

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías Politécnico

Productividad en la Construcción: Metodologías para la medición

Gonzalo Farid Saud Medina

Ingeniería Civil

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniería Civil

Quito, 16 de Julio de 2021

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingeniería

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

Productividad en la Construcción: Metodologías para la medición

Gonzalo Farid Saud Medina

Nombre del profesor, Título académico

Juan José Recalde, Ph.D

Quito, 16 de Julio de 2021

DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Nombres y apellidos: Gonzalo Farid Saud Medina

Código: 00132727

Cédula de identidad: 1721624342

Lugar y fecha: Quito, 16 de Julio de 2021

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

El análisis de la productividad en la construcción es una herramienta útil, pues permite monitorear el rendimiento de los recursos invertidos, con el fin de llevar a cabo un proyecto con éxito y a tiempo, como también puede presentar señales de alerta tempranas sobre el rendimiento en obra de un proyecto. Así mismo, para contratistas o empresas que se dediquen a la construcción, es importante poder ser competitivos sin dejar de generar ganancias, por lo que se busca reducir costos. La práctica y la investigación han demostrado que incluso pequeñas mejoras en la productividad pueden aumentar significativamente la competitividad y las ganancias de contratistas y empresas constructoras. Lamentablemente, en el Ecuador no existe un método estandarizado para medirla. Por este motivo, en el presente proyecto integrador, se realizó una investigación sobre las normas existentes para la medición de la productividad, y se elaboró una guía de medición de la productividad de la mano de obra en formato documento técnico basado en la norma ASTM E-2691. También se presenta un ejemplo de la metodología aplicada en obra, aplicado a un proyecto de construcción de una casa.

Palabras clave: productividad, mano de obra, costos de construcción, normas.

ABSTRACT

Productivity management in construction is a useful tool, as it allows monitoring the performance of the invested resources, in order to carry out a project successfully on time, as well as provide early warning signal for construction performance. Likewise, for contractors and companies engaged in construction, it is important to be competitive while still generating profit, which is why it is important to reduce costs. Experience and research have shown that even small improvements in productivity can significantly increase the competitiveness and profit of contractors and construction companies. Unfortunately, in Ecuador, there is no standardized method to measure it. For this reason, in this project, an investigation on the existing standards for measuring productivity was carried out, and a guide for measuring labor productivity in technical format was developed based on the ASTM E -2691: "Job Productivity Measurement" standard. An example of the methodology being applied on site is presented, annexed to this work.

Keywords: Productivity, labor, construction costs, standards.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	10
1.1. Antecedentes	10
1.2. Justificación	11
1.3. Objetivos	11
1.4. Actividades a Realizar:	12
1.5. Resultados Esperados	12
1.6. Definiciones	12
2. Desarrollo del Tema.....	14
2.1. Marco Teórico	14
2.1.1. Productividad en la construcción	14
2.1.2. Mejorar la productividad.....	14
2.1.3. Métodos y normas existentes	16
2.2. ASTM E-2691: “Job Productivity Measurement”: Job Productivity Measurement ..	17
2.2.1. Baseline Labor Hour Budget, BLHB	18
2.2.2. Evaluación del BLHB según el nivel de detalle.....	20
2.2.3. Labor Productivity Reference Point.....	21
2.2.4. Cálculo y monitoreo de JPM.....	21
2.2.5. Reporte	22
2.3. Método de rendimientos y consumos de mano de obra	24
2.3.1. Factores que afectan a la productividad	25
2.3.2. Información indispensable para un formulario de toma de datos	26
2.4. Guía para la medición de la productividad en la construcción.....	27
2.5. Ejemplo de medición de la productividad de un proyecto	27
3. Conclusiones	29
3.1. Conclusiones	29
3.2. Recomendaciones	29
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
Anexo A: Borrador de capítulo: MEDICIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN.....	32
Anexo B: EJEMPLO DE MEDICIÓN DE PRODUCTIVIDAD DE UN PROYECTO ..	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No. 1: Sección de UNIFORMAT II: niveles de clasificación en orden jerárquico: (ASTM E-2691: “Job Productivity Measurement”, 2016)	20
Tabla No. 2: Factores que afectan la productividad de la mano de obra. Adaptación de los Ingenieros Antonio Cano R y Gustavo Duque V, al medio colombiano del manual “Estimator’s general construction man-hour” de John S. Page. (Botero, 2002).....	25

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No. 1: Gráfica de diferenciales de productividad para diferentes actividades de un proyecto, y de todo el proyecto. Imagen tomada de: (ASTM E-2691: “Job Productivity Measurement”, 2016).....	19
Figura No. 2: Gráfica de diferenciales de productividad para diferentes actividades de un proyecto, y de todo el proyecto. Obtenida de: (ASTM E-2691: “Job Productivity Measurement”, 2016).....	23
Figura No. 3: Representación gráfica de la productividad medida según el método JPM. Obtenida de: (ASTM E-2691: “Job Productivity Measurement”, 2016).....	23
Figura No. 4: Señales a reconocer según las tendencias del JPM de los procesos constructivos o de un proyecto. Obtenida de: (ASTM E-2691: “Job Productivity Measurement”, 2016).....	24

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El análisis de la productividad forma parte de una buena gestión de proyectos. Éste permite monitorear el rendimiento de los recursos invertidos, con el fin de llevar a cabo un proyecto con éxito y a tiempo. Para contratistas o empresas que se dediquen a la construcción, será importante poder ser competitivos, por lo que se desea reducir costos optimizando los recursos. Además, mediante el análisis de productividad en la construcción, se pueden identificar señales de alerta tempranas sobre el rendimiento en obra de un proyecto (ASTM E-2587), con los cuales se pueden estudiar las razones por las cuales la productividad no es la esperada, ya sea que esta sea superior a la esperada, caso en el cual se busca replicar las situaciones que producen los efectos positivos, o inferior a lo previsto, en donde se deberían estudiar las causas de estos déficits productivos para evitar escenarios similares en el futuro. Con estas consideraciones, en las normativas que regulan a la construcción en el Ecuador, no se ha identificado un método estandarizado para realizar las mediciones necesarias de productividad para llevar a cabo un estudio de productividad de un proyecto.

Según los estudios realizados por la Dirección Nacional de Investigaciones y Estudios del Ecuador, en el país, entre el 2013 y el 2017, la industria de la construcción contribuyó en promedio con el 9.5% al PIB anualmente (Segundo Camino Mogro, 2018). La construcción se ubicó por debajo del sector manufacturero (11.7%), comercio (10.2%) y extracción de minera y petrolera (9.7%) (Banco Central del Ecuador, 2018). El estudio también señala que en general, el sector de la construcción ha presentado un crecimiento promedio casi nulo, siendo de apenas 0.2% anual durante el período de tiempo descrito. La inversión total promedio en la industria de la construcción fue de 6,584.6 millones de USD (Segundo Camino Mogro, 2018).

Surge así la pregunta, ¿cómo cambiar este escenario? Cuando las técnicas de mejora de la productividad se implementan con éxito en proyecto de construcción, las tareas de trabajo se completan de manera más eficiente, y esto podría conducir a reducciones en la cantidad de tiempo y dinero necesarios para completar proyectos (Yates, 2014).

1.2. Justificación

En el Ecuador, no se ha encontrado especificaciones para la medición de la productividad en la construcción, por lo que gran parte de los profesionales que trabajan en esta industria: ingenieros civiles, arquitectos y constructores, ejecutan una gestión de proyectos sin un método para el análisis de la productividad establecido, basándose únicamente en la experiencia adquirida en proyectos previamente construidos. Como consecuencia de esto, es muy común que muchos profesionales de la industria no realicen estos análisis, que pueden resultar en potenciales retrasos e incumplimientos de los cronogramas de obra. De la misma manera, mejorar la productividad de los procesos constructivos, así sea en pequeños porcentajes, puede traducirse en una reducción de costos significativa, y en una maximización de ganancias.

En el presente trabajo de titulación se explica detalladamente una guía para la medición de la productividad de la mano de obra en formato documento técnico basado en la norma ASTM E-2691: "Job Productivity Measurement".

1.3. Objetivos

Los objetivos para el presente proyecto integrador son los siguientes:

- a) Elaborar un documento guía para la medición de la productividad en la construcción.
- b) Realizar un caso de estudio a manera de ejemplo de cómo obtener datos de productividad.

1.4. Actividades a Realizar:

Las actividades que se establecieron para en este trabajo son:

- Realizar una revisión de literatura y normas existentes
- Definir la metodología propuesta para el caso de estudio.
- Obtener datos del caso de estudio y realizar análisis.
- Redactar el documento guía.

1.5. Resultados Esperados

Los resultados esperados de este trabajo de titulación son los siguientes:

- a) Documento guía para la medición de productividad.
- b) Caso de estudio con datos de medición de productividad.

1.6. Definiciones

PRODUCTIVIDAD DE LA MANO DE OBRA: Medida del trabajo ejecutado por un hombre o una cuadrilla en un intervalo de tiempo. Varía en un rango entre 0% a 100%. (Yates, 2014)

JPM (Job Productivity Measurement): Medida de productividad de los procesos constructivos de un proyecto. (ASTM E-2691: “Job Productivity Measurement”, 2016). Representa la proporción entre la cantidad de trabajo realizado medido en horas-hombre.

WBS (Work Breakdown Structure): En español, estructura de descomposición del trabajo, o “EDT”. Es una descomposición jerárquica del alcance total del trabajo que debe realizar el equipo de un proyecto para lograr los objetivos del proyecto y crear los entregables requeridos (PMI, 2017)

BLHB (Baseline Labor Hour Budget): El BLHB es un estimado del tiempo que se va a requerir para completar cualquiera de los procesos constructivos de un proyecto. Este

presupuesto se obtiene a partir de un Work Breakdown Structure (WBS). (ASTM E-2691: “Job Productivity Measurement”, 2016).

LPRP (Labor Productivity Reference Point): El LPRP representa el tiempo necesario para completar el uno por ciento (1%) de cada proceso constructivo. (ASTM E-2691: “Job Productivity Measurement”, 2016). Es un punto de referencia con los cuales los diferenciales de productividad son comparados.

2. DESARROLLO DEL TEMA

2.1.Marco Teórico

2.1.1. Productividad en la construcción

Tradicionalmente, la productividad se ha definido como la relación insumo/producto (en inglés, referido como “input/output”). El concepto de productividad implica la conversión de insumos, como mano de obra, equipos, energía, materiales o datos, a través de un proceso constructivo, en productos de bienes o servicios (Yates, 2014). En la industria de la construcción, la productividad de la mano de obra es el progreso físico real logrado con una cierta cantidad de horas trabajadas (S.P. Dozzi, 2014).

La eficiencia en la productividad de la mano de obra, puede variar en un amplio rango que va desde el 0%, cuando no se realiza actividad alguna, hasta el 100% si se presenta la máxima eficiencia teórica posible (Antonio Cano R., 2000).

2.1.2. Mejorar la productividad

La mano de obra, como uno de los componentes en el proceso productivo, aparece como una de las variables que afectan la productividad. Expertos en el tema (Yates, Lema y Price) afirman que la productividad de un proyecto está estrechamente relacionada con la productividad de la mano de obra, fenómeno que es más evidente en países en desarrollo, donde la mano de obra es ampliamente disponible y el nivel de mecanización es bajo. Si se logra mejorar la productividad de la mano de obra, la productividad de todo el proyecto mejorará también.

Según Yates, la productividad en la construcción aumenta cuando:

- Aumenta el producto y disminuye la cantidad de insumos utilizados.
- Aumenta el producto con la misma cantidad de insumos.

- Se logra el mismo producto con menos insumos.

De esta manera, conociendo las cantidades de insumos invertidos en un proyecto y cuánto se ha producido con dichas cantidades, se puede estudiar maneras para aumentar la productividad. Así, se hace necesaria la medición de la productividad de dichos procesos constructivos.

En muchos países, a nivel de industria de la construcción, la medición y monitoreo de la productividad en la construcción han resultado en mejoras en la productividad significativas. Por ejemplo, en los Estados Unidos de América, el sistema JPM (“Job Productivity Measurement”), basado en JPAC (“Job Productivity Assurance and Control”), ha resultado en un incremento en la productividad de entre el 20% al 30% (Price, 2007). Este método ha sido utilizado por más de 15 años (ASTM E-2691, 2016). De la misma manera, en Inglaterra se logró una reducción de costos de actividades de la construcción de hasta un 30%, mediante la implementación del “Construction Manufacturing Process” (Price, 2007). ¿Qué tienen en común estos países en este caso? Ambos cuentan con métodos estandarizados para la medición y análisis de la productividad en la construcción. Price y Lema sugieren en su estudio que en algunos países en desarrollo, no existe un método estandarizado para medir datos de rendimiento y productividad. Y pues, en efecto, no se ha encontrado un método estándar para medir la productividad en la construcción en el Ecuador. Si bien es cierto que en el medio existen bases de datos comerciales con índices referenciales en las que se describen los diferentes rendimientos y consumos de mano para diferentes procesos constructivos (Botero, 2002), como aquellos presentados en el Ecuador por la Cámara de la Industria de la Construcción CAMICON, que resultan muy útiles en estimar costos referenciales, su utilización puede estar condicionada y limitada por varios factores, entre los que se destaca que:

- Cada proyecto es diferente, y se desarrollan en condiciones variables.

- La productividad de la mano de obra es variable, y puede verse afectada por diversos motivos.

Tras estudiar más de 40 proyectos en el Reino Unido y Tanzania, Price y Lema (2007) han encontrado que la variabilidad de la productividad en la construcción en varias obras en países en desarrollo fue mucho más variable (46-100%) en comparación con aquella encontrada para proyectos en países desarrollados como los mencionados anteriormente (5-35%). Concluyen entonces que éste es un indicador del gran potencial de mejora de la productividad para aquellos países en desarrollo.

Dicho todo esto, resulta interesante entonces pensar en una metodología estándar para medir la productividad de cada proyecto, poder monitorearla e identificar cualquier situación que afecte positiva o negativamente a la productividad, para recrear las situaciones favorables y evitar las desfavorables en proyectos futuros. Este proyecto integrador también busca que el método estandarizado propuesto se convierta en un punto de partida para la recolección de datos en forma normalizada, según las necesidades de los contratistas o empresas dedicadas a la construcción.

2.1.3. Métodos y normas existentes

Se analizaron varias metodologías de Estados Unidos y Colombia, con el fin de verificar si disponen de un método estandarizado para la medición de la productividad de la construcción. En Estados Unidos de América, hay varias normas publicadas por la ASTM que buscan regular la toma de datos y el análisis de la productividad. Entre éstos, se decidió estudiar el método propuesto por la norma ASTM E-2691: “Job Productivity Measurement” debido a que éste permite calcular y monitorear la productividad de la construcción a lo largo de los proyectos, y toma en cuenta la dificultad de los procesos constructivos y los posibles cambios en el cronograma. Por otra parte, se analiza también el método propuesto por la Cámara Colombiana de la Construcción, CAMACOL, de rendimientos y consumos de mano

de obra para calcular la productividad de la mano de obra, pues éste considera los factores que pueden afectar al rendimiento en obra y enlista los datos necesarios para diseñar formularios para la toma de datos en obra. A continuación, se describen el funcionamiento y los aspectos mas relevantes para este trabajo de ambos métodos, pues se consideraron importantes para el desarrollo del método y el formulario de toma de datos que se proponen en este proyecto integrador

2.2. ASTM E-2691: “Job Productivity Measurement”

La norma ASTM E 2691: “Job Productivity Measurement” (2016) detalla un método estandarizado para la medición la productividad promedio y de diferenciales de productividad de la construcción de manera periódica, a lo largo de toda la duración de un proyecto de construcción, tanto de los procesos constructivos que comprenden al proyecto como de todo proyecto. El método se denomina “Job Productivity Measurement”, o por sus siglas en inglés, “JPM”, y consiste en calcular la relación de producción por unidad de entrada; en otras palabras, cuánto trabajo se produjo por cantidad de horas de trabajo. Además, el método JPM genera señales de alerta tempranas sobre el desempeño de un proyecto. Se miden los cambios en la productividad, las tendencias y las anomalías que se pueden presentar en un sitio de trabajo de construcción, lo que permite a los contratistas, gerentes de proyecto, supervisores y capataces hacer un plan de mejora de la productividad a medida que se desarrolla el proyecto de construcción (ASTM E-2691, 2016).

El método de JPM propone los siguientes pasos a seguir (ASTM E-2691, 2016):

1. Establecer un presupuesto de horas laborales (BLHB) para el proyecto a ser evaluado.
2. Evaluar el BLHB según el nivel de detalle.
3. Establecer el punto de referencia de productividad (LPRP).
4. Cálculo y seguimiento del JPM del proyecto.

5. Reportar el diferencial de productividad de JPM y comparar los valores obtenidos con las señales de control para de causas especiales que impactan en la productividad.

Los parámetros enumerados anteriormente se discuten en a continuación. Se debe mencionar que, para evitar confusiones, las ecuaciones presentadas a continuación respetan la notación de la norma. Se enumeran los términos escritos en inglés con su respectiva traducción, en concordancia con el contexto:

- Task: Tarea
- Cost code: Rubros
- Job: Proyecto
- Observed%Complete: Porcentaje completado observado

2.2.1. Baseline Labor Hour Budget, BLHB

El BLHB es un estimado del tiempo que se va a requerir para completar cualquiera de los procesos constructivos de un proyecto. Este presupuesto se obtiene a partir de una Estructura de Descomposición del Trabajo (EDT), Work Breakdown Structure (WBS) en inglés, basado en la clasificación estandarizada UNIFORMAT II (clasificación descrita en la norma ASTM E1557).

De la Estructura de Desglose del Trabajo, se obtienen los BLHB de los “tasks”. Para calcular el BLHB de cada “cost code”, se utiliza la siguiente ecuación:

$$BLHB_{CostCode} = \sum_{task} BLHD_{Task} \quad (1)$$

Para calcular el BLHB del proyecto, se utiliza la siguiente ecuación:

$$BLHB_{Job} = \sum_{Costcodes} BLHD_{CostCode} \quad (2)$$

En la Figura 1 se muestra cómo luce una sección de un WBS para un proyecto “ABC”

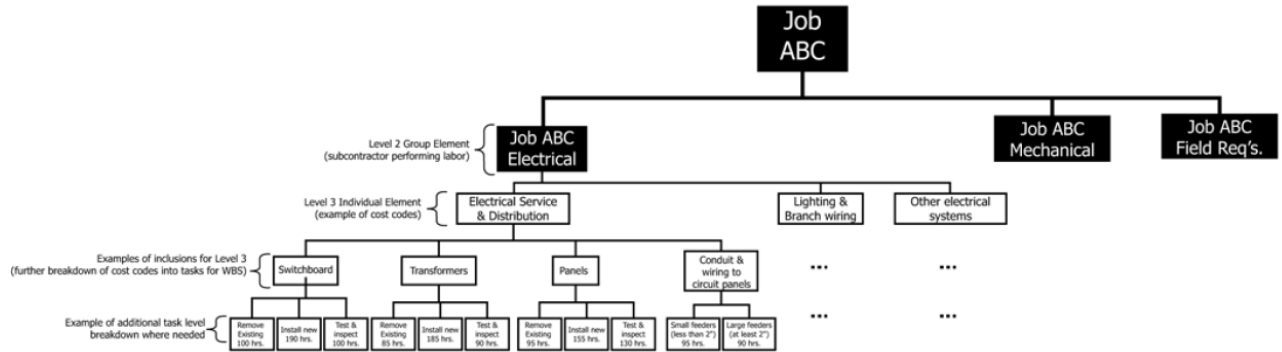


Figura No. 1: Gráfica de diferenciales de productividad para diferentes actividades de un proyecto, y de todo el proyecto. Imagen tomada de: (ASTM E-2691, 2016)

La Tabla 1 muestra una sección del UNIFORMAT II, con los diferentes niveles de clasificación de los procesos constructivos. Entre éstos, se muestran los niveles 1, 2 y 3, y cada nivel proporciona mayor detalle de los procesos constructivos en cuestión.

Level 1 Major Group Elements	Level 2 Group Elements	Level 3 Individual Elements
A SUBSTRUCTURE	A10 Foundations	A1010 Standard Foundations A1020 Special Foundations A1030 Slab on Grade
	A20 Basement Construction	A2010 Basement Excavation A2020 Basement Walls
B SHELL	B10 Superstructure	B1010 Floor Construction B1020 Roof Construction
	B20 Exterior Enclosure	B2010 Exterior Walls B2020 Exterior Windows B2030 Exterior Doors
	B30 Roofing	B3010 Roof Coverings B3020 Roof Openings
C INTERIORS	C10 Interior Construction	C1010 Partitions C1020 Interior Doors C1030 Fittings
	C20 Stairs	C2010 Stair Construction C2020 Stair Finishes
	C30 Interior Finishes	C3010 Wall Finishes C3020 Floor Finishes C3030 Ceiling Finishes
D SERVICES	D10 Conveying	D1010 Elevators & Lifts D1020 Escalators & Moving Walks D1090 Other Conveying Systems
	D20 Plumbing	D2010 Plumbing Fixtures D2020 Domestic Water Distribution D2030 Sanitary Waste D2040 Rain Water Drainage D2090 Other Plumbing Systems
	D30 HVAC	D3010 Energy Supply D3020 Heat Generating Systems D3030 Cooling Generating Systems D3040 Distribution Systems D3050 Terminal & Package Units D3060 Controls and Instrumentation D3070 Systems Testing & Balancing D3090 Other HVAC Systems & Equipment
	D40 Fire Protection	D4010 Sprinklers D4020 Standpipes D4030 Fire Protection Specialties D4090 Other Fire Protection Systems
	D50 Electrical	D5010 Electrical Service & Distribution D5020 Lighting and Branch Wiring D5030 Communications & Security D5090 Other Electrical Systems
E EQUIPMENT & FURNISHING	E10 Equipment	E1010 Commercial Equipment E1020 Institutional Equipment E1030 Vehicular Equipment E1090 Other Equipment
	E20 Furnishings	E2010 Fixed Furnishings E2020 Movable Furnishings
F SPECIAL CONSTRUCTION & DEMOLITION	F10 Special Construction	F1010 Special Structures F1020 Integrated Construction F1030 Special Construction Systems F1040 Special Facilities F1050 Special Controls and Instrumentations
	F20 Selective Building Demolition	F2010 Building Elements Demolition F2020 Hazardous Components Abatement

Tabla No. 1: Sección de UNIFORMAT II: niveles de clasificación en orden jerárquico: (ASTM E-2691, 2016)

2.2.2. Evaluación del BLHB según el nivel de detalle

Los procesos constructivos correspondientes a la clasificación más fina del proyecto, “tasks”, no pueden representar más de un 2.5% del proyecto. Debido a que el trabajo producido es medido por observación física de los “tasks”, será complicado medir procesos constructivos con ese nivel de impacto en el proyecto. La norma recomienda dividir a estos “task” en tareas más pequeñas. Así, se puede cuantificar más fácilmente el progreso de los procesos constructivos que están siendo medidos.

Para calcular cuánto representa cada “task” en el proyecto, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{BLHB Task Weight per Cost Code} = \frac{\text{BLHB}_{\text{Task}}}{\text{BLHB}_{\text{CostCode}}} \quad (3)$$

Para calcular cuánto representa cada “task” en el proyecto, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{BLHB Task Weight per Job} = \frac{\text{BLHB}_{\text{Task}}}{\text{BLHB}_{\text{Job}}} \quad (4)$$

2.2.3. Labor Productivity Reference Point

El LPRP es un punto de referencia de productividad, y representa el tiempo necesario para completar un 1% de cada proceso constructivo. Según el WBS, la duración de cada proceso constructivo es dividido entre 100. Los valores de productividad a ser calculados serán comparados con este punto de referencia para saber si se está siendo más productivo o no.

$$\text{LPRP}_{\text{CostCode}} = \frac{\text{BLHB}_{\text{CostCode}}}{100} \quad (5)$$

$$\text{LPRP}_{\text{Job}} = \sum_{\text{tasks}} \left(\text{LPRP}_{\text{CostCode}} \times \frac{\text{BLHB}_{\text{CostCode}}}{\text{BLHB}_{\text{Job}}} \right) \quad (6)$$

2.2.4. Cálculo y monitoreo de JPM

Para calcular el JPM, se debe medir el progreso de los procesos constructivos en obra y el tiempo que fue invertido para alcanzar el nivel de terminación que se ha medido. Se compara el tiempo invertido con el tiempo estimado en el BLHB para cada proceso constructivo, y se calcula un valor de productividad actual. Con los valores de productividad

actual y el punto de referencia LPRP, se calculan los diferenciales de productividad, con los cuales se puede conocer si los procesos constructivos o el proyecto están avanzando según lo planeado, mas rápido, o están demorados.

Para calcular el “Observed%Complete” de cada “Cost code”, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Observed\%Complete}_{\text{CostCode}} = \sum_{\text{TasksforCostCodes}} (\text{Observed\%Complete}_{\text{CostCode}} \times \text{BLHBTaskWeightPerCostCodes}) \quad (7)$$

Para calcular la productividad actual de cada “Cost code”, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Current Productivity}_{\text{CostCode}} = \frac{\text{Labor Hours expended}_{\text{CostCode}}}{\text{Observed\%Complete}_{\text{CostCode}}} \quad (8)$$

Para calcular el diferencial de cada “Cost code”, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Productivity Differential}_{\text{CostCode}} = \frac{(\text{LPRP}_{\text{CostCode}} - \text{Current Productivity}_{\text{CostCode}})}{\text{LPRP}_{\text{CostCode}}} \quad (9)$$

Finalmente, para calcular el diferencial de productividad de todo el proyecto, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Productivity Differential}_{\text{Job}} = \sum_{\text{CostCodes}} (\text{Productivity Differential}_{\text{CostCode}} \times \text{BLHBCostCodeWeight}) \quad (10)$$

2.2.5. Reporte

Los valores de productividad calculados utilizando el método de JPM se deben reportar regularmente. Mediante representaciones gráficas de los resultados, la interpretación de los resultados es sencilla. Se puede observar cómo se comporta la productividad de los

procesos constructivos o del proyecto a lo largo del tiempo. La Figura 2 presenta cómo luce la productividad de varios procesos constructivos de un proyecto y del proyecto para un periodo de tiempo, dividido en intervalos de tiempo regulares.

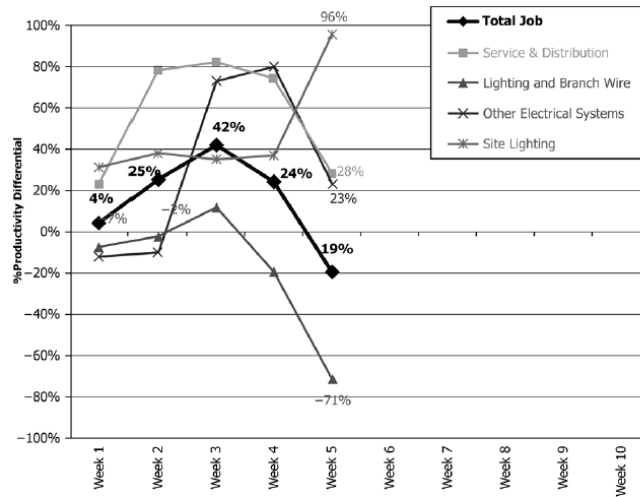


Figura No. 2: Gráfica de diferenciales de productividad para diferentes actividades de un proyecto, y de todo el proyecto. Obtenida de: (ASTM E-2691, 2016)

La Figura 3 presenta el significado de que un diferencial de productividad de un “Cost code” o del proyecto sea positivo o negativo, de manera gráfica.

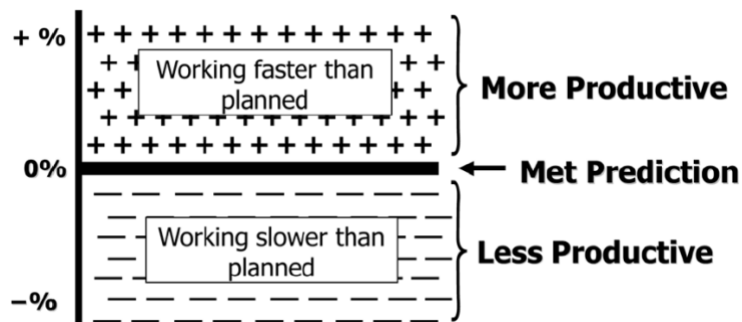


Figura No. 3: Representación gráfica de la productividad medida según el método JPM. Obtenida de: (ASTM E-2691, 2016)

Además, se pueden comparar los resultados con las señales de control propuestas, concordancia con la norma (ASTM E-2587), para identificar si existen situaciones especiales

que afecten a la productividad. En la Figura 4, se presentan las señales de control utilizadas en este método:

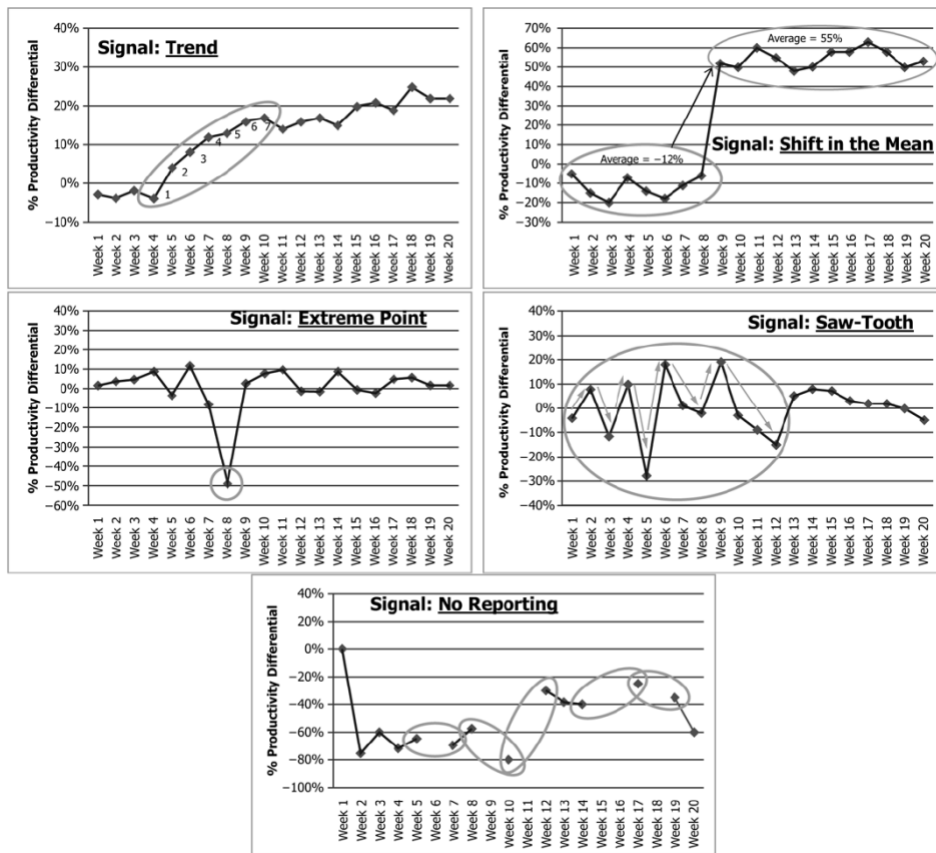


Figura No. 4: Señales a reconocer según las tendencias del JPM de los procesos constructivos o de un proyecto. Obtenida de: (ASTM E-2691, 2016)

2.3.Método de rendimientos y consumos de mano de obra

La metodología propuesta por los Antonio Cano y Gustavo Duque en Colombia, a cargo de la CAMACOL, busca medir la cantidad de recurso humano consumido para elaborar una cantidad unitaria de cualquier actividad de control (Antonio Cano R., 2000). Este método permite evaluar el costo de la mano de obra para realizar un presupuesto, comparar los consumos obtenidos con los de otras regiones, y realizar estudios anticipados de métodos para mejorar la productividad de la construcción. Este método describe los factores

que pueden afectar a la productividad en la construcción, y enlista los datos más importantes a considerar para la toma de datos en obra.

2.3.1. Factores que afectan a la productividad

El método de la CAMACOL reconoce que cada proyecto es diferente y las condiciones entre diferentes proyectos suelen ser variables (Botero, 2002). Basándose en el libro de John S. Page, “Estimator's general construction man-hour”, se categorizan las razones por las que la productividad de la mano de obra puede verse afectada entre un proyecto y otro (Page, 1997):

1	Economía general
2	Aspectos laborales
3	Clima
4	Actividad
5	Equipamiento
6	Supervisión
7	Trabajador

Tabla No. 2: Factores que afectan la productividad de la mano de obra. Adaptación de los Ingenieros Antonio Cano R y Gustavo Duque V, al medio colombiano del manual “Estimator’s general construction man-hour” de John S. Page. (Botero, 2002).

- **Economía general**

Tendencias y resultados de negocios en general, volumen de la construcción, y situación de empleo

- **Aspectos laborales**

Tipo de contrato, sindicalismo, incentivos, salarios y ambiente de trabajo.

- **Clima**

Estado del tiempo, temperatura, condiciones del suelo y cubierta.

- **Actividad**

Grado de dificultad, riesgo, discontinuidad, orden y aseo, actividades anteriores, tipicidad y espacio.

- **Equipamiento**

Herramientas, equipos, suministro y elementos de seguridad

- **Supervisión**

Instrucción, seguimiento, experiencia y gestión de calidad

- **Trabajador**

Situación personal, ritmo de trabajo, habilidad, conocimientos, desempeño y actitud hacia el trabajo

2.3.2. Información indispensable para un formulario de toma de datos

Este método enumera algunos parámetros considerados esenciales para la toma de datos en obra para la medición de productividad en la construcción. Entre estos, tenemos (Antonio Cano R., 2000):

- **Actividad**

Se debe describir la actividad a ser analizada, con sus respectivas tareas y las unidades de medición correspondientes.

- **Obra**

Se debe identificar la obra a la que pertenecen los procesos constructivos siendo observados.

- **Encuestador**

Se debe identificar el nombre de la persona que toma los datos

- **Tiempo consumido**

Grado de dificultad, riesgo, discontinuidad, orden y aseo, actividades anteriores, tipicidad y espacio.

- **Cantidad de obra**

El formulario debe permitir registrar el tiempo trabajado. Una estrategia para obtener estos valores es registrando la hora de entrada y salida de los obreros.

2.4. Guía para la medición de la productividad en la construcción

En cumplimiento con el literal a) de la sección 1.2, se procedió a elaborar un documento técnico a manera de guía para la medición de la productividad en el Ecuador. En el Anexo A se presenta este documento técnico, a manera de capítulo de libro, para la medición de la productividad en la construcción, basado en la norma ASTM E2691: “Job Productivity Measurement”-16, de la cual se adapta el método a la realidad ecuatoriana, utilizando los rubros referenciales presentados por la CAMICON para clasificar los procesos constructivos de un proyecto. Se adaptaron los parámetros al español, y en algunos casos, se proponen nombres diferentes, pero que hacen referencia al mismo cálculo. De la misma manera, se adaptan las ecuaciones a la metodología propuesta, para que éstas estén en concordancia con la terminología propuesta. Del método para la medición de productividad de la CAMACOL, se recomienda considerar la información clasificada como indispensable para la toma de datos en obra. Cualquier formulario o plantilla para la recolección de información que vaya a ser utilizado, debe contener los campos enumerados en este proyecto en la sección 2.3.2.

2.5. Ejemplo de medición de la productividad de un proyecto

Para entender cómo aplicar la metodología propuesta, se procedió a realizar un ejemplo práctico de medición de la productividad de un proyecto. El proyecto seleccionado fue una vivienda de una planta, que pertenece a un proyecto mas grande, una urbanización en la

ciudad de Manta, Ecuador, que está siendo desarrollado por el constructor Jorge Zambrano.

Los criterios para seleccionar este proyecto son los siguientes:

- Tiempo
- Experiencia del constructor

Ya que el proyecto es pequeño, fue posible obtener datos en obra de algunas actividades en un intervalo de tiempo relativamente corto. Este proyecto resulta bastante útil para este estudio, pues la vivienda que se estaba construyendo era bastante similar al resto, y se trabajó con el mismo grupo de obreros. Se tenía una clara idea de cuanto tomaría cada fase del proyecto debido a la repetición de los procesos constructivos a realizarse (Botero, 2002). En el Anexo B se presenta la implementación de la medición de la productividad para este proyecto.

3. CONCLUSIONES

3.1. Conclusiones

En el Ecuador, muchos de los ingenieros y constructores en general no realizan una medición de la productividad en sus proyectos, y como se pudo apreciar en las investigaciones, esto puede deberse principalmente a que no existe un documento que proponga un método estandarizado para hacerlo. Esta práctica se traduce en beneficios para el constructor, cómo ser más competitivo y reducir la cantidad de recursos utilizados, especialmente la mano de obra, que representará una gran reducción en los costos. Basándose en métodos que se utilizan en otros países, se ha logrado proponer una metodología para la medición de la productividad de la construcción, que sirve como punto de partida para una obtención de valores de productividad estandarizada basada en la norma _____ que utiliza la metodología de Job Productivity Measurement JPM y que se ajusta a las necesidades del usuario. Con este método, se puede visualizar la productividad tanto de los procesos constructivos como del proyecto, y se puede detectar anticipadamente escenarios favorables o desfavorables, para repetirlos o evitarlos en proyectos futuros. En el presente proyecto se presentó un documento técnico a manera de guía con la metodología a utilizar para la medición de la productividad, y además se presentó un ejemplo de cómo realizar las mediciones, aplicado a un proyecto de construcción de residencias en la ciudad de Manta.

3.2. Recomendaciones

Tras la realización del presente proyecto integrador, a futuro se recomienda lo siguiente:

- a) Es importante medir la productividad en la construcción porque es una herramienta útil tanto para constructores e investigadores.

- b) A los constructores, se recomienda aplicar el método desde el inicio del proyecto, para poder analizar la información a tiempo y evitar retrasos o costos adicionales.
- c) A los investigadores, se recomienda escalar el método a un nivel industrial, para poder generar una base de datos de la productividad de los diferentes procesos constructivos, y de los diferentes tipos de proyectos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI 360. (2016). Guide to Design of Slabs-on-Ground. *ACI Committe 360*, 7.
- Antonio Cano R., G. D. (2000). *Rendimientos y consumos de mano de obra*. Antioquia.
- ASTM E-2587. (s.f.). *Practice for Use of Control Charts in Statistical Process Control*. ASTM International.
- ASTM E-2691: "Job Productivity Measurement". (2016). *Standard Practice for Job Productivity Measurement*. ASTM international.
- Botero, L. F. (2002). *Análisis de Rendimientos y consumos de mano de obra en actividades de construcción*. Medellín: Revista EAFIT.
- CAMICON. (2019). CONSTRUCCIÓN. *Revista de la camara de la industria de la construcción*. Quito.
- Page, J. S. (1997). *Estimator's general construction man-hour*. Houston: Gulf Publishing company.
- Price, N. M. (2007). Construction process performance variability: Focus on labour productivity. *Building Research & Information*, 339-350.
- S.P. Dozzi, P. &. (2014). Productivity in Construction. *NRC Construction*, 1.
- Segundo Camino Mogro, N. B. (2018). *Productividad en la industria ecuatoriana de la construcción*. Quito: Superintendencia de compañías, valores y seguros. Dirección nacional de investigación y estudios.
- Yates, J. (2014). *Productivity Improvement for Construction and Engineering: Implementing Programs That Save Money and Time*. Reston, Virrginia: ASCE Press.

**ANEXO A: BORRADOR DE CAPÍTULO: MEDICIÓN DE LA
PRODUCTIVIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN**

**MEDICIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD EN LA
CONSTRUCCIÓN**

Gonzalo Farid Saud Medina

Juan José Recalde Rosero

CONTENIDO

1. Generalidades.....	37
2. Introducción.....	37
3. Definiciones.....	37
4. Clasificación de los procesos constructivos de un proyecto.....	38
4.1 Proyecto.....	39
4.2 Actividades.....	39
4.3 Tareas.....	40
5. Presupuesto de horas, t.....	45
5.1 Contribución de las tareas y actividades en el proyecto.....	46
6. Punto de referencia, R.....	47
7. Cálculo de la productividad actual P y diferencial de productividad ΔP	48
7.1 Actividades.....	49
7.2 Proyecto.....	50
8. Reporte.....	50
8.1 Señales de control.....	52
9. Referencias.....	57

Índice de figuras

Figura 1: Clasificación de procesos constructivos de un proyecto, adaptando la estructura de EDT/WBS utilizada en la norma: (ASTM E-2691: “Job Productivity Measurement”, 2016)	39
Figura 2: Rubros referenciales, según la CAMICON, página 89. (CAMICON, 2019)	42
Figura 3: Diferenciales de productividad ΔP de actividades y proyecto a lo largo del tiempo.....	52
Figura 4: Señal de control 1, Tendencia de los diferenciales de productividad ΔP	53
Figura 5: Señal de control 2, Cambios en la media de los diferenciales de productividad ΔP	53
Figura 6: Señal de control 3, Valores extremos de los diferenciales de productividad ΔP	54
Figura 7: Señal de control 4, Valores alternantes de los diferenciales de productividad ΔP	55
Figura 8: Falta de información de los diferenciales de productividad ΔP	55

Índice de tablas

Tabla 1: Unidades de medición de diferentes tareas correspondientes a actividades en un proyecto. (CAMICON, 2019)	49
Tabla 2: Hoja de resumen realizada siguiendo el método propuesto, calculadas en un momento específico.	51

1. Generalidades

2. Introducción

En este capítulo se presentan los requerimientos y ecuaciones que deben ser aplicados para la medición de la productividad en la construcción, según el método propuesto basado en la norma ASTM E 2691: "Job Productivity Measurement"-16.

3. Definiciones

PRODUCTIVIDAD DE LA MANO DE OBRA

Medida del trabajo ejecutado por un hombre o una cuadrilla en un intervalo de tiempo. Varía en un rango entre 0% a 100%. (Yates, 2014)

JPM (Job Productivity Measurement)

Medida de productividad de los procesos constructivos de un proyecto. (ASTM E-2691, 2016). Representa la proporción entre la cantidad de trabajo realizado medido en horas hombre.

WBS (Work Breakdown Structure)

En español, estructura de descomposición del trabajo, o "EDT". Es una descomposición jerárquica del alcance total del trabajo que debe realizar el equipo de un proyecto para lograr los objetivos del proyecto y crear los entregables requeridos (PMI, 2017)

BLHB (Baseline Labor Hour Budget)

El BLHB es un estimado del tiempo que se va a requerir para completar cualquiera de los procesos constructivos de un proyecto. Este presupuesto se obtiene a partir de un Work Breakdown Structure (WBS). (ASTM E-2691, 2016).

LPRP (Labor Productivity Reference Point)

El LPRP representa el tiempo necesario para completar el uno por ciento (1%) de cada proceso constructivo. (ASTM E-2691, 2016). Es un punto de referencia con los cuales los diferenciales de productividad son comparados.

PRESUPUESTO DE HORAS (t)

Presupuesto de horas de mano de obra, definido al inicio de un proyecto. Es un estimado de cuánto tiempo se va a invertir para completar cada proceso constructivo de un proyecto. Basado en el concepto de BLHB de la norma ASTM E-2691: "Job Productivity

Measurement”.

POERCENTAJE COMPLETADO (%C)

Número en porcentaje del trabajo completado, basado en observación física. Representa el porcentaje de avance de una tarea, actividad o de todo el proyecto. (ASTM E-2691, 2016) Un 0% significaría que el trabajo no ha iniciado. Se alcanza un 100% de %C cuando el trabajo para una tarea, actividad o proyecto se ha completado totalmente.

PUNTO DE REFERENCIA (R)

Valor calculado que representa el tiempo necesario para completar el uno por ciento (1%) de cada actividad, o del proyecto, basado en el presupuesto de horas “t”. Es un punto de referencia al cual se comparan los valores de productividad calculados. (ASTM E-2691, 2016). Basado en el concepto de LPRP de la norma ASTM E-2691: “Job Productivity Measurement”.

DIFERENCIAL DE PRODUCTIVIDAD (ΔP)

En este contexto, es una medida de la diferencia porcentual entre el punto de referencia “R” y la productividad actual “P” calculada para un marco de tiempo definido. (ASTM E-2691, 2016)

SEÑALES DE CONTROL

En construcción, se considera una señal de control a cualquier serie de datos que indiquen una desviación del progreso laboral esperado en relación con el trabajo, los materiales o las finanzas, e indica anomalías en el lugar de trabajo para el contratista, gerente de proyecto o supervisor de trabajo (ASTM E-2691, 2016).

4. Clasificación de los procesos constructivos de un proyecto

Esta sección especifica las consideraciones a tomar en cuenta para la clasificación de los procesos constructivos a realizarse en un proyecto. Se propone una clasificación jerárquica compatible con la metodología de medición y cálculo de productividad. De manera general, se desea clasificar a los procesos constructivos en tareas, actividades, y proyecto. Una actividad será un grupo de tareas, y la obra estará comprendida por todas las actividades a completarse.

La **Figura 1** es una ilustración sobre cómo propone agrupar y clasificar a los procesos constructivos de un proyecto.

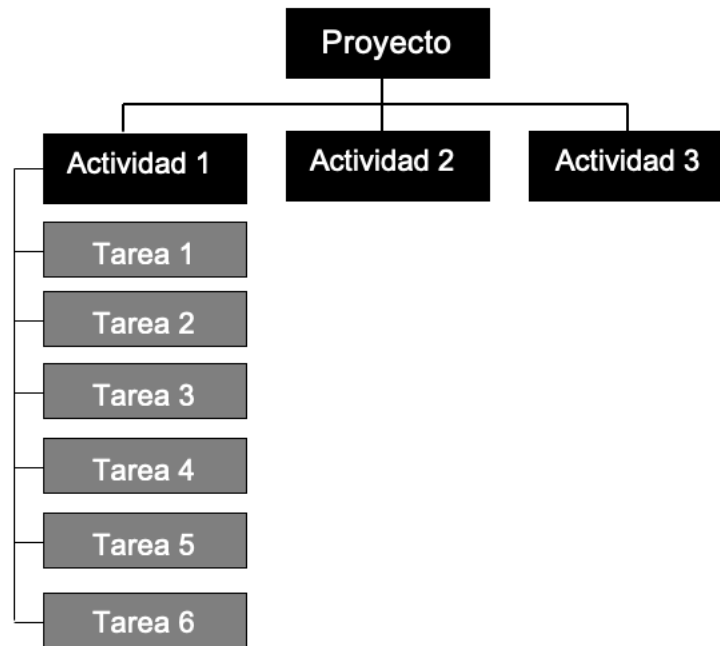


Figura 1: Clasificación de procesos constructivos de un proyecto, adaptando la estructura de EDT/WBS utilizada en la norma: (ASTM E-2691, 2016)

4.1 Proyecto

El conjunto de todos los procesos constructivos componen a un proyecto. Un proyecto ha de ser cualquier obra civil que involucre construcción. La norma AISC reconoce dos tipos de proyectos: edificaciones y otros. Los proyectos categorizados como “edificaciones” son aquellos se construyen para estar ocupados constantemente. Entre éstos, se pueden identificar a: urbanizaciones, edificios, entre otros. Los proyectos categorizados como “otros” son aquellos que no se construyen para estar ocupados constantemente: carreteras, túneles, puentes, y proyectos similares.

4.2 Actividades

Un proyecto estará compuesto por varias paquetes de trabajo según la EDT. Para hacer uso de la estructura descrita en la sección 4, se propone que se consideren como actividades a los capítulos de un proyecto, según la clasificación de la CAMICON de costos directos, en la sección de rubros referenciales (CAMICON, 2019). A continuación, se presenta una lista de actividades que un proyecto de edificación o vivienda puede tener:

- Auxiliares
- Obras preliminares
- Desarmados, derrocamientos y desalojos
- Movimientos de tierra
- Estructura

- Encofrados de elementos estructurales
- Albañilería
- Recubrimientos
- Carpintería
- Cielo raso
- Cubiertas
- Instalaciones hidrosanitarias
- Instalaciones eléctricas
- Telecomunicaciones
- Cableado estructurado
- Seguridad electrónica
- Sistema contra incendios
- Obras exteriores
- Infraestructura

Estas actividades engloban a la mayoría de procesos constructivos que comúnmente son parte de los proyectos en el Ecuador, y que están compuestos a su vez por el desglose de rubros que lo componen. Ya que todos los proyectos son diferentes, éstos pueden incluir otras actividades no presentes en la lista anterior. Se pueden añadir las actividades que sean necesarias en la clasificación de un proyecto. Un contratista o empresa constructora podrá tener sus actividades preestablecidas a su conveniencia.

4.3 Tareas

Las tareas serán aquellos procesos constructivos que, en conjunto, conformen a una actividad. Corresponden al orden de clasificación más fino. Se propone que se consideren como tareas a los rubros de un proyecto (CAMICON, 2019). A continuación, se enlistan algunas tareas que suelen ser parte de un proyecto:

Actividad: Movimientos de tierra

- Excavaciones
- Rellenos

Actividad: Estructura

- Hormigón
- Acero
- Alivianamientos

Actividad: Albañilería

- Detalles y mampostería
- Enlucidos y masillados

- Contrapisos y masillados

Actividad: Carpintería

- Carpintería metálica / vidrios
- Carpintería en madera

La **Figura 2** muestra una sección de la revista CONSTRUCCIÓN de la CAMICON, en donde se detallan los capítulos de un proyecto con sus rubros correspondientes.

Las imágenes presentadas fueron tomadas de la sección de Rubros Referenciales de la revista publicada en noviembre del 2019. Aquellos rubros que presenten un punto rojo al lado izquierdo, es porque son nuevos o han sido actualizados (CAMICON, 2019).

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MATERIALES	MANO DE OBRA	EQUIPO	COSTO DIRECTO
8 RECURRIMIENTOS					
8.01 RECURRIMIENTOS EN PISOS					
8.0101 ALFOMBRERA TIPO RESIDENCIAL	m2	24,17	2,03	0,10	26,30
8.0102 BALDOSA DE GRANITO FONDO GRIS	m2	46,51	5,70	4,61	56,82
8.0103 BALDOSA DE GRES 30X30CM	m2	22,04	5,34	0,43	27,81
8.0104 BARREDERA DE CAUCHO H= 8CM	m	0,96	2,03	0,10	3,11
8.0105 BARREDERA DE SEIKE LACADA H= 6CM	m	6,27	2,33	0,12	8,72
8.0106 BARREDERA DE PISO FLOTANTE H= 8CM	m	5,75	1,90	0,10	7,75
8.0107 BARREDERA DE PORCELANATO H= 10CM	m	4,58	3,27	0,16	8,01
8.0108 CERÁMICA NACIONAL PARA PISOS 30X30CM	m2	17,22	5,33	0,80	23,35
8.0109 DUELA DE EUCALIPTO A=12CM Y E=2CM, FULIDO LACADO	m2	26,13	11,40	1,95	39,48
8.0110 ENCEMENTADO EXTERIOR, MORTERO 1:3, E= 3CM	m2	3,02	7,25	0,36	10,63
8.0111 IMPERMEABILIZACIÓN CON PINTURA EPOXICA	m2	14,94	1,52	0,08	16,54
8.0112 IMPERMEABILIZACIÓN PARA TERREZA VERDE	m2	41,43	9,88	0,49	51,80
8.0113 TABLON DE SEIKE 4X23 CM	m2	66,19	13,41	10,63	90,23
8.0114 PISO DE BAMBÚ DE 1200	m2	91,36	4,56	2,45	98,37
8.0115 PINTURA PARA PISO (INTERIOR GARAJE ALTO TRÁFICO)	m2	16,91	16,77	0,84	34,52
8.0116 PINTURA IMPERMEABILIZANTE PISOS EXTERIORES	m2	22,59	2,79	0,16	25,54
8.0117 PISO FLOTANTE 8 MM (PROCEDENCIA ALEMÁN)	m2	18,61	1,26	0,24	20,11
8.0118 PORCELANATO LÍQUIDO	m2	5,78	5,10	0,77	11,65
8.0119 PORCELANATO NACIONAL EN PISO DE 50X50CM	m2	30,51	6,08	0,90	37,49
8.0120 TEJUELO	m2	14,65	6,77	0,34	21,76
8.0121 VINIL RESIDENCIAL 2,5 MM	m2	9,14	3,04	1,35	13,53
8.0122 MARMOL EN GRADAS , ESCALÓN 18X30CM	m	138,14	6,94	0,56	145,64
8.02 RECURRIMIENTOS EN PAREDES					
8.0201 CERÁMICA EN PARED 20X30 CM	m2	13,05	4,63	0,23	17,91
8.0202 EMPASTE EXTERIOR	m2	1,88	1,90	0,12	3,90
8.0203 EMPASTE INTERIOR	m2	0,69	1,52	0,10	2,31
8.0204 ESTUCO VENEZOLANO	m2	9,09	10,62	0,63	20,34
8.0205 FACHADA DE ALUMINIO COMPUESTO 4MM	m2	51,72	15,71	1,22	68,65
8.0206 FACHADA DE PIEDRA DECORATIVA (FACHALETA)	m2	28,91	12,16	0,82	41,89
8.0207 GRAFIADO EN PARED	m2	3,96	2,50	0,15	6,61
8.0208 PAREDES DE GYPSUM 1/2" DOBLE CARA	m2	16,66	11,22	0,67	28,55
8.0209 PAREDES DE GYPSUM 1/2" UNA CARA	m2	8,33	6,73	0,41	15,47
8.0210 PINTURA DE CAUCHO CIELO RASO, LÁTEX VINILO ACRILICO H=2,50M	m2	2,03	1,90	0,15	4,08
8.0211 PINTURA DE CAUCHO CIELO RASO, LÁTEX VINILO ACRILICO H=5,00M	m2	2,03	2,28	0,23	4,54
8.0212 PINTURA DE CAUCHO EXTERIOR, LÁTEX VINILO ACRILICO	m2	1,11	1,52	0,14	2,77
8.0213 PINTURA DE CAUCHO INTERIOR, LÁTEX VINILO ACRILICO	m2	1,11	1,14	0,09	2,34
8.0214 PINTURA ELASTOMERICA (2 MANOS) SIN TEXTURA	m2	6,91	2,79	0,18	9,88
8.0215 PINTURA ESMALTE / REJAS DE HIERRO CON EQUIPO COMPRESOR DE AIRE	m2	2,20	2,77	0,41	5,38
8.0216 PINTURA ESMALTE EN PAREDES CON EQUIPO COMPRESOR DE AIRE	m2	3,97	2,77	0,41	7,15
8.0217 PINTURA PARA CERÁMICA DE BAÑOS	m2	5,82	2,89	0,15	8,86
8.0218 PINTURA PARA CUBIERTA DE FERRO-CEMENTO	m2	3,08	3,04	0,20	6,32
9 CARPINTERÍA					
9.01 CARPINTERÍA METÁLICA / VIDRIOS					
9.0101 BALCÓN EN ACERO INOXIDABLE Y VIDRIO TEMPLADO 10 MM	m	190,46	11,40	2,27	204,13
9.0102 COLOCACIÓN DE BARRAS DE APOYOS EN BAÑOS	u	209,95	15,20	2,96	228,11
9.0103 CORTINA DE BAÑO VIDRIO TEMPLADO 6MM	m2	73,35	22,41	7,48	103,24
9.0104 DIVISIÓN DE VIDRIO PARA OFICINA	m2	27,01	9,27	2,28	38,56
9.0105 PASAMANO DE ACERO INOXIDABLE 2" Y VIDRIO TEMPLADO 10 MM	m	171,85	11,40	3,15	186,40
9.0106 PASAMANO DE HIERRO (C/MANGÓN MADERA)	m	60,83	11,40	5,56	77,79
9.0107 PUERTA DE ALUMINIO Y VIDRIO 6 MM (INCL. CERRADURA)	m2	94,46	26,60	1,33	122,39
9.0108 PUERTA DE MALLA GALVANIZADA 50/10 CON TUBO POSTE 2"	m2	25,39	16,44	5,82	47,65
9.0109 PUERTA DE TOOL Y VIDRIO	m2	31,41	10,75	2,99	45,15
9.0110 PUERTA DE TOOL DE GARAJE PANELADA COLOR GRIS MATE CON PLANCHA DE 3MM. DIMENSIONES DE 3M. X 2,10M	u	757,27	249,65	63,84	1.070,76
9.0111 PUERTA DE TOOL PEATONAL PANELADA COLOR GRIS MATE DE 2MM. DIMENSIONES DE 1,20M. X 2,10M	u	146,81	58,11	26,65	231,57
9.02 CARPINTERÍA EN MADERA					
9.0201 CERRADURA BAÑO, TIPO CESA NOVA CROMADA	u	11,68	3,80	0,74	16,22
9.0202 CERRADURA LLAVE LLAVE, TIPO CESA NOVA CROMADA	u	16,57	3,80	0,74	21,11
9.0203 CERRADURA PASILLO, TIPO CESA NOVA CROMADA	u	12,37	3,80	0,74	16,91
9.0204 CERRADURA POMO POMO (DE PASILLO)	u	31,51	3,80	0,74	36,05
9.0205 CLOSET MDF LAMINADO	m2	50,33	22,80	1,14	74,27
9.0206 CLOSET GAMA ALTA	m2	302,40	27,13	14,57	344,10
9.0207 MUEBLE ALTO DE COCINA EN AGLOMERADO MELAMINICO E=15MM	m	80,03	22,80	6,69	109,52
9.0208 MUEBLE BAJO COCINA AGLOMERADO MELAMINICO E=15MM (NO INC. MESÓN)	m	114,29	21,28	1,06	136,63
9.0209 MUEBLE BAJO DE COCINA CON MESÓN DE GRANITO CHINO BLANCO ZARDO Y HERRAJES PARA CAJONES	m	220,55	30,40	8,92	259,87
9.0210 MUEBLE BAJO DE COCINA CON MESÓN TRIPLEX + FORMICA E=15MM	m	168,06	21,28	6,24	195,58
9.0211 MUEBLE BAJO DE COCINA GAMA ALTA	m	681,01	75,10	22,03	778,14
9.0212 MUEBLES ALTOS DE COCINA MDF	m	43,32	19,00	3,70	66,02
9.0213 MARCO Y TAPAMARCO DE MADERA 70 CM, INC. LACADO	m	5,93	1,29	1,29	8,51
9.0214 PERGOLA DE MADERA Y VIDRIO LAMINADO 8 MM	m2	37,79	22,08	4,61	64,48
9.0215 PUERTA TAMBORADA BLANCA 0.70 M, INC. MARCO Y TAPA MARCO	u	91,44	28,05	1,40	120,89
9.0216 PUERTA TAMBORADA BLANCA 0.80 M, INC. MARCO Y TAPA MARCO	u	101,46	28,05	1,40	130,91
9.0217 PUERTA TAMBORADA BLANCA 0.90 M, INC. MARCO Y TAPA MARCO	u	101,67	29,17	1,46	132,30
9.0218 BISAGRA PIVOTANTE CM, INC. MARCO Y TAPA MARCO	u	1.138,01	59,20	20,76	1.217,97
9.0219 PUERTAS PRINCIPALES LACADAS CM, INC. MARCO Y TAPA MARCO	u	1.120,32	59,20	20,76	1.200,28
9.0220 PUERTA TAMBORADA MDF 0.80 X 2.10 M, NO INCLUYE MARCO Y TAPAMARCO	u	56,50	33,66	17,37	107,53
9.0221 PUERTA PRINCIPAL PIVOTANTE DE MADERA Y ESTRUCTURA METÁLICA CON TABLERO LATERAL FLOJO	u	2.196,77	447,24	173,16	2.817,17
9.0222 VIGA ESTRUCTURAL DE MADERA TECA INSTALADA	m	10,20	2,44	0,12	12,76
10 CIELO RASO					
10.01 CIELO RASO GYPSUM DE ANTIHUMEDAD 1/2" , INC. EMPASTE Y PINTURA	m2	7,83	6,71	1,00	15,54
10.02 CIELO RASO GYPSUM, 1/2" , INC. EMPASTE Y PINTURA	m2	6,57	6,71	1,00	14,28
10.03 CIELO RASO PVC BLANCO TIPO DUELA 5.7X 0.20 M	m2	11,83	3,80	0,77	16,40
10.04 CENEFA DE YESO	m	6,25	2,00	0,23	8,48
11 CUBIERTAS					
11.01 CUBIERTA DE GALVALUMEN PREPINTADO E=40 MM	m2	14,93	2,28	0,44	17,65
11.02 CUBIERTA DE GALVALUMEN E=35MM	m2	4,91	2,28	0,44	7,63
11.03 CUBIERTA DE POLICARBONATO TRANSLÚCIDO DE 8MM INC. ESTRUCTURA METÁLICA	m2	28,50	19,63	5,09	53,22
11.04 CUMBRERO 610X0.4X2500 MM	m	1,18	1,14	0,12	2,44
11.05 ENTECHADO TIPO P-7	m2	13,76	0,95	0,05	14,76
11.06 ENTECHADO RESIDENCIAL TIPO P7	m2	31,33	0,95	0,05	32,33

Figura 2: Rubros referenciales, según la CAMICON, página 89. (CAMICON, 2019)

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MATERIALES	MANO DE OBRA	EQUIPO	COSTO DIRECTO
5.0114 HORMIGÓN SIMPLE ESCALERAS, FC= 210 KG/CM2, NO INC. ENCOFRADO	m3	83,96	39,98	12,29	136,23
5.0115 HORMIGÓN SIMPLE LOSA DE 20 CM, FC= 210 KG/CM2, NO INC. ENCOFRADO	m3	85,41	36,35	17,92	139,68
5.0116 HORMIGÓN SIMPLE LOSA DE 20 CM, FC= 210 KG/CM2 CON BLOQUE DE POLIESTIRENO (2 USOS), NO INC. ENCOFRADO	m3	155,25	41,80	20,60	217,65
5.0117 HORMIGÓN SIMPLE LOSA DE 20 CM, FC= 240 KG/CM2, NO INC. ENCOFRADO	m3	87,60	36,35	17,92	141,87
5.0118 HORMIGÓN SIMPLE LOSA H= 8 CM SOBRE DECK METÁLICO 0.65 MM, H. FREMEZ. FC= 210 KG/CM2, INCL. MALLA DE TEMPERATURA	m2	24,71	12,79	2,73	40,23
5.0119 HORMIGÓN SIMPLE LOSA MACIZA E= 15 CM, FC= 210 KG/CM2, NO INCLUYE ENCOFRADO	m3	84,33	36,35	17,92	138,60
5.0120 HORMIGÓN SIMPLE LOSA ALMANADA E=20CM, FC= 210 KG/CM2, NO INCLUYE ENCOFRADO	m2	51,09	6,62	4,51	62,22
5.0121 HORMIGÓN SIMPLE LOSA TAPAGRADA E= 15CM, FC= 210 KG/CM2, NO INCLUYE ENCOFRADO	m2	12,72	11,63	3,56	27,91
5.0122 HORMIGÓN SIMPLE MUROS, FC= 210 KG/CM2, NO INC. ENCOFRADO	m3	83,78	39,98	12,23	135,99
5.0123 HORMIGÓN SIMPLE PLINTOS FC= 210 KG/CM2, NO INC. ENCOFRADO	m3	84,97	36,35	11,12	132,44
5.0124 HORMIGÓN SIMPLE REPLANTILLO, FC= 140 KG/CM2. EQUIPO: CONCRETERA 1 SACO	m3	71,95	36,35	6,82	115,12
5.0125 HORMIGÓN SIMPLE REPLANTILLO, FC= 180 KG/CM2. EQUIPO: CONCRETERA 1 SACO	m3	76,04	36,35	6,82	119,21
5.0126 HORMIGÓN SIMPLE RICSTRAS, FC= 210 KG/CM2, NO INC. ENCOFRADO	m3	83,93	36,35	11,17	131,45
5.0127 HORMIGÓN SIMPLE VIGAS, FC= 210 KG/CM2, NO INC. ENCOFRADO	m3	83,96	39,97	11,35	135,28
5,02 ACERO					
5.0201 ACERO DE REFUERZO FY= 4200 KG/CM2 8-12 MM CON ALAMBRE GALV. N°18	kg	1,25	0,42	0,06	1,72
5.0202 ACERO DE REFUERZO FY= 4200 KG/CM2 14-32 MM CON ALAMBRE GALV. N°18	kg	1,25	0,49	0,06	1,79
5.0203 ACERO ESTRUCTURAL A-36, INC. MONTAJE CON GRUÁ	kg	2,16	0,76	0,49	3,41
5.0204 ACERO ESTRUCTURAL A-36, MONTAJE MANUAL	kg	2,16	1,40	0,62	4,18
5.0205 MALLA ELECTRO SOLDADA DE 5 MM CADA 10 CM (MALLA R-198)	m2	3,99	0,61	0,03	4,63
5,03 ALIVIANAMIENTO					
5.0301 BLOQUE DE ALIVIANAMIENTO 20x20x40 CM TIMBRADO + ESTIBAJE	u	0,59	0,32	0,02	0,93
5.0302 BLOQUE DE ALIVIANAMIENTO 15x20x40 CM TIMBRADO + ESTIBAJE	u	0,45	0,32	0,02	0,79
5.0303 BLOQUE DE ALIVIANAMIENTO DE POLIETILENO 1 USO 40X40X15	u	1,56	0,97	0,06	2,58
6 ENCOFRADOS DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES (FUENTE: MANUAL DE ENCOFRADOS - DEPARTAMENTO TÉCNICO CAMICON)					
6,01 MADERA					
6.0101 ENCOFRADO CIRCULAR CON MEDIA DUELA DE EUCALIPTO (1 USO)	m2	18,03	6,40	2,43	26,86
6.0102 ENCOFRADO CON TABLERO CONTRACHAPADO COLUMNA 30X30 CM (1 USO)	m3	284,48	44,88	17,04	346,40
6.0103 ENCOFRADO CON TABLERO CONTRACHAPADO (1 USO)	m2	25,75	6,40	2,43	34,58
6.0104 ENCOFRADO CON TABLERO CONTRACHAPADO CADENA 20x20 CM (1 USO)	m2	4,34	3,19	0,62	8,15
6.0105 ENCOFRADO CON TABLERO CONTRACHAPADO COLUMNA 30X30 CM (1 USO)	m2	21,04	3,36	1,28	25,68
6.0106 ENCOFRADO CON TABLERO CONTRACHAPADO LOSA, INC. VIGAS DE MADERA (1 USO)	m2	43,59	5,61	2,13	51,33
6.0107 ENCOFRADO CON TABLERO CONTRACHAPADO VIGA 30X50 CM (1 USO)	m2	24,09	6,40	2,43	32,92
6.0108 ENCOFRADO TABLA DE MONTE - CADENA 20x20 CM (1 USO)	m2	8,91	1,40	0,53	10,84
6.0109 ENCOFRADO TABLA DE MONTE - CADENA 20x20 CM (1 USO)	m3	89,48	31,96	6,23	127,67
6.0110 ENCOFRADO TABLA DE MONTE - COLUMNA 30X30 CM (1 USO)	m2	13,67	3,36	1,28	18,31
6.0111 ENCOFRADO TABLA DE MONTE - VIGA 30X50 CM (1 USO)	m2	16,25	6,37	2,43	25,05
6.0112 ENTIBADO CON TABLERO CONTRACHAPADO 0.12 MM	m2	15,23	3,04	1,19	19,46
6,02 METÁLICO					
6.0201 ENCOFRADO/DESENCOFRADO METÁLICO TIPO RENTEADO ALQUILADO PARA COLUMNA 25X25 CM	m2	1,53	2,01	0,10	3,64
6.0202 ENCOFRADO/DESENCOFRADO METÁLICO TIPO RENTEADO ALQUILADO PARA COLUMNA 25X25 CM O 30X30 CM	m2	1,11	2,48	0,12	3,71

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MATERIALES	MANO DE OBRA	EQUIPO	COSTO DIRECTO
6.0203 ENCOFRADO/DESENCOFRADO METÁLICO TIPO RENTEADO ALQUILADO PARA COLUMNA 35X35 CM O 40X40 CM	m2	0,86	3,36	0,17	4,39
6.0204 ENCOFRADO/DESENCOFRADO METÁLICO TIPO RENTEADO ALQUILADO PARA LOSA CON PUNTALES 2X	m2	2,38	2,89	0,14	5,41
6.0205 ENCOFRADO/DESENCOFRADO METÁLICO TIPO RENTEADO ALQUILADO PARA LOSA CON PUNTALES 3X	m2	2,42	3,42	0,17	6,01
6.0206 ENCOFRADO/DESENCOFRADO METÁLICO TIPO RENTEADO ALQUILADO PARA LOSA CON PUNTALES 4X5	m2	2,50	4,56	0,23	7,29
6.0207 ENCOFRADO/DESENCOFRADO METÁLICO TIPO RENTEADO ALQUILADO PARA MUROS DOS CARAS	m2	4,65	2,28	0,11	7,04
6.0208 ENCOFRADO/DESENCOFRADO METÁLICO TIPO RENTEADO ALQUILADO PARA MURO-UNA CARA	m2	4,68	1,90	0,10	6,68
7 ALBAÑILERÍA					
7,01 DETALLES Y MAMPOSTERÍA					
7.0101 ALFEZAR BENTANA A= 24 CM, E= 4 CM, INC BOTAGUA, INC. ENCOFRADO	m	2,20	3,33	0,17	5,70
7.0102 BORDILLO DE H.S. FC= 180 KG/CM2, H= 50 CM, A= 20 CM, INC ENCOFRADO	m	11,99	5,88	1,63	19,50
7.0103 BORDILLO DE TINETA DE BAÑO 10X15 CM	m	5,64	14,84	0,74	21,22
7.0104 DINTEL 0.1X0.20X1.1 M, FC= 180 KG/CM2	u	3,22	5,92	0,34	9,48
7.0105 ESCALÓN EN VOLADIZO DE HORMIGÓN ARMADO Fc=210 Kg/cm2, 0.12x0.3x1.20M	u	12,64	55,91	17,85	86,40
7.0106 LAWANERÍA PREFABRICADA 60X50 CM	u	96,96	7,60	0,38	104,93
7.0107 MAMPOSTERÍA DE BLOQUE PRENSADO ALMANADO 40X20X10 CM MORTERO 1:6, E= 2.0 CM	m2	5,09	4,34	0,06	9,48
7.0108 MAMPOSTERÍA DE BLOQUE PRENSADO ALMANADO 40X20X15 CM MORTERO 1:6, E= 2.5 CM	m2	5,87	4,68	0,27	10,82
7.0109 MAMPOSTERÍA DE BLOQUE PRENSADO ALMANADO 40X20X20 CM MORTERO 1:6, E= 2.5CM	m2	6,62	5,07	0,29	11,98
7.0110 MAMPOSTERÍA DE BLOQUE PRENSADO PESADO 40X20X10 CM MORTERO 1:6, E= 2.0 CM	m2	7,04	6,24	0,36	13,64
7.0111 MAMPOSTERÍA DE BLOQUE PRENSADO PESADO 40X20X15 CM MORTERO 1:6, E= 2.5 CM	m2	8,08	6,46	0,38	14,92
7.0112 MAMPOSTERÍA DE BLOQUE PRENSADO PESADO 40X20X20 CM MORTERO 1:6, E= 2.5 CM	m2	10,00	6,69	0,39	17,08
7.0113 MAMPOSTERÍA DE JABONCILLO, 25x8x12 CM, MORTERO 1:6, E= 2.5 CM	m2	46,51	7,60	0,43	54,54
7.0114 MAMPOSTERÍA DE LADRILLO MAMBRON 15X08X34 CM, MORTERO 1:6, E= 1.5 CM	m2	9,56	6,76	0,40	16,72
7.0115 MESA DE COCINA HORMIGÓN ARMADO ENCOFRADO A= 0.5 M	m	21,53	16,92	0,85	39,30
7.0116 MESÓN DE COCINA HORMIGÓN ARMADO FC = 180 KG/CM2, 150X60X5CM, INC. CERÁMICA 30X30CM	m	30,48	53,97	11,01	95,46
7.0117 MESÓN DE COCINA DE GRANITO, 150X60X5CM	m	121,79	53,21	10,85	185,85
7.0118 PICADO Y RESANE EN PARED DE BLOQUE (SIN ENLUCIR) PARA INSTALACIONES	m	0,20	1,90	0,39	2,49
7.0119 PICADO Y RESANE EN PISO DE HORMIGÓN	m	0,48	3,04	0,62	4,14
7,02 ENLUCIDOS Y MASILLADOS					
7.0201 ENLUCIDO DE FALSA A= 0.20 M	m	0,39	2,53	0,15	3,07
7.0202 ENLUCIDO HORIZONTAL, INC. ANDAMIOS, E= 1.5 CM	m2	1,30	6,08	0,34	7,72
7.0203 ENLUCIDO VERTICAL INTERIOR, PALETEADO FINO, MORTERO 1:4, E= 1.50 CM	m2	1,30	3,95	0,23	5,48
7.0204 ENLUCIDO VERTICAL LISO EXTERIOR, MORTERO 1:4 CON IMPERMEABILIZANTE	m2	1,60	6,08	0,34	8,02
7.0205 MEDA CANA E= 10 -15 MM	m	0,15	1,90	0,11	2,16
7.0206 SELLADO PARA JUNTAS EN MAMPOSTERÍA 2X10 MM	m	0,68	0,31	0,02	1,01
7.03 CONTRAPISOS Y MASILLADOS					
7.0301 CONTRA PISO H.S. FC=180 KG/CM2 E= 6CM, PIEDRA BOLA E=10 CM, POLIETILENO	m2	6,48	8,79	2,44	17,71
7.0302 CONTRAPISO E= 8 CM INCLUYE MALLA ELECTROSOLDADA	m2	10,56	8,79	2,44	21,78
7.0303 MASILLADO AISLADO DE PISOS, MORTERO 1:3, E= 1 CM	m2	0,95	2,66	3,50	7,11
7.0304 MASILLADO EN LOSA + IMPERMEABILIZANTE, E= 3 CM, MORTERO 1:3	m2	4,44	4,47	2,22	11,13
7.0305 MASILLADO PISO CON MORTERO 1:3 Y ENDURECEDOR CUARZO PARA PISOS INDUSTRIALES	m2	2,03	2,66	3,50	8,19

Figura 2, continuación: Rubros referenciales, según la CAMICON, página 90. (CAMICON, 2019)

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MATERIALES	MANO DE OBRA	EQUIPO	COSTO DIRECTO
1 AUXILIARES					
1,01 PARA HORMIGONES					
1.0101 *ALIX: HORMIGÓN SIMPLE FC=90 KG/CM2	m3	59,19	0,00	0,00	59,19
1.0102 *ALIX: HORMIGÓN SIMPLE FC=140 KG/CM2	m3	71,95	0,00	0,00	71,95
1.0103 *ALIX: HORMIGÓN SIMPLE FC=180 KG/CM2	m3	76,04	0,00	0,00	76,04
1.0104 *ALIX: HORMIGÓN SIMPLE FC=210 KG/CM2	m3	80,59	0,00	0,00	80,59
1.0105 *ALIX: HORMIGÓN SIMPLE FC=240 KG/CM2	m3	85,19	0,00	0,00	85,19
1.0106 *ALIX: HORMIGÓN SIMPLE FC=280 KG/CM2	m3	88,71	0,00	0,00	88,71
1,02 PARA MORTEROS					
1.0201 *ALIX: MORTERO CEMENTO-ARENA 1:3	m3	96,28	0,00	0,00	96,28
1.0202 *ALIX: MORTERO CEMENTO-ARENA 1:4	m3	86,91	0,00	0,00	86,91
1.0203 *ALIX: MORTERO CEMENTO-ARENA 1:5	m3	76,09	0,00	0,00	76,09
1.0204 *ALIX: MORTERO CEMENTO-ARENA 1:6	m3	66,92	0,00	0,00	66,92
1.0205 *ALIX: MORTERO CEMENTO-ARENA 1:7	m3	59,78	0,00	0,00	59,78
1.0206 *ALIX: MORTERO CEMENTO-ARENA 1:8	m3	52,39	0,00	0,00	52,39
2 OBRAS PRELIMINARES					
2.01 BODEGAS Y OFICINAS DE MADERA Y CUBIERTA METÁLICA	m2	42,36	12,78	0,64	55,78
2.02 CERRAMIENTO PROVIS. H=2.4 M CON GALVALUMEN METÁLICO E=0.40MM	m	23,16	6,71	0,34	30,21
2.03 CERRAMIENTO PROVIS. H=2.4 M CON LONA VERDE Y PINGOS	m	3,59	3,15	0,16	6,90
2.04 CERRAMIENTO PROVIS. H=2.4 M CON TABLA DE MONTE Y PINGOS	m	13,21	7,65	0,38	21,24
2.05 LIMPIEZA MANUAL DEL TERRENO	m2	0,00	1,28	0,06	1,34
2.06 REPLANTEO Y NIVELACIÓN CON EQUIPO TOPOGRÁFICO	m	0,10	0,36	0,11	0,57
2.07 REPLANTEO Y NIVELACIÓN CON EQUIPO TOPOGRÁFICO	m2	0,10	1,22	0,36	1,68
2.08 LETRERO DE TOOL DE INICIO DE OBRA 1.20 X 0.50 M	u	121,14	33,54	4,98	159,66
3 DESARMADOS, DERROCAMIENTOS Y DESALOJOS					
3,01 DE CUBIERTAS					
3.0101 DESARMADA CUBIERTA TEJA, SIN DESALJO	m2	0,00	4,66	0,30	4,96
3.0102 DESARMADA CUBIERTA MADERA, SIN DESALJO	m2	0,00	4,00	0,27	4,27
3.0103 DESARMADO DE CIELO FALSO TIPO GYPSUM	m2	0,00	3,35	0,67	4,02
3,02 DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES					
3.0201 DESARMADO DE PUERTA, REUTILIZACIÓN ANCHO 1 M	u	0,00	7,60	0,38	7,98
3.0202 DESARMADO DE VENTANAS	m2	0,00	6,08	0,30	6,38
3.0203 RETIRO DE PIEZAS SANITARIAS	u	0,00	11,32	0,57	11,89
3,03 DE PISOS					
3.0301 DESARMADO DE ENTABLAO PISO, SIN DESALJO	m2	0,00	1,78	0,09	1,87
3.0302 DESTRONCADO DE PISO DE MADERA	m2	0,00	2,61	0,45	3,06
3.0303 LEVANTAMIENTO DE ADOQUIN CON MINI CARGADORA	m2	0,00	0,36	1,12	1,48
3.0304 RETIRO DE PISOS DE PORCELANATO	m2	0,00	3,08	0,15	3,23
3.0305 RETIRO DE PISOS DE CERÁMICA	m2	0,00	2,37	0,12	2,49
3.0306 ROTURA DE PAVIMENTO ASFÁLTICO E=5 CM CON CORTADORA DE ASFALTO	m2	0,00	5,32	1,82	7,14
3,04 DE ESTRUCTURAS					
3.0401 DERROCAMIENTO DE ESTRUCTURA EXISTENTE HORMIGÓN ARMADO	m3	0,07	35,13	53,47	88,67
3.0402 DESMONTAJE MANUAL DE ESTRUCTURA EXISTENTE DE ACERO	Kg	0,56	0,92	0,44	1,92
3,05 DE PAREDES					
3,06 DESALOJOS					
3.0601 DESALJO A MÁQUINA CON EQUIPO: CARGADORA FRONTAL Y VOLQUETA	m3	0,00	0,66	3,04	3,70
3.0602 DESALJO DE MATERIAL CON VOLQUETA (TRANSPORTE 10 KM) CARGADA MANUAL	m3	0,00	7,89	2,89	10,78
3.0603 DESALJO DE MATERIAL CON VOLQUETA (TRANSPORTE 10 KM) NO INC. CARGADA	m3	0,00	2,65	5,48	8,13
4 MOVIMIENTOS DE TIERRAS					
4,01 EXCAVACIONES					
4.0101 DESBANQUE MANUAL	m3	0,00	9,30	0,46	9,76
4.0102 EXCAVACIÓN MANUAL EN CIMENTOS Y PLINTOS	m3	0,00	9,75	0,49	10,24
4.0103 EXCAVACIÓN H=3 A 4 M A MÁQUINA (EXCAVADORA)	m3	0,00	1,43	4,37	5,80
4.0104 EXCAVACIÓN H=4 A 6 M. A MÁQUINA (EXCAVADORA)	m3	0,00	1,79	5,48	7,27
4.0105 EXCAVACIÓN >6 M A MÁQUINA (EXCAVADORA)	m3	0,00	2,02	6,19	8,21
4.0106 EXCAVACIÓN EN ROCA CON EQUIPO LÍVANO (COMPRESOR)	m3	0,00	14,68	26,59	41,27
4.0107 EXCAVACIÓN EN FANGO CON EQUIPO: EXCAVADORA Y BOMBA DE AGUA	m3	0,00	2,23	5,95	8,18
4.0108 EXCAVACIÓN DE ZANJAS A MÁQUINA EQUIPO: EXCAVADORA	m3	0,00	0,81	2,49	3,30
4,02 RELLENOS					
4.0201 RELLENO COMPACTADO CON SUB-BASE CLASE II (MATERIAL DE SAN ANTONIO Y LLOA)	m3	18,14	4,47	1,92	24,53
4.0202 RELLENO COMPACTADO CON SUELO NATURAL	m3	0,02	4,05	2,47	6,54
4.0203 TRANSPORTE DE MATERIAL	m3/km	0,00	0,05	0,24	0,29
4.0204 SOBRECARGA A MANO DISTANCIA=100 M	m3	0,00	9,50	0,48	9,98
5 ESTRUCTURA					
5,01 HORMIGÓN					
5.0101 HORMIGÓN ARMADO GRADA FC=210 KG/CM2, ESCALÓN DE 30X18X120 CM	m	38,00	39,61	19,64	97,25
5.0102 HORMIGÓN ARMADO PLOTE IN SITU, D=0.80m, H=12 INC. INSTALACIÓN	u	885,72	46,88	232,45	1.165,05
5.0103 HORMIGÓN CICLOPEO 60% H.S Y 40% PIEDRA FC= 210 KG/CM2	m3	53,75	34,34	9,30	97,39
5.0104 HORMIGÓN PREMEZCLADO FC= 180 KG/CM2 (INC. BOMBA Y ADITIVO)	m3	93,50	23,63	6,77	123,90
5.0105 HORMIGÓN PREMEZCLADO FC= 210 KG/CM2 (INC. BOMBA Y ADITIVO)	m3	99,55	23,63	6,77	129,95
5.0106 HORMIGÓN PREMEZCLADO FC= 240 KG/CM2 (INC. BOMBA Y ADITIVO)	m3	103,32	23,63	6,77	133,72
5.0107 HORMIGÓN PREMEZCLADO FC= 280 KG/CM2 (INC. BOMBA Y ADITIVO)	m3	107,75	23,63	6,77	138,15
5.0108 HORMIGÓN PREMEZCLADO PLINTO REGULAR 1.20X1.20 X 0,20M, INC. PARRILLA DE HIERRO	u	50,26	26,42	7,09	83,77
5.0109 HORMIGÓN PREMEZCLADO ZAPATA CORRIDA FC=210 KG/CM2, INC. ACERO DE REFUERZO	m	50,26	26,42	7,09	83,77
5.0110 HORMIGÓN SIMPLE CADENAS FC= 210 KG/CM2, NO INC. ENCOFRADO	m3	83,85	36,35	11,12	131,32
5.0111 HORMIGÓN SIMPLE COLUMNAS FC= 210 KG/CM2, NO INC. ENCOFRADO	m3	83,85	39,97	11,35	135,17
5.0112 HORMIGÓN SIMPLE COLUMNAS FC= 240 KG/CM2, NO INC. ENCOFRADO	m3	88,94	39,97	11,35	140,26
5.0113 HORMIGÓN SIMPLE FC=280 KG/CM2 PARA CIMENTACIÓN CELULAR	m3	107,75	40,91	8,93	157,59

Figura 2, continuación: Rubros referenciales, según la CAMICON, página 91. (CAMICON, 2019)

NOTA: El desglose de costos en la Figura 2 es ilustrativo únicamente, ya que éstos varían en el tiempo y quedarían obsoletos en poco tiempo. De ser necesario, se deberá actualizar las “tareas”.

La experiencia ha demostrado que para aquellas tareas que representen mas de un 2.5% de todo el proyecto, será difícil estimar el porcentaje completado (ASTM E-2691, 2016). Se recomienda entonces que dichas tareas sean consideradas como actividades y subdivididas en más tareas. La tarea pasará a ser una nueva actividad, con sus tareas correspondientes. Más adelante, se presentan ecuaciones para calcular la contribución de cada tarea en el proyecto, en caso de que no se tuviese claro como calcular este valor.

A continuación, se muestra un ejemplo de cómo luciría este ejercicio con una tarea:

En un proyecto X, la tarea “Hormigón” representa más de un 2.5% de la totalidad del proyecto. “Hormigón” pasa a ser una actividad, la cual tendrá sus propias tareas:

Actividad:

- Hormigón

Tareas:

- Hormigón simple losa
- Hormigón simple muros
- Hormigón simple plintos
- Hormigón simple vigas
- Hormigón simple riostras

, entre otras tareas que formen parte de la nueva actividad “Hormigón”.

5. Presupuesto de horas, t

Esta sección presenta las nociones a tener en cuenta para calcular los presupuestos de horas de las tareas y actividades de un proyecto, y el presupuesto de horas total de un proyecto. Se presentan también las ecuaciones necesarias para calcular estos parámetros.

Es importante mencionar que la cantidad de horas corresponde a las horas-hombre necesarias para completar los diferentes procesos constructivos. El comparar una actividad que toma N número de horas en realizarse con 2 personas versus una actividad toma la misma cantidad de horas para completarse, pero con 4 personas, no proporciona un análisis correcto. Así, el presupuesto de horas corresponde a la cantidad de horas-hombre para completar cada proceso constructivo.

En la fase de programación de un proyecto, en el cronograma de actividades, se

debe contar con un estimado del tiempo necesario en cada etapa del proyecto. Por esto, se puede considerar que el presupuesto de horas de una tarea t_{tarea} será un valor conocido.

Partiendo de t_{tarea} , podemos estimar el $t_{actividad}$. Para esto, se deben sumar los presupuestos t de todas las tareas que compongan a una actividad. De esta manera:

$$t_{actividad} = \sum_{tareas} t_{tarea} [horas] \quad (11)$$

Donde:

t_{tarea} Presupuesto de horas de una tarea; [horas]

Teniendo en cuenta que por varios motivos, la duración original de una tarea, actividad, o del proyecto puede cambiar, los valores de t deberán ser actualizados a partir del momento en que se realice el cambio en el cronograma original. Hay que considerar que todos estos valores están relacionados. Si t_{tarea} cambia, $t_{actividad}$ y $t_{proyecto}$ se deben actualizar.

Es de interés saber cuál es el presupuesto de horas estimado para todo el proyecto. Para esto, se debe calcular la sumatoria de los $t_{actividad}$ de todas las actividades:

$$t_{proyecto} = \sum_{actividades} t_{actividad} [horas] \quad (2)$$

Donde:

$t_{actividad}$ Presupuesto de horas de una tarea; [horas]

5.1 Contribución de las tareas y actividades en el proyecto

Con $t_{proyecto}$ y $t_{actividad}$, se calcula la contribución de cada tarea en la actividad a la que pertenecen:

$$Contribución_{t/a} = \frac{t_{tarea}}{t_{actividad}} [\%] \quad (3)$$

NOTA: En esta ecuación, el subíndice t/a es una abreviación de “tarea en actividad”.

, y la contribución de cada tarea en el proyecto

$$\text{Contribución}_{t/p} = \frac{t_{tarea}}{t_{proyecto}} [\%] \quad (4)$$

NOTA: En esta ecuación, el subíndice t/p es una abreviación de “tarea en proyecto”.

Para cálculos posteriores, resulta útil también conocer cuál es el impacto que el completar una actividad tendrá en el proyecto. De esta manera:

$$\text{Contribución}_{a/p} = \frac{t_{actividad}}{t_{proyecto}} [\%] \quad (5)$$

NOTA: En esta ecuación, el subíndice a/p es una abreviación de “actividad en proyecto”.

6. Punto de referencia, R

Esta sección presenta las nociones a tener en cuenta para calcular los puntos de referencia de las actividades y del proyecto, con los cuales se compararán los valores de productividad actual P y diferenciales de productividad ΔP . Se presentan también las ecuaciones necesarias para calcular estos parámetros.

El punto de referencia R es un valor que representa cuántas horas son necesarias para completar un 1% de cada actividad, o del proyecto.

Para establecer el punto de referencia de cada actividad, $R_{actividad}$, se divide el presupuesto de horas destinadas a dicha actividad, $t_{actividad}$, entre 100:

$$R_{actividad} = \frac{t_{actividad}}{100} \quad (6)$$

Donde:

$R_{actividad}$ Punto de referencia para una actividad.

NOTA: En esta ecuación, el valor de $t_{actividad}$ es ingresado sin unidades.

Para calcular el punto de referencia del proyecto $R_{proyecto}$, necesitamos tomar en cuenta que cada actividad tendrá un impacto diferente en el progreso de la obra. De esta manera, completar un 1% de una actividad puede tener una mayor o menor contribución en el progreso de la obra que alguna otra actividad. Dicho esto, se tiene que incluir este criterio en los cálculos, de tal forma que:

$$R_{proyecto} = \sum_{actividades} (R_{actividad} \times Contribución_{a/p}) \quad (7)$$

Donde:

$R_{proyecto}$ Punto de referencia para el proyecto.

7. Cálculo de la productividad actual P y diferencial de productividad ΔP

Esta sección presenta las nociones a tener en cuenta para calcular la productividad actual P y diferenciales de productividad ΔP . Se presentan también las ecuaciones necesarias para calcular estos parámetros.

Mediante observación en obra, se debe llevar una contabilidad del progreso de cada tarea. Prácticas comunes para esto incluyen el contabilizar las cantidades ya completadas en sus unidades respectivas, y compararlas con la cantidad que representaría la terminación de la tarea. Así, por ejemplo, si han de excavar 80 m³ de suelo, y en obra se han excavado 40 m³ hasta el momento, el progreso de esta tarea será del 50%. En su defecto, si las cantidades presupuestadas varían, deberá establecerse un sistema de medición del avance físico que represente el porcentaje real del progreso de cada tarea.

A continuación, en la **Tabla 1** se enlistan las unidades de medición de las cantidades contables de algunas de las tareas propuestas. Las unidades fueron tomadas de la sección de Rubros referenciales, de la revista CONSTRUCCIÓN de la CAMICON, en donde se detallan los capítulos de un proyecto con sus rubros correspondientes:

Actividades	Tareas	Unidad
Auxiliares	Para hormigones	m3
	Para morteros	m3
Obras preliminares	Bodegas	m2
	Cerramiento provisional	m
	Limpieza del terreno	m2
	Replanteo	m2
	Letreros	u
Desarmados, derrocamientos y desalojo	De cubiertas	m2
	De elementos no estructurales	m2
	De pisos	m2
	De estructuras	m3 o kg
	De paredes	m2
Movimientos de tierra	Desalojos	m3
	Excavación	m3
Estructura	Relleno	m3
	Hormigón	m3
	Acero	kg
Encofrados de elementos estructurales	Alivianamiento	u
	Madera	m2
Albañilería	Metalico	m2
	Detalles y Mampostería	m2 o m
	Enlucidos y masillados	m2 o m
Recubrimientos	Contrapisos y masillados	m2
	Recubrimientos en pisos	m2 o m
Carpintería	Recubrimientos en paredes	m2
	Carpintería metálic / vidrio	m2, m o u
Instalaciones hidrosanitarias	Carpintería en madera	m2, m o u
	Instalaciones de agua potable edificac	u, m o pto
	Instalaciones de aguas servidas	u, m o pto
	Aparatos sanitarios	u
	Grifería	u
Instalaciones eléctricas	Sistema contra incendios/tubería	m
	Iluminación y fuerza	u, m o pto

Tabla 1: Unidades de medición de diferentes tareas correspondientes a actividades en un proyecto. (CAMICON, 2019)

7.1 Actividades

Para las actividades, saber cuánto se ha completado hasta un determinado momento puede resultar más complicado. Se propone entonces una ecuación para calcular el porcentaje completado de una actividad. El $\%C_{actividad}$ resulta de la sumatoria de los porcentajes completados de cada tarea $\%C_{tarea}$, tomando en cuenta su contribución en la actividad:

$$\%C_{actividad} = \sum_{Tareas} \left(\%C_{tarea} \times Contribución_{\frac{t}{a}} \right) [\%] \quad (8)$$

Donde:

$\%C_{tarea}$ Es estimado mediante observación;

$\%C_{actividad}$ Será el porcentaje completado de una actividad hasta ese momento.

Se deberá llevar una contabilidad del tiempo invertido en cada actividad. Se tiene que contabilizar el tiempo invertido en cada tarea de dicha actividad.

Para calcular la productividad de una actividad, se dividen las horas invertidas en una actividad entre el porcentaje completado $\%C_{actividad}$ de dicha actividad:

$$P_{actividad} = \frac{Horas\ invertidas_{actividad}}{\%C_{actividad}} \quad (9)$$

Donde:

$Horas\ invertidas_{actividad}$ Es estimado mediante observación;

$P_{actividad}$ Será la productividad de una actividad medida en un intervalo de tiempo.

NOTA: En esta ecuación, el valor de $\%C$ se expresa en números enteros. Por ejemplo, un porcentaje de 50% se ingresa en la ecuación simplemente como 50.

El diferencial de productividad ΔP para cada actividad será la diferencia porcentual entre el punto de referencia $R_{actividad}$ y la productividad actual $P_{actividad}$ calculada. De esta manera:

$$\Delta P = \frac{R_{actividad} - P_{actividad}}{R_{actividad}} [\%] \quad (10)$$

7.2 Proyecto

Para calcular el diferencial de productividad de la obra, se debe incluir la contribución de cada actividad en la obra:

$$\Delta P_{proyecto} = \sum_{actividades} (\Delta P_{actividad} \times Contribución_{a/p}) \quad (11)$$

Este proceso se realiza periódicamente, para intervalos de tiempo definidos. Se recomienda medir P y ΔP semanalmente. Alternativamente, se sugiere establecer los intervalos de tiempo a conveniencia del contratista o la compañía.

8. Reporte

Esta sección presenta las recomendaciones a tener en cuenta para reportar la productividad actual P y diferenciales de productividad ΔP .

Se recomienda reportar el diferencial de productividad ΔP de cada actividad y del proyecto en una hoja de resumen, junto con representaciones gráficas de dichos diferenciales de productividad ΔP a lo largo del tiempo, medidos en intervalos de tiempo definidos.

La **Tabla 2** muestra una hoja de resumen ejemplo en la cual se reportan los porcentajes completados y los diferenciales de productividad ΔP de cuatro actividades del proyecto.

HOJA DE RESUMEN									
	Actividad	Tareas	t	Contribución t/a	Contribución t/p y a/p	%C	Horas invertidas	Horas programadas	ΔP
1	1	1a	100	17%	2%	100%	120.00	100.00	
2		1b	100	17%	2%	100%	100.00	100.00	
3		1c	70	12%	2%	100%	70.00	70.00	
4		1d	80	14%	2%	63%	40.00	50.00	
5		1e	50	9%	1%	80%	60.00	40.00	
6		1f	90	16%	2%	44%	20.00	40.00	
7		1g	90	16%	2%	0%	0.00	0.00	
8		-	580	100%	13%	69%	410.00	400.00	-2%
9	2	2a	40	13%	1%	100%	80.00	40.00	
10		2b	95	30%	2%	74%	65.00	70.00	
11		2c	30	10%	1%	67%	20.00	20.00	
12		2d	30	10%	1%	67%	20.00	20.00	
13		2e	60	19%	1%	33%	15.00	20.00	
14		2f	60	19%	1%	67%	30.00	40.00	
15	-	315	100%	7%	67%	230.00	210.00	-10%	
16	3	3a	100	20%	2%	100%	100.00	100.00	
17		3b	100	20%	2%	70%	70.00	70.00	
18		3c	150	31%	3%	47%	60.00	70.00	
19		3d	80	16%	2%	88%	60.00	70.00	
20		3e	60	12%	1%	83%	40.00	50.00	
21	-	490	100%	11%	73%	330.00	360.00	8%	
22	4	4a	100	50%	2%	0%	0.00	0.00	
23		4b	100	50%	2%	0%	0.00	0.00	
24		-	200	100%	5%	0%	0.00	0.00	0%
25	A nivel de proyecto		4320		37%				-0.1%

Tabla 2: Hoja de resumen realizada siguiendo el método propuesto, calculadas en un momento específico.

Es importante notar que ninguna de las tareas enlistadas en la **Tabla 2** sobrepasa el porcentaje límite propuesto, 2.5%, de contribución de la obra. Se puede identificar también que las cuatro actividades enlistadas corresponden a un 37% de la obra total. Esto quiere decir que hay más actividades en el proyecto, y únicamente se están reportando las actividades que se estaban realizando en el intervalo de tiempo para el cual fue medida la productividad. (ASTM E-2587)

Una gráfica de la progresión de la obra a lo largo del tiempo resulta de gran utilidad para interpretar los valores calculados, y se podrán reconocer las tendencias de la productividad. En las gráficas que se presentan a continuación, el eje de las abscisas representa el tiempo transcurrido (en unidades de tiempo), y el eje de las ordenadas contiene los valores de diferenciales de productividad (en porcentaje).

Cuando el diferencial de productividad ΔP es mayor a 0%, la productividad de la mano de obra para una actividad, o en su defecto, para el proyecto, es mejor a lo esperado. Cuando el diferencial de productividad ΔP es negativo, la mano de obra no está siendo productiva en esa actividad, o en el proyecto. Finalmente, un ΔP de 0% significa que la construcción se está completando tal como se esperaba.

La **Figura 3** ilustra cómo lucen los diferenciales de productividad de las actividades y del proyecto, para un proyecto X. Se presentan 5 actividades, enumeradas desde el 1 hasta el 5 (actividad 1-actividad 5).

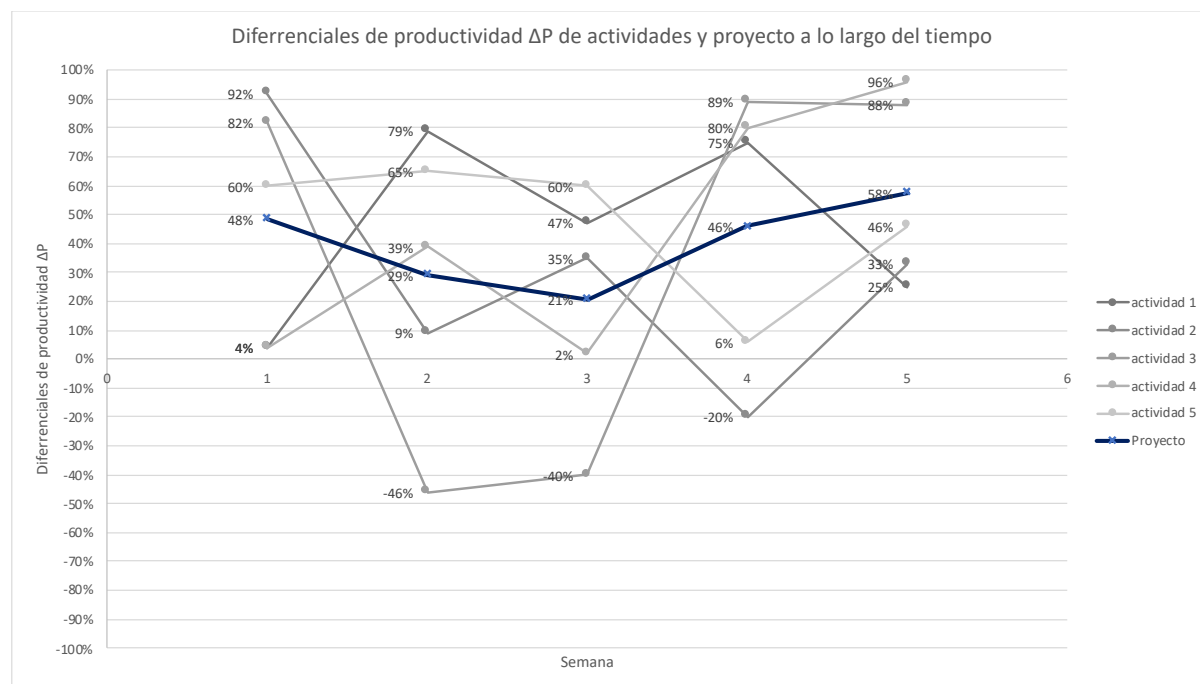


Figura 3: Diferenciales de productividad ΔP de actividades y proyecto a lo largo del tiempo

Se recomienda utilizar las tendencias de la productividad para reconocer desviaciones que llamen la atención al compararlas con las señales de control propuestas. Se reconocen como anomalías a cualquier desviación que presente cualquiera de las siguientes características de una señal de control (ASTM E-2691, 2016). Las señales de control que se presentan a continuación están en concordancia con aquellas propuestas por la norma: (ASTM E-2587)

8.1 Señales de control

Esta sección presenta las diferentes señales de control a tener en cuenta en el monitoreo de la productividad de un proyecto. Se presentan también ilustraciones de cómo lucen los diferenciales de productividad ΔP para cada uno de los casos. Finalmente, se presentan recomendaciones a considerar en el proceso de monitoreo de la productividad.

Tendencias: Cuando hay seis o más valores en la misma dirección. La **Figura 4** ilustra cómo luce esta señal de control:



Figura 4: Señal de control 1, Tendencia de los diferenciales de productividad ΔP .

Cambios en la media: Cuando se presentan nueve o más puntos de un lado de la media, y en la próxima medición, la media cambia hacia el otro lado. La **Figura 5** ilustra cómo luce esta señal de control:

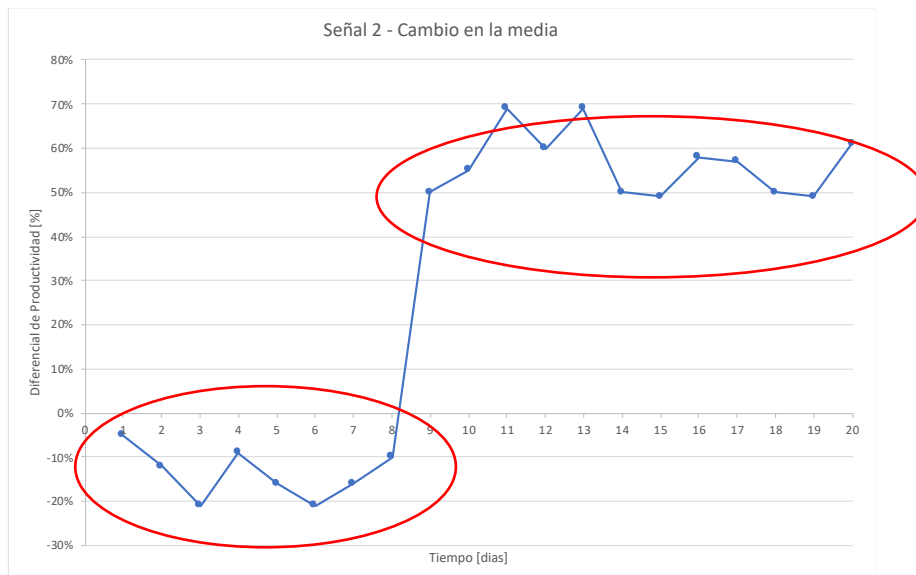


Figura 5: Señal de control 2, Cambios en la media de los diferenciales de productividad ΔP .

Valores extremos: Un dato que se encuentre a más de tres desviaciones estándar por arriba o por debajo de la media. La **Figura 6** ilustra cómo luce esta señal de control:

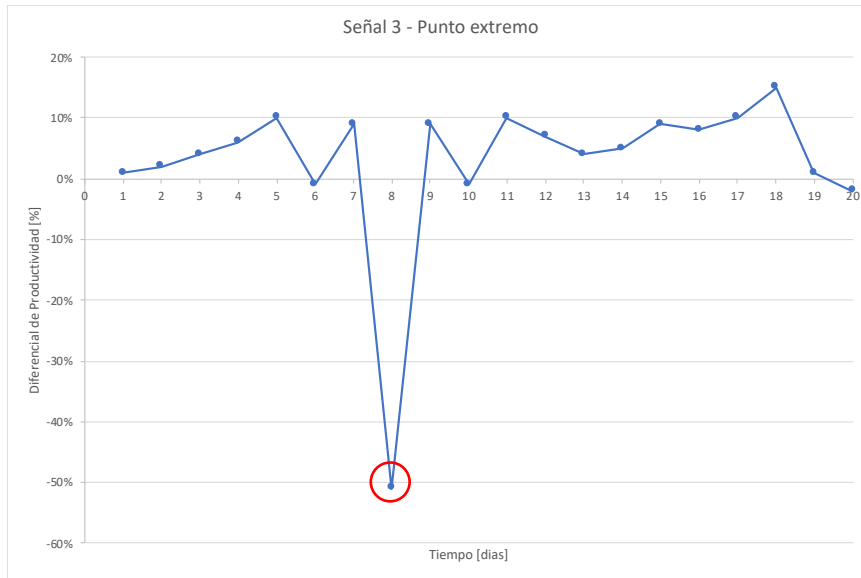


Figura 6: Señal de control 3, Valores extremos de los diferenciales de productividad ΔP .

Valores alternantes: Cuando se presenta un grupo de 14 puntos alternando entre diferenciales de productividad ΔP positivos y negativos. La **Figura 7** ilustra cómo luce esta señal de control:

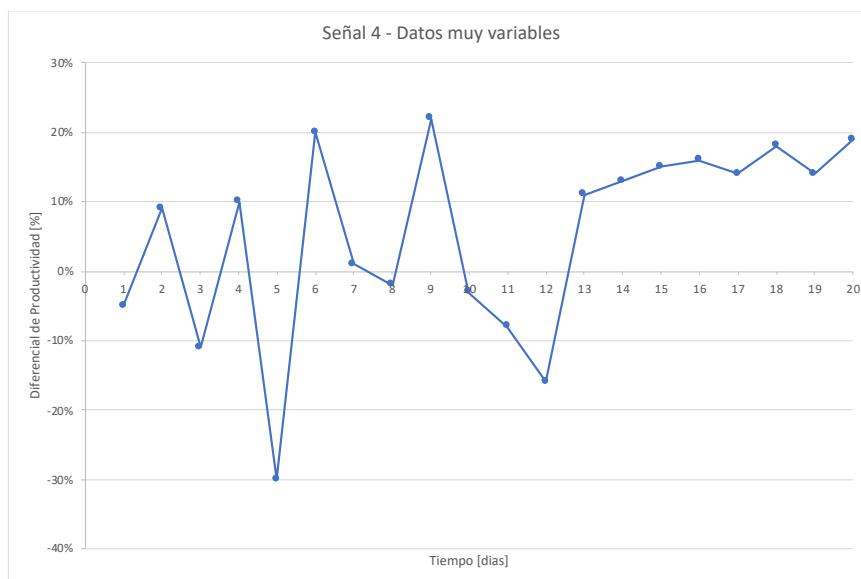


Figura 7: Señal de control 4, Valores alternantes de los diferenciales de productividad ΔP .

Si los valores calculados presentan las características de cualquier señal de control, es un indicador de que existe alguna anomalía, y requiere de atención. Con las señales de control, se pueden identificar eventos que afecten positiva o negativamente al desarrollo de un proyecto.

Por ejemplo, si un proyecto presenta un **Cambio en la Media**, pasando de una media negativa a una positiva, probablemente sea de interés del contratista o de la empresa conocer la causa de este cambio para poder aplicarlo nuevamente en otras actividades o proyectos a realizarse en el futuro.

De la misma manera, si un proyecto presenta un **Valor Extremo** negativo, éste seguramente fue causado por un evento bastante particular, y ha de ser del interés del contratista o de la empresa conocer cuál fue este evento que llevo a un valor tan bajo de productividad.

Un claro indicador de que no hay un buen control de los procesos constructivos es la falta de datos, y se recomienda analizar la causa de inmediato. La **Figura 8** ilustra cómo se despliega la falta de datos en un proyecto:



Figura 8: Falta de información de los diferenciales de productividad ΔP .

En este caso, no se tiene información sobre qué tan productivos fueron las actividades o el proyecto en algunos intervalos de tiempo. Por ejemplo, la **Figura 8** representa a una actividad o proyecto en el cual no se tiene información sobre qué sucedió entre la semana 5 y 7, 8 y 10, 10 y 12, y 14 y 17.

Importante: Si las desviaciones en la productividad no presentan ninguna de las características mencionadas anteriormente en las señales de control, se considera que estas variaciones son producidas por eventos comunes en obra del día a día.

9. Referencias

- ASTM E2587. (s.f.). *Practice for Use of Control Charts in Statistical Process Control*. ASTM International.
- ASTM E-2691: “Job Productivity Measurement”. (2016). *Standard Practice for Job Productivity Measurement*. ASTM international.
- CAMICON. (2019). CONSTRUCCIÓN. *Revista de la camara de la industria de la construcción*. Quito.
- Yates, J. (2014). *Productivity Improvement for Construction and Engineering: Implementing Programs That Save Money and Time*. Reston, Virginia: ASCE Press.

ANEXO B: EJEMPLO DE MEDICIÓN DE PRODUCTIVIDAD DE UN PROYECTO

A continuación, se presenta un ejemplo de cómo se aplica el método propuesto para la medición de la productividad de un proyecto, a nivel de actividades y de proyecto. El proyecto es cuestión es una casa de una planta, que pertenece a un conjunto residencial en la ciudad de Manta, Ecuador. Los detalles relevantes del proyecto para este estudio se presentan a continuación:

- Duración total del proyecto: 14 semanas, que es equivalente a 560 horas. Se trabajaron jornadas de 8 horas diarias, durante 5 días a la semana
- Tamaño del equipo de trabajo: 8 personas.
- Tiempo del proyecto en horas, tomando en cuenta el tamaño del equipo: 4480 horas.

Según la clasificación propuesta en el método, este proyecto incluye actividades de:

- Obras preliminares
- Movimientos de tierra
- Estructura
- Encofrados de elementos estructurales
- Albañilería
- Recubrimientos
- Carpintería
- Instalaciones hidrosanitarias
- Instalaciones eléctricas
- Telecomunicaciones
- Cableado estructurado
- Obras exteriores

Las actividades estudiadas fueron:

- Albañilería
- Instalaciones hidrosanitarias

Dentro de estas actividades, las tareas a realizarse durante el proyecto se enlistan a continuación:

- Albañilería
 - Lavandería prefabricada
 - Mampostería de bloque pesado
 - Mesa de cocina hormigón armado encofrado

- Enlucido vertical interior
- Enlucido liso vertical exterior
- Contra piso
- Masillado alisado piso
- Masillado en losa + impermeabilizante
- Instalaciones hidrosanitarias
 - Llave de manguera de control
 - Llave de paso
 - Punto de agua fría
 - Válvula check
 - Caja de revisión
 - Canalización tubería PVC
 - Punto de desagüe
 - Rejilla de piso
 - Accesorios de baño
 - Inodoros
 - Juego de grifería
 - Lavamanos
 - Lavaplatos pozo

Las tareas **resaltadas** fueron las tareas de las cuales se midieron los porcentajes completados %C, porque estas eran las tareas que se estaban realizando cuando se comenzó la recolección de datos.

1. Cálculo de los presupuestos de horas t de las tareas, actividades y proyecto.

Partiendo del cronograma de actividades del proyecto, se estimaron los presupuestos de las tareas t_{tarea} , de las tareas estudiadas. Así, tenemos que:

1. Mampostería de bloque pesado

$$t_{tarea} = 96 \text{ horas}$$

2. Enlucido vertical interior

$$t_{tarea} = 32 \text{ horas}$$

3. Enlucido liso vertical exterior

$$t_{tarea} = 110 \text{ horas}$$

4. Caja de revisión

$$t_{tarea} = 12 \text{ horas}$$

5. Canalización tubería PVC

$$t_{tarea} = 48 \text{ horas}$$

Para calcular el presupuesto de horas de las actividades $t_{actividad}$ que engloban a las tareas medidas, tenemos que considerar también la duración estimada para el resto de tareas comprendidas en dichas actividades. De esta manera, aplicando la ecuación 1 del método propuesto, resulta:

Para Albañilería:

$$t_{actividad} = \sum_{tareas} t_{tarea}$$

$$t_{actividad} = 466 \text{ horas}$$

Para Instalaciones hidrosanitarias:

$$t_{actividad} = \sum_{tareas} t_{tarea}$$

$$t_{actividad} = 90.5 \text{ horas}$$

El presupuesto de horas del proyecto $t_{proyecto}$ resulta aplicar la ecuación 2 del método. Este valor es el mismo que el del tiempo del proyecto en horas estimado:

$$t_{proyecto} = 4480 \text{ horas}$$

Para poder continuar con el cálculo de la productividad de este proyecto, debemos asegurarnos de que ninguna de las tareas (en este caso, las tareas medidas) represente más de un 2.5% del proyecto. Con las ecuaciones 3, 4 y 5, se calcula la contribución de cada tarea en su respectiva actividad y en el proyecto, y la contribución de las actividades estudiadas en el proyecto. De esta manera, se tiene que:

Para Albañilería:

1. Mampostería de bloque pesado

$$\text{Contribución}_{t/a} = 20.6\%$$

$$\text{Contribución}_{t/p} = 2.1\%$$

2. Enlucido vertical interior

$$\mathbf{Contribuci3n_{t/a} = 6.9\%}$$

$$\mathbf{Contribuci3n_{t/p} = 0.7\%}$$

3. Enlucido liso vertical exterior

$$\mathbf{Contribuci3n_{t/a} = 23.6\%}$$

$$\mathbf{Contribuci3n_{t/p} = 2.5\%}$$

La contribuci3n de la actividad Albañileria en el proyecto es:

$$\mathbf{Contribuci3n_{a/p} = 10.4\%}$$

Para Instalaciones hidrosanitarias:

1. Caja de revisi3n

$$\mathbf{Contribuci3n_{t/a} = 13.3\%}$$

$$\mathbf{Contribuci3n_{t/p} = 0.3\%}$$

2. Canalizaci3n tubería PVC

$$\mathbf{Contribuci3n_{t/a} = 53.3\%}$$

$$\mathbf{Contribuci3n_{t/p} = 1.1\%}$$

La contribuci3n de la actividad Albañileria en el proyecto es:

$$\mathbf{Contribuci3n_{a/p} = 2.0\%}$$

Con las contribuciones calculadas, y sabiendo que las tareas no representan más de un 2.5% del proyecto, podemos pasar a calcular los puntos de referencia R.

2. Cálculo del punto de referencia R de las actividades y del proyecto

De los presupuestos de horas t de las actividades y del proyecto, y con la contribuci3n de las dos actividades estudiadas en el proyecto, se puede calcular los puntos de referencia $R_{actividad}$ y $R_{proyecto}$.

Para calcular el punto de referencia de una actividad $R_{actividad}$, se utiliza la ecuaci3n 6 del método. De esta manera:

Para Albañilería:

$$R_{actividad} = \frac{t_{actividad}}{100}$$

$$R_{actividad} = \frac{466}{100}$$

$$R_{actividad} = 4.66$$

Para Instalaciones hidrosanitarias:

$$R_{actividad} = \frac{t_{actividad}}{100}$$

$$R_{actividad} = \frac{90.5}{100}$$

$$R_{actividad} = 0.905$$

Con los valores de la contribución de cada actividad, y mediante la ecuación 7 del método, se calcula el punto de referencia del proyecto $R_{proyecto}$. De esta manera:

$$R_{proyecto} = \sum_{actividades} (R_{actividad} \times Contribución_{a/p})$$

$$R_{proyecto} = \sum_{actividades} (10.4\% \times 4.66 + 2.0\% \times 0.905)$$

$$R_{proyecto} = 0.503$$

A continuación, se presenta una tabla que detalla los cálculos de las secciones 1 y 2 del ejemplo:

Actividad	Tarea	Cantidad	Unidad	t tarea (horas)	t actividad (horas)	t proyecto (horas)	Contribución t/a	Contribución t/p	Contribución a/p	R
Albañilería	Lavandería prefabricada	1	u	4			0.9%	0.1%		
	Mampostería de bloque pesado*	163	m2	96			20.6%	2.1%		
	Mesa de cocina hormigón armado encofrado+	2	m	8			1.7%	0.2%		
	Enlucido liso vertical-exterior	60	m2	32			6.9%	0.7%		
	Enlucido vertical interior	207	m2	110			23.6%	2.5%		
	Contrapiso	90	m2	78			16.7%	1.7%		
	Masillado alisado piso	90	m2	78			16.7%	1.7%		
	Masillado en losa + impermeabilizante	35.75	m2	60			12.9%	1.3%		
					466		100.0%		10.4%	4.66
Instalaciones hidrosanitarias	Llave de manguera de control	2	u	1			1.1%	0.0%		
	Llave de paso	1	u	0.5			0.6%	0.0%		
	Punto de agua fría	5	pto	2.5			2.8%	0.1%		
	Válvula check	2	u	1			1.1%	0.0%		
	Caja de revisión	3	u	12			13.3%	0.3%		
	Canalización tubería PVC	25	m	48			53.0%	1.1%		
	Punto de desague	6	pto	8			8.8%	0.2%		
	Rejilla de piso	4	u	8			8.8%	0.2%		
	Accesorios de baño	1	lgo	1.5			1.7%	0.0%		
	Inodoros	1	u	1			1.1%	0.0%		
	Juegos de grifería	3	u	3			3.3%	0.1%		
	Lavamanos	1	u	2			2.2%	0.0%		
	Lavaplatos pozo	1	u	2			2.2%	0.0%		
						90.5		100.0%		2.0%
Proyecto						4480				0.50300502

Tabla 1: Detalle de los cálculos de t, contribuciones y R de las tareas, actividades y proyecto, respectivamente.

3. Cálculo de la productividad actual P y diferencial de productividad ΔP

De la observación en obra, se obtuvieron los porcentajes completados %C de las tareas estudiadas a lo largo del tiempo.

La productividad actual P y los diferenciales de productividad ΔP de las actividades y del proyecto se deben calcular para cada intervalo de tiempo. En este caso, para obtener mayor cantidad de datos, los intervalos de tiempo del análisis son días. De esta manera, estos parámetros se deben calcular para cada día durante la medición. A continuación, se demuestran los cálculos para 1 día, de manera ilustrativa (día 3).

3.1 Porcentajes completados %C

Con esta información, y aplicando la ecuación 8, podemos calcular el porcentaje completado $\%C_{actividad}$ de las dos actividades estudiadas:

Para Albañilería:

$$\%C_{actividad} = \sum_{Tareas} \left(\%C_{tarea} \times \text{Contribución}_{\frac{t}{a}} \right) [\%]$$

$$\%C_{actividad} = 8.4\%$$

Para Instalaciones hidrosanitarias:

$$\%C_{actividad} = \sum_{Tareas} \left(\%C_{tarea} \times \text{Contribución}_{\frac{t}{a}} \right) [\%]$$

$$\%C_{actividad} = 1.3\%$$

3.2 Productividad actual P

La productividad actual P las actividades se calcula mediante la ecuación 9 del método propuesto. Así, se tiene que:

Para Albañilería:

$$P_{actividad} = \frac{\text{Horas invertidas}_{actividad}}{\%C_{actividad}}$$

$$P_{actividad} = 4.78$$

Para Instalaciones hidrosanitarias:

$$P_{actividad} = \frac{\text{Horas invertidas}_{actividad}}{\%C_{actividad}}$$

$$P_{actividad} = 3.78$$

3.3 Diferenciales de productividad ΔP

Finalmente, se calculan los diferenciales de productividad ΔP de las actividades y del proyecto. Utilizando la ecuación 10 del método propuesto, se tiene que

Para Albañilería:

$$\Delta P = \frac{R_{actividad} - P_{actividad}}{R_{actividad}} [\%]$$

$$\Delta P = -3\%$$

Para Instalaciones hidrosanitarias:

$$\Delta P = \frac{R_{actividad} - P_{actividad}}{R_{actividad}} [\%]$$

$$\Delta P = 19.1\%$$

Utilizando la ecuación 11 del método propuesto, el diferencial de productividad ΔP del proyecto resulta:

$$\Delta P_{proyecto} = \sum_{actividades} (\Delta P_{actividad} \times \text{Contribución}_{a/p})$$

$$\Delta P_{\text{proyecto}} = \sum_{\text{actividades}} (-3\% \times 10.4\% + 19.1\% \times 2\%)$$

$$\Delta P_{\text{proyecto}} = 0.12\%$$

Actividad	Tarea	Día 4	Lunes 19 de Junio		Horas invertidas
		%C tarea	P	ΔP	
Albañilería	Lavandería prefabricada	0%			0
	Mampostería de bloque pesado*	100.00%			18
	Mesa de cocina hormigón armado encofrado+Y29:AB41	0%			0
	Enlucido liso vertical-exterior	100%			10
	Enlucido vertical interior	85%			12
	Contrapiso	60.00%			0
	Masillado alisado piso	60.00%			0
	Masillado en losa + impermeabilizante	100.00%			0
		8.4%	4.7773927	-3%	40
Instalaciones hidrosanitarias	Llave de manguera de control	100%			0
	Llave de paso	100%			0
	Punto de agua fría	100%			0
	Válvula check	100%			0
	Caja de revisión	67%			0
	Canalización tubería PVC	80%			5
	Punto de desague	100%			0
	Rejilla de piso	0%			0
	Accesorios de baño	0%			0
	Inodoros	0%			0
	Juegos de grifería	0%			0
	Lavamanos	0%			0
	Lavaplatos pozo	0%			0
			1.3%	3.77155172	19.1%
Proyecto				0.12%	

Tabla 2: Detalle de los cálculos de P y ΔP de las actividades y del proyecto, en el día 4.

4. Reporte

A continuación, se presentan los resultados de productividad calculados para los días en los que realizaron las mediciones. En el reporte, se presenta una tabla con los diferenciales de productividad de las dos actividades estudiadas y del proyecto, y una representación gráfica de estos diferenciales en el tiempo.

Días	ΔP		
	Albañilería	Instalaciones hidrosanitarias	Proyecto
1	6.60%	-15.00%	0.39%
2	26.00%	-71.00%	1.23%
3	24.00%	-5.70%	2.38%
4	-3.00%	19.10%	0.12%
5	60.00%	-19.00%	5.80%
6	61.00%	-31.70%	5.68%

Tabla 3: ΔP de las actividades y del proyecto para los días de medición.

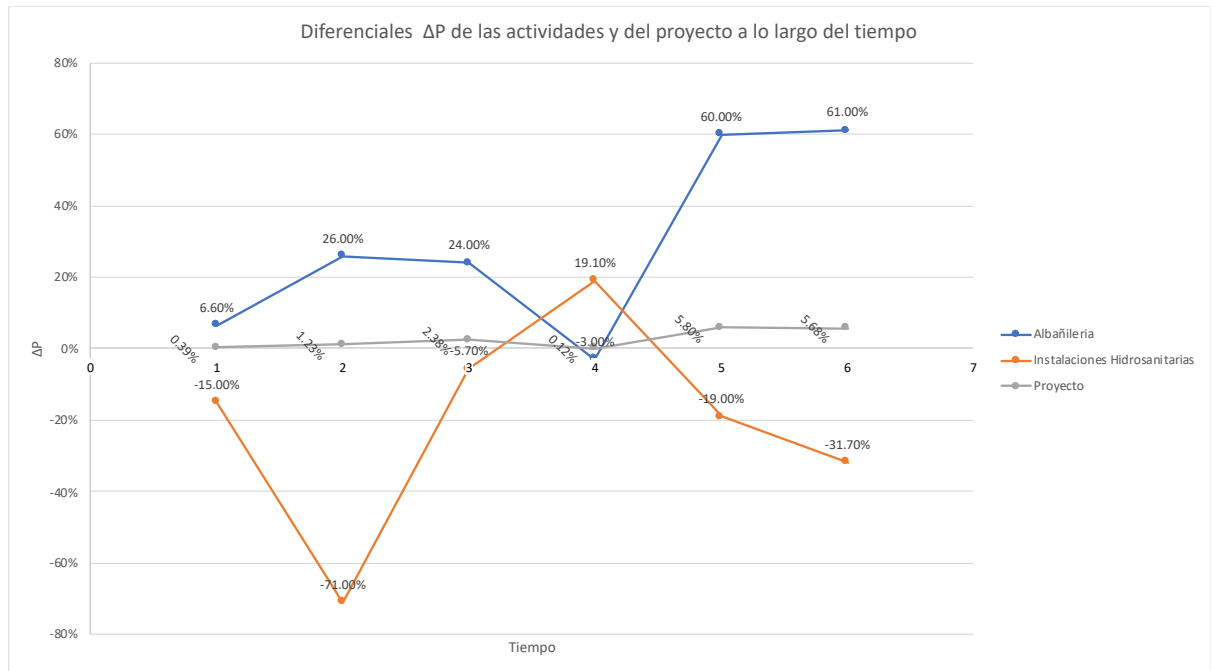


Figura 1: Diferenciales ΔP de las actividades y del proyecto a lo largo del tiempo

Según las señales de control propuestas, el proyecto no presenta ninguna característica que represente una anomalía en la productividad, y si bien hay variaciones en cuanto a la productividad de las actividades, es decir, hay días en los que se está trabajando mucho más despacio de lo planeado, estas pueden deberse a eventos comunes del día a día que afectan la productividad en obra. Por ejemplo, en el día 2, el ΔP de Instalaciones hidrosanitarias fue de -71%. En obra, esto se debió a que se invirtieron más horas de lo planeado para completar el progreso esperado.

Se adjuntan todos los cálculos de todos los días en los que se reportó y calculó la productividad.

Día 1	miercoles 16 de Junio			
%C tarea	%C×Contr.	P	ΔP	Horas invertidas
0.0%	0.000			0
81.6%	0.017			18
0.0%	0.000			0
0.0%	0.000			0
70.0%	0.017			12
60.0%	0.010			0
60.0%	0.010			0
100.0%	0.013			0
6.9%		4.350	6.6%	30
100.0%	0.000			0
100.0%	0.000			0
100.0%	0.001			0
100.0%	0.000			0
0.0%	0.000			0
60.0%	0.006			5
100.0%	0.002			0
0.0%	0.000			0
0.0%	0.000			0
0.0%	0.000			0
0.0%	0.000			0
0.0%	0.000			0
0.0%	0.000			0
0.9%		5.359	-15.0%	5
			0.39%	

Tabla 3: Detalle de los cálculos de P y ΔP de las actividades y del proyecto, a lo largo del tiempo.

Dia 2		jueves 17 de Junio		
%C tarea	%C×Contr.	P	ΔP	Horas invertidas
0%	0.000			0
81.60%	0.017			0
0%	0.000			0
50%	0.004			16
80%	0.020			10
60.00%	0.010			0
60.00%	0.010			0
100.00%	0.013			0
7.5%		3.467	26%	26
100%	0.000			0
100%	0.000			0
100%	0.001			0
100%	0.000			0
33%	0.001			4
70%	0.008			5
100%	0.002			0
0%	0.000			0
0%	0.000			0
0%	0.000			0
0%	0.000			0
0%	0.000			0
0%	0.000			0
1.1%		7.969	-71.0%	9
			1.23%	

Tabla 3, continuación: Detalle de los cálculos de P y ΔP de las actividades y del proyecto, a lo largo del tiempo.

Dia 3		viernes 18 de Junio		
%C tarea	%C×Contr.	P	ΔP	Horas invertidas
0%	0.000			0
92.00%	0.020			18
0%	0.000			0
75%	0.005			10
80%	0.020			0
60.00%	0.010			0
60.00%	0.010			0
100.00%	0.013			0
7.9%		3.544	24%	28
100%	0.000			0
100%	0.000			0
100%	0.001			0
100%	0.000			0
67%	0.002			6
70%	0.008			0
100%	0.002			0
0%	0.000			0
0%	0.000			0
0%	0.000			0
0%	0.000			0
0%	0.000			0
0%	0.000			0
1.2%		4.924	-5.7%	6
			2.38%	

Tabla 3, continuación: Detalle de los cálculos de P y ΔP de las actividades y del proyecto, a lo largo del tiempo.

Dia 4		Lunes 19 de Junio		
%C tarea	%C×Contr.	P	ΔP	Horas invertidas
0%	0.000			0
100.00%	0.021			18
0%	0.000			0
100%	0.007			10
85%	0.021			12
60.00%	0.010			0
60.00%	0.010			0
100.00%	0.013			0
8.4%		4.777	-3%	40
100%	0.000			0
100%	0.000			0
100%	0.001			0
100%	0.000			0
67%	0.002			0
80%	0.009			5
100%	0.002			0
0%	0.000			0
0%	0.000			0
0%	0.000			0
0%	0.000			0
0%	0.000			0
0%	0.000			0
1.3%		3.772	19.1%	5
			0.12%	

Tabla 3, continuación: Detalle de los cálculos de P y ΔP de las actividades y del proyecto, a lo largo del tiempo.

Dia 5		Martes 20 de Junio		
%C tarea	%C×Contr.	P	ΔP	Horas invertidas
0%	0.000			0
100.00%	0.021			0
0%	0.000			0
100%	0.007			0
90%	0.022			16
60.00%	0.010			0
60.00%	0.010			0
100.00%	0.013			0
8.5%		1.883	60%	16
100%	0.000			0
100%	0.000			0
100%	0.001			0
100%	0.000			0
67%	0.002			0
90%	0.010			8
100%	0.002			0
0%	0.000			0
0%	0.000			0
0%	0.000			0
0%	0.000			0
0%	0.000			0
0%	0.000			0
1.4%		5.579	-19.7%	8
			5.80%	

Tabla 3, continuación: Detalle de los cálculos de P y ΔP de las actividades y del proyecto, a lo largo del tiempo.

Dia 6		Miercoles 21 de Junio		
%C tarea	%C×Contr.	P	ΔP	Horas invertidas
0%	0.000			0
100.00%	0.021			0
0%	0.000			0
100%	0.007			0
100%	0.025			16
60.00%	0.010			0
60.00%	0.010			0
100.00%	0.013			0
8.7%		1.830	61%	16
100%	0.000			0
100%	0.000			0
100%	0.001			0
100%	0.000			0
100%	0.003			4
100%	0.011			6
100%	0.002			0
0%	0.000			0
0%	0.000			0
0%	0.000			0
0%	0.000			0
0%	0.000			0
0%	0.000			0
1.6%		6.137	-31.7%	10
			5.68%	

Tabla 3, continuación: Detalle de los cálculos de P y ΔP de las actividades y del proyecto, a lo largo del tiempo.