcta correlación estadística, se recomienda que estos datos sean tomados diariamente, de ese modo se contará con un rango de valores mucho más próximos a la realidad, debido a que la toma de datos para este caso fue mensual, se observa gran variabilidad en las productividades, es por ello que se plantea el uso de un software que permita guardar el registro diario de las cantidades producidas en obra, el personal, equipo y materiales utilizados, y el tiempo de ejecución de cada rubro, además de las condiciones de trabajo, pues es bien sabido que de ello depende en gran porcentaje la variación en la productividad.

¿QUIÉN ESTARÁ A CARGO?

Se deberá asignar a una persona para que dirija la obra en forma global, sea esta un “Residente de Obra” para el caso de proyectos pequeños, y un “Superintendente de Obra” para el caso de obras de mayor envergadura. Será esta persona la encargada de distribuir actividades y asignar recursos, a su vez, será quien agrupe al personal disponible para que se dedique a trabajar los grupos de actividades antes definidos, estos serán los “Equipos de Trabajo”.

Cada equipo de trabajo contará con un líder a cargo, se recomienda que sea el ingeniero especialista en esa área. De tratarse de una obra pequeña, ese rol lo desempeñará el maestro de obra, o los albañiles especialistas.

La responsabilidad de los líderes de equipo, será la de llevar un control del avance, y una subdivisión de las actividades al equipo asignadas, deberán asegurarse del cumplimiento de las metas diarias, semanales o mensuales.

¿CUÁNDO SE IMPLANTARÁ?

Lo óptimo sería implementar este sistema de evaluación de rendimientos al iniciar la obra, para poder controlar desde un inicio los tiempos de ocio, y redistribuirlos adecuadamente conforme se vaya necesitando en cada actividad.

A cada equipo de actividades se le debe solicitar mantenga relación continua con los demás equipos, puesto que habrá actividades mutuamente dependientes. Es por este motivo, que se debe mantener contacto con los demás líderes para poder sincronizar actividades.

### ¿CÓMO SE IMPLANTARÁ?

El plan es usar un software, lo ideal sería a través de una aplicación móvil que permita el ingreso diario de actividades, con sus respectivas productividades, que dicho software alimente una base de datos continuamente a través de las cuales, se obtendrán relaciones estadísticas para llevar un control de probabilidades de los procesos.

El uso de esta aplicación estaría dirigido por el superintendente de la obra, quien diariamente recogería la información captada por cada uno de los residentes de área, para luego procesarla y obtener el factor de productividad de ese rubro en cada día de trabajo durante toda la obra.

### ¿CUÁLES SERÍAN LOS PRINCIPALES INCONVENIENTES?

Los principales inconvenientes que pudiera presentar este sistema, es el uso de una aplicación que al funcionar en un dispositivo móvil, tenderá a usar mucho espacio en la memoria del dispositivo, además de la alta probabilidad de extravío del dispositivo, y de la sensibilidad del mismo a los efectos del intemperismo en obra.

El costo de esta aplicación se analizó durante el proceso de investigación, e implantarlo en nuestro medio, resultaría extremadamente elevado, es por ello que como parte de una primera etapa, se ha desarrollado un piloto en forma de base de datos de Microsoft Access.

### ¿CUÁLES SERÍAN SUS PRINCIPALES BENEFICIOS?

El uso de un sistema que controle productividades, permite la correcta estimación de tiempos de ejecución de obra, llevar un control interno de este parámetro, permitirá al ejecutor contar con su propia base de datos de rendimientos reales para próximos concursos, y no depender de estimaciones de otros constructores, que muchas veces no reflejan la realidad de la obra.

Contar con una herramienta informática sería de utilidad para llevar una comparación diaria de lo producido y lo gastado en obra. Con datos reales, permitiría al contratista saber su porcentaje de pérdidas o ganancias día a día, y no esperar al cierre de una planilla, que muchas veces es mensual, para corregir los errores que esté cometiendo.

A continuación se presenta un esquema de la interfaz del programa que se plantea se convierta en una aplicación móvil para llevar de mejor manera el control de las productividades en obra, a partir de esta interfaz, lo que se espera es dar facilidades al usuario, la persona designada para registrar datos a lo largo de la obra, para que genere una base de datos real de lo que se produce en obra en un periodo de tiempo determinado, lo aconsejado debido a la experiencia de muchos de los contratistas, sería una toma de datos diaria o al menos semanal, puesto que la mensual no reflejaría la realidad de las productividades.

Esta base da como resultado la obtención de valores de productividad que en próximas ocasiones, el contratista

podrá utilizar como base para realizar sus ofertas. Lo que la presente tesis plantea es la realización de una comparativa entre las productividades planificadas para cada actividad y las obtenidas en campo. Con ello se podrá determinar la desviación real de cada actividad y calcular el porcentaje de retraso (o adelanto).

Además se podrá llevar una contabilidad de los gastos reales producidos en obra. Con todos estos datos, se podrá realizar una evaluación del avance de la obra y verificar mes a mes o semana a semana, según el período escogido, el porcentaje de desviación del cronograma y del presupuesto para con ello tomar medidas preventivas.

Para el desarrollo del software, se propone emplear herramientas utilitarias tales como Microsoft Access y Visual Basic para Aplicaciones, el resultado será un software en el cual se ingresarán los siguientes datos:

La primera vez que use el programa

- ✓ Datos generales de la obra (Nombre, Monto Presupuesto, Duración Estimada, Número de actividades/rubros)
- ✓ Tipo de obra (Vial, Hidrosanitaria, Edificación, Puente, Túnel, Montaje de Estructuras Metálicas, Oleo-Hidráulica, Electro-Mecánica, etc.)
- ✓ Ubicación de la obra (Región, Provincia, Zona, etc.)

The screenshot shows the 'Control de Proyectos' software interface. It features a header with the title and logos. Below the header, there are input fields for 'Rubro' (1001), 'Descripción' (Excavación), and 'Unidad' (m3). The main content is divided into three sections: EQUIPOS, MANO DE OBRA, and MATERIAL. Each section contains a table with columns for Description, Quantity, Rate, Cost/Hour, Yield, and Cost. In the EQUIPOS section, 'RETROEXCAVADORA' has a yield of 0.1 and a cost of 2,700. In the MANO DE OBRA section, 'OP. RETROEXCAVADORA' has a yield of 0.1 and a cost of 338. The MATERIAL section is currently empty. The TRANSPORTE section has a table with 'DESALOJO' having a quantity of 1 and a cost of 4. Subtotal values are shown at the bottom of each section: 4,700 for EQUIPOS, 0,774 for MANO DE OBRA, and 4,000 for TRANSPORTE.

**Ilustración 8.-** Software de Control para Productividades (Elaboración propia)

- ✓ Ingreso del presupuesto referencial, el cual incluirá el detalle de los rubros a ejecutarse, unidad, cantidad, precio unitario, precio total, cronograma valorado.
- ✓ Período de control (el período que tendrá el control a realizarse)

- ✓ Cuadrilla tipo (del día, semana o mes según sea el control)
- ✓ Maquinaria disponible para la obra.

Las siguientes ocasiones, cada vez que se decida tomar datos de un rubro, se solicitará el ingreso de:

- ✓ Estado del tiempo
- ✓ Código o nombre del rubro (para lo cual el programa mostrará según la base de datos ingresada al inicio de la obra, las unidades de medición)
- ✓ Cantidad ejecutada de dicho rubro
- ✓ Unidades de tiempo empleada para ejecutar tal cantidad
- ✓ Personal empleado para la ejecución
- ✓ Maquinaria utilizada
- ✓ Materiales empleados

Con estos datos, el programa será capaz de generar un análisis de precios unitario real, y el rendimiento de cada rubro, el cual se guardará en una base de datos que posteriormente se someterá a un análisis estadístico para determinar *si existen o no* diferencias significativas entre los rendimientos planificados y los teóricos.

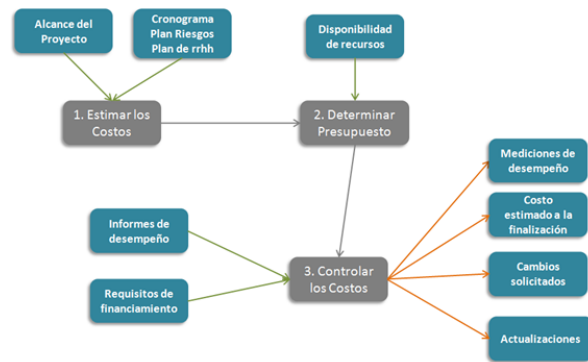
Para el proceso de gestión de costos se recomienda la implementación del método del PMBOK® para Procesos de la Gestión de Costos (Gbegnedji, 2015).

*Planificar la Gestión de los Costos:* En este punto deben considerarse las necesidades de los interesados, puesto que cada uno medirá el costo de manera distinta en el momento que lo considere necesario. Es aquí donde se establecerán políticas y procedimientos para receptar la documentación y datos necesarios para planificar, dirigir, ejecutar y controlar los costos.

*Estimar los Costos:* Implica desarrollar una aproximación de los recursos económicos (costo de materiales, equipos, mano de obra, e indirectos) necesarios para desarrollar cada actividad de la obra.

*Desarrollar el Presupuesto:* Consiste en sumar los costos estimados de cada actividad o grupo de actividades, para establecer una base de costos aproximada del proyecto.

*Controlar los Costos:* Permite registrar y controlar la situación actual del día a día del proyecto (o del período escogido para el análisis), y permitir la actualización del presupuesto referencial, permite también gestionar cambios al mismo.



**Ilustración 9.- Control de costos**  
(Gbegnedji, 2015)

## 6. Análisis del Caso de Estudio

### 6.1. Descripción del Proyecto

Para la presente investigación se ha escogido realizar el análisis de productividades de dos proyectos de construcción, a raíz de los cuales se pretende comparar las productividades programadas versus las productividades obtenidas una vez ejecutada cada obra. Las obras a analizar se conocerán para fines académicos como “Espol A”, siendo esta una obra donde se ha llevado un control a detalle mensual de la producción y de las horas hombre empleadas para el desarrollo de cada actividad; y “Espol B” una obra donde el desarrollo se maneja en base a un avance económico de las actividades. Debido a la complicación en la obtención de datos, se la ha podido realizar la prueba de hipótesis planteada con datos de productividad mensual de la Obra “Espol A”, aunque se recomienda para afinar el modelo estadístico, que se trabaje con una base de datos tomada semanal o diariamente, para poder comparar como varían los rendimientos de las distintas actividades, cuál es el grado de afectación entre actividades y en el tiempo.

De la obra “Espol B”, se realiza un análisis cualitativo de las características y problemas que presenta el avance de la obra.

Será clave para futuras investigaciones, definir los factores a que se atribuye dicha variabilidad y cuál es la metodología que aplica el constructor para mejorar su productividad.

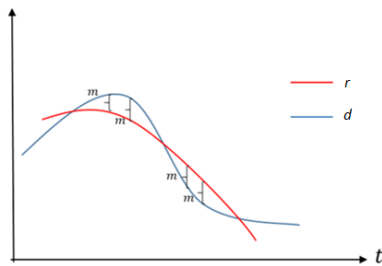
Ambas obras se consideran de gran magnitud según el estándar nacional, que incluye dentro de obras de gran magnitud a aquellas cuyo presupuesto sobrepase el producto de multiplicar el factor 0,00003 por el monto del Presupuesto Inicial del Estado del correspondiente ejercicio económico (SERCOP, 2015). La obra la que llamaremos Espol A, es una obra de instalación de tuberías y construcción de estructura para transferencia de crudo desde el Oriente hasta la Costa ecuatoriana, la obra Espol B consiste en la construcción de un conjunto habitacional en la ciudad de Guayaquil.

Para proyectos de esta magnitud, es necesario contar con un equipo de profesionales dedicados al control y manejo de proyectos, que se encargaran de llevar un registro diario y horario del avance de las actividades a desarrollarse.

## 6.2. Definición de Constructo (modelo Estadístico)

En el presente esquema, se muestra la comparación de los rendimientos medidos durante la ejecución de las actividades del proyecto respecto de los rendimientos que se planificaron durante la etapa de diseño del proyecto. Si llamamos  $r_{it}$  al rendimiento ejecutado durante la actividad  $i$  en el periodo  $t$  y  $d_{it}$  al rendimiento planificado para la misma actividad, se tiene que  $r_{it} - d_{it}$  mide la diferencia entre el rendimiento observado y el planificado. La gráfica de la Ilustración 10 muestra un caso hipotético para el rendimiento de una actividad, tanto planificado como ejecutado:

Si observamos el comportamiento de ambos rendimientos en el tiempo (curvas de rendimiento), se tiene que mientras más disímiles se comporten las curvas ejecutada vs. la planificada, mayor será la siguiente cantidad para cada actividad:



**Ilustración 10.-** Gráfica Rendimiento Planificado vs. Real (caso hipotético)

$$m_i = \sum_{t=1}^{T_i} f(r_{it} - d_{it})$$

En general, se tiene que  $m_i$  es una medida de la desviación total que se observa para cada actividad  $i$  respecto de los rendimientos planificados. La forma de la función  $f$  determina el concepto que el evaluador quiera recoger para medir el cumplimiento de los rendimientos calificados. Por ejemplo, si  $f$  es el valor absoluto de la diferencia, entonces  $m_i$  recoge la desviación total respecto del rendimiento planificado, independientemente de si se trata de mejoras de productividad o no respecto de lo planificado.

Ahora, una posibilidad para contrastar si existen diferencias sistemáticas entre la planificación y la ejecución en términos del rendimiento de las actividades sería el tomar el vector  $m = [m_1, \dots, m_n]$  para nuestra medida de desviación total por actividad y estimar el siguiente modelo de regresión:

$$m = \alpha + \mu$$

Donde  $\alpha$  se conoce como la media de la diferencia de los rendimientos, y es el valor que estimando correctamente servirá para poder hacer la prueba de hipótesis.

Es ampliamente documentado que el método de MCO (Mínimos Cuadrados Ordinarios) permite obtener un estimador consistente para  $\alpha$  bajo los supuestos clásicos en el modelo de regresión simple (Wooldridge, 2006). A partir de allí uno podría pensar en contrastar la hipótesis  $H_0: \alpha = 0$  para determinar si existe evidencia estadística de un desvío sistemático respecto de los rendimientos planificados. No obstante, este procedimiento no es correcto si tomamos en consideración el hecho de los rendimientos entre distintas actividades no son independientes. Para corregir este problema, se puede partir del hecho que del análisis del cronograma de ejecución del proyecto uno puede modelar la dependencia de los rendimientos de las actividades del proyecto. Por ejemplo, la siguiente red causal modela las dependencias mencionadas para un proyecto ejemplo:



**Ilustración 11.-** Red causal entre actividades

La Ilustración 11 presenta una red causal unidireccional que indica que actividades son afectadas por cual otras, en virtud de la precedencia de las mismas y otras consideraciones. A partir de este grafo, se puede modelar esta relación a desde una matriz cuadrada, de la siguiente forma:

$$W = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.5 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0.5 & 1 \end{bmatrix}$$

La matriz representa las relaciones causales (nodos unidireccionales) que determinan la afectación del desempeño de una actividad respecto de otra. Se marca con 1 si el efecto es directo y 0.5 si el efecto se da por una relación de precedencia causal. Con este modelo, se puede corregir el problema en el modelo anterior de la siguiente forma:

$$m = \alpha + \rho Wm + \varepsilon$$

En donde la matriz  $W$  representa un modelo de las relaciones causales de afectación de los rendimientos determinados a partir de la modelación del análisis del cronograma de ejecución del proyecto y  $\rho$  recoge el grado de dependencia de los rendimientos a partir de la relación causal modelada (LeSage, 1999). A partir de esto, se puede contrastar de forma correcta la hipótesis original  $H_0: \alpha = 0$  para capturar si efectivamente

existen desviaciones sistemáticas en los rendimientos del proyecto respecto del desempeño planificado.

### 6.3. Análisis de Resultados

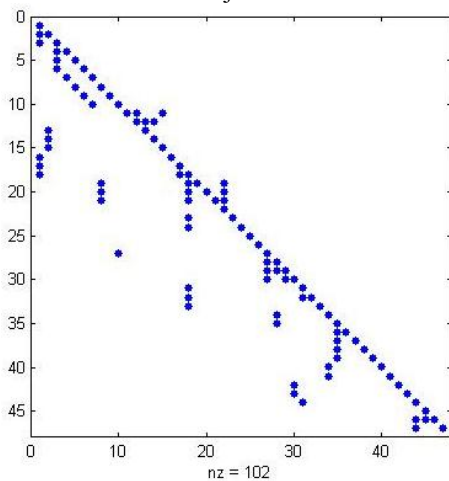
#### Obra ESPOL “A”: construcción de estructura para transferencia de crudo.

Durante la ejecución de esta obra, se tomó la precaución de llevar un control a detalle de cada actividad, una persona estaba a cargo de controlar y registrar los rendimientos mensuales de cada actividad, llevar un control de la ruta crítica y denotar una relación de afectación entre ellas.

Se ha planteado para este caso la hipótesis nula del proyecto considerando para un resultado de  $\alpha = 0$ , “No existen diferencias significativas entre los rendimientos planificados y los teóricos”.

Como hipótesis alterna, es decir en el caso de que  $\alpha \neq 0$ , “Existen diferencias significativas entre los rendimientos planificados y los teóricos”.

A partir del diagrama de afectación entre actividades desarrollado para esta obra, Ilustración 12, se logró elaborar una matriz de afectación W, cuyo grado de afectación para el caso de estudio se muestra como un factor de 0.5, sin embargo, se sugiere realizar una estimación de este factor considerando las holguras de cada actividad en el cronograma de la obra, además del criterio de ingeniería de procesos de quien la construya. El resultado de la aplicación del análisis para el caso de la obra ESPOL “A” se refleja a continuación:



**Ilustración 12.-** Gráfica de Relaciones entre Actividades (MATLAB)

Si se considerase que las diferencias en los rendimientos no se compensan positivas con negativas, es decir, se realiza un análisis independiente del signo de la diferencia entre rendimientos, considerando el valor absoluto de  $f$  se tiene:

Estimaciones Espaciales de los modelos Autorregresivos

$$R^2 = -0.0570$$

$$\bar{R}^2 = -0.0570$$

$$\sigma^2 = 0.0623$$

$$Nobs, Nvars = 47, 1$$

$$\log - verosimilitud = 7.2590569$$

$$\# \text{ de iteraciones} = 16$$

$$\rho \text{ min} = -1.0000$$

$$\rho \text{ max} = 1.0000$$

Variable	Coefficiente	Asíntota t-stat	z-probabilidad
Constante	0.099698	2.124504	0.033628
$\rho$	0.642992	6.067505	0.000000

$z \leq 0.05$ , por lo tanto se rechaza la hipótesis nula,  $\alpha = 0$ , “No existen diferencias significativas entre los rendimientos planificados y los teóricos”, por lo que se concluye que existe desviación en los rendimientos en el orden de 9.97%, además se tiene que las actividades relacionadas tienen una afectación del 64.29% unas respecto de otras.

Si se considerase que las diferencias en los rendimientos se compensan positivas con negativas, la situación cambia, entonces, considerando el signo de  $f$  se tiene:

Estimaciones Espaciales de los modelos Autorregresivos

$$R^2 = -0.0396$$

$$\bar{R}^2 = -0.0396$$

$$\sigma^2 = 0.0792$$

$$Nobs, Nvars = 47, 1$$

$$\log - verosimilitud = 1.5115473$$

$$\# \text{ de iteraciones} = 16$$

$$\rho \text{ min} = -1.0000$$

$$\rho \text{ max} = 1.0000$$

Variable	Coefficiente	Asíntota t-stat	z-probabilidad
Constante	0.004021	0.097925	0.921991
$\rho$	0.639988	5.978873	0.000000

$z \geq 0.05$ , por lo tanto se rechaza la hipótesis alterna,  $\alpha \neq 0$ , “Existen diferencias significativas entre los rendimientos planificados y los teóricos”, por lo que se concluye que no existe desviación en los rendimientos, además se tiene que las actividades relacionadas tienen una afectación del 63.99% unas respecto de otras.

#### Obra ESPOL “B”: Conjunto habitacional, 4 edificios y 9 viviendas.

Durante la ejecución de esta obra, no se tomaron las debidas precauciones, para llevar un control a detalle de cada actividad, hay que acotar que no hubo un control y registro los rendimientos mensuales de cada actividad, tampoco se llevó un control de la ruta crítica, lo cual repercute en el momento de probar la metodología expuesta para la obra ESPOL “A”, puesto que se pudo denotar una relación de afectación entre actividades,

pero no una comparación de las productividades programadas con las ejecutadas, se concluye que la aplicación del método estadístico no es viable para esta obra, sin embargo se realizó un análisis cualitativo para determinar las causas que llevaron a la obra “Espol B” a tener retrasos significativos en su cronograma.

- ✓ Retrasos por mala sincronización para los movimientos de tierra, no tener un plan de contingencia para los posibles inconvenientes que encontrasen durante estas labores.
- ✓ Existieron trámites no cubiertos durante la etapa de planificación del proyecto que generaron retraso durante las inspecciones de las entidades responsables.
- ✓ Rubros no contemplados en el presupuesto referencial, que al incluirse durante la ejecución generaron complicaciones con los procesos constructivos.
- ✓ La no planificación de izajes de vigas prefabricadas para los pisos superiores de los edificios, generaron retraso puesto que se empezaron a investigar soluciones para llevarlas del nivel más bajo hasta el que les correspondía.
- ✓ Retrasos por bajos rendimientos individuales del personal
- ✓ Falta de seguridad industrial, para una obra de esta magnitud, es necesario contar con el equipo de seguridad adecuado sobre todo para trabajos en altura, hecho que si se hubiera controlado oportunamente, no hubiera presentado retrasos en los rendimientos de los trabajos en altura principalmente.
- ✓ Falta de abastecimiento de materiales en bodega.
- ✓ Falta de coordinación con el abastecimiento desde la planta hormigonera.
- ✓ Volúmenes de hormigón solicitados a la planta, diferentes a los recibidos en obra.
- ✓ Falla de los equipos de bombeo de hormigón que retrasaron las fundiciones.
- ✓ Falta de equipo necesario para fundiciones nocturnas.
- ✓ Errores en cálculo de cantidades previa realización de rubros, retrasan la construcción debido a que no existe stock en bodega, o se compran cantidades de materiales diferentes a las requeridas.
- ✓ Errores en los acabados incrementaron costo y tiempo, debido a las rectificaciones que se tuvieron que realizar.
- ✓ Una pobre ejecución de las labores de topografía repercutieron en la mala nivelación, escuadre y aplomo de elementos estructurales y no estructurales, la corrección de este error tardó mucho más de lo esperado incrementando el desfase de tiempo entre lo planificado y lo programado.

- ✓ La falta de un esquema de control de acabados fue lo que mayor retraso generó a lo largo de la obra, puesto que no se habían definido formatos para la compra e instalación de los mismos.
- ✓ Se debió realizar una mejor planificación de las actividades semanales.
- ✓ Deficiente control en el cronograma de planificación, no hubo uso apropiado de herramientas digitales para el control de este proyecto.
- ✓ Carecer de fiscalización, al ser una obra privada, no existió una fiscalización que controlara el avance y calidad del proyecto.

Estos son algunos de los principales problemas, que ocasionaron retrasos significativos en el cronograma de avance de la obra.

## 7. Conclusiones

1. Realizar un análisis de productividades de estas dos obras, permite definir parámetros para la obtención de datos que se puedan evaluar con el modelo estadístico planteado, y de ese modo, controlar las productividades de cada actividad, y reducir los retrasos durante el avance de las mismas.
2. Analizar dos proyectos de construcción de similares características, permite la realización de un modelo matemático que indica las características de una obra idealizada, pero si se da valor a la relación entre las actividades considerando las posibles causas en la diferencia de productividades, se obtiene un modelo mucho más próximo a la realidad.
3. El modelo matemático permite estudiar el grado de afectación entre actividades, el nivel de desviación entre la productividad programada y la ejecutada.
4. El análisis estadístico concluye que si se considera la compensación de las productividades, negativas con positivas o viceversa, el grado de variabilidad es mínimo, es decir no existe desviación respecto de lo programado.
5. El análisis estadístico concluye que si no se considera la compensación de las productividades, el grado de variabilidad se incrementa, es decir existe desviación significativa respecto de lo programado.
6. Con el análisis estadístico, permite definir que si no considera el signo de la diferencia de productividades, y el resultado refleja que no existe variación significativa, entonces plantear un sistema basado en compensación de productividades será lo óptimo para implementar una adecuada programación de obra, que considere el control diario, semanal, mensual y anual de un proyecto de

construcción además de factores que incidan en el retraso de la misma.

7. Entre los factores que afectan a las productividades, según el estudio realizado, se tiene:
  - ✓ Retrasos por falta o demora de materiales, maquinaria, equipos o herramienta menor.
  - ✓ Paralización debido a demora en el cumplimiento de actividades previas o reproceso de las ya existentes por haber sido mal ejecutadas.
  - ✓ Demoras por no brindar a los obreros una adecuada instrucción del trabajo que realizarán.
  - ✓ Tiempo muerto a causa de ocio, cumplimiento de necesidades fisiológicas, etc., por parte de los trabajadores.
  - ✓ Sobre población de trabajadores en áreas donde no son tan requeridos.
  - ✓ Rediseños que retrasan los procesos, o que obligan a reprocesar una actividad.

## 8. Recomendaciones

1. Mostrar a la empresa constructora las ventajas de implementar un adecuado control de costos de la calidad, que incrementarían la calidad de sus procesos constructivos y a la vez la productividad de los mismos.
2. Es mucho mejor invertir en el establecimiento de un sistema de costes de calidad e instalar un proceso de mejora que invertir en una nueva instalación, equipo o mano de obra para incrementar la producción.
3. Para evitar retrasos en obra, se propone:
  - ✓ Mejorar la coordinación con los proveedores ya sea de equipos, materiales, o maquinaria pesada, pactar horarios específicos de llegada a obra y exigir que se respeten tales horarios para reducir la pérdida de horas de trabajo (para de los obreros) por falta de alguno de estos implementos.
  - ✓ Realizar una planificación realista de las actividades que se realizaran, esto analizando los rendimientos de cada equipo de trabajo en las condiciones actuales de obra, no asumir los de otras obras.
  - ✓ Mantener siempre la obra limpia, es decir, estoquear los materiales y escombros para hacer las labores de limpieza de forma eficiente, y evitar accidentes.
  - ✓ En caso de que se presenten retrasos de algún tipo con los proveedores, tener un plan de actividades realizables que no dependa de otras actividades o recursos retrasados, de este modo se reduciría los tiempos improductivos.
  - ✓ Al finalizar cada día, o cada semana según se prefiera, hacer un control de las productividades de los operarios (incluye maquinaria y obreros) para poder darles

indicaciones que mejoren su metodología de trabajo.

- ✓ Estudiar la posibilidad de proporcionar líquido a los obreros a través ya sea de dispensadores o simplemente bidones ubicados en sitios estratégicos, para que no deban movilizarse muy lejos.
- ✓ Invertir más en la alimentación e hidratación de los trabajadores, suena trivial, pero es una forma de tener motivados a los obreros, y a su vez, eleva la productividad.
- ✓ Crear cuadrillas de apoyo con personal que no se requiera en las actividades principales, para que aporten transportando herramientas y materiales de un sitio a otro dentro de la obra.
- ✓ Para agilizar los procesos de construcción, se recomienda definir espacios específicos cercanos a los sitios de trabajo, para ubicar los materiales que dicha actividad requiera.
- ✓ Controlar, y de ser necesario reestructurar la metodología de trabajo efectuada para actividades que se consideren críticas.
- ✓ Realizar un control minucioso de las actividades de la ruta crítica, procurar que estas estén siempre al día. Estandarizar cuadrillas tipo de trabajo.
- ✓ Implementar un sistema de recompensas para mantener al personal motivado.
- ✓ Realizar una planificación semanal y diaria, es decir, definir tareas a ejecutar en el día de labores y durante el transcurso de la semana, de modo que si una meta diaria no se cumple, se pueda reorganizar las de la semana.
- ✓ Envolver tanto a subcontratistas como a la gerencia de proyectos en la implementación de herramientas tales como las de “Lean Construction” Construcción sin Pérdidas.
- ✓ Seleccionar adecuadamente a los subcontratistas por su experiencia y habilidades en procesos similares, y por su predisposición a implementar un sistema de control de productividad.
- ✓ Analizar a fondo las fallas de procesos anteriores para evitar cometer los mismos errores.
- ✓ Programar las fechas de revisión y mantenimiento preventivos y correctivos de maquinaria y equipos. En caso de ser alquilados, exigir al arrendador equipos en correcto estado de funcionamiento.
- ✓ Establecer procesos ágiles para la adquisición de repuestos para los casos emergentes, ya sea para los equipos, maquinaria, o los mismos elementos que forman parte de los rubros de cada obra.
- ✓ Planificar diariamente los cronogramas y rutas de transporte.
- ✓ Registrar los retrasos en que incurren los proveedores para hacer llamados de atención a



los mismos, o en el peor de los casos, estudiar la posibilidad de cambiar de proveedor o anticipar los pedidos.

- ✓ Conciliar los pedidos a los proveedores acorde a la capacidad de producción.
- ✓ Establecer el personal por etapas que será responsable de la realización de pedidos de materiales.
- ✓ Desarrollar sistemas de gestión que involucren el control de maquinaria, equipo, mano de obra y disponibilidad de materiales.

## 9. Agradecimientos

Al M.Sc. Gonzalo Villa Cox, por su aporte en el área estadística y de desarrollo de softwares.

Al M.Sc. Edison Del Rosario, por su aporte en de desarrollo de software.

Al Ph.D. Carlos Rodríguez y Ph.D. Mijail Arias por su motivación y enseñanzas en la investigación.

## 10. Referencias

- [1] Alarcón, C. (2001). Identificación y Reducción de Pérdidas en la Construcción. Santiago de Chile : Centro de excelencia en gestión de la producción (GEPUC), Pontificia Universidad Católica de Chile.
- [2] Arboleda Vélez, G. (2013). *PROYECTOS, Identificación, formulación, evaluación y gerencia*. Alfaomega Colombiana S.A.
- [3] Ayala, M. (2012). *Modelo de Gestión para Monitoreo y Control de Obras Civiles (MGMC)*. Sangolquí: ESPE.
- [4] Botero, L. (2003). Identificación de pérdidas en el proceso productivo de la construcción. *Revista EAFIT*, 130, 66-78.
- [5] Cantu, A. (2009). Productividad Real en Obras Civiles . En A. Cantu, *Productividad Real en Obras Civiles* . Centro Universitario Mendoza .
- [6] Donoso, F. (2 de mayo de 2011). *Project Management Office*. Obtenido de <http://pmochile.blogspot.com/2011/05/contrato-epc-vs-epcm-cual-es-mejor.html>
- [7] Gbenedji, G. (16 de marzo de 2015). *Project Manager's Essential Guide*. Obtenido de What is Project Management: <https://whatisprojectmanagement.wordpress.com/category/gestion-de-los-costos/>
- [8] Haggag, T. (2006). *Tracking and Controlling of Engineering Deliverables for EPC Projects*. Ottawa, Canada: Heritage Branch.
- [9] Hinze, J. (2010). Construction Planning and Scheduling. En J. Hinze, *Construction Planning and Scheduling*. Pearson.
- [10] LeSage, J. P. (1999). *Spatial Econometrics*. Toledo: Department of Economics University of Toledo.
- [11] Naylor, H. (1995). Construction Project Management. En H. Naylor, *Planning and Scheduling* . Delmar .
- [12] Oberlender, G. D. (1993). Project Management for Engineering and Construction. USA: Mc.GrawHill.
- [13] Salazar, C. S. (2002). Costo y Tiempo en Edificación. En C. S. Salazar. Mexico: Limusa Editorial.
- [14] SERCOP. (16 de marzo de 2015). *Servicio Nacional de Contratación Pública*. Obtenido de <http://portal.compraspublicas.gob.ec/>
- [15] Wooldridge, J. M. (2006). *Introductory econometrics : a modern approach*. Mason, Ohio: Thomson South-Western.

---

Ph.D. MSc. Carlos R. Rodríguez Díaz  
Visto Bueno del Director del Proyecto final de graduación

Fecha: Viernes 8 de Mayo de 2015