

HERRAMIENTA DE APOYO PARA MODELAR Y ANALIZAR LOS COSTOS
DIRECTOS EN LOS PRESUPUESTOS DE CONSTRUCCIÓN

HAILYN ERCILIA BARRERA ARIZA
ADRIANA CAROLINA SARMIENTO MANTILLA



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2009

HERRAMIENTA DE APOYO PARA MODELAR Y ANALIZAR LOS COSTOS
DIRECTOS EN LOS PRESUPUESTOS DE CONSTRUCCIÓN

HAILYN ERCILIA BARRERA ARIZA
ADRIANA CAROLINA SARMIENTO MANTILLA

Trabajo de grado para optar por el título de
Ingeniero Civil

Director
Ingeniero Civil. M.Sc., Guillermo Mejía Aguilar



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA

2009

Dedicatoria

A Dios,
Señor de mi vida
y de todo cuanto existe,
por disponer de todas
las cosas para mi bien.
Por darme de su incomparable
sabiduría y llenarme de sus
fuerzas cuando creí desfallecer.

*“No es que nosotros
mismos estemos capacitados
para considerar algo como nuestro,
al contrario, todo lo que podemos
hacer viene de Dios” I Corintios 3:5*

A mis padres,
por depositar en mi
su confianza y brindarme
su apoyo en cada etapa
vivida.

A mis hermanos,
por demostrarme
que siempre puedo
contar con ellos.

HAILYN

Dedicatoria

A Dios,
por haberme dado la fortaleza y
la perseverancia para alcanzar mis metas.
Por ayudarme a salir adelante en
situaciones de dificultad sin
dejarme derrotar.
Por ser la luz en cada instante de mi vida, y
ser la esperanza en mi camino.

A mi madre Amparo Mantilla (q.e.p.d.),
quien siempre tuvo una voz de aliento,
fue una amiga ejemplar y un apoyo invaluable,
Por haber sido una guía constante y
siempre creer en mí.
Por enseñarme lo verdaderamente
importante en la vida y a luchar
por lo que se anhela.
Por su constante cariño, amor y paciencia, y
por darme siempre lo mejor.

CAROLINA

AGRADECIMIENTOS

Al profesor e Ingeniero Civil Guillermo Mejía Aguilar, por sus recomendaciones y apoyo para la realización de este proyecto.

Al Ingeniero de Sistemas Heber Barrera Ariza, por su colaboración y dedicación, y sus invaluable y oportunos consejos para la creación de la herramienta.

Al profesor e Ingeniero Industrial Henry Lamos Díaz, por su orientación y aportes para el análisis y diseño del experimento.

Al Ingeniero Electrónico Manuel Mota Piqueras, por su asesoramiento durante el desarrollo del documento.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	20
1. PLANTEAMIENTO Y CONTEXTUALIZACIÓN	22
1.1. LA PROBLEMÁTICA DE LA CONFIABILIDAD EN PRESUPUESTOS DE OBRA	22
1.2. LA CREACIÓN DEL MODELO Y SU RELEVANCIA DENTRO DE LA PLANEACIÓN.	24
1.3. LA INFLUENCIA DE LOS ANÁLISIS DE COSTOS DIRECTOS EN LOS PRESUPUESTOS.	27
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	30
2.1. ANÁLISIS Y MODELAMIENTO	30
2.1.1. Concepto de sistema.	30
2.1.2. Ingeniería del Software.	31
2.1.3. Análisis estructurado.	35
2.1.4. Análisis orientado a objetos.	37
2.1.5. Lenguaje Modelado Unificado (UML).	40

2.2. PLANEACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN	42
2.2.1. Estructura desglosada de trabajo – WBS.	44
2.2.2. Información de costos en obra.	46
2.3. SEGUIMIENTO EN LA CONSTRUCCIÓN	48
2.3.1. Productividad.	48
2.3.2. Control de costos.	53
2.4. ESTIMACIÓN DE COSTOS Y PRESUPUESTOS DE OBRA	54
2.4.1. Costos directos.	58
2.4.2. Costos indirectos.	58
2.4.3. Análisis de precios unitarios - APU	60
3. TRABAJO DE CAMPO	66
3.1. DESCRIPCIÓN Y DISEÑO DEL EXPERIMENTO:	67
3.1.1. Identificación y enunciación del problema.	68
3.1.2. Elección de los factores, los niveles y los rangos.	68
4. CARACTERIZACIÓN DEL HERRAMIENTA DE MODELADO DE	

PRESUPUESTOS	81
4.1. ELABORACIÓN DE PRESUPUESTOS EMPLEANDO MODELOS DE INGENIERÍA DE SOFTWARE	81
4.1.1. La obra como sistema:	81
4.1.2. Modelos de Ingeniería de Software aplicables al análisis de presupuestos de obras civiles.	84
4.1.3. Modelamiento de presupuestos a partir del análisis de la influencia de los recursos activos en obra empleando UML.	88
4.1.4. Modelo del Dominio.	116
4.1.5. Aplicación del Modelo del domino para el análisis de presupuestos.	118
4.1.6. Representación gráfica del Modelo del Dominio.	127
4.1.7. Diagrama de Clases: herramienta de apoyo para analizar los costos directos en los presupuestos de construcción.	128
4.1.8. Representación del Diagrama de Clases.	141
5. CONCLUSIONES	143
6. RECOMENDACIONES	146
7. BIBLIOGRAFÍA	147

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. El proceso del software	33
Figura 2. Componentes del análisis estructurado	37
Figura 3. Estructura del análisis orientado a objetos	38
Figura 4. Etapas de la planeación.	43
Figura 5. Esquema para elaboración de presupuestos.	57
Figura 6. Distribución del costo directo en una bodega	59
Figura 7. Esquema para la elaboración de análisis de precios unitarios - APU	61
Figura 8. Distribución de costos directos e indirectos en un presupuesto de obra para una bodega.	63
Figura 9. Diagrama de balance de una obra	65
Figura 10. Esquema de movimiento de la torre grúa.	70
Figura 11. Histogramas de frecuencias de rendimientos	78
Figura 12. Sistema edificación y sus componentes	83
Figura 13. Componentes del proceso de construcción	84
Figura 14. Representaciones en UML de clases conceptuales.	122
Figura 15. Representación en UML de la multiplicidad entre clases conceptuales.	123
Figura 16. Valores de Multiplicidad	123
Figura 17. Asignación de atributos en UML	124
Figura 18. Representación en UML de la generalización de clases.	126
Figura 19. Generalización de la clase conceptual material	127
Figura 20. Desglose de atributos en una clase conceptual	130
Figura 21. Desglose de atributos y operaciones en una clase conceptual	131
Figura 22. Navegabilidad entre clases conceptuales en UML	134
Figura 23. Representación de la clase conceptual Torre Grúa en UML	135

Figura 24. Representación de la clase conceptual Recurso en UML	136
Figura 25. Navegabilidad de la clase conceptual TorreGrúa	138
Figura 26. Representación de la herencia de clases conceptuales en UML	140
Figura 27. Representación de la agregación en UML	141

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Modelo de WBS primaria para el proceso de fundición de muro en concreto.	45
Cuadro 2. Símbolos para diagramas de procesos	51
Cuadro 3. Obras visitadas en el trabajo de campo	67
Cuadro 4. Espacio inferencial para los procesos en obra.	72
Cuadro 5. Niveles del experimento por proceso.	73
Cuadro 6. Ficha de datos recopilados durante el experimento piloto.	75
Cuadro 7. Cálculo para vaciado de muro en concreto	76
Cuadro 8. Resultados experimento piloto para proceso de muro en concreto	76
Cuadro 9. Resultados de rendimientos obtenidos	77
Cuadro 10. Correlaciones y valores Pearson para las variables de respuesta	79
Cuadro 11. Rendimientos de cada proceso	80
Cuadro 12: Área en construcción, por áreas urbanas y metropolitanas, según destinos. III trimestre de 2008	82
Cuadro 13. Características del escenario en los Casos de Uso	89
Cuadro 14. Símbolos del diagrama de casos de uso	115
Cuadro 15. Lista de clases conceptuales candidatas.	119
Cuadro 16. Clases conceptuales definitivas	120

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1 REGISTRO FOTOGRÁFICO	151
Anexo 2. CALENDARIOS DE LAS OBRAS	152
Anexo 3. FORMATO DE TOMA DE DATOS	154
Anexo 4. FICHAS DE DATOS RECOPIADOS DURANTE EL EXPERIMENTO PILOTO	155
Anexo 5. DIAGRAMA DE CASOS DE USO	169
Anexo 6. DIAGRAMA DEL DOMINIO	170
Anexo 7. DIAGRAMA DE CLASES: Herramienta de apoyo para analizar los costos directos en los presupuestos de construcción.	171

RESUMEN

TITULO:

HERRAMIENTA DE APOYO PARA MODELAR Y ANALIZAR LOS COSTOS DIRECTOS EN LOS PRESUPUESTOS DE CONSTRUCCION^{*}

AUTORES:

BARRERA ARIZA, Hailyn Ercilia

SARMIENTO MANTILLA, Adriana Carolina **

PALABRAS CLAVES:

Presupuesto, Costos directos, Rendimientos, Recursos, Análisis de Precios Unitarios, Sistema, Análisis Orientado a Objetos, Lenguaje de Modelamiento Unificado (UML).

DESCRIPCION:

La presente investigación abarca un estudio sobre la influencia de los recursos activos, en los costos directos de los presupuestos de obras civiles. Los Análisis de Precios Unitarios (APU), cuantifican los recursos empleados en obra, de los cuales algunos son excluidos por la complejidad de su participación y su multifuncionalidad. En consecuencia, los APU para ciertos procesos discriminan todos los recursos involucrados, y en su lugar, se hace su cuantificación global como un porcentaje del total de los costos directos.

El trabajo contiene la recopilación de información de rendimientos tipo para procesos observados en obra, en los cuales se evidenció el influjo de algunos recursos que actualmente no son tenidos en cuenta en las variables de costo del proceso. Tal es el caso del recurso torre grúa, que habitualmente se cuantifica como un valor global.

Para analizar el fenómeno presente en la cuantificación de costos directos, se profundizó en otras disciplinas que permitieran evaluar la participación de los recursos activos en cada proceso constructivo. El modelo de Análisis Orientado a Objetos (AOO), es un método empleado en la ingeniería del software para el análisis de sistemas de computadora, el cual se fundamenta en la creación de clases u objetos como elemento central de análisis, que son la abstracción de objetos del mundo real, y permite el análisis de la edificación que es considerada como sistema, cuya notación estándar es el Lenguaje de Modelado Unificado (UML). La implementación del método de AOO permite modelar la influencia de los recursos activos y establecer las relaciones presentes entre ellos, que determinan su cuantificación, de tal manera que puedan ser discriminados como costo directo en el análisis de precios unitarios APU de un presupuesto de obra.

* Tesis de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Director Ing. Guillermo Mejía Aguilar

ABSTRACT

TITLE:

SUPPORT TOOLS TO MODEL AND ANALYZE DIRECT COSTS IN CONSTRUCTION ESTIMATES *

AUTHORS:

BARRERA ARIZA, Haylin Ercilia
SARMIENTO MANTILLA, Adriana Carolina **

KEY WORDS:

Budget, Direct Costs, Performance, Resources, Unit Price Analysis, System, Object Oriented Analysis, Unified Modelling Language. (UML)

DESCRIPTION:

The present investigation covers a study of active resources influence on direct costs in building works estimates. The unit price analysis has been developed to assess the influence of used resources in building works, some of which are excluded because of its participation complexity in process and its functionality. In consequence the APU for some process don't present discrimination in all the resources involved, and instead we found its global assess like a total percentage of direct costs.

This work contains the information compilation of performance rates for noticed process on building works, showing the influence of some resources that actually are not taken into account in the variables of process cost. Like example we have the tower crane resource, that usually is quantified with a global value.

With the aim of analyze the quantification of direct costs, we went deep in other disciplines that let us evaluate the participation of active resources, that take part in every constructive process. The Object Oriented Analysis (OOA), is an analysis method used in software engineering for computer system analysis, based in classes or objects creation as central element of analysis, which is the objects abstraction of real world, and allows considering the building analysis like a system, which standard notation is the Unified Modelling Language (UML). The implementation of OOA allows modelling the influence of active resources and establishing the present links between them. These links determine their quantification so that they can be discriminated as direct cost in the unit prices analysis APU of a building budget.

*Degree project

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering

Civil Engineering School

Advisor Eng. MSc. Guillermo Mejía Aguilar

INTRODUCCIÓN

El análisis y control de los costos de construcción de manera eficiente, es un problema que caracteriza actualmente la gestión y administración de proyectos de ejecución de obras civiles. En consecuencia, la escasez de herramientas para estimar de manera confiable los costos directos, dan como resultado presupuestos con un margen de error elevado. Esto se observa si se analizan los costos obtenidos a partir de los cálculos teóricos previos a la ejecución de las obras, y se comparan con los que realmente se ejecutan. Generalmente estas discrepancias consisten en sobrecostos, inducidos por las fluctuaciones de los precios en el mercado, agregado a los desperdicios en obra, y la tendencia del personal que trabaja in situ a realizar tareas siguiendo sus conocimientos empíricos, y no teniendo en cuenta la planeación determinada de los procesos.

Adicionalmente, los presupuestos no han sido concebidos desde la perspectiva de proveer información sobre los costos que se involucran en los procesos presupuestados. Por consiguiente, no presentan datos que suministren suficiente información de soporte, confiable y cercana a la realidad, ya que durante el desarrollo de los trabajos de construcción, no se tienen en cuenta muchos factores tales como las estructuras desagregadas de trabajo, arrojando desviaciones en los valores de los contratos, de los diferentes recursos disponibles como mano de obra, transporte, insumos, alquileres, etc.

Se ha encontrado además que los trabajos desarrollados para estudiar apropiadamente el análisis de costos, suelen comparar los gastos directos ejecutados en un proyecto, con los valores estimados en un presupuesto que, usualmente, no contempla en su totalidad las actividades desarrolladas en obra.

Con el desarrollo de este proyecto, se pretende crear una herramienta que permita analizar el flujo de recursos en obra y su participación en diferentes tareas, de

modo que se pueda modelar la realidad de los procesos en obra de una manera más precisa. Servirá a otras investigaciones enfocadas a la optimización del tiempo y el desarrollo de los procesos, y cálculo de presupuestos con mayor aproximación. Como punto de partida se hace un reconocimiento e identificación de los recursos que se requieren en el proceso, y aquellos que indirectamente inciden en el mismo, y son empleados en más de una actividad simultáneamente. Se modelará el comportamiento de tales recursos en los procesos, teniendo en cuenta los rendimientos y apuntando a mejorar las estimaciones de costos directos, involucrando algunos que habitualmente se aplican como recursos indirectos. Esto con el fin de apoyar la elaboración de presupuestos de obra, que apliquen tarifas más representativas.

1. PLANTEAMIENTO Y CONTEXTUALIZACIÓN

1.1. LA PROBLEMÁTICA DE LA CONFIABILIDAD EN PRESUPUESTOS DE OBRA

El campo de gestión de la construcción adolece de métodos eficaces para el seguimiento y mejora de procesos³, lo cual implica una incapacidad para presupuestar los costos directos basados en indicadores de productividad y rendimiento acordes con el entorno. Surge la necesidad de plantear una herramienta que permita introducir algunos costos indirectos dentro de los costos directos por proceso, que permita aplicar rendimientos bajo modelos reales y fundamento estadístico, y así garantizar presupuestos con mayor grado de confiabilidad.

Adicionalmente, la industria de la construcción es frecuentemente criticada por su pobre desempeño en el desarrollo de proyectos basados en estimaciones de costos confiables, sumado al uso predominante de diseños y métodos de construcción acelerados dado su afán de disminuir los tiempos de entrega, y las inherentes incertidumbres en la programación de proyectos.⁴

Un factor incidente en el problema de la confiabilidad, puede ser la asignación inadecuada de los costos indirectos en los presupuestos de construcción. Algunas

³ ECHEVERRY, Diego. et al. Simulación digital de procesos de construcción de estructura en concreto: casos de estudio práctico en Bogotá [en línea]. [Bogotá D.C.] Revista Ingeniería de Construcción Vol.23 N°1, (Abril, 2008). Disponible en internet: <http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-50732008000200001&script=sci_arttext>

⁴ The Business Roundtable. Modern management systems: A construction industry cost effectiveness project report. [New York]. En: The business roundtable, Report A-6 (Noviembre, 1992). p. 15.

metodologías de costos en la industria, aplican una repartición proporcional del total de los costos indirectos incurridos durante un periodo de tiempo determinado, entre las distintas órdenes de producción, que en términos de obras civiles, son los procesos constructivos. Una dificultad de estas metodologías yace en el hecho de que los costos indirectos sólo se pueden conocer al final de la producción, cuando ya hayan finalizado todas las actividades de la obra.

Otras metodologías consisten en la presupuestación, que implica tener capacidad de analizar la diferencia entre los costos indirectos reales, y los aplicados. Su desventaja radica en que se fundamenta en partidas globales de datos de costos históricos generales, incurridos en periodos anteriores de operación, sobre los cuales se hace una proyección, generalmente aplicando un incremento basado en la experiencia.⁵ Esta metodología es sencilla, pero tiene falencias sustentadas en la no segregación de los costos en su parte fija y en su parte variable, sin permitir una proyección de los costos indirectos de fabricación a diferentes niveles de producción. No ofrece la posibilidad de determinar un presupuesto de costos indirectos de fabricación para varios niveles de actividad: en las actividades que componen los APU*, y en los procesos que componen los presupuestos.

Así mismo, no permite ejercer un estricto control en la utilización de insumos durante el avance de la obra, ya que asume los costos indirectos repartidos equitativamente en los procesos, y esto obstaculiza la toma de decisiones en la planeación y asignación de recursos para procesos y actividades posteriores. Repartir los costos indirectos de modo igual en cada proceso, no permite ver la realidad del mismo, ya que algunos resultan con costos que en realidad no se presentaron, mientras que en otros, los costos se subvaloran o se sobreestiman.

⁵ PABÓN B., Hernán. Fundamentos de costos. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2004. p.186.

*La definición de estas siglas y sus elementos constitutivos se presenta en la sección 2.4.3.

De una u otra forma, se busca evaluar el nivel de desempeño obtenido en la utilización y manejo de los recursos e insumos de producción, para obtener mayor confiabilidad en los presupuestos, y determinar las causas de las diferencias encontradas entre los costos indirectos aplicados y los reales, con lo que se definen las medidas correctivas pertinentes, mecanismos de control enfocados a maximizar la eficiencia y calidad del proceso productivo.⁶

1.2. LA CREACIÓN DEL MODELO Y SU RELEVANCIA DENTRO DE LA PLANEACIÓN.

Una parte importante de la planeación de un proyecto es aquella que se enfoca en los procesos constructivos en obra. Este proceso de planeación tradicionalmente se basa en conocimientos empíricos y con información disponible en datos históricos, usualmente de obras anteriores de entorno similar y de especificaciones equiparables a las del proyecto en cuestión. Las herramientas que dan apoyo a esta planeación generalmente incluyen diagramas de flujo, redes CPM (critical path method), redes PERT (program evaluation and review technique) y otras herramientas complementarias, y se fundamentan en análisis determinísticos. Sin embargo, estas herramientas tienen limitantes en cuanto a sus posibilidades de pronóstico, y es por esto que se plantea otra metodología en el presente trabajo.

La realidad de los procesos indica que existe una alta variabilidad en el desarrollo de las actividades que componen a los procesos constructivos. Igualmente, es importante contar con adecuados instrumentos para la toma de decisiones; un modelo debidamente formulado, desarrollado y validado, permite decidir sobre la asignación de recursos al proceso, dado que permite pronosticar con suficiente

⁶ Ibid., p.176.

aproximación, qué sucede con el proceso cuando hay cambios en alguna de las variables de entrada (frentes de trabajo, asignación de recursos, entre otras).

En el ambiente actual de la industria de la construcción, a nivel de operación falta una técnica administrativa que presente valores verdaderos y que respalde a la planeación futura y efectiva.⁷

Con la creación de un modelo, se analiza el procedimiento según el cual se ejecuta un trabajo, estudiando los procesos y actividades implicadas, con el objeto de eliminar las tareas innecesarias simplificando el trabajo y desarrollando métodos más económicos para hacerlo. De esta manera se mejoran procedimientos, distribución de recursos y trabajo, ambiente laboral, calidad de la mano de obra y la seguridad, y el uso optimizado de recurso humano, materiales, maquinarias y equipos, entre otros.

En el alcance de la herramienta propuesta en este trabajo de grado, se puede visualizar la mejora en los procedimientos, y la distribución de recursos relacionados con costos indirectos.

El modelo permite hacer un registro sistemático de las operaciones del trabajo, enfocado a analizar críticamente cada tarea y así determinar su contribución dentro de las actividades y los procesos. Algunas de las áreas más favorecidas con la creación del modelo son:

- Tareas altamente repetitivas.
- Tareas que implican un acarreo a distancias largas.
- Procesos de obra que involucran un alto costo de mano de obra y/o equipo, en

⁷ AHUJA, Hira; WALSH, Michael. Ingeniería de costos y administración de proyectos. Barcelona: Alfaomega, 1995. p. 287.

relación con el costo total del proyecto.

- Procesos de obra en los que la producción se encuentra por debajo de lo normal.
- Tipo de trabajo en el cual se especializa la empresa o compañía, y que constituye una representativa parte de su negocio.

Reconocer en obra estas áreas, permite mejorar la manera en que se ejecuta el trabajo, de modo que sea más conveniente, menos laboriosa, y por consiguiente, más eficiente y efectivo. Por tanto, se minimizan deficiencias tales como:

- Movimiento innecesario de materiales y personal.
- Trabajo que implica mucha fatiga.
- Cuellos de botella, tiempo de espera y paros o interrupciones.
- Un elevado desperdicio de materiales.
- Métodos que consumen tiempo.
- Trabajo duplicado.

Una vez hecho el registro de las operaciones, se puede medir el trabajo en términos de rendimiento de cada proceso. Según AHUJA-WALSH⁸, el nivel de rendimiento se refiere a la cantidad de trabajo a la norma requerida, bajo condiciones razonables de trabajo, dado un suministro adecuado de equipo y materiales.

A partir de la determinación de los rendimientos, se logra:

- Comparar la eficiencia de los métodos alternativos de construcción.
- Equilibrar tanto como sea posible la cantidad de trabajo que realiza cada miembro de la cuadrilla en comparación con otro.
- Determinar el número de actividades que puede desempeñar eficientemente

⁸ Ibid., p. 294.

una persona, examinando los efectos que el tiempo ejerce sobre ella, y sobre aquellas con quienes ésta se interrelaciona en el trabajo.

- Proporcionar información sobre los estimados preoferta.

En consecuencia, estos logros proporcionan información actualizada que permite realizar una mejor planeación, programación cronológica y estimación, aspectos fundamentales para el éxito de un proyecto. Es por esto que es de relevancia medir el trabajo, ya sea en términos de estudio de tiempos, o en muestreo de actividades.

Durante el desarrollo del modelo planteado en este proyecto, se utilizan ambas técnicas de medición de trabajo.

1.3. LA INFLUENCIA DE LOS ANÁLISIS DE COSTOS DIRECTOS EN LOS PRESUPUESTOS.

Los costos directos indican el valor de los recursos a utilizar en un proyecto, y son de naturaleza variable, en cuanto a su proporcionalidad directa con las cantidades de obra a ejecutar; el costo aumenta con el volumen de producción, definido por las cantidades de obra.

Los recursos o insumos involucrados en los costos directos, son un elemento que constituye una mayor incidencia en los costos de producción de una obra, razón por la cual la elaboración del presupuesto tiene como objetivo determinar las necesidades de recursos con un nivel adecuado de cálculo de cantidades de obra, y una razonable asignación de precios, con base en tarifas reales del mercado.

En la elaboración de un presupuesto se presta especial atención al análisis y determinación de los costos directos, dado que son un componente variable, y su buena estimación conlleva a un buen plan presupuestal de un proyecto.

Adicionalmente, los costos directos conforman un representativo porcentaje de los gastos de una obra; de ahí que los costos directos tengan relevancia dentro del presupuesto.

La evaluación de costos directos, y por ende, el presupuesto, proporciona una metodología para la toma de decisiones de planificación de la gestión de un proyecto. Se pueden establecer comparaciones para mostrar los resultados históricos y presupuestos bajo circunstancias diferentes. La administración puede usar esos análisis para evaluar el comportamiento de un proyecto frente a cambios de volumen de producción o cantidades de obra, cambios en los precios y tarifas del mercado, incluso, cambio en las unidades de costo, es decir, si se reemplaza en función de su valor unitario, una actividad de algún proceso, por otra que lleve al mismo resultado, Dado que el presupuesto es la sumatoria de todos los costos directos calculados, al cambiar uno de ellos, el presupuesto también cambia.

Una de las ventajas de conocer los costos directos es que favorece la toma de decisiones, elección de alternativas, y planear las utilidades. En esto último se introduce un concepto denominado punto de equilibrio, con el cual se determina el valor en el cual la ejecución de un proyecto no arroja ni pérdidas ni ganancias. Así, se pueden planear las utilidades y ganancias que se pretenden con la realización y venta de un proyecto. En proyectos de vivienda, es muy utilizado este término, ya que es una herramienta financiera que permite determinar el momento en el cual las ventas cubrirán exactamente los costos, y muestra la magnitud de las utilidades o pérdidas de la empresa cuando las ventas exceden o caen por debajo de este punto.

De otro lado, el revisar los costes directos de un presupuesto puede ayudar a identificar la relevancia de cada proceso en cuanto a su costo unitario, pudiéndose identificar los procesos que requieran más cuidado en función de su costo. Son

significativamente sensibles a los cambios de cantidades de obra, aquellos procesos cuyo costo es alto, respecto a otros dentro del presupuesto.

Por lo anterior es relevante tener en cuenta la influencia de los costos directos en obra, más que otros conceptos de costo como los indirectos, dado que especifican los requerimientos particulares de las obras (cada obra tiene procesos distintos, y con diferentes cantidades), y en ese sentido, se hace tangible la estimación de cantidades de inversión, una de las preocupaciones inminentes durante la planeación de proyectos.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. ANÁLISIS Y MODELAMIENTO

2.1.1. Concepto de sistema.

La palabra “sistema” es un término empleado frecuentemente en diferentes contextos. Se habla de sistemas de gobierno, sistemas de educación, sistemas de ecuaciones, sistemas de información. El New Collegiate Dictionary de Webster, define sistema como “un conjunto o disposición de cosas relacionadas de manera que forman una unidad o un todo orgánico. Un conjunto de hechos, reglas, principios, etc., clasificadas de manera ordenada mostrando un plan lógico de unión de las partes”.

Partiendo de esta definición, Pressman⁹ define los sistemas basados en computadora como un conjunto o arreglo de elementos que están organizados para realizar un objetivo predefinido procesando información.

Los elementos a través de los cuales el sistema logra su objetivo, combinándose de varias maneras para transformar la información son:

- Software: son programas de computadoras, estructuras de datos y su documentación que sirven para hacer efectivo el método lógico, procedimiento o control requerido.
- Hardware: son dispositivos eléctricos que proporcionan capacidad de cálculo y dispositivos electrónicos que proporcionan una función externa.
- Personas: son los usuarios y operadores del hardware y software.
- Base de datos: consiste en una gran colección de información organizada a la

⁹ PRESSMAN, Roger S. Ingeniería del software: un enfoque práctico. Quinta edición. México D.F.: Mc Graw Hill, 2001. P. 157.

que se accede por medio del software.

- Documentación: comprende los manuales, formularios y otra información descriptiva que retrata el empleo y/o operación del sistema.
- Procedimientos: son los pasos que definen el empleo específico de cada elemento del sistema o el contexto procedimental en que reside el sistema.

Varios autores han definido el software de diferentes maneras. Lewis, en 1994 lo definió como “la suma total de los programas de computadora, procedimientos, reglas, la documentación asociada y los datos que pertenecen a un sistema de cómputo”¹⁰. Para Sommerville¹¹, software son “Todos los documentos asociados y la configuración de datos que se necesitan para hacer que los programas de computadora operen de manera correcta”. Según Pressman, ingeniería del software es “el proceso, donde los sistemas, aplicaciones y programas son analizados, diseñados y construidos”.¹²

2.1.2. Ingeniería del Software.

La noción de ingeniería del software fue propuesta inicialmente en 1968, y a partir de esta época ha mostrado un desarrollo considerable. Es una disciplina que comprende todos los aspectos de la producción del software, desde las etapas iniciales de la especificación del sistema, hasta el mantenimiento de éste después de que se utiliza.¹³ Integra procesos, métodos y herramientas para el desarrollo de programas de computadora.¹⁴

¹⁰ LEWIS, G. ¿What is Software Engineering? USA: DataPro (4015), 1994. pp. 1-10.

¹¹ SOMMERVILLE, Ian. Ingeniería del Software. Séptima edición. Madrid: Pearson Addison Wesley, 2006. p. 5.

¹² PRESSMAN. Op. cit., p. 163

¹³ SOMMERVILLE, Op. cit., p. 6.

¹⁴ PRESSMAN, Op. Cit., p. 34.

Según Zelkowitz *et. al.* en 1978, se considera como el estudio de los principios y metodologías para el desarrollo y mantenimiento de sistemas de software.¹⁵

2.1.2.1. Proceso del software. Para establecer los programas de computadora a partir de la configuración de los datos que conforman el sistema, es necesario definir un conjunto de actividades y resultados asociados que originan un producto a lo cual se le denomina proceso del software.¹⁶ Este proporciona la estructura desde la que se puede establecer un detallado plan para el desarrollo del software.¹⁷ Existen cuatro actividades fundamentales de procesos que son comunes para todos los procesos de software, y pueden organizarse como muestra la Figura 1. Estas son:

- Especificación, o definición de requerimientos, donde los clientes e ingenieros definen el software a producir y las restricciones sobre su operación.
- Desarrollo, en la que se diseña y se programa.
- Validación, con la cual se valida para asegurar qué es lo que el cliente requiere.
- Evolución, durante la cual se modifica para adaptarlo a los cambios requeridos para el cliente y para el mercado.

2.1.2.2. Modelamiento del sistema. En un nivel técnico, la ingeniería del software empieza con una serie de tareas de modelado que llevan a una especificación completa de los requisitos, y a una representación del diseño general del software a construir. El modelo de análisis, como conjunto de modelos, es la primera representación técnica de un sistema.¹⁸ Un modelo es un simulacro a bajo costo

¹⁵ ZELKOVITZ, M.V.; SHAW, A.C.; GANNON, J.D. Principles of Software Engineering and Design. Prentice Halls, 1979. p. 32.

¹⁶ SOMMERVILLE, Op. Cit., p. 7.

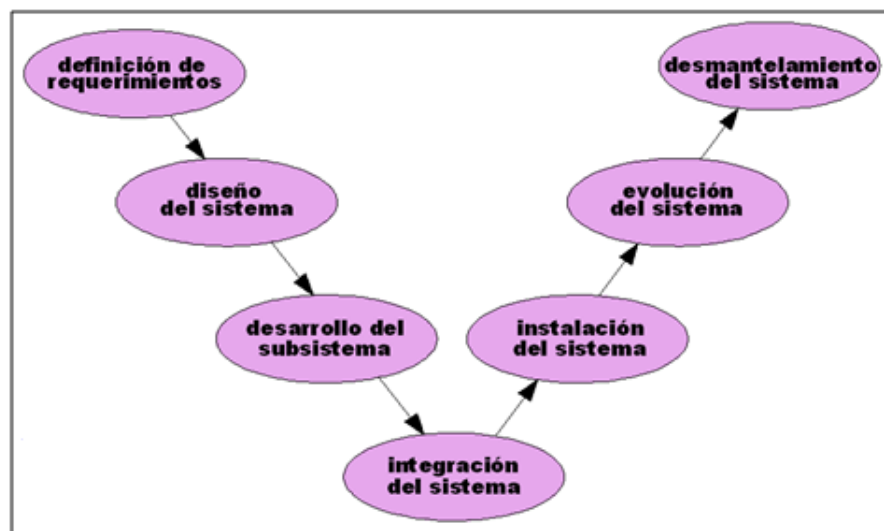
¹⁷ PRESSMAN, Op. Cit., p. 40.

¹⁸ Ibid., p. 201.

de un sistema complejo que se desea estudiar¹⁹, y con el que el sistema se visualiza y describe en forma simplificada. Los modelos de sistemas se construyen por tres motivos:

- Enfocar características importantes del sistema, minimizando las características menos importantes.
- Discutir cambios y correcciones a los requerimientos del usuario, a bajo costo y con riesgo mínimo.
- Verificar que el ambiente del usuario se entiende, y que ha sido documentado de tal manera que los diseñadores y programadores puedan construir un sistema.²⁰

Figura 1. El proceso del software



Fuente: SOMMERVILLE²¹

Los modelos de un sistema son representaciones gráficas que describen el

¹⁹YOURDON, Edward. Análisis Estructurado Moderno. México D.F.: Prentice Hall Hispanoamericano S.A., 1993. p. 62.

²⁰ Ibid. p. 150.

²¹ SOMMERVILLE. Op. cit., p. 24.

sistema que se desea desarrollar. Debido a las representaciones gráficas usadas, los modelos son a menudo más compatibles que las descripciones detalladas del lenguaje natural de los requerimientos del sistema. Ellos constituyen también un puente importante entre el proceso de análisis y diseño.²²

Pueden usarse modelos en el proceso de análisis, para comprender el sistema que se va a reemplazar o mejorar, o para especificar el sistema a crear. Pueden desarrollarse diferentes modelos para representar el sistema desde diferentes perspectivas:

- Una perspectiva externa, en la que se modela el contexto o entorno del sistema.
- Una perspectiva de comportamiento, en la que se modela el comportamiento del sistema.
- Una perspectiva estructural, en la que se modela la arquitectura del sistema o la estructura de los datos procesados por el sistema.²³

Sobre estas tres perspectivas se sustentan los modelos de análisis de sistemas, bien sea empleando una o la combinación de varias de ellas.

2.1.2.3. Métodos de la ingeniería del software. Un método de ingeniería del software es un enfoque estructurado para el desarrollo, cuyo propósito es facilitar la producción de alta calidad de una forma costeable.²⁴

Las dos tendencias predominantes utilizadas frecuentemente para el modelo de análisis del sistema, son el análisis estructurado que surgió en los años 70, y el análisis orientado a objetos que tuvo su aparición en los años 80 y 90.

²² SOMMERVILLE, Op. cit., p. 154.

²³ Ibid., p. 154

²⁴ Ibid., p. 10.

El análisis estructurado es un análisis de construcción de modelo²⁵. Los modelos creados representan el contenido y el flujo de la información. Puede decirse que el análisis estructurado es aquel que posee un mantenimiento sencillo, que trata los problemas mediante un método efectivo de partición.

Por otra parte, en el Análisis Orientado a Objetos (OO), el uso de objetos con datos y funcionalidad, ha demostrado ser una forma de pensamiento más efectiva. La OO es efectiva porque puede representar las partes del mundo real de las aplicaciones, y estrechar la brecha conceptual entre las componentes del mundo real y las componentes del software.²⁶ Finalmente, estos diferentes enfoques se han integrado en un solo enfoque unificado basado en el Lenguaje de Modelado Unificado (UML).

2.1.3. Análisis estructurado.

Un método estructurado es una forma sistemática de elaborar modelos de un sistema existente o de un sistema que tiene que ser construido.²⁷ Es una herramienta que permite una notación gráfica de los datos y los procesos que los transforman.²⁸

El método estructurado usa ramificaciones, secuencias, iteraciones e introducen funciones para garantizar que tengan un tamaño aceptable. Éstas invocan funciones adicionales de niveles más bajos, y así sucesivamente hacia abajo de la jerarquía (top-down) lo cual le hay permitido tener grandes avances.

²⁵ PRESSMAN, Op. cit., p. 200.

²⁶ BRAUDE, Eric. Ingeniería de software; una perspectiva orientada a objetos. Madrid: RA-MA, 2003. p. 21.

²⁷ SOMMERVILLE. Op. cit., p. 170.

²⁸ PRESSMAN. Op. cit. p. 202.

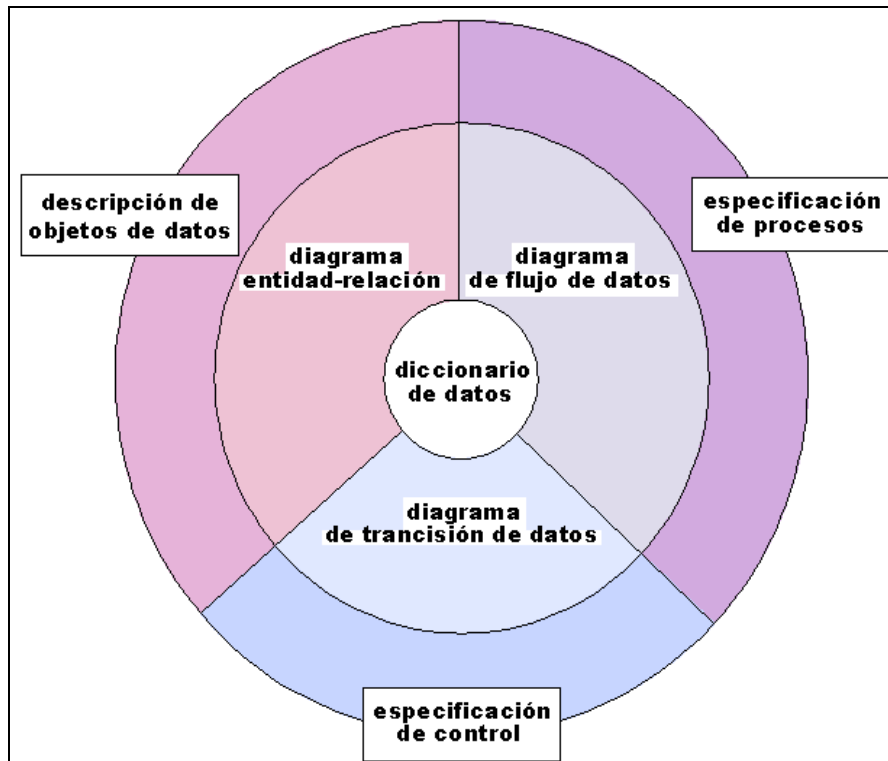
2.1.3.1. Componentes del análisis estructurado. El análisis estructurado establece un modelo fundamentado en la descripción de los datos, la especificación y control de los procesos que los rigen. La Figura 2 muestra dichos componentes; en el centro del modelo se encuentra el *diccionario de datos* que contiene las definiciones de todos los objetos de datos consumidos y producidos por el software. Circundando el diccionario de datos se encuentran el *diagrama de entidad – relación* que representa la relación entre los objetos de datos, el *diagrama de flujo de datos* que proporciona una indicación de cómo se transforman los datos a medida que avanza el sistema y representa las funciones y subfunciones que transforman los datos y por último, el *diagrama de transición de estados* que indica cómo se comporta el sistema como consecuencia de sucesos externos.

Los métodos estructurados han sido aplicados con éxito en muchos proyectos grandes. Pueden suponer reducciones significativas de coste debido a que utilizan notaciones estándar y aseguran que se produce una documentación estándar. Sin embargo, los métodos estructurados tienen los siguientes inconvenientes:

- No proporcionan un soporte efectivo para la comprensión o el modelado de requerimientos del sistema no funcionales.
- No discriminan, normalmente no incluyen guías que ayuden a los usuarios a decidir si un método es adecuado para un problema concreto. Tampoco incluyen consejos sobre cómo pueden adaptarse para su uso en un entorno particular.
- A menudo generan demasiada documentación. La esencia de los requerimientos del sistema puede quedar oculta por el volumen de detalle que se incluye.
- Los modelos producidos son muy detallados, y los usuarios a menudo los encuentran difíciles de entender. Por lo tanto, estos usuarios no pueden

comprobar el realismo de estos modelos.²⁹

Figura 2. Componentes del análisis estructurado



Fuente: PRESSMAN³⁰

De manera general, es de considerar que uno de los problemas más grandes con la programación estructurada es que no está diseñada para hacer corresponder las entidades del programa con las entidades del mundo real, lo que dificulta manejarla y adaptarla cuando cambia los requerimientos.

2.1.4. Análisis orientado a objetos.

Un sistema orientado a objetos (OO) es un conjunto de objetos que interactúan, los cuales mantienen su propio estado local y proveen operaciones sobre su

²⁹ SOMMERVILLE, Op. cit., p. 170.

³⁰ Ibid., p. 202.

estado.³¹ Los objetos pueden ser clasificados, descritos, organizados, combinados, manipulados y creados. Los sistemas (OO) son más fáciles de mantener que los sistemas desarrollados con otras aproximaciones, debido a que los objetos son independientes. Tales sistemas pueden ser entendidos y modificados como entidades independientes. Cambiar la implementación de un objeto o agregarle servicios no debe afectar a los otros objetos del sistema. Puesto que los objetos están asociados a las cosas, a menudo existe una correspondencia clara entre las entidades del mundo real y los objetos del control del sistema. Esto mejora la comprensión y la manejabilidad del diseño.

El método de análisis orientado a objetos es una abstracción que modela el mundo, de manera tal, que ayuda a entenderlo y gobernarlo mejor. Este posee una estructura inherentemente descompuesta y que tiende a evolucionar con el tiempo.

Figura 3. Estructura del análisis orientado a objetos



Fuente: Las autoras. Basado en PRESSMAN³²

Los conceptos empleados para el análisis orientado a objetos, se explican a continuación.

2.1.4.1. Clases y objetos. El proceso de análisis orientado a objetos comprende la identificación de clases de objetos, y las relaciones entre estas clases. Las clases definen los objetos del sistema y sus interacciones.

³¹ Ibid., p. 286.

³² PRESSMAN. Op. cit. p. 369.

Se conoce como *objeto* a toda *entidad del mundo real* que encapsula datos, operaciones y otra información relacionada. Es una entidad que tiene un estado y un conjunto de operaciones definidas que operan sobre ese estado.

Una *clase* es un concepto OO que encapsula las abstracciones de datos (atributos) y procedimientos, que se requieren para describir el contenido y el comportamiento de alguna entidad del mundo real. Las clases son descripciones generalizadas que describen una colección de objetos similares. Estas a su vez conforman jerarquías donde los atributos de los niveles superiores, son heredados en su totalidad con la libertad de adicionar nuevos atributos.

Las tecnologías de objetos reflejan una visión natural del mundo real. Los objetos están categorizados en clases y las clases en jerarquías. Cada clase contiene un conjunto de atributos que la describen, y un conjunto de operaciones que describen su comportamiento. Los objetos modelan casi todo aspecto identificable del dominio del problema: entidades externas, cosas, ocurrencias, roles, unidades organizacionales, lugares y estructuras pueden ser representadas como objetos. Es importante destacar que los objetos y las clases de las que se derivan, encapsulan datos y procesos.

2.1.4.2. Atributos. Son las *características estables* que permiten la descripción de una entidad de la vida real. La mayoría de los objetos tienen características físicas tales como forma, peso, color y tipo de material, las cuales pueden verse como una relación binaria entre una clase y cierto dominio. La relación binaria implica que un atributo puede tomar un valor definido por un dominio numerado.

2.1.4.3. Operaciones, métodos y servicios. Las operaciones proporcionan una representación de uno de los *comportamientos del objeto*. Los comportamientos a los cuales responde el objeto son el resultado de los estímulos a los que se

encuentra sometido. Las operaciones de proceso son parte del objeto y se inician al entregar un mensaje.

2.1.4.4. Mensajes. Son el medio a través del cual los objetos interactúan. Un mensaje estimula la ocurrencia de cierto comportamiento. El paso de mensajes mantiene comunicado un sistema orientado a objetos.

2.1.4.5. Encapsulamiento, herencia y polimorfismo. Son tres conceptos importantes que diferencian el enfoque OO de la ingeniería del software convencional. El *encapsulamiento* empaqueta datos y operaciones en un objeto simple con denominación. La *herencia* permite que los atributos y operaciones de una clase, sean heredados por todas las subclases y objetos que se instancian de ella. El *polimorfismo* permite que una cantidad de operaciones diferentes posean el mismo nombre, reduciendo la cantidad de líneas de código necesarias para implementar un sistema, y facilitando los cambios en caso de que se produzcan.³³

2.1.5. Lenguaje Modelado Unificado (UML).

El Lenguaje de Modelado Unificado (UML) es un lenguaje para especificar, visualizar, construir y documentar artefactos del sistema software, así como para el modelado de negocios y otros sistemas no software. UML se ha convertido en la *notación visual estándar* para el modelado orientado a objetos.

Es necesario aclarar que UML no es una herramienta para crear sistemas software, es un lenguaje visual para comunicar, modelar, especificar y definir sistemas; no es un proceso prescriptivo para crear sistemas de software y no provee un método o proceso ya que proporciona simplemente el lenguaje. Este lenguaje está diseñado para ser flexible, extensible, y comprensible, sin embargo

³³ PRESSMAN. Op. cit., p. 383

es lo suficientemente genérico para servir en todas las necesidades de modelado del sistemas. Con su especificación, hay un amplio rango de elementos caracterizados por los tipos de diagramas en donde se usan y los atributos que proveen.³⁴

Aunque fue concebido inicialmente como lenguaje para el desarrollo de software, el UML puede ser usado para modelar un amplio rango de dominios del mundo real. Por ejemplo, el UML se puede usar para modelar procesos del mundo real (negocios, ciencia, industria, educación y otros), jerarquía de organizaciones, mapas de despliegue, entre otras aplicaciones.

2.1.5.1. Diagramas UML. Este lenguaje emplea dos grupos mayoritarios de diagramas para modelar sistemas: los *Diagramas Estructurales* los cuales muestran una vista estática del modelo; y los *Diagramas de Comportamiento* los cuales muestran una vista dinámica del modelo. Entre los diagramas estructurales, se incluyen los siguientes:

- Diagrama de Clases
- Diagrama de Objetos
- Diagrama de Componentes
- Diagrama de Estructura Compuesta
- Diagrama de Despliegue
- Diagrama de Paquetes

Entre los diagramas de comportamiento, se incluyen los siguientes:

- Diagrama de Interacción
- Diagrama de Secuencia

³⁴SPARK, Geoffrey. Enterprise Architect User's Manual. Versión 7.1.834. Sparx Systems. 1998-2008.

- Diagrama de Comunicaciones
- Diagrama de Descripción de la Interacción
- Diagrama de Tiempos
- Diagrama de Actividades
- Diagrama de Casos de Uso.
- Diagrama de Máquina de Estados

Los diagramas de notación que emplea UML se emplean para las fases de análisis y diseño de software, permitiendo la comprensión y modelamiento del sistema que se desea plasmar.

2.2. PLANEACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN

“La planeación puede ser definida como la determinación de la metodología o camino que se va a utilizar para el cumplimiento de un objetivo específico”³⁵. La metodología se aplica a través de la realización de un conjunto de actividades en una determinada secuencia enfocada a la obtención de cierto objetivo. Esta secuencia se va perfeccionando con base en experiencias anteriores en un producto similar, de manera que se logre un óptimo aprovechamiento de recursos necesarios para obtener el resultado o producto.

Cuando se habla de la obtención de un producto y la optimización de recursos, se habla de la planeación estratégica. Planear con estrategia permite tener en cuenta todos los factores, internos o externos, inherentes a un proyecto (la visión); definir e identificar claramente las características, los alcances y términos de duración (la misión); hacer conexiones entre las actividades y personal que intervienen o

³⁵ SERPELL, Alfredo. Administración de operaciones de construcción. Segunda edición. México D.F.: Alfaomega. p.81.

aportan al producto (flujo de recursos); analizar el contexto y entorno en el que se desarrolla un proyecto, en busca de oportunidades y amenazas (retroalimentación).

Figura 4. Etapas de la planeación.



Fuente: Picón, V.; Velasco, A.³⁶

En la planeación de proyectos es pertinente hacer ciertas consideraciones que permiten establecer si son necesarios, si agregan valor, o si obedecen a la satisfacción de expectativas particulares. Así mismo, dentro de esta etapa de planificación se escoge la mejor alternativa de inversión para llevarlo a cabo, y se realiza la evaluación de riesgos. Para ello, la organización que tiene a su cargo un proyecto, debe aplicar técnicas para la toma de decisiones, las cuales consisten en pronósticos, evaluación de proyectos de capital, y evaluación de riesgo e incertidumbre.³⁷

Una vez establecida la viabilidad de un proyecto, y analizado en el contexto que le compete, se hace la evaluación detallada de los costos de ejecución del mismo. En este aspecto, la elaboración del presupuesto tiene relevancia ya que debe reflejar información suficiente de cada proceso y, aún cuando el objetivo de

³⁶ PICÓN, Viviana; VELASCO, Alba. Elaboración de texto guía para la asignatura de construcción I. Capítulos de: Planificación, programación y costos de procesos y operaciones en la construcción. Bucaramanga, 2007, 221 p. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. p.29.

³⁷ AHUJA & WALSH. Op. Cit. p.1.

presupuestar es obtener costos proyectados de ejecución, también proporciona indicadores de rendimiento y productividad. Más adelante se tratará sobre el tema de presupuestos de obra.

Existen metodologías para aplicar la planeación estratégica. Una de ellas es establecer la WBS del proyecto, para la cual se requiere tener claramente identificada la misión; dicho de otro modo, es necesario tener definidos los objetivos y características de la estructura de trabajo. A continuación se desglosan los aspectos generales de esta metodología.

2.2.1. Estructura desglosada de trabajo – WBS.

La WBS o estructura desglosada del trabajo (Work Breakdown Structure), es una técnica de planeación mediante la cual se puede definir y cuantificar el trabajo a realizar en todo el proyecto. Permite organizar el trabajo, y en este sentido, tiene apariencia similar al organigrama tradicional de una empresa, ya que jerarquiza las estructuras de trabajo según su relevancia o alcance.

Para la construcción de la WBS se requiere analizar el proyecto y encontrar las áreas de trabajo en que puede ser dividido, las cuales constituirán los paquetes de trabajo. Estos a su vez se componen de una serie de procesos, cada uno con sus actividades propias, que pueden ser subdivididas hasta lograr el desglose necesario o requerido por el proyecto, dada la complejidad en cada caso³⁸. Puede presentarse el caso que dentro de estas, existan tareas que participen o intervengan en más de una actividad.

La WBS es la base para constituir la estructura sobre la información de costos en

³⁸ MILLER, Dennis. Building a project work breakdown structure: Visualizing objectives, deliverables, activities and schedules. Taylor and Francis Group, LLC. 2008.

obra. Para ello, también se requiere la información de los costos individuales, que se hace cuando se elabora el presupuesto, que se describe en el numeral 2.4. En el cuadro 1 se presentan algunos elementos de la WBS que se empleará para elaborar el modelo del proceso de fundición de muro en concreto.

Cuadro 1. Modelo de WBS primaria para el proceso de fundición de muro en concreto.

Proceso	Actividad	Tarea	Un	Cuadrilla tipo		Cdllas	Hom	Rdto cdlla	HR
				Rdto(h-H)	Cdlla				
FUNDICIÓN MURO	Corte y flejado	Transporte	Kg						
		Corte	Kg						
		Figurado	Kg						
		Armado	Kg						
	Formaleteado	Transporte	m ²						
		Colocación	m ²						
	Fundida	Transporte	m ³						
		Vaciado	m ³						
		Vibrado	m ³						
	Desformaleteado	Desarme	m ²						
		Transporte	m ²						
	Curado	Curado	m ²						
	Abreviaturas	Un	Unidad						
	Rdto (h-H)	Rendimiento hora hombre							
	Cdlla	Cuadrilla							
	Cdllas	Cuadrillas							
	Hom	Hombres							
	Hr	Horas							

Fuente: Las autoras.

Cabe anotar que para la elaboración de los modelos, se empleará el flujo y secuencia de actividades tal como se describe en la WBS, pero no se tendrán en cuenta todos los elementos que la componen, dado que no son de relevancia para la elaboración del modelo planteado como objetivo de este trabajo. Por lo tanto, la

información de cantidades de obra específicas de los procesos no se tendrán en cuenta dentro de los modelos, pero sí las unidades, los rendimientos y la descripción del proceso paso a paso. Este modelo se completará cuando se esté planteando la herramienta, y por ahora se coloca de modo explicativo; a este tipo de WBS se llamará *WBS primaria*.

2.2.2. Información de costos en obra.

Con el análisis de costos de un proyecto se determina una estructura desagregada de variables, que se compone de procesos, y a su vez de actividades a realizar.

De esta manera se tiene una estructura de costo que permite al analista:

- Identificar y medir los recursos empleados tales como materiales, mano de obra y equipos, para complementar las actividades que conforman cada proceso.
- Reducir la incertidumbre respecto a los costos de producción en cada proceso, y medir y evaluar el nivel de riesgo.
- Establecer los costos a diferentes niveles del proceso productivo y determinar su eficiencia.
- Disponer de información que facilite el seguimiento y control de las operaciones y actividades en cada periodo.
- Comparar la productividad de cada sistema de producción, entendida en construcción como proceso.
- Establecer la eficacia y eficiencia en el manejo de los recursos en función del rendimiento y productividad.
- Evaluar el rendimiento económico y financiero, si se tienen datos de otros proyectos equiparables y datos de ingresos por la venta del proyecto, y se observa el comportamiento de la relación coste/beneficio.
- Evaluar el comportamiento de la relación entre el presupuesto ejecutado, y el presupuesto programado, conocido como índice de avance de costos.

- Analizar la relación entre el índice de avance de costos, con el índice de avance físico, si se tienen datos sobre las cantidades de obra ejecutada y las cantidades de obra programada.

Uno de los instrumentos para la planificación y la administración de obra, lo constituye el conocimiento de los costos de operación y producción, lo que implica la identificación de los recursos relacionados directa e indirectamente, en un período determinado, para la ejecución y terminación de una obra.

Un sistema de seguimiento de los costos bien establecido, proporciona una información completa sobre los recursos disponibles, en cuanto a su uso y productividad, permitiendo así la aplicación de correctivos a fin de aumentar la eficiencia y la reducción de costos de producción.

Cada elemento de costo, lleva consigo una suma de eventualidad para cubrir el riesgo e incertidumbre. En todos los negocios, y en especial los de construcción, siempre hay un elemento de incertidumbre y de riesgo inherente a la ejecución de los planes del proyecto. Se hacen evaluaciones estadísticas para hacer estimaciones del grado de incertidumbre, y en consecuencia, se obtiene una herramienta para medir y evaluar el nivel de riesgo inherente, pero no se logra eliminarlo, ya que este obedece a factores externos que no se pueden controlar.

Para establecer un sistema de costos en obra, y por lo tanto conformar un banco de datos que permita extraer información útil, se emplean los informes existentes en el proyecto en ejecución, y documentaciones tales como planos de diseño, especificaciones técnicas, presupuestos, etc. Estos otorgan los datos, flujo de información, requerimientos, suministros, volúmenes, número y tipo de actividades técnicas, capacidad, recursos físicos y humanos vinculados a las actividades del proyecto, y estructura de organización.

El conocimiento del funcionamiento y operación tanto de los aspectos técnicos como administrativos de una obra en ejecución, permite la asignación de los diferentes elementos de costo, determinar las unidades responsables y así preparar informes periódicos sobre gastos y asignación de materiales y suministros, esto con el fin de hacer seguimiento al proyecto.

2.3. SEGUIMIENTO EN LA CONSTRUCCIÓN

El propósito del seguimiento y control de proyectos de construcción, es el de proveer una visión objetiva del estado actual del proyecto y determinar las posibles desviaciones a fin de tomar las correcciones del caso³⁹. El seguimiento es la evaluación rutinaria del estado de los procesos, y el control es la aplicación de correctivos, con base en los resultados del seguimiento.

Con el seguimiento de los procesos, se tiene información de la productividad, y de esta manera se pueden aplicar medidas para aumentarla y lograr mayor confiabilidad en el producto y reducir los costos por unidad. A continuación se hace referencia a la productividad como parámetro y principal objetivo del seguimiento.

2.3.1. Productividad.

La productividad se define según Schroeder, como la relación existente entre los insumos y los productos de un sistema productivo, y se mide mediante un cociente de la producción entre los insumos. Se interpreta que la productividad mejora cuando se obtiene la misma producción con menor número de insumos, o

³⁹ GARCERANT, Iván. Prácticas: Seguimiento y control de proyectos. En: Tecnología y Synergix (Junio, 2008). Disponible en internet: <<http://synergix.wordpress.com/2008/06/19/practicas-seguimiento-y-control-de-proyectos/>>

también, mayor producción con mismo número de insumos.⁴⁰

Se define matemáticamente como la “relación aritmética de producto a insumo, dentro de un periodo determinado, con la debida consideración de calidad.”⁴¹

$$\text{Productividad} = \frac{\text{cantidad producida}}{\text{insumos empleados}}$$

El objetivo básico de cualquier proceso constructivo debe ser incrementar esta relación, basado en un desempeño efectivo y eficiente a la hora de ejecutar determinado trabajo. Ser productivo como estrategia de gestión es una necesidad cada vez más evidente. Exige conocer técnicas y procedimientos de mejoramiento e implementarlas adecuadamente, a la par con el desarrollo de sistemas de mejoramiento de manera integral que involucren todas las etapas de gestión, desde la planeación hasta el control y seguimiento. Con esto se implementan metodologías que midan los recursos que tienen incidencia directa con el tiempo.

La estimación y seguimiento de la productividad en obra, tiene importancia por dos razones primordiales: la primera, servir como parámetro de mejoramiento en procesos futuros, para lo cual los rendimientos calculados, denominados rendimientos tipo, deben expresarse sin tener en cuenta el factor de afectación o valoración subjetiva del entorno; la segunda, servir como registro histórico de apoyo en los procesos de elaboración de presupuestos y programación de obra, para ello los rendimientos tipo deben afectarse considerando futuras condiciones del entorno del proceso.

⁴⁰ SCHROEDER, Roger G. Administración de operaciones. Tercera edición. México D.F. McGraw Hill. 1995. p. 533

⁴¹ KOONTS, Harold. WEIHRICH, Heinz. Administración: Una perspectiva global. Undécima edición. México D.F. McGraw Hill. 1998. p. 13

La supervisión del rendimiento es un factor importante en la industria y que tradicionalmente ha sido llevado a cabo comparando los costos reales en contra de los estimados, como un indicador de eficiencia. Este representa la medición del trabajo, y la evaluación de sus métodos.





2.3.1.1. Evaluación de los métodos de trabajo. Para realizar una evaluación del trabajo, se examinan las operaciones del mismo durante un periodo, y así se establece y registra cada una de las actividades y tareas regulares. Se conocen varias técnicas para evaluar los métodos de trabajo. Unas tienen fundamento gráfico siendo las más conocidas y ampliamente usadas desde hace varios años en los sistemas de medición de trabajo; estas son el diagrama de procesos y el diagrama de flujo. Ambos presentan una secuencia de actividades que se llevan a cabo desde el comienzo hasta el final de un proceso.

Otras técnicas se basan en el análisis de tiempos y actividades, y pueden apoyarse en alguno de los métodos gráficos; las dos más aplicadas son el estudio del tiempo y el muestreo de actividades.

2.3.1.1.1. Diagrama de procesos. Esta técnica presenta la secuencia de actividades involucradas en un proceso, utilizando símbolos estándares, como los que se presentan en el Cuadro 2.

2.3.1.1.2. Diagrama de flujo. Esta técnica presenta la secuencia de actividades involucradas en un proceso, utilizando una ruta en la que se resaltan partes del trabajo en donde ocurre la mayoría de tareas. También permite visualizar diferencias entre las actividades en distintas estaciones de trabajo y retrocesos por actividades indeseables tales como retrasos, ausencia de materia, fallas mecánicas en equipos, etc.

Cuadro 2. Símbolos para diagramas de procesos

Símbolo	Significado	Descripción
	Operación	Indica los pasos principales que se llevan a cabo dentro de un proceso, método o procedimiento.
	Transporte	Indica el movimiento de trabajadores, materiales, o equipo de un sitio a otro.
	Almacenamiento permanente	Señala un almacenamiento controlado en donde se recibe el material y de donde se saca mediante alguna forma de autorización, o donde se retiene un artículo con propósitos de referencia.
	Almacenamiento temporal o demora	Indica una demora en la secuencia de eventos por la obstrucción o por hacer temporalmente a un lado un objeto para usarlo en el futuro dentro de la operación.
	Inspección	Indica una inspección de calidad y/o una comprobación de la cantidad.

Fuente: AHUJA, Hira; WALSH, Michael. Ingeniería de costos y administración de proyectos. Alfaomega. 1995. p. 289.

El diagrama de flujo puede emplear la simbología de los diagramas de procesos. La diferencia entre uno y otro es la escala que involucra el diagrama de flujo, a diferencia del de procesos. Se representa el área del proyecto en planta, y se localizan los elementos y recorridos a escala sobre la misma; de esta manera se puede ver el almacén, las distancias al punto de disposición final y los posibles obstáculos en el recorrido, así como las distancias entre diferentes partes de la ruta que sigue un recurso dentro del proceso.

2.3.1.1.3. Estudio del tiempo. Según AHUJA & WALSH⁴², es una técnica de medición de trabajo que trata de eliminar el tiempo ineficiente, determinando cuánto le lleva a un trabajador calificado realizar un concepto de obra, a un nivel de rendimiento definido. El nivel de rendimiento se refiere a la cantidad de trabajo a la norma requerida bajo condiciones razonables de trabajo, dado un suministro adecuado de equipo y materiales. La técnica consiste en registrar los tiempos y pasos de trabajo para los elementos de una tarea específica bajo condiciones determinadas. Esto se hace en diferentes etapas que comienzan por seleccionar el trabajo a medir y dividirlo en sus elementos o pasos, mismos que posteriormente son cronometrados desde su comienzo hasta su fin, para finalmente analizar los tiempos de duración de cada elemento. Como resultado de este procedimiento, se obtienen tiempos promedio

2.3.1.1.4. Muestreo de actividades. Esta técnica consiste en realizar observaciones aleatorias de una operación, para determinar la tasa a la cual trabajan el equipo y la mano de obra. Implica la valoración de trabajo de modo cualitativo, registrando si se realiza trabajo productivo o no productivo, o si se realiza el trabajo o no. Las observaciones deben realizarse de modo aleatorio, y se observa cada recurso implicado en la operación.

Se debe prestar especial atención al número de observaciones requeridas para asegurarse de la exactitud del estudio; para ello se recurre al diseño de experimentos y a la estadística elemental. Según AHUJA-WALSH⁴³, el número de observaciones para obtener un 95% de confianza en la observación de operaciones de construcción, con un 5% de exactitud, es de 384 observaciones. Además de cumplir con este número de observaciones, deben registrarse los

⁴² AHUJA, Hira; WALSH, Michael. Op. cit. p. 294.

⁴³ Ibid., p. 300.

datos obtenidos, con un procedimiento sistemático, en formatos adecuados, que indiquen el número de observaciones, la frecuencia con que se hicieron, la operación o proceso implicado, y las tareas que se realizan. Otros autores recomiendan tamaños de muestra diferente, pero ninguno explica los criterios para su selección, y en muchos casos no se conoce el tipo de experimento a realizar. Además, ninguna plantea el universo muestral, y no hay parámetros claros que permitan aplicar el principio de equiprobabilidad. Por ejemplo, Webster y Oliver en 1992⁴⁴, recomiendan un tamaño de muestra de 100 observaciones, para realizar un experimento de muestreo de suelos. En el capítulo 3 se describirán más a fondo los criterios para el diseño de experimentos, aplicados en la metodología experimental propuesta para este proyecto.

2.3.2. Control de costos.

Consiste en otro método de seguimiento de proyectos, y evidencia la productividad en los procesos y la eficiencia en la utilización de los recursos. Muchas empresas emplean este método por las siguientes ventajas⁴⁵:

- Actualización de costos reales.
- Estimación de costos por ejecutar.
- Actualización del presupuesto global.
- Estimación de la desviación presupuestal.
- Medidas correctivas.
- Reprogramación presupuestal.

⁴⁴ WEBSTER, R.; OLIVER, M. Sample adequately to variograms of soil properties. USA: Journal Soil Sci. No. 43, 1992. p.178.

⁴⁵ SANIN, Héctor. Las doce reglas de oro del gerente de proyecto: controle los costos. Curso internacional sobre gestión de la ejecución de proyectos. (11º: 2007: Santiago de Chile). Presentaciones profesores. [En línea]. Santiago de Chile: ILPES, 2007. p.14. Disponible en internet: < <http://www.eclac.org/ilpes/noticias/paginas/7/28747/RO%2010%20SyE%20Costos.pdf>>

De las anteriores, nos interesa aquella relacionada con la desviación presupuestal, dado que allí encontramos fundamento a la problemática enunciada en el Capítulo 1. Cabe aclarar que las desviaciones presupuestales no sólo son promovidas por la influencia de los costos indirectos, sino que obedece también a otros factores que no son motivo del estudio en este proyecto. Encontrar las desviaciones presupuestales no sólo permite tener una idea global de los costos de ejecución en relación con los costos planeados, sino que complementa un análisis de costos encontrando las posibles causas de las discrepancias.

Con base en estas diferencias y desviaciones en el Capítulo 3 se plantea la hipótesis de que los costos indirectos correspondientes a arrendamiento de equipos inciden de manera relevante sobre los costos de ejecución si son tenidos en cuenta en cada uno de los procesos, y no como un porcentaje global dentro del presupuesto. Se propone evaluar los rendimientos de los equipos para los procesos en estudio, y aplicarlos dentro de los APU del proceso, tal como se muestra en la metodología planteada en el siguiente capítulo.

Posteriormente, con la evaluación de los costos programados por capítulos, y a su vez por proceso, como los plantean los presupuestos rutinarios, y confrontando este valor con el obtenido por proceso cuando se incluye el costo indirecto del equipo, se hallan diferencias que pueden afectar las estimaciones de costos, y por lo tanto su confiabilidad

2.4. ESTIMACIÓN DE COSTOS Y PRESUPUESTOS DE OBRA

Según Pabón⁴⁶, el presupuesto es una herramienta de estructuración de costos que suministra información, y permite analizar, controlar, planear y dinamizar la

⁴⁶ PABÓN B., Hernán. Op. cit., p.176.

toma de decisiones en torno a los procesos productivos, dando criterios de juicio para elevar los niveles competitivos. De esta manera, *un presupuesto es una estructura de costos*, que “asigna gastos a todos los recursos necesarios para terminar la obra física del proyecto de construcción”⁴⁷.

En el área de la construcción, un presupuesto se basa en estimaciones, las cuales se hacen en una etapa diferente de realización del proyecto, y su nivel de aproximación, depende de la cantidad de información disponible. En la etapa preliminar se tienen bocetos del proyecto, en la etapa de ejecución se tienen los diseños definitivos con especificaciones de construcción, y en virtud de esto, la estimación varía en nivel de complejidad. Cuando se tienen las especificaciones del proyecto, junto con los diseños, el nivel de complejidad del presupuesto es máximo, ya que se cuenta con todos los detalles, mientras que en la etapa preliminar, la complejidad es mínima.

En el presupuesto, las estimaciones de costos son asignadas a departamentos, o personas específicas a cargo de controlar diferentes partes de la obra, entendidos estos como centros de costos. De este modo se presentan los presupuestos con las estimaciones organizadas en capítulos, que corresponden a los diferentes procesos a realizar en obra.

“Los presupuestos representan un plan de acción financiera para la gerencia, que refleja las distribuciones futuras de los recursos financieros necesarios para alcanzar los objetivos del proyecto”⁴⁸ Este plan de acción se fundamenta en la estructura de costos, reflejado en un presupuesto, que brinda el soporte y permite establecer los centros de costos, los cuales se diferencian en cuanto a su objetivo,

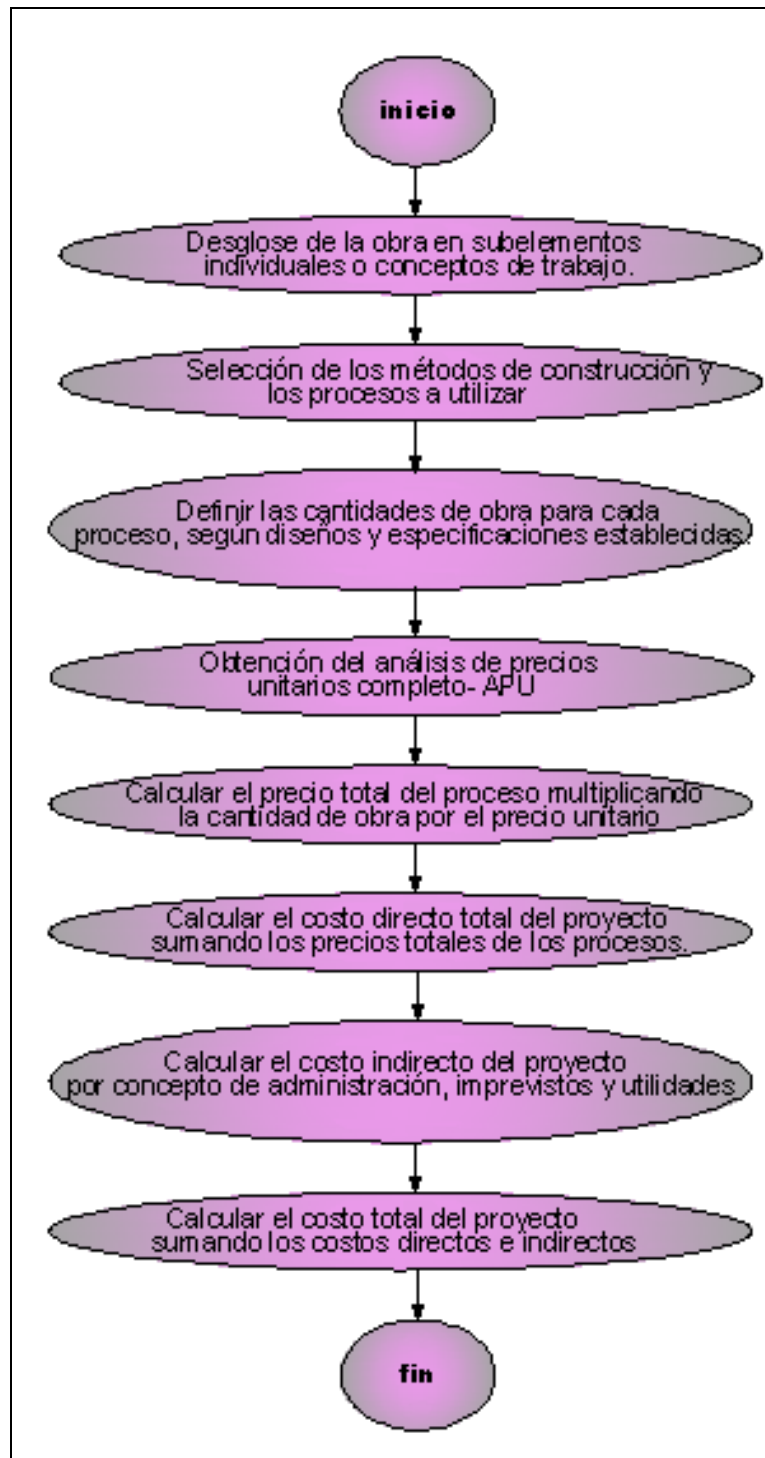
⁴⁷ AHUJA & WALSH. Op. cit. p.52.

⁴⁸ Ibid., p. 52.

tamaño, requerimiento de insumos y prácticas de manejo. Cada centro de costo, o capítulo, presenta estimaciones específicas sobre la mano de obra, materiales, equipos, herramientas, y el presupuesto total muestra estimaciones de costos en cuando a administración, servicios e instalaciones. En este punto, se hace alusión a dos términos, costos directos, y costos indirectos.

Un análisis detallado de costos de una obra, se apoya para su estimación en la WBS (desglose de los proyectos en procesos, tareas y actividades), en el APU (análisis de precios unitarios), y en la desagregación de recursos (costos indirectos). Como se vio en el numeral 2.2.1, la WBS se compone de ítems o capítulos, relacionados con cada uno de los procesos que componen al proyecto. Los costos detallados de cada uno de ellos, se pueden determinar a partir de un análisis de precio unitario (APU), en donde se encuentran definidas las cantidades, las unidades correspondientes a cada recurso, como se verá en el numeral 2.4.3. Para la obtención del presupuesto, se requiere la combinación de la WBS y los APU, de modo que el resultado sea un costo total de obra, discriminado por costos directos e indirectos. En la Figura 5 se presenta un esquema para la elaboración de un presupuesto de obra.

Figura 5. Esquema para elaboración de presupuestos.



Fuente: Las autoras.

2.4.1. Costos directos.

A partir de un análisis detallado de los costos de una obra, se pueden relacionar costos, independientemente del volumen de actividad, a un producto o departamento determinado. Estos pueden identificarse física y económicamente con algún trabajo o centro de costos.

Según Pabón⁴⁹ un costo directo es aquel que se identifica plena y directamente con un producto, trabajo, proceso, actividad o departamento y tienen una relación directa, precisa o claramente medible con el producto del que forman parte⁵⁰. Se consideran variables dependientes de los volúmenes de producción, y su estimación se hace con base en parámetros de diseño ya establecidos. Son ejemplos de costos directos:

- Costos de construcción de la obra: obras preliminares, de estructura, acabados arquitectónicos, instalaciones hidrosanitarias, instalaciones eléctricas y de gas.
- Adquisición de terrenos.
- Nivelación del sitio.
- Control de erosión y sedimentación.

En la Figura 6 se representa la distribución de costos directos para un proyecto. Este es el resultado de la suma de cada variable de costo previamente calculada mediante el APU, y totalizada para la presentación del costo directo en un presupuesto.

2.4.2. Costos indirectos.

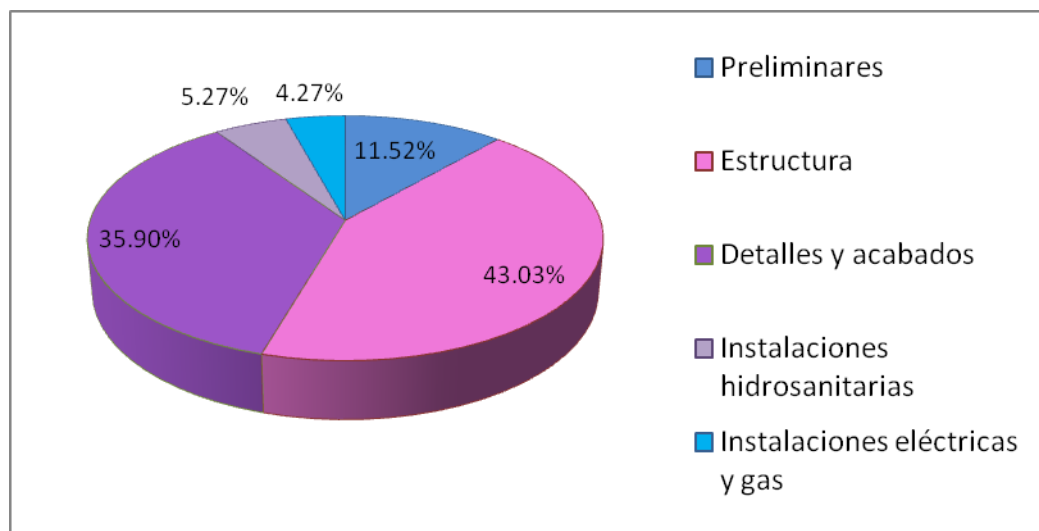
Son aquellos costos comprometidos, programados o planeados que se incurren

⁴⁹ PABÓN. Op. cit., p. 38.

⁵⁰ PICÓN & VELASCO. Op. cit., p. 169.

para proveer y mantener la capacidad de producción⁵¹. Todos los costos fijos se llevan directamente a los resultados del ejercicio en que se originan, porque están en función del tiempo. Estos costos no pueden identificarse ni atribuirse directamente a un proceso, y sólo se puede conocer el monto global para toda la obra o proyecto.⁵²

Figura 6. Distribución del costo directo en una bodega



Fuente: Las autoras.

Usualmente en los presupuestos de construcción que se presentan para licitaciones y obras, se identifican como costos indirectos tres grandes conceptos: Administración (A), imprevistos (I), y utilidades (U)*, conocidos como el A.I.U. de un proyecto y son estipulaciones que se hacen en los presupuestos, para las cuales no existe ordenamiento jurídico, ni normas, ni requisitos legalmente

⁵¹ Ibid., p. 169

⁵² PABÓN. Op. cit., p. 38.

* Son conceptos aplicados según la metodología del Prof, Ing, Civil. MSc. Guillermo Mejía, en sus clases de la materia de Construcción II, y frecuentemente encontrados en licitaciones públicas y en los contratos de obra.

establecidos. Estos conceptos se definen de la siguiente manera:

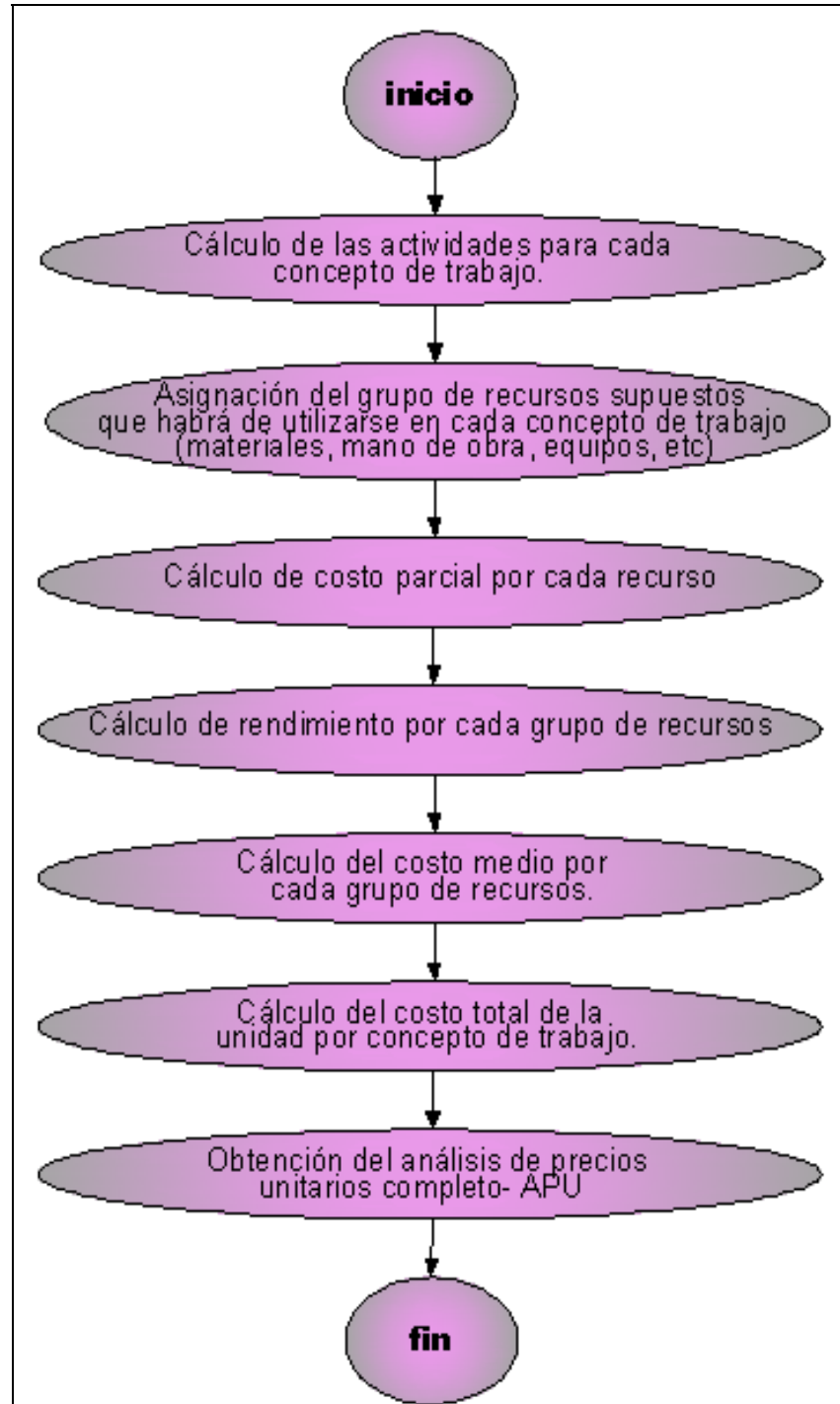
- Administración. Hace referencia a gastos para la operación tales como costos generales de transporte, pólizas y legalización, servicios públicos, administración de obra (honorarios de almacenista, ingeniero residente, y sus prestaciones sociales), y gastos varios (papelería, útiles, dibujo de planos, ensayos de laboratorio, etc.).
- Imprevistos. Es un porcentaje destinado a cubrir los gastos no estimados en el presupuesto, con los que no se contaba, y que se presentan durante la ejecución de la obra. Representan el riesgo inherente a la ejecución de las obras. Suele asumirse como un 3% sobre el total de los costos directos.
- Utilidad. Implica el beneficio económico que pretende recibir el contratista ejecutor de la obra. Este rubro conforma la base gravable para determinar impuestos que genera la ejecución de los trabajos. Normalmente se aplica un porcentaje entre el 6% y 10%.

2.4.3. Análisis de precios unitarios - APU

Se define según Picón y Velasco⁵³, como la relación de recurso a la tasa de producción, y el cual se analiza el costo directo por mano de obra y materiales. Su asignación se puede realizar teniendo en cuenta datos históricos o información suministrada por los proveedores de los recursos necesarios. Se requiere hacer un cálculo cuidadoso de las cantidades de obra, así como una asignación precisa de recursos y rendimientos, para obtener así un costo detallado por cada grupo de recursos. En la figura 7, se muestra un esquema con los pasos para la elaboración de un APU.

⁵³ PICÓN & VELASCO. Op. cit., p. 175.

Figura 7. Esquema para la elaboración de análisis de precios unitarios - APU



Fuente: Las autoras.

Como es de esperarse, un APU está compuesto por uno o más insumos, los cuales estarán agrupados dentro de categorías, que Halpin⁵⁴ define como conceptos de trabajo, correspondientes a los tipos de insumos. Para cada insumo debe indicarse la cantidad requerida para elaborar una unidad del APU y su rendimiento por dicha unidad. En ciertos casos, es necesario tener en cuenta un desperdicio, agregado al costo final del concepto de trabajo como un porcentaje de la cantidad de cada insumo.

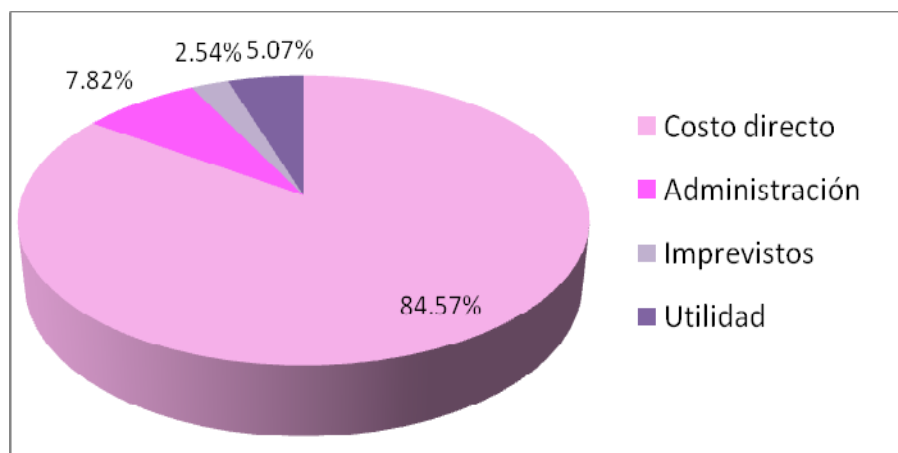
Para el cálculo del precio unitario, se subtotalizan los valores de los insumos y se suman por categorías (materiales, mano de obra, equipos, otros); la sumatoria de las categorías da el costo total Directo del insumo. Este costo directo, resultado del los APUs, son asociados a los ítems de los presupuestos, de forma tal que el valor del APU funciona como valor unitario del ítem asociado en el presupuesto.

La manera de calcular los costos en los APU y en los presupuestos, es siempre multiplicando el precio unitario por la cantidad de obra de la categoría o ítem. En la Figura 8 se muestra una distribución de costos para un proyecto dado. En esta, se representan los costos directos y los indirectos, de modo que se puede visualizar la importancia de un cálculo acertado de los costos directos. Como se vió en la Figura 5 mostrada arriba, y en la Figura 8 de la siguiente página, el cálculo de costos directos tiene especial relevancia en los presupuestos de construcción. Ahora bien, vale la pena describir con más detalle los elementos que componen el APU, haciendo énfasis en la importancia de los rendimientos, como medidas de productividad de los diferentes recursos.

⁵⁴ HALPIN W., Daniel. Conceptos financieros y de costos en la industria de la construcción. México; Limusa, 1997. p. 242.

2.4.3.1. Materiales. Son los recursos físicos que quedan directamente implicados en una obra, y no pueden volver a ser utilizados en otros paquetes de trabajo, y por lo tanto, agregan valor directo sobre el producto a entregar. Son aquellos recursos necesarios e irremplazables, y son indispensables para el éxito de un proceso; el grado de éxito se ve afectado por la calidad de los materiales empleados en su ejecución. Así mismo, la asignación de materiales debe hacerse con especial cuidado, ya que ellos representan un alto porcentaje en el costo total de los procesos.

Figura 8. *Distribución de costos directos e indirectos en un presupuesto de obra para una bodega.*



Fuente: Las autoras

2.4.3.2. Mano de obra. Es un recurso relacionado con el personal que trabaja agrupado en equipos de trabajo o cuadrillas, en el desarrollo de una actividad contenida en un proceso. Su valor se da según el tiempo dedicado al desarrollo de una actividad, el cual se asume a partir de estimaciones existentes de estudios anteriores. Los rendimientos son obtenidos de tablas de procesos estandarizados. Para el presente trabajo, la mano de obra tiene una relevancia significativa, dado que en las tareas de transporte su rendimiento afecta el rendimiento del equipo

usado en determinado proceso. Más adelante se verá este aspecto, en el muestreo de trabajo realizado en obra.

2.4.3.3. Herramientas y equipo. La asignación de este recurso se hace conociendo previamente el método de trabajo y la cantidad de obra. El rendimiento de la herramienta se da según su vida útil, o según la cantidad usada en un conjunto de procesos. Se maneja como unidad global, y en algunos casos el valor de la herramienta en un proceso no se detalla, sino que se asigna como el valor del 5% del valor parcial calculado para la mano de obra”⁵⁵. En la ejecución de los procesos, se utilizan también equipos, que pueden ser arrendados, propios, o por leasing; el arrendamiento de equipos es lo más recomendable cuando se trabaja en proyectos pequeños, ya que no se incurre en un gran costo. En contraste, muchas obras grandes son ejecutadas por constructoras dueñas del equipo, dados los altos costos de arrendamientos.

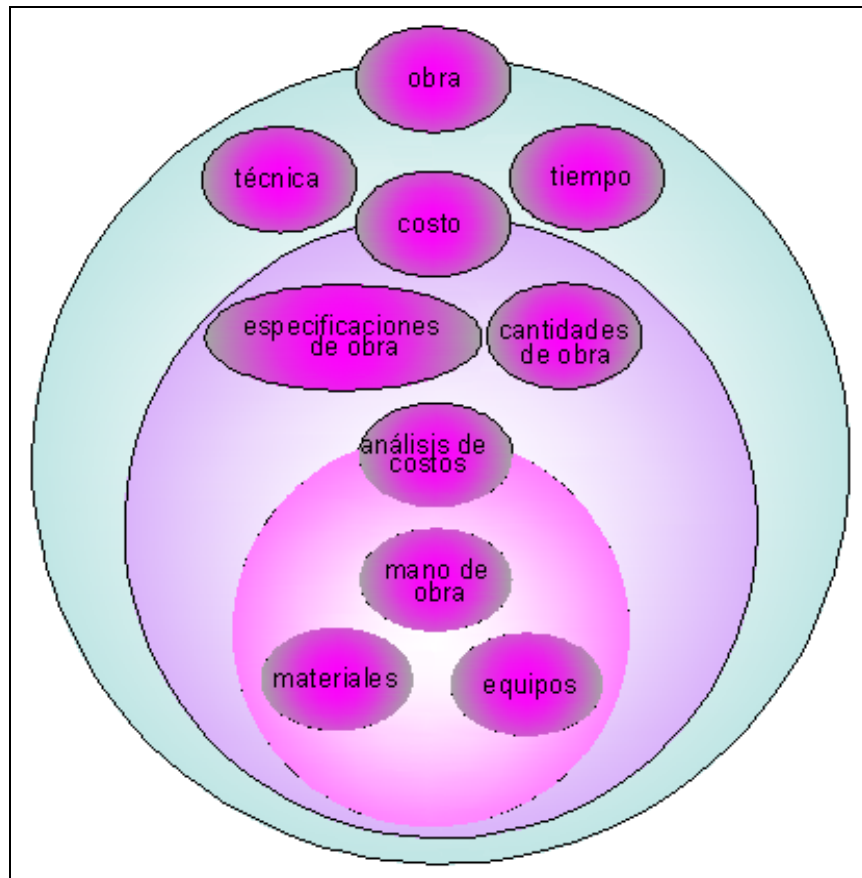
Es posible aplicar estimaciones más precisas respecto a los costos de equipos. Sin embargo, dada la falta de información y el nivel de complejidad de estas estimaciones, no se realizan de manera adecuada. Para lograrlo, se requiere en primera instancia, considerar a cada unidad de equipo como un centro de utilidades y pérdidas, y cargarlo a las obras con base en el tiempo de uso dentro de cada proceso, y aplicando las tarifas que normalmente se tienen por hora, pero ya involucrando al equipo dentro del proceso, con su real contribución y rendimiento. De esta manera, se evitan las estimaciones superficiales basadas en precios globales, que poca información suministran para analizar la influencia de los costos de arrendamiento por proceso.

En resumen, una estimación de costos permite establecer el presupuesto de obra,

⁵⁵ PICÓN & VELASCO. Op. cit., p. 179.

y con él, elaborar el balance de obra, que incluye todos los elementos de juicio para la gestión de proyectos. En la Figura 9 se aprecia el balance de obra con sus elementos básicos.

Figura 9. Diagrama de balance de una obra



Fuente: Las autoras, basado en el diagrama de balance de una obra, de Suárez y Suárez Salazar⁵⁶

⁵⁶ SUÁREZ SALAZAR, Carlos; SUÁREZ, Carlos. Análisis del costo en la edificación. Tercera edición. México D.F.: Editorial Limusa, 1992. p. 23.

3. TRABAJO DE CAMPO

Para implementar la herramienta propuesta para este trabajo de grado, se hizo necesario conocer datos de rendimientos para los procesos, que serán estudiados con el modelado presentado en el siguiente capítulo. Dado que no se contaba con información sustentada en estudios previos, que mostraran resultados sobre muestreos de tiempos o muestreos de trabajo para el fenómeno de interés, se vio la relevancia de realizar visitas de obra, bajo una metodología de experimento.

La finalidad de dicho trabajo de campo, fue recopilar datos de tiempo para diferentes procesos, que permitieran obtener los rendimientos de la torre grúa, requeridos para el modelado de una obra, desarrollando así la herramienta planteada en el alcance de este proyecto. Sin embargo, dada la complejidad del experimento, y teniendo en cuenta el objetivo central de este documento, se obtuvieron rendimientos tipo para los procesos medidos, los cuales fueron suficientes para complementar la herramienta de modelado propuesta.

En ningún caso los resultados tipo obtenidos, se pueden interpretar como datos definitivos de rendimiento, por lo que no puede generalizarse como dato que represente la realidad de todas las obras de edificaciones del sector de la construcción. La obtención de un resultado aplicable como estándar a todas las edificaciones, no corresponde al alcance de este trabajo, pero sí el obtener un valor tipo aplicable al entorno de las obras visitadas, razón por la cual se hizo el diseño del experimento, cuya metodología sirve como fundamento para futuras investigaciones, donde sea necesario llegar a un resultado de rendimiento, que se pueda aplicar como estándar. Se prevee que para tal finalidad, se requiere visitar y medir numerosas obras en diferentes ciudades el país, y el costo y tiempo empleado en la realización de un experimento de tal magnitud puede tener valores elevados. Se deja sentado el modelo experimental, con las variables y elementos

propios del diseño de experimento, que servirán de base para otras investigaciones, en las que se quiera profundizar sobre el cálculo de rendimientos.

Los datos obtenidos en el experimento realizado, son una aproximación al entorno de las obras visitadas, que se describen en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Obras visitadas en el trabajo de campo

Nombre de Obra	Torre Mirò	Britania
Constructora	HG S.A	MARVAL S.A.
Ubicación	Calle 105 No. 17-08	Circunvalar 35 No. 92-156
Barrio	El Rocío	Lagos del Cacique
Área total m²	14.175	53.253
Pisos	21	18
Unidades de vivienda	123	204

Fuente: Las autoras.

A continuación se describen los aspectos concernientes a la metodología del experimento.

3.1. DESCRIPCIÓN Y DISEÑO DEL EXPERIMENTO

Para el diseño del experimento, se aplicó la metodología propuesta por Montgomery⁵⁷, y se detalla a continuación.

⁵⁷ MONTGOMERY, Douglas. Diseño y análisis de experimentos. México D.F.: Grupo Editorial Iberoamérica, 1991. p. 13.

3.1.1. Identificación y enunciación del problema.

Una de las falencias encontradas en la realización de presupuestos, descritas en el Capítulo 1, consiste en la no aplicación del costo indirecto aportado por ciertos equipos, debido a su intervención en diferentes procesos, incluso simultáneamente *. Tomando como base la metodología que se aplica en los análisis de precios unitarios APU, en la que se discrimina un rubro por concepto de herramientas y equipos, se observó que varios equipos no eran tenidos en cuenta en el cálculo del precio unitario del proceso, uno de ellos es la *torre grúa*. Este es un equipo que normalmente se alquila, y algunas constructoras lo compran para la realización de sus obras. El estudio de campo realizado para este trabajo de grado se basó en observaciones para este equipo, dado que su precio de alquiler es elevado, y representativo dentro de los costos de alquiler de equipos.*

Se plantea la hipótesis siguiente:

El rendimiento del equipo torre grúa, es diferente según sea el proceso en obra en que participe.

Es decir el rendimiento del equipo para la actividad de transporte en el proceso Mampostería, es diferente al rendimiento que tiene para la misma actividad en el proceso de Fundición de muro en concreto.

3.1.2. Elección de los factores, los niveles y los rangos.

Los factores potenciales del diseño son aquellos que se desean variar en el

*En una visita preliminar a las obras, se observó la operación de la torre grúa, encontrándose los procesos en los que interviene.

*El precio de alquiler se observó en cotizaciones de empresas de alquileres de equipos. Se cataloga como elevado en comparación con otros equipos y herramientas que se alquilan para las obras.

experimento. Dentro de estos hay que definir los *factores de diseño*, los *factores constantes*, y los *factores variables*.

En el presente estudio, los *factores* se definen de la siguiente manera:

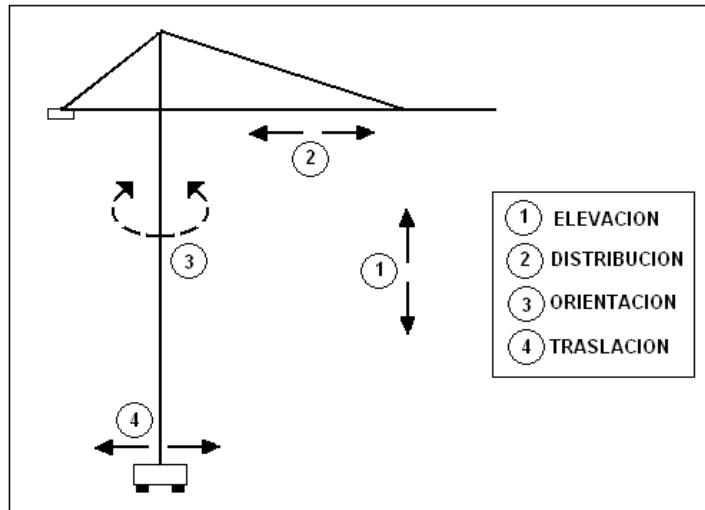
- El factor de diseño es el tiempo de ciclo completo de la torre grúa en cada proceso de obra evaluado.
- Los factores constantes son los procesos en obra a evaluar: *Mampostería, Fundición de columna, Acabado de pisos, Instalaciones hidráulicas e instalaciones sanitarias*.
- Los factores variables son las diferentes obras a visitar, en las que se evalúa el factor de diseño para los factores constantes.

El tiempo de ciclo completo de la torre grúa comprende varias etapas: cargue, elevación, distribución, giro, descenso y descargue. El tiempo de cargue y el tiempo de descargue, es el tiempo que demoran los ayudantes en colocar o recoger respectivamente, el material en la canasta o tolva (usada sólo para el transporte de concreto). El tiempo de elevación y el de descenso es el tiempo que tarda el carro en levantarse o bajar a una altura libre de obstáculos, hasta alcanzar el nivel deseado (movimiento vertical). El tiempo de distribución es el tiempo que emplea el carro en trasladarse en su brazo (movimiento horizontal). En la Figura 10 se muestra el esquema de los movimientos de la torre grúa.

Los *niveles* del experimento son variables que se pueden ajustar por el experimentador, y cuyos valores en determinado momento pueden arrojar valores que no son útiles para el experimento, pero permiten cuantificar otros parámetros. En este caso, los *niveles posibles* son los días y los instantes de las observaciones para toma de datos. Por ejemplo, en el diseño del experimento se establecieron unos días y unos momentos dentro de la jornada de trabajo para realizar las observaciones, y si en dado caso no era posible medir el *factor de*

diseño base del experimento, se cambia por otro momento. Igual sucede con los días para la toma de datos.

Figura 10. Esquema de movimiento de la torre grúa.



Fuente: Monografías.com

La selección de los días para establecer el número de niveles posibles para el experimento, se hizo basada en el *principio de equiprobabilidad*, ya que cada instante de observación debía arrojar un dato que era igualmente probable de medir en otra obra en el mismo momento, para el mismo proceso de obra, siendo el *factor constante* el proceso, y la obra un *factor variable* como se dijo anteriormente.

El *espacio inferencial* del experimento está determinado por el número de niveles posibles de los factores investigados, en este caso, el tiempo de ciclo de la torre grúa, los procesos en obra, y las obras a visitar. Para determinar el tamaño del espacio inferencial del experimento de este trabajo de grado, fue necesario tener en cuenta los días en que según el cronograma, se desarrollaría un determinado proceso. Es decir, se consultaron los cronogramas de las obras a visitar, y se

anotaron los días en que se iban a desarrollar los procesos en cuestión. Finalmente, se estableció el conjunto intersección de esos días, y se definieron los periodos de tiempo en que en ambas obras desarrollaban un proceso dado. En el Cuadro 4 se muestran el ejemplo de los resultados de la comparación de calendarios, definiendo así el espacio inferencial para los procesos a medir como los días de igual probabilidad de ocurrencia de un proceso de obra. En el Anexo 2 se presenta la relación entre los calendarios de obra totales de las dos obras.

Los niveles de los factores en este caso, son los días comunes en los calendarios de ambas obras mostrados en el Cuadro 4, los cuales son igualmente probables para los procesos en cuestión y en los cuales se puede conducir el experimento.

Cuadro 4. Espacio inferencial para los procesos en obra.

		MAMPOSTERÍA						FUNDICIÓN MURO EN CONCRETO						INSTALACIÓN HIDRÁULICA						INSTALACIÓN SANITARIA						ACABADO PISOS										
		DÍAS						DÍAS						DÍAS						DÍAS						DÍAS										
		D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S
AGO		3	4	5	6	7	8	9	3	4	5	6	7	8	9	3	4	5	6	7	8	9	3	4	5	6	7	8	9	3	4	5	6	7	8	9
		10	11	12	13	14	15	16	10	11	12	13	14	15	16	10	11	12	13	14	15	16	10	11	12	13	14	15	16	10	11	12	13	14	15	16
		17	18	19	20	21	22	23	17	18	19	20	21	22	23	17	18	19	20	21	22	23	17	18	19	20	21	22	23	17	18	19	20	21	22	23
		24	25	26	27	28	29	30	24	25	26	27	28	29	30	24	25	26	27	28	29	30	24	25	26	27	28	29	30	24	25	26	27	28	29	30
SEP		31	1	2	3	4	5	6	31	1	2	3	4	5	6	31	1	2	3	4	5	6	31	1	2	3	4	5	6	31	1	2	3	4	5	6
		7	8	9	10	11	12	13	7	8	9	10	11	12	13	7	8	9	10	11	12	13	7	8	9	10	11	12	13	7	8	9	10	11	12	13
		14	15	16	17	18	19	20	14	15	16	17	18	19	20	14	15	16	17	18	19	20	14	15	16	17	18	19	20	14	15	16	17	18	19	20
		21	22	23	24	25	26	27	21	22	23	24	25	26	27	21	22	23	24	25	26	27	21	22	23	24	25	26	27	21	22	23	24	25	26	27
OCT		28	29	30	1	2	3	4	28	29	30	1	2	3	4	28	29	30	1	2	3	4	28	29	30	1	2	3	4	28	29	30	1	2	3	4
		5	6	7	8	9	10	11	5	6	7	8	9	10	11	5	6	7	8	9	10	11	5	6	7	8	9	10	11	5	6	7	8	9	10	11
		12	13	14	15	16	17	18	12	13	14	15	16	17	18	12	13	14	15	16	17	18	12	13	14	15	16	17	18	12	13	14	15	16	17	18
		19	20	21	22	23	24	25	19	20	21	22	23	24	25	19	20	21	22	23	24	25	19	20	21	22	23	24	25	19	20	21	22	23	24	25
NOV		26	27	28	29	30	31	1	26	27	28	29	30	31	1	26	27	28	29	30	31	1	26	27	28	29	30	31	1	26	27	28	29	30	31	1
		2	3	4	5	6	7	8	2	3	4	5	6	7	8	2	3	4	5	6	7	8	2	3	4	5	6	7	8	2	3	4	5	6	7	8
		DÍAS DE FUNDICIÓN DE MURO EN CONCRETO EN AMBAS OBRAS																																		
		DÍAS COMUNES DE LOS CALENDARIOS DE AMBAS OBRAS: ESPACIO INFERENCIAL																																		
		DÍAS FESTIVOS																												X						

Fuente: Las autoras

Los niveles determinados para los procesos a medir en el experimento se ven en el Cuadro 5. Por último, los rangos son la región de interés para cada variable, en la que se variarán los factores anteriores. Para este experimento son las dos obras que se analizaron, y se describieron en el Cuadro 3.

Cuadro 5. Niveles del experimento por proceso.

CAPÍTULO	Proceso/tarea	OBRA	NIVELES*	NÚMERO DE MEDICIONES	TOTAL OBSERVACIONES POR PROCESO
ESTRUCTURA	Fundición muro en concreto / vaciado	Britania	11	10	220
		Torre Miró	11	10	
INSTALACIONES HIDROSANITARIAS	Instalaciones hidráulicas/acometida	Britania	4	10	80
		Torre Miró	4	10	
INSTALACIONES HIDROSANITARIAS	Instalaciones sanitarias/acometida	Britania	5	10	100
		Torre Miró	5	10	
ACABADOS	Acabado pisos/enchape	Britania	1	10	20
		Torre Miró	1	10	
ACABADOS	Mampostería/Alzado muros	Britania	7	10	140
		Torre Miró	7	10	

* Los niveles son los días de igual probabilidad de ocurrencia

Fuente: Las autoras

3.1.3. Selección de la variable de respuesta.

La selección de la variable de respuesta está condicionada al hecho de que la variable proporcione en realidad información útil acerca del proceso bajo estudio. El promedio de la característica medida será la variable de respuesta, en este caso, el promedio de todos los tiempos de ciclo de la torre grúa medidos en el experimento.

3.1.4. Elección del diseño experimental.

La elección del diseño implica la consideración del *tamaño de la muestra*, que es el número de réplicas. Además de eso, requiere la selección del orden de las corridas para los ensayos, y las restricciones sobre la aleatorización. Para determinar el tamaño de la muestra se requieren varios procedimientos. El primero consiste en la ejecución de una prueba piloto, o experimento testigo, como lo indica Montgomery.⁶⁰

La realización de la prueba piloto se hace para corroborar la consistencia del material experimental, comprobar los sistemas de medición, y tener una idea aproximada de las varianzas y errores experimentales. Esta prueba se realizó en las obras a visitar, y se tomaron los datos de tiempos de la torre grúa, para diferentes procesos (en el Anexo 3 se muestra el formato de toma de datos). Se anotaron las cantidades relacionadas en cada ciclo de cargue, con el fin de poder obtener los rendimientos posteriormente. En el Cuadro 6 se observan los datos tomados en el sitio. Los demás datos, relacionados con los otros procesos medidos, se colocan en el Anexo 4.

A partir del experimento piloto se pueden obtener algunos resultados, que si bien no son confiables en un contexto general de la construcción, por lo descrito anteriormente en el comienzo de este capítulo, son aplicables a las obras en la zona. Para la determinación de los rendimientos, a partir de los datos recopilados en obra, además de los tiempos se prestó especial atención a las cantidades transportadas por la grúa en cada observación. La cuantificación se hizo teniendo en cuenta la unidad con que aparece cada recurso dentro del APU: Los muros de mampostería en metros cuadrados, los muros en concreto en metros cuadrados, las instalaciones hidráulicas y sanitarias en metro lineal, y los acabados de pisos

⁶⁰ MONTGOMERY. Op. cit., p. 16

en metros cuadrados. Además se conocía que la capacidad de carga en volumen de la tolva de la torre grúa es de 0.35m^3 , y en la canastilla, era de 1.45 m^3 ($1.28*1.28*0.88$).

Cuadro 6. Ficha de datos recopilados durante el experimento piloto.

<i>Fecha:</i> Agosto 20 de 2008															
<i>Especificaciones:</i> se funde un muro de contención en concreto de 5000psi,															
<i>Dimensiones</i> de 6m x 4m x 0.20m, <i>Cuadrilla</i> de 1x2															
<i>Obra:</i> Torre Miró															
TIEMPOS DE CICLO DE LA TORRE GRÚA DURANTE EL PROCESO (min:seg:cent)															
#	CARGUE			TRANSPORTE			DESCARGUE			RETORNO			TIEMPO TOTAL		
	min	seg	cent	min	seg	cent	min	seg	cent	min	seg	cent	min	seg	cent
1	0	29	78	0	41	65	2	17	23	0	27	65	3	56	31
2	0	25	32	0	43	84	2	11	15	0	31	84	3	52	15
3	0	26	11	0	49	34	1	58	42	0	35	34	3	49	21
4	0	36	75	0	51	53	1	12	34	0	34	53	3	15	15
5	0	27	42	0	42	56	1	57	65	0	34	56	3	42	19
6	0	27	34	0	45	22	2	10	84	0	32	22	3	55	62
7	0	28	97	0	44	84	2	4	67	0	28	84	3	47	32
8	0	30	83	0	50	56	2	21	26	0	29	56	4	12	21
9	0	31	37	0	43	33	1	59	86	0	31	33	3	45	89
10	0	27	62	1	11	66	2	11	44	0	30	53	4	21	25

Fuente: Las autoras

Para el caso de los muros en concreto, se consultó en los planos de diseño estructural la geometría del muro, y con base en esta se estableció el área aproximada que cubría con el vaciado del concreto en cada vaciada de 0.35m^3 . El muro en cuestión tenía dimensiones de $6x4x0.20$, y el número de vaciadas necesarias para cubrir la superficie del muro. (ver Cuadro 7).

Cuadro 7. Cálculo para vaciado de muro en concreto

Superficie muro	Volumen muro	#vaciadas
m ²	m ³	
24	4.8	13.7142857
1.75	0.35	1

Capacidad de la tolva: 0.35m³

Fuente: Las autoras

Con el área cubierta en cada vaciada de concreto, y con el tiempo empleado por la torre grúa para el ciclo completo de una sola vaciada, se calculó el rendimiento para cada observación. En el Cuadro 8 se pueden apreciar los resultados para el rendimiento del proceso de muro en concreto, y en el cuadro 9 se presentan los rendimientos obtenidos con este mismo procedimiento para los demás procesos. Los cuadros detallados de los procesos observados durante el experimento piloto se presentan en el Anexo 4.

Cuadro 8. Resultados experimento piloto para proceso de muro en concreto

#	TIEMPO TOTAL	ÁREA MURO*	RENDIMIENTO
	hr	m ²	hr-equ/m2
1	0.0656	1.7500	0.037509524
2	0.0645	1.7500	0.036849206
3	0.0637	1.7500	0.03638254
4	0.0542	1.7500	0.03097619
5	0.0617	1.7500	0.035268254
6	0.0655	1.7500	0.0374
7	0.0631	1.7500	0.03608254
8	0.0701	1.7500	0.040033333
9	0.0627	1.7500	0.035855556
10	0.0726	1.7500	0.041468254

Fuente: Las autoras.

Cuadro 9. Resultados de rendimientos obtenidos

MURO EN	MAMPOSTERÍA	INSTALACIONES	INSTALACIONES
hr-equ/m2	hr-equ/m2	hr-equ/m	hr-equ/m
0.0375	0.0600	0.0011	0.0014
0.0368	0.0539	0.0010	0.0016
0.0364	0.0541	0.0011	0.0015
0.0310	0.0551	0.0011	0.0016
0.0353	0.0547	0.0013	0.0019
0.0374	0.0569	0.0010	0.0014
0.0361	0.0564	0.0010	0.0013
0.0400	0.0606	0.0009	0.0014
0.0359	0.0639	0.0008	0.0017
0.0415	0.0620		0.0013

Fuente: Las autoras

El tamaño de la muestra a emplear en el desarrollo de un experimento completo, basado en los datos de la prueba piloto, los resultados de varianza, y desviación estándar, y teniendo en cuenta que la caracterización del experimento corresponde según Montgomery⁶¹ a uno con factores aleatorios, y se recomienda hacer el tratamiento de los datos como se plantea en este tipo de experimentaciones.

3.1.5. Análisis estadístico de los datos.

Con base en los resultados obtenidos para rendimientos en cada observación, y en los resultados de análisis estadísticos, se puede llegar a probar o rechazar la hipótesis planteada al comienzo del experimento.

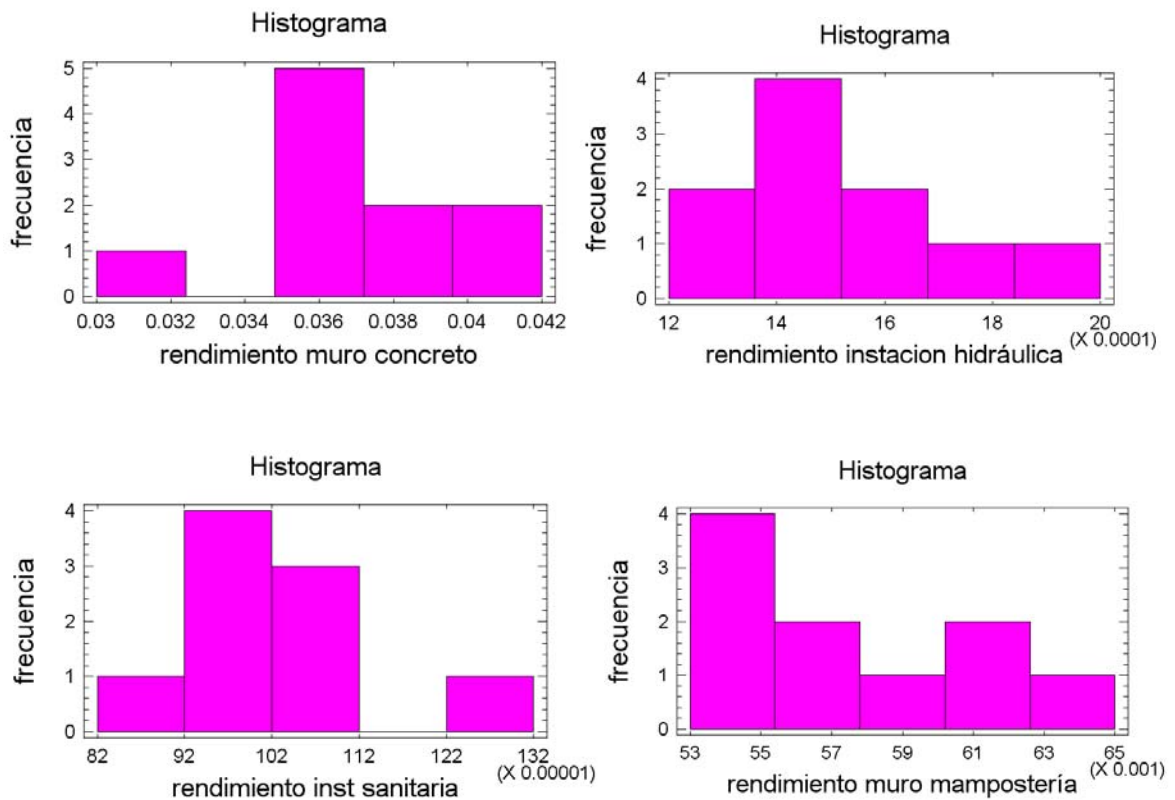
Según Kuehl⁶², cada unidad individual de observación tiene un valor para la variable de respuesta, que a su vez tiene una media y una varianza, valores con

⁶¹ MONTGOMERY. Op. cit., p.511

⁶² KUEHL, Robert. Diseño de experimentos (con análisis de varianza). Segunda edición. Mexico D.F.: Thomson Internacional, 2001. p. 42.

los que se puede realizar una prueba de hipótesis.

Figura 11. Histogramas de frecuencias de rendimientos



Fuente: Las autoras. Herramienta de cálculo: STATGRAPHICS Plus para Windows 5.1. Statistical Graphics Corp.© 1994-2000

Como se puede ver en las distribuciones de frecuencia, los valores de rendimientos tipo son diferentes para cada proceso. Sin embargo, se hizo la comparación de las variables de rendimiento a través de los coeficientes de correlación de Pearson. Este es un índice estadístico que mide la relación lineal entre dos variables cuantitativas, y es independiente de la escala de medida de las variables.

El cálculo del coeficiente de correlación lineal se hace dividiendo la covarianza por

el producto de las desviaciones estándar de dos variables, como se ve en la siguiente ecuación:

$$r = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_x * \sigma_y}$$

Siendo σ_{XY} la covarianza de (x,y)

σ_x y σ_y las desviaciones típicas de las distribuciones marginales

A continuación se presenta en el Cuadro 10, el resumen con las correlaciones de Pearson, entre cada par de variables. En este caso, se relacionaron las variables de rendimiento de cada proceso en pares, determinando su rango de correlación. Los valores varían en un intervalo de (-1, +1), y los que muestren valores cercanos a cero, son aquellos en los que no existe relación lineal entre las variables, y son casi absolutamente independientes la una de la otra. Si los valores son cercanos a 1, el índice indica una dependencia y una relación lineal o directa.

Cuadro 10. Correlaciones y valores Pearson para las variables de respuesta

CORRELACIONES P-Valor	Rendimiento muro mampostería	Rendimiento muro en concreto	Rendimiento instalaciones hidráulicas	Rendimiento instalaciones sanitarias
Rendimiento muro mampostería		0.3715 0.3250	0.2862 0.4553	-0.6151 0.0779
Rendimiento muro en concreto	0.3715 0.3250		-0.5130 0.1579	-0.4092 0.2741
Rendimiento instalaciones hidráulicas	0.2862 0.4553	-0.5130 0.1579		-0.2054 0.5961
Rendimiento instalaciones sanitarias	-0.6151 0.0779	-0.4092 0.2741	-0.2054 0.5961	

Fuente: Las autoras. Herramienta de cálculo: STATGRAPHICS Plus para Windows 5.1. Statistical Graphics Corp.© 1994-2000

Como se puede deducir del cuadro anterior, los procesos de instalaciones hidráulicas y de instalaciones sanitarias presentan poca relación, por su

coeficiente de correlación de -0.2054 respecto al rendimiento del transporte de la torre grúa en dichos procesos. Así, los procesos que más se asemejan en cuanto al rendimiento de este equipo son las de mampostería con instalaciones sanitarias, con coeficiente de correlación de -0.6151, aunque su valor negativo deja ver que se comportan inversamente, mientras la una aumenta, la otra disminuye, pero no con una marcada linealidad.

Para la herramienta se requieren los rendimientos promedio de cada proceso. En el Cuadro 11 se presenta el resumen de los rendimientos para cada proceso.

Cuadro 11. Rendimientos de cada proceso

MURO EN CONCRETO	MAMPOSTERÍA	INSTALACIONES SANITARIAS	INSTALACIONES HIDRÁULICAS
hr-equ/m ²	hr-equ/m ²	hr-equ/m	hr-equ/m
0.0368	0.0578	0.0010	0.0015

Fuente: Las autoras.

3.1.6. Conclusiones y recomendaciones.

Con los análisis estadísticos anteriores se puede decir que en los procesos estudiados, en las circunstancias del experimento, hay elementos de juicio para asegurar que la hipótesis planteada se cumple “*El rendimiento del equipo torre grúa, es diferente según sea el proceso en obra en que participe.*”, ya que se vió a partir de sus coeficientes de correlación, que la relación entre cada rendimiento es imperceptible, son muy lejanos de 1, con lo cual queda demostrada la hipótesis propuesta. Dado lo anterior, se pueden aplicar los rendimientos de la torre grúa en cada proceso independientemente. Se encuentra que el incluir el costo de este elemento como una variable de costo global en el presupuesto, arroja valores inadecuados ya que queda demostrado que no se puede generalizar su rendimiento, porque en cada proceso no existe relación entre estos.

4. CARACTERIZACIÓN DEL HERRAMIENTA DE MODELADO DE PRESUPUESTOS

4.1. ELABORACIÓN DE PRESUPUESTOS EMPLEANDO MODELOS DE INGENIERÍA DE SOFTWARE

4.1.1. La obra como sistema.

Todo conjunto de cosas que estén relacionadas y organizadas de manera tal que puedan contribuir para alcanzar un objetivo se considera *sistema*. Los componentes de un sistema presentan relaciones o conexiones que los ligan a otros para establecer una dependencia. El mundo real se puede representar a través de sistemas, que a su vez hacen parte de otros más generales.

Al profundizar sobre la definición de sistema, durante el desarrollo de este trabajo de grado, y sobre los conceptos que permiten su descripción se puede establecer que una *obra civil* es un sistema. Se define como un conjunto de actividades encaminadas a modificar la apariencia, estructura o forma de una edificación o parte de ella. Está constituida por componentes, que en términos de construcción son los procesos, los cuales se encuentran organizados en un orden lógico de conformación, según la dependencia establecida entre unos y otros, que surge de la *unidad de propósito* o finalidad común de sus componentes. Los componentes de una obra civil son cada uno de los procesos que se desarrollan para su culminación.

Existen diferentes tipos de obras civiles, cada una de las cuales posee características que le hacen particular y diferenciable. Para desarrollar esta investigación se tomó como base una edificación para vivienda, ya que en nuestro medio es el tipo de obra civil con mayor auge en la construcción, según los registros del DANE referenciados en el Cuadro 12, donde se ve que el área en

construcción según destino, es significativamente mayor para las obras de apartamentos y casas, ambos para vivienda.

Cuadro 12: Área en construcción, por áreas urbanas y metropolitanas, según destinos. III trimestre de 2008

Destinos	Bogotá AU	Medellín AM	Cali AU	B/manga. AM	Armenia AU	Total metros cuadrados
Apartamentos	4 735 622	1 904 422	824 300	753 881	41 130	8 881 429
Casas	509 315	159 472	266 073	170 587	60 276	1 540 459
Oficinas	842 243	300 217	46 061	22 776	8 875	1 295 316
Comercio	433 082	496 995	173 159	66 486	17 086	1 477 700
Bodegas	199 923	144 007	34 571	26 134	857	577 973
Educación	300 177	52 610	29 030	8 904	-	431 977
Hoteles	130 221	84 870	21877	5 013	-	256 735
Hospitales	29 632	40 980	79 282	4 860	18141	195 724
Administración pública	129 535	27 737	-	-	593	161 265
Otros	99 933	210 368	68 564	5 522	9 533	400 460
Total	7 409 683	3 421 678	1 542 917	1 064 163	156 491	15 219 038

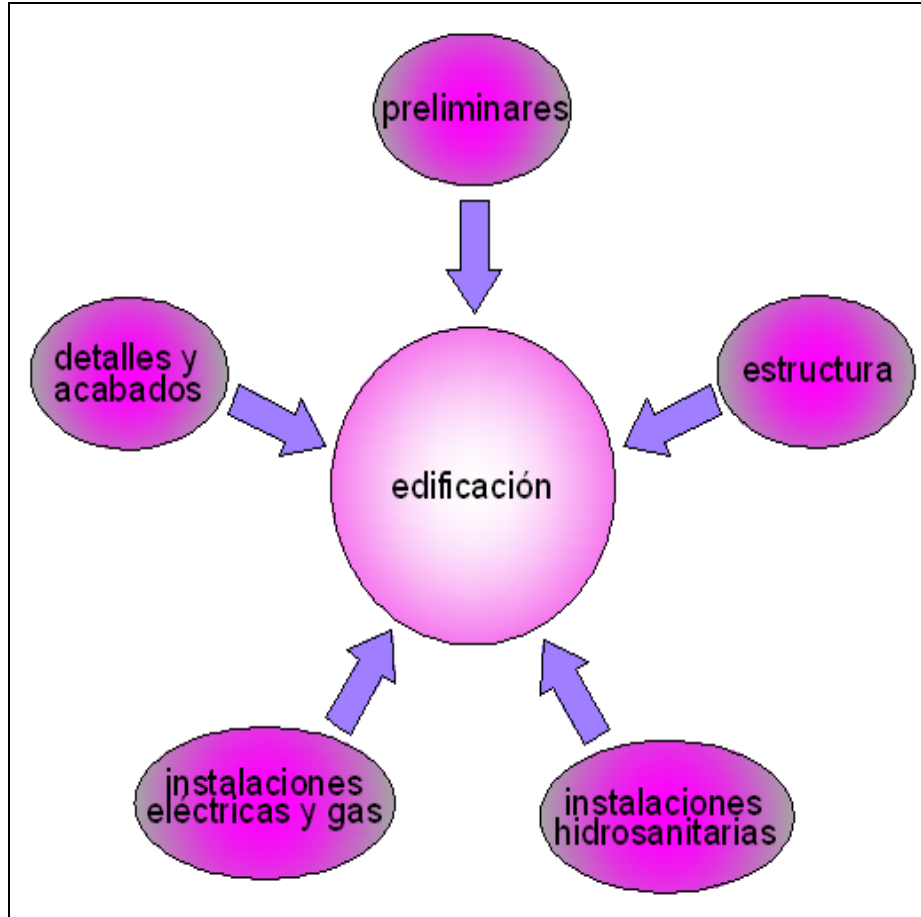
- Sin movimiento. No se registraron metros cuadrados en el período de referencia

Fuente: DANE.

Tomando como base la edificación para vivienda, como la obra civil sobre la cual se aplica el concepto de sistema, y sus componentes que se denominan procesos, se plantea el esquema de sistema mostrado en la Figura 12.

Como se mencionó anteriormente, los costos directos de los presupuestos de obra son calculados a partir de los análisis de precios unitarios (APU). En los presupuestos, los APU son elaborados para cada uno de los procesos involucrados en la construcción de la obra destacando los recursos que se requieren para su desarrollo.

Figura 12. Sistema edificación y sus componentes



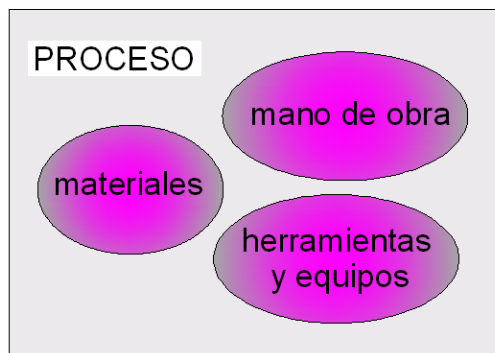
Fuente: Las autoras

Un proceso es la asociación de actividades para las cuales se requieren insumos o recursos, clasificados según su origen en mano de obra, materiales, herramientas y equipos, como se muestra en la Figura 13.

Las herramientas y equipos, son un recurso que en algunos casos, contribuyen no solo a la realización de un proceso en particular, sino que interviene en varios. Uno de ellos es la torre grúa, que presenta una participación importante en obra como uno de los equipos de transporte de materiales, y que se usa para la ejecución de diversas unidades de obra, como lo descrito en el numeral 2.4.2., y a

diferencia de los otros recursos que intervienen, y cuyo costo y rendimiento es discriminado en el proceso, estos se incluyen como un porcentaje establecido para todo el presupuesto.

Figura 13. Componentes del proceso de construcción



Fuente: Las autoras

Con el fin de modelar presupuestos que presenten la influencia de los recursos especificados en los costos directos para cada proceso constructivo, se considera necesario el análisis de la edificación como un sistema. Para tal fin, se exploró en otras disciplinas de la ingeniería, y con esto se pudo identificar que la Ingeniería de Software, posee una metodología clara y precisa para el análisis de sistemas de computadora, que puede ser ajustada y aplicada para lograr el objetivo de este trabajo de grado.

4.1.2. Modelos de Ingeniería de Software aplicables al análisis de presupuestos de obras civiles.

La Ingeniería del Software es una disciplina encargada del análisis, diseño y construcción de software. Esta disciplina, con el fin de realizar una descripción de la conformación y el comportamiento de un software a construir, emplea modelos de análisis que le permiten establecer una representación simplificada del mismo. Para la creación de un software, es necesario tener claro el sistema real que este

representará, y es a través del modelamiento que se hace posible relacionar las componentes del mundo real, y las componentes del software para una mejor comprensión.

Dentro de los métodos de modelamiento más destacados se encuentran el Modelo de Análisis estructurado y el Modelo de Análisis Orientado a Objetos, los cuales fueron considerados como eje central de estudio en este trabajo de grado, con el fin de identificar su mecanismo de ejecución y avance, y de esta manera determinar su aplicabilidad para el modelamiento de presupuestos de obra.

A mediados de los años 70s, el análisis estructurado en pleno apogeo, empezó a mostrar una serie de dificultades que limitan al analista a hacer un buen desempeño de sus actividades. Según Yourdon⁶³, esas limitaciones son:

- Distinción difusa y poca, definida entre los modelos lógicos y los modelos físicos.
- Limitación para modelar sistemas en tiempo real.
- El modelo de datos se hace de una manera primitiva.
- Tras la segunda y tercera correcciones de un diagrama, el analista se volvía cada vez más renuente a hacer cambios.
- Debido a la cantidad de trabajo requerido, el analista dejaba a veces de dividir el modelo del sistema en modelos de menor nivel, quedando por ende, funciones primitivas.
- A menudo no se incorporaban en el modelo del sistema los cambios en los requerimientos del usuario, sino hasta después de la fase de análisis del proyecto.

Adicionalmente, el análisis estructurado presentó otras fallas como las descritas

⁶³ YOURDON, Edward. Op. cit., p 136-147, 500-511.

en el numeral 2.1.3.1, que llevaron a desarrollar otra herramienta. Se implementó entonces el modelo de análisis orientado a objetos, resultando ser un método más efectivo que el modelo clásico.

El análisis y el diseño orientado a objetos, ofrece importantes ventajas. Por una parte, un buen diseño puede asegurar la realización de ventajas máximas de un lenguaje de programación orientado a objetos, sobre todo cuando no se cuenta con buenas bibliotecas de clases preexistentes. Un diseño orientado a objetos también suele producir menos código y más reutilizable que el intensivo proceso del método de descomposición procedimental.

Además, el método de diseño tiende a producir sistemas flexibles a los cambios. Fija su atención a los elementos estables del sistema: los objetos. Esta estabilidad y flexibilidad se encuentra presente en el diseño. Permite la reutilización y la ampliación del modelo existente, dada su propiedad de herencia.

La modularidad del método, beneficia al equipo de desarrollo. Como los datos y procesos están localizados en los objetos, es fácil tener varios equipos trabajando independientemente en diferentes partes del diseño. Por último, el método de diseño orientado a objetos es más intuitivo, no sólo para el analista, sino también para el usuario final, ya que su enfoque de organización y comprensión del problema resulta natural; está basado en la forma de pensar de los seres humanos.⁶⁴

Una diferencia esencial entre el análisis orientado a objetos y el estructurado es: la

⁶⁴ WINBLAD, Ann. *et. al.* Software orientado a objetos. Madrid, Adison Wesley/Díaz de Santos. 1993. p. 193.

división por clases conceptuales en lugar de la división por funciones.⁶⁵ Estudiando a fondo el alcance de los dos métodos de modelado expuestos anteriormente, y aprovechando las ventajas que presenta el análisis orientado a objetos sobre el análisis estructurado, se determinó dejar de lado este último y realizar el análisis de la influencia los recursos para el modelamiento de presupuestos, a través del modelo Orientado a Objetos.

El método orientado a objetos, mediante la creación de objetos pertenecientes a clases específicas de las cuales hereda atributos y operaciones, establece una abstracción del sistema que se desea modelar. Estos objetos representan un componente del sistema a modelar y de igual manera que en la realidad, estos establecen relaciones y dependencias entre ellos.

En la actualidad, el modelado orientado a objetos cuenta con una herramienta de notación visual estándar llamada Lenguaje de Modelado Unificado (UML). UML es un lenguaje visual para comunicar, modelar, especificar y definir sistemas.⁶⁶

UML contiene un grupo de diagramas que permiten el análisis y posterior diseño de software. Para el desarrollo de este proyecto de investigación, se hizo necesario precisar el alcance de los diagramas que emplea UML, logrando establecer que los *Diagramas de Casos de Uso* y el *Diagrama del Dominio* empleados en la fase de análisis de software, son aplicables para comprender el comportamiento fundamental de la edificación, ya que estos describen de manera detallada cada uno de los escenarios que se presentan en la misma.

De igual modo, analizando los diagramas que pertenecen a la etapa de diseño del

⁶⁵ LARMAN, Craig. UML y patrones: Una introducción al análisis orientado a objetos y al proceso unificado. Segunda edición. Madrid, Pearson Prentice Hall, 2003. p 125

⁶⁶ SPARK.Op. cit.

software, se encontró el *Diagrama de Clases*, que es una representación generalizada del Diagrama del Dominio, considerándose de gran importancia y aplicabilidad para la descripción del sistema. Así, se logra plasmar un modelo de presupuesto que permita identificar la influencia de los recursos activos, en cada uno de los procesos presentes en la ejecución de una edificación.

4.1.3. Modelamiento de presupuestos a partir del análisis de la influencia de los recursos activos en obra empleando UML.

4.1.3.1. Modelo de Casos de Uso. El diagrama de Casos de Uso describe los requisitos funcionales del sistema, la forma en la que las cosas externas (actores) interactúan a través del límite del sistema y la respuesta del sistema.⁶⁷ Es un modelo de funcionalidad y entorno del sistema⁶⁸ que se basa en escenarios para la obtención de requerimientos.⁶⁹

Los escenarios pueden ser especialmente útiles para agregar detalle a un esbozo de los requerimientos; son descripciones de ejemplos de las sesiones de interacción. El escenario comienza con un esbozo de la interacción, y durante la obtención se agregan detalles para crear una descripción completa de esta interacción. De forma general, un escenario puede incluir las características descritas en el cuadro 13.

El diagrama de Casos de Uso para su descripción, hace uso de cada uno de los siguientes componentes⁷⁰:

➤ Actores: un actor es cualquier cosa con comportamiento, como una persona

⁶⁷ Ibid.

⁶⁸ LARMAN, Craig. Op. cit., p. 43.

⁶⁹ SOMMERVILLE, Ian. Op. cit., p. 140.

⁷⁰ LARMAN, Craig. Op. cit., p. 45-54.

(identificada por un rol), sistema informatizado, organización, hasta el mismo sistema que se está estudiando.

- Escenario: es una secuencia específica de acciones e interacciones entre los actores y el sistema objeto de estudio.
- Personal involucrado y sus intereses: es un listado de agentes que sugiere y delimita lo que debe hacer el sistema.
- Precondiciones y garantías de éxito: las precondiciones establecen lo que siempre debe cumplirse antes de comenzar un escenario de caso de uso. Normalmente, una precondición implica un escenario de otro caso de uso que se ha completado con éxito mientras que las garantías de éxito o postcondiciones establecen qué debe cumplirse cuando el caso de uso se completa con éxito.
- Escenario principal de éxito: también recibe el nombre de escenario del “camino feliz” o más prosaico “Flujo Básico”. Describe el camino de éxito típico que satisface los intereses del personal involucrado.
- Extensiones o flujos alternativos: indican todos los otros escenarios o bifurcaciones tanto de éxito como de fracaso.

Cuadro 13. Características del escenario en los Casos de Uso

CARACTERÍSTICAS
Una descripción de lo que esperan el sistema y el usuario cuando el escenario comienza.
Una descripción del flujo normal de eventos en el escenario.
Una descripción de lo que puede ir mal y cómo manejarlo.
Información de otras actividades que se podrían llevar a cabo al mismo tiempo.
Una descripción del estado del sistema cuando el escenario termina.

Fuente: Las autoras, basado en SOMMERVILLE⁷¹

⁷¹ Ibid. p 139.

Estudiando a fondo cada uno de los conceptos descritos anteriormente que sustentan el Diagrama de Casos de Uso, se hizo posible plasmar los Diagramas de Casos de Uso presentes en la ejecución de una edificación.

4.1.3.2. Aplicación del Modelo de casos de uso. Es importante aclarar que los casos de usos presentados a continuación, y a partir de los cuales se deriva el Diagrama del Dominio y el Diagrama de Clases, no describen la totalidad de la obra, pero si representan el comportamiento de algunos procesos. Los procesos seleccionados para la realización del Diagrama de Casos de Uso, son algunos en los cuales se requiere la presencia de la torre grúa para su ejecución, que como se mencionó al comienzo de este capítulo, constituye un claro ejemplo de los recursos que no son discriminados y cuantificados en cada proceso al momento de realizar los APU de un presupuesto.

Otra razón por lo cual se estableció un grupo selecto de procesos, a través de los cuales, se hace posible plantear la metodología propuesta en este trabajo de grado para el modelamiento de presupuestos, fue la poca disponibilidad y oportunidad de acceso para la realización de visitas de obra, en las cuales se pretendía identificar todos y cada uno de los procesos ejecutados para la construcción de una edificación. De este modo, los procesos descritos en los casos de usos, son aquellos para los cuales se pudo obtener información en obra, y permiten validar la metodología propuesta. Los procedimientos para la toma de datos y manejo de la información, se describieron en el capítulo 3.

A manera de aplicación se presentan los casos de uso para los procesos observados en obra, y para los cuales se tomó información. Estos procesos se analizan, y se representan usando el modelo de los casos de uso, y con ello se valida la metodología.

CASO DE USO UC1: Levantar muro de mampostería

Actor Principal: Oficial de mampostería

Actores involucrados e intereses:

- **Maestro de obra:** quiere que los muros sean levantados correctamente para evitar retrasos y posteriores sobrecostos.
- **Oficial mampostero:** quiere levantar el muro sin contratiempos disponiendo de los materiales que se requieren y de la cooperación del ayudante de obra.
- **Ingeniero residente:** quiere que el muro sea levantado correctamente para evitar inconvenientes a la firma constructora y costos adicionales al momento de realizar los acabados.

Precondiciones: Se funde la placa del nivel inferior y superior al nivel en donde se desea levantar el muro.

Garantías de éxito: Se chequea el muro. Se trazan y perforan los ejes para la red eléctrica. Se frisa y estuca. Se pinta.

Escenario principal de éxito:

1. El oficial de mampostería realiza el alineamiento o trazado de ejes sobre los cuales se levantará el muro empleando para ello herramientas menores (HM).
2. Los Ayudantes de cargue transportan los materiales y herramientas desde el almacén hasta el sitio de cargue y llenan la canasta de la torre grúa hasta su capacidad máxima (en lo posible)
3. El operario de la torre grúa transporta los materiales desde el sitio de cargue hasta el sitio de descargue en el nivel donde se desea levantar el muro.
4. El Ayudante descarga la canasta.
5. El Ayudante transporta los materiales desde el lugar de descargue de la torre grúa hasta el sitio del levantamiento del muro.
6. El oficial de mampostería prepara el mortero, empleando HM.
7. El oficial de mampostería levanta el muro.
8. El oficial de mampostería verifica la plomada del muro.
9. El Ayudante hidrata el muro con agua.

Extensiones o flujos alternativos:

1a. Equivocación en el trazado de ejes.

1. Residente de obra aprecia que el trazado de ejes se realizó incorrectamente de tal manera que no concuerdan con los estipulados en los planos.
2. Reporta al oficial de mampostería el error.
3. El oficial de mampostería rectifica los planos, se cerciora sobre la

ubicación del muro y procede al trazado de ejes nuevamente.

2a. Los materiales cargados no cumplen con los requerimientos.

1. El oficial de mampostería observa que los materiales no tienen las especificaciones requeridas.
2. El oficial de mampostería reporta al almacenista el error.
3. El almacenista entrega a los ayudantes de carga los materiales.
4. Los ayudantes de carga descargan los materiales equivocados y cargan la canasta nuevamente.

2b. La canasta de la torre grúa ha sido cargada por encima de su capacidad máxima.

1. El operario de la torre grúa informa que la carga ha superado la capacidad máxima.
2. Los ayudantes retiran el exceso de carga.

3a. La torre grúa presenta falla mecánica.

1. Durante el transporte se presenta una falla en el motor, deteniendo la marcha de la torre grúa.
2. El operario procede a solucionar la falla.
3. La carga llega a su destino con demora y es descargada.

3b. La torre grúa lleva los recursos hasta un nivel diferente al deseado.

1. Si los recursos a utilizar en este nivel cumplen con las mismas especificaciones de los recursos transportados se descargan allí, de lo contrario son transportados y descargados en el nivel requerido.

4a. El sitio de descargue permanece ocupado al momento de realizar la siguiente descarga.

1. Los ayudantes de descarga informan al operario de la torre grúa que el sitio de descargue aún no ha sido desocupado.
2. El operario de la torre grúa espera que la zona sea habilitada para situar la canasta.
3. Los ayudantes desocupan la zona de descargue.
4. El operario de la torre grúa sitúa la canasta nuevamente.
5. Los ayudantes de descarga desocupan la canasta.

7a. Se acabó el material del mortero de pega

1. El oficial reporta al almacenista que se requiere más material.
2. El almacenista registra la demanda adicional, y evacúa el material para cargar.
3. El ayudante carga en la canasta de la torre grúa el requerimiento.
- 3a. La torre grúa no está disponible.

1. Se carga el material con el malacate.
4. La torre grúa transporta el material al nivel del requerimiento.
5. El ayudante descarga el material y lo lleva al punto en donde se requiere.

8a. El residente de obra comprueba la no verticalidad del muro y lo rechaza.

1. El oficial de mampostería derriba el muro y procede a levantarlo nuevamente.

Aplicar el modelo de casos de uso resulta muy útil al momento de estudiar el comportamiento del sistema, ya que a través de ésta se describen paso a paso y de manera detallada cada uno de los sucesos que conforman los procesos. Como se aprecia en el *CASO DE USO UC1: Levantar muro de mampostería*, es posible identificar los sucesos que deben presentarse en el escenario especificado, para que este se lleve a cabo sin contratiempos. Se considera que los nueve acontecimientos enumerados y descritos en este escenario de éxito son suficientes para que el proceso se desarrolle satisfactoriamente.

Considerando que los sucesos presentes en el escenario pueden verse afectados o interrumpidos, se hace necesaria la implementación de extensiones o flujos alternativos que permiten identificar claramente en qué consiste la o las falencias de un suceso, y quiénes intervienen en él para así generar una solución. Cabe aclarar que no todos los sucesos requieren de extensiones, sino que son incluidas solo aquellas que se consideren determinantes.

Por otra parte, cada caso de uso requiere de la identificación del *actor* o *los actores principales* que se encuentren presentes en el escenario. En este caso de uso, el oficial de mampostería desempeña el suceso más significativo que es el de levantar el muro. Como *actores involucrados* o *intereses* se asignaron aquellos agentes que serían afectados de manera más directa al momento de no lograrse

el objetivo, siendo estos el *maestro de obra*, el *oficial mampostero* y el *residente de obra*.

Con el propósito de delimitar el escenario de éxito, se establecen las *precondiciones* que representan los requerimientos que se deben cumplir con antelación, de tal manera que se garantice el desarrollo de los sucesos descritos en el caso de uso. La existencia de las placas o losas de los niveles superior e inferior del nivel donde se desea levantar el muro, son los requisitos que deben cumplirse en este caso. De igual manera, el cumplimiento del escenario de éxito debe garantizar la existencia de otros sucesos o postcondiciones, que como se dijo anteriormente, por lo general pertenecen a otro caso de uso, como son la instalación de la red eléctrica, el friso, estuco y pintura.

Empleando la metodología de análisis descrita anteriormente se desarrollaron, de igual manera, los siguientes casos de uso.

CASO DE USO UC2: Instalar red hidráulica

Actor Principal: Oficial de instalaciones hidráulicas

Actores involucrados e intereses:

- **Maestro de obra:** quiere instalar los conductos hidráulicos sin contratiempos disponiendo de los materiales que se requieren y de la cooperación del ayudante de obra.
- **Ingeniero residente:** quiere que las instalaciones hidráulicas sean hechas correctamente para evitar inconvenientes y costos adicionales al momento de realizar los acabados.

Precondiciones: Se tiene terminado el muro de mampostería y la placa de entrepiso. Los materiales han sido pedidos al proveedor, y el almacenista ha verificado el pedido conforme lo descrito en los planos de diseño.

Garantías de éxito: Se chequea la instalación y hay suministro de agua a la presión deseada. Posterior a eso, se pueden instalar los aparatos de baños y cocina, y otros que funcionen con agua. Queda listo para que se coloquen los enchapes de pisos y paredes.

Escenario principal de éxito:

1. El oficial de instalaciones hidráulicas, realiza el alineamiento o trazado de ejes sobre los cuales irán las tuberías en el sótano, desde el punto de empalme a la red de servicio local, según los planos de diseño hidráulico empleando para ello herramientas menores (HM).
2. Los Ayudantes transportan los materiales desde el almacén hasta el sitio de cargue.
3. La torre grúa transporta los materiales desde el sitio de cargue hasta el sitio de instalación.
4. El Ayudante descarga la canasta.
5. El Ayudante transporta los materiales (tuberías y accesorios) desde el lugar de descargue de la torre grúa hasta el sitio.
6. El oficial y ayudantes van haciendo las excavaciones mientras otros ayudantes traen el material. Para esto se emplean HM.
7. El oficial prepara una cama de arena+cemento, que luego vacía en las excavaciones hechas antes para instalaciones.
8. El oficial coloca sin conectar, los tramos y accesorios de todo el nivel, y verifica que todo esté en orden. Conecta las tuberías con los accesorios.
9. El oficial localiza la(s) montante(s), y a partir de ahí, la levanta hasta el entrepiso superior más cercano.

En el primer entrepiso superior más cercano:

10. El oficial localiza la(s) montante(s) en el entrepiso, y a partir de su ubicación realiza el alineamiento o trazado de ejes sobre los cuales irán las tuberías, según los planos de diseño hidráulico empleando para ello herramientas menores (HM).
11. Los Ayudantes transportan los materiales desde el almacén hasta el sitio de cargue y llenan la canasta de la torre grúa hasta su capacidad máxima (en lo posible), o hasta donde sea necesario.
12. La Torre grúa transporta los materiales desde el sitio de cargue hasta el nivel donde se desea instalar la tubería.
13. El Ayudante descarga la canasta.
14. El Ayudante transporta los materiales (tuberías, accesorios y soldadura PVC o equivalente para instalaciones) desde el lugar de descargue de la torre grúa hasta el sitio de disposición.
15. El oficial de instalación coloca las tuberías y accesorios según los planos, pero no los conecta aún.
16. El oficial de instalación verifica que la instalación esté completa y que los tramos tengan las dimensiones adecuadas. Verifica la instalación en los puntos hidráulicos (en baños, cocinas, zonas de ropa, área común).
17. El oficial de instalación conecta las tuberías y accesorios con soldadura de tuberías.

Extensiones o flujos alternativos:

1a. El oficial de instalaciones hidráulicas, observa que el alineamiento está errado.

1. El oficial rectifica los alineamientos en los planos.
2. Procede a localizarlos nuevamente en el sitio.

2a. Los recursos no cumplen con los requerimientos.

1. Los ayudantes notan que los recursos en el sitio de cargue no son los requeridos para cargar.
2. Reportan al almacenista la falla, y este reemplaza los recursos por los requeridos.
3. Los ayudantes proceden a cargar la torre grúa.

3a. La torre grúa lleva los recursos hasta un nivel diferente al deseado.

1. Si los recursos a utilizar en este nivel cumplen con las mismas especificaciones de los recursos transportados se descargan allí, de lo contrario son transportados y descargados en el nivel requerido.

3b. La torre grúa presenta falla mecánica.

1. Durante el transporte se presenta una falla en el motor, deteniendo la marcha de la torre grúa.
2. El operario procede a solucionar la falla.
3. La carga llega a su destino con demora y es descargada.

3c. El sitio de descargue permanece ocupado al momento de realizar la siguiente descarga.

1. Los ayudantes de descarga informan al operario de la torre grúa que el sitio de descargue aún no ha sido desocupado.
2. El operario de la torre grúa espera que la zona sea habilitada.
3. Los ayudantes desocupan la zona de descargue.
4. El operario se sitúa nuevamente de la torre en la zona de descargue.
5. Los ayudantes de descarga desmontan los recursos de la torre grúa.

8a. El oficial encuentra durante la conexión, que faltaron algunos accesorios y tramos.

1. El oficial reporta la falla al almacenista, y le solicita los accesorios faltantes.
2. Los ayudantes cargan la torre grúa con los materiales adecuados.
3. La torre grúa llega al sitio de descarga, y los ayudantes llevan el material al sitio de instalación.

8b. El oficial encuentra que algunos tramos y accesorios que llegaron no corresponden a los necesarios según los diseños.

1. El oficial reporta la falla al almacenista y le solicita los tramos adecuados.
2. Los ayudantes cargan la torre grúa con los materiales adecuados.
3. La torre grúa llega al sitio de descarga, y los ayudantes llevan el material al sitio de instalación.

9a. El oficial encuentra que algunos tramos y accesorios que llegaron no corresponden a los necesarios para la montante según los diseños.

1. El oficial reporta la falla al almacenista y le solicita los tramos adecuados.
2. Los ayudantes cargan la torre grúa con los materiales adecuados.
3. La torre grúa llega al sitio de descarga, y los ayudantes llevan el material al sitio de instalación.

En el primer entrepiso superior más cercano:

10a. El residente de obra encuentra que los alineamientos no corresponden a los especificados en los planos.

1. Informa al oficial sobre el error.
2. El oficial procede a replantear los alineamientos

15a. El oficial de instalación encuentra que faltaron algunos accesorios y tramos.

1. El oficial reporta la falla al almacenista, y le solicita los accesorios faltantes.
2. Los ayudantes cargan la torre grúa con los materiales adecuados.
3. La torre grúa llega al sitio de descarga, y los ayudantes llevan el material al sitio de instalación.

15b. El oficial encuentra que algunos tramos y accesorios que llegaron no corresponden a los necesarios según los diseños.

1. El oficial reporta la falla al almacenista y le solicita los tramos adecuados.
2. Los ayudantes cargan la torre grúa con los materiales adecuados.
3. La torre grúa llega al sitio de descarga, y los ayudantes llevan el material al sitio de instalación.

CASO DE USO UC3: Instalar red sanitaria

Actor Principal: Oficial de instalaciones sanitarias o plomero.

Actores involucrados e intereses:

- **Maestro de obra:** quiere instalar los conductos sanitarios sin contratiempos disponiendo de los materiales que se requieren y de la cooperación del ayudante de obra.

- **Ingeniero residente:** quiere que las instalaciones sanitarias sean hechas correctamente para evitar inconvenientes y costos adicionales al momento de realizar los acabados.

Precondiciones: Se tiene terminado el muro de mampostería y la placa de entrepiso. Los materiales han sido pedidos al proveedor, y el almacenista ha verificado el pedido conforme lo descrito en los planos de diseño. Las cajas de inspección y recolección en el sótano están terminadas.

Garantías de éxito: Se chequea la instalación y los desagües, y la evacuación de agua. Posterior a eso, se pueden instalar los aparatos de baños y cocina, y otros que funcionen con agua. Queda listo para que se coloquen los enchapes de pisos y paredes.

Escenario principal de éxito:

1. El oficial de instalaciones sanitarias, realiza el alineamiento o trazado de ejes sobre los cuales irán las tuberías en el entrepiso, desde el punto de desagüe al bajante, según los planos de diseño sanitario empleando para ello herramientas menores (HM).
2. Los Ayudantes transportan los materiales desde el almacén hasta el sitio de cargue.
3. La torre grúa transporta los materiales desde el sitio de cargue hasta el sitio de instalación.
4. El Ayudante descarga la canasta.
5. El Ayudante transporta los materiales (tuberías y accesorios) desde el lugar de descargue de la torre grúa hasta el sitio.
6. El oficial de instalación coloca las tuberías y accesorios según los planos, pero no los conecta aún.
7. El oficial de instalación verifica que la instalación esté completa y que los tramos tengan las dimensiones adecuadas. Verifica la instalación en los puntos sanitarios (en baños, cocinas, zonas de ropa, área común).
8. El oficial de instalación conecta las tuberías y accesorios con soldadura de tuberías.
9. El oficial coloca sin conectar, los tramos y accesorios de todo el nivel, y verifica que todo esté en orden. Si no encuentra inconvenientes, conecta las tuberías con los accesorios.
10. El oficial localiza los bajantes, y a partir de ahí, instala las tuberías hasta el piso de abajo más cercano.

En el sótano:

11. El oficial localiza los bajantes y a partir de su ubicación realiza el alineamiento o trazado de ejes sobre los cuales irán las tuberías, según los planos de diseño sanitario empleando para ello herramientas menores (HM).

12. Los Ayudantes transportan los materiales desde el almacén hasta el sitio de cargue. Si las distancias en planta son muy grandes, se usa la torre grúa, y los ayudantes llenan la canasta de la misma hasta su capacidad máxima (en lo posible), o hasta donde sea necesario para este nivel de obra. Si las distancias no son grandes, los ayudantes transportan los accesorios y tramos cortos (menores a un metro) de tubería de la instalación en carretilla o manualmente para tramos largos.
13. La Torre grúa transporta los materiales desde el sitio de cargue hasta el nivel donde se desea instalar la tubería.
14. El Ayudante descarga la canasta.
15. El Ayudante transporta los materiales (tuberías, accesorios y soldadura PVC o equivalente para instalaciones) desde el lugar de descargue de la torre grúa hasta el sitio de disposición.
16. El oficial de instalación coloca las tuberías y accesorios según los planos, pero no los conecta aún.
17. El oficial de instalación verifica que la instalación esté completa y que los tramos tengan las dimensiones adecuadas.
18. El oficial de instalación conecta las tuberías y accesorios con soldadura de tuberías.

Extensiones o flujos alternativos:

1a. El oficial de instalaciones sanitarias, observa que el alineamiento está errado.

1. El oficial rectifica los alineamientos en los planos.
2. Procede a localizarlos nuevamente en el sitio.

2a. Los recursos no cumplen con los requerimientos.

1. Los ayudantes notan que los recursos en el sitio de cargue no son los requeridos para cargar.
2. Reportan al almacenista la falla, y este reemplaza los recursos por los requeridos.
3. Los ayudantes proceden a cargar la torre grúa.

3a. La torre grúa lleva los recursos hasta un nivel diferente al deseado.

1. Si los recursos a utilizar en este nivel cumplen con las mismas especificaciones de los recursos transportados se descargan allí, de lo contrario son transportados y descargados en el nivel requerido.

3b. La torre grúa presenta falla mecánica.

1. Durante el transporte se presenta una falla en el motor, deteniendo la marcha de la torre grúa.
2. El operario procede a solucionar la falla.
3. La carga llega a su destino con demora y es descargada.

3c. El sitio de descargue permanece ocupado al momento de realizar la siguiente descarga.

1. Los ayudantes de descarga informan al operario de la torre grúa que el sitio de descargue aún no ha sido desocupado.
2. El operario de la torre grúa espera que la zona sea habilitada.
3. Los ayudantes desocupan la zona de descargue.
4. El operario se sitúa nuevamente de la torre en la zona de descargue.
5. Los ayudantes de descarga desmontan los recursos de la torre grúa.

6a. El oficial encuentra durante la conexión, que faltaron algunos accesorios y tramos.

1. El oficial reporta la falla al almacenista, y le solicita los accesorios faltantes.
2. Los ayudantes cargan la torre grúa con los materiales adecuados.
3. La torre grúa llega al sitio de descarga, y los ayudantes llevan el material al sitio de instalación.

6b. El oficial encuentra que algunos tramos y accesorios que llegaron no corresponden a los necesarios según los diseños.

1. El oficial reporta la falla al almacenista y le solicita los tramos adecuados.
2. Los ayudantes cargan la torre grúa con los materiales adecuados.
3. La torre grúa llega al sitio de descarga, y los ayudantes llevan el material al sitio de instalación.

7a. El oficial encuentra que algunos tramos y accesorios que llegaron no corresponden a los necesarios para la montante según los diseños.

1. El oficial reporta la falla al almacenista y le solicita los tramos adecuados.
2. Los ayudantes cargan la torre grúa con los materiales adecuados.
3. La torre grúa llega al sitio de descarga, y los ayudantes llevan el material al sitio de instalación.

En el sótano:

11a. El residente de obra encuentra que los alineamientos no corresponden a los especificados en los planos.

1. Informa al oficial sobre el error.
2. El oficial procede a replantear los alineamientos

16a. El oficial de instalación encuentra que faltaron algunos accesorios y tramos.

1. El oficial reporta la falla al almacenista, y le solicita los accesorios

faltantes.

2. Los ayudantes cargan la torre grúa con los materiales adecuados.
3. La torre grúa llega al sitio de descarga, y los ayudantes llevan el material al sitio de instalación.

16b. El oficial encuentra que algunos tramos y accesorios que llegaron no corresponden a los necesarios según los diseños.

1. El oficial reporta la falla al almacenista y le solicita los tramos adecuados.
2. Los ayudantes cargan la torre grúa con los materiales adecuados.
3. La torre grúa llega al sitio de descarga, y los ayudantes llevan el material al sitio de instalación.

El ahondar en el estudio del Modelo de Casos de Uso, ha permitido identificar algunas herramientas que facilitan su descripción, y que son aplicables de igual manera para el análisis del sistema que se viene desarrollando hasta el momento. Antes de continuar con la presentación de los siguientes casos de uso, es preciso describir algunos conceptos que permiten desarrollar los casos de uso de una manera más simplificada, generando una mayor comprensión, como es el de *relación entre los casos de uso*.

4.1.3.3. Relación de los casos de uso. Los casos de uso se pueden relacionar entre ellos. Por ejemplo, un caso de uso de subfunción como Transportar con torre grúa podría formar parte de varios casos de uso ordinarios como Mampostería. Establecer relaciones permite una mejor organización y comprensión de los casos de uso, reduce la duplicación de textos y gestiona la gestión de los documentos de casos de uso. Las siguientes son relaciones de los casos de uso:

- Relación de inclusión (include): la relación tipo *include* es la más común e importante. Es habitual tener algún comportamiento parcial común a varios casos de uso. Por ejemplo, la descripción del transporte con torre grúa tiene lugar en varios casos de uso, entre los que se encuentran Levantar muro de mampostería, Instalar red hidráulica, Instalar red sanitaria, etc. En lugar de

duplicar este texto, es conveniente separarlo en su propio caso de uso como una subfunción, e indicar su inclusión.

- Relación de extensión (extend): la relación *extend* proporciona una alternativa de solución cuando el caso de uso base no debiera modificarse. La idea es crear un caso de uso que extiende o añade, y con él, describe donde y bajo qué condiciones extiende el comportamiento de algún caso de uso base.

4.1.3.4. Aplicación de las relaciones de los casos de uso. La implementación de relaciones entre los casos de uso es una alternativa que permite identificar qué tareas o actividades hacen parte de varios procesos constructivos. Al desarrollar los diferentes casos de uso se encontró que la realización de tareas tales como el dimensionamiento del acero y el transporte de materiales, contribuyen a la ejecución de varios procesos. En el caso del dimensionamiento del acero, este se encuentra presente para la construcción de elementos estructurales, tales como la fundición de muros, vigas, placas, etc. Por otra parte, el transporte de materiales, empleando equipos como la torre grúa, también es participe de múltiples procesos en la ejecución de una edificación, como se ha detallado en los casos de uso documentados hasta el momento.

Aplicando la relación entre casos de uso, es posible seleccionar cada uno de los sucesos comunes en cada caso de uso, y conformar con estos uno nuevo. El nuevo caso de uso, que por lo general es más corto por tratarse de la descripción de una tarea y no de todo un proceso, debe contener todas las características descriptivas que requiere el modelo.

En el *CASO DE USO UC4: Fundir Muro en Concreto*, se emplean las relaciones de inclusión al momento de ejecutarse las tareas de *corte y figurado*, y *transporte de materiales*, correspondientes a los *CASOS DE USO UC6-UC7* respectivamente, y de esta manera se simplifica la redacción del texto, y facilita la

comprensión del programador.

CASO DE USO UC4: Fundir Muro en Concreto.

Actor Principal: Maestro de Obra

Actores involucrados e intereses:

- **Maestro de Obra:** quiere que el muro sea fundido correctamente para evitar retrasos y posteriores sobrecostos.
- **Oficial de estructura:** quiere fundir el muro sin contratiempos disponiendo del concreto requerido y la formaleta debidamente colocada. Requiere de la cooperación del ayudante de obra.
- **Ingeniero residente:** quiere que el muro sea fundido correctamente para evitar inconvenientes, retrasos y costos adicionales al momento de realizar los acabados.

Precondiciones: Fundir la placa del nivel inferior.

Garantías de éxito: Se arma la placa del siguiente nivel enlazando, en los nodos, el refuerzo del muro, ya fundido, con las vigas que se van a fundir.

Escenario principal de éxito:

1. El maestro de obra traza los ejes de formaleteado y de alineamiento entre muros empleando HM
2. Corte y Flejado: Incluye Flejar acero.
3. Transporte del acero: Incluye Transportar con torre grúa.
4. El ayudante transporta el acero desde el lugar de descargue hasta el sitio de fundición.
5. El oficial y el ayudante arman el muro realizando empalmes longitudinales y colocando los refuerzos trasversales.
6. Transporte de la formaleta: Incluye Transportar con torre grúa.
7. El ayudante transporta la formaleta hasta el sitio de fundición.
8. El ayudante engrasa la formaleta.
9. El oficial y ayudante de formaleteado colocan la formaleta según los ejes trazados por el maestro inicialmente.
10. La mixer llena la canasta, el operario de la torre grúa transporta el concreto desde el sitio de cargue y lo vierte en el muro a fundir.
11. El ayudante vibra el concreto luego que ha sido depositado.
12. El ayudante desencofra el muro.
13. El ayudante cura el muro.

Extensiones o flujos alternativos:

1a. Equivocación en el trazado de ejes.

1. El residente de obra encuentra que el trazado de ejes se realizó

incorrectamente

2. Reporta el error al oficial de estructura.
3. Se rectifica el error y se procede a trazar los ejes nuevamente.

5a. Empalmes incorrectos.

1. El residente de obra detecta que los empalmes no cumplen con la especificación de los planos.
2. Reporta el error al oficial de estructura.
3. El oficial y sus ayudantes desamarran las barras empalmadas, y corrigen garantizando el diseño mostrado en los planos.

5b. Separación entre estribos incorrecta.

1. El residente de obra detecta que la separación entre estribos no es la estipulada en los planos.
2. Reporta el error al oficial de estructura.
3. El oficial y sus ayudantes desamarran los estribos incorrectos y los ubica nuevamente cumpliendo el diseño mostrado en los planos.

9a. Formaleteado mal dimensionado.

1. El residente de obra detecta que la formaleta no está armada con las dimensiones estipuladas en planos.
2. Reporta el error al oficial de estructura.
3. El oficial desarma la formaleta y la vuelve a colocar con las dimensiones dadas en planos.

9b. Formaleteado mal nivelado.

1. El residente de obra encuentra que no hay verticalidad en la formaleta.
2. Reporta el error al oficial de estructura.
3. El oficial endereza el muro, asegurando la verticalidad con plomada y nivel.

9c. Formaleteado con soporte insuficiente.

1. El residente de obra observa que la formaleta es inestable.
2. Reporta el error al oficial de estructura.
3. El oficial y sus ayudantes colocan más parales y soportes que sujeten la formaleta, evitando que se desestabilice con el vaciado del concreto.

9d. Formaleteado mal alineado

1. El residente de obra observa que los ejes de la formaleta colocada no corresponden a los ejes trazados inicialmente por el maestro de obra.
2. Reporta el error al oficial de estructura.
3. El oficial y sus ayudantes desformaletean, y la recolocan alineada apropiadamente con los ejes.

10a. Desperdicio de concreto

1. El oficial observa que parte del concreto ha quedado fuera del muro durante el vaciado.
2. Ordena al ayudante recoger con pala y balde el concreto regado, y depositarlo en el muro al finalizar el vaciado con la canasta.
3. El ayudante recoge el concreto, y lo vacía sobre el muro cuando la canasta se ha desocupado.

11a. Vibrado inadecuado

1. El oficial observa que el ayudante está vibrando excesivamente el concreto produciendo segregación.
2. Ordena al ayudante detener la vibración.

Para el *CASO DE USO UC5: Instalar pisos*, se incluye la subfunción UC7, para la tarea de transporte de materiales.

CASO DE USO UC5: Instalar pisos

Actor Principal: Oficial de acabados

Actores involucrados e intereses:

- **Maestro de obra:** quiere instalar los pisos sin contratiempos disponiendo de los materiales que se requieren y del buen rendimiento de la cuadrilla.
- **Ingeniero residente:** quiere que los pisos sean instalados correctamente para evitar inconvenientes y costos adicionales

Precondiciones: Se tiene terminado el muro de mampostería y la placa de entrepiso. Los materiales han sido pedidos al proveedor, y el almacenista ha verificado el pedido conforme lo descrito en los planos de diseño. Se ha verificado que la superficie está nivelada y bien afinada con la llana de madera. Se han verificado las pendientes de los pisos que tengan un punto de desagüe.

Garantías de éxito: Se chequea la instalación, pisos correctamente adheridos, nivelados y en los que haya desagües, el agua fluye sin represarse en ningún punto.

Escenario principal de éxito:

1. El oficial de acabados enmarca las áreas a cubrir con los pisos. Verifica nivel y pendientes.
2. Transporte de baldosas y cemento: Incluye transportar con torre grúa.
3. El Ayudante transporta los materiales desde el lugar de descargue de la

torre grúa hasta el sitio de colocación de los pisos.

4. El oficial humedece la superficie de las baldosas sin saturarla.
5. Un ayudante prepara la mezcla de pega de pisos, mezclando agua con el producto a usar, hasta que quede cremoso y uniforme. El oficial supervisa.
6. El ayudante esparce la mezcla de pegante sobre la superficie utilizando una HM (llana dentada de 5 o 6mm).
7. El oficial instala las baldosas dejando una junta de dilatación. Las baldosas se instalan sobre la mezcla, golpeando la pieza con un martillo de caucho hasta que aparezca la mezcla por los lados sin rebosar la superficie de la tableta.
8. El oficial revisa constantemente niveles.
9. El ayudante retira los excesos de pegante y limpia la superficie.
10. Al día siguiente de la instalación se rellenan las juntas de dilatación.

Extensiones o flujos alternativos:

1a. El oficial encuentra que el piso está desnivelado o no tiene las pendientes necesarias según el requerimiento.

1. El oficial ordena al ayudante preparar pañete para nivelar.
2. El ayudante prepara el pañete, y lo vierte.
3. El oficial afina la superficie dándole la pendiente deseada
4. El oficial cura la superficie.

1a. El oficial encuentra que el piso tiene una apariencia no uniforme, y no es apto para colocar las baldosas.

1. El oficial ordena al ayudante preparar pañete para nivelar.
2. El ayudante prepara el pañete, y lo vierte.
3. El oficial afina la superficie dándole la apariencia deseada
4. El oficial cura la superficie.

7a. La consistencia de la mezcla es demasiado seca.

1. El oficial agrega más agua, y mezcla hasta que quede homogénea y cremosa

7b. La consistencia de la mezcla es demasiado líquida

1. El oficial agrega más producto, y mezcla hasta que quede homogénea y cremosa

7c. Se ha preparado demasiada mezcla

1. El oficial entrega la mezcla sobrante a otra cuadrilla que esté haciendo acabado de pisos en otra área del mismo nivel, o de otro.

8a. Se ha esparcido excesivamente la mezcla sobre el piso.

1. El oficial retira el material sobrante y lo reintegra al resto del material.

8b. Ha hecho falta mezcla de pega en la superficie.

1. El oficial agrega más mezcla en la superficie.

8c. Se acabó el material de mezcla de pega

6. El oficial reporta al almacenista que se requiere más material.
7. El almacenista registra la demanda adicional, y evacúa el material para cargar.
8. El ayudante carga en la canasta de la torre grúa el requerimiento.
 - 3a. La torre grúa no está disponible.
 2. Se carga el material con el malacate.
9. La torre grúa transporta el material al nivel del requerimiento.
10. El ayudante descarga el material y lo lleva al punto en donde se requiere.

9a. Las juntas de dilatación no son uniformes.

1. El oficial observa que las juntas no son uniformes, y procede a levantar las baldosas ya puestas, reubicándolas.

9b. Se han roto piezas durante la instalación.

1. El oficial cambia las piezas rotas por nuevo material, y desecha el desperdicio.

10a. Los niveles no son adecuados.

1. El oficial observa que los niveles no son los requeridos.
2. El ayudante levanta las piezas necesarias para ajustar el nivel.
3. Se vierte más mezcla de pega en las zonas a levantar.
4. Se replantea el nivel y se empareja.

Los casos de uso UC6: Flejar acero y UC7: Transportar materiales, que fueron incluidos en el caso de uso anterior se presentan a continuación.

CASO DE USO UC6: Flejar acero

Actor Principal: Oficial de corte.

Actores involucrados e intereses:

- **Oficial de armado:** quiere que las barras sean cortadas y figuradas correctamente para evitar contratiempos en el armado.
- **Residente:** quiere que el oficial de corte presente un alto rendimiento en

su trabajo con una mínima cantidad de desperdicio.

Precondiciones: Comprar el acero y almacenarlo en obra. Adecuar un sitio de corte.

Garantías de éxito: Se arma la estructura que se desee fundir.

Nivel: Subfunción.

Escenario principal de éxito:

1. El oficial de corte revisa los planos para conocer las dimensiones de los aceros que se requieren para el muro a fundir.
2. El ayudante transporta las barras de acero, de diámetro señalado por el oficial, desde el almacén hasta el sitio de corte.
3. El oficial de corte mide y corta las barras de acero que se emplearán como refuerzo longitudinal y transversal empleando HM.
4. El ayudante dobla las barras de acero para conformar los refuerzos longitudinales y los estribos del refuerzo transversal.
5. El ayudante arma paquetes de barras para su fácil identificación y transporte.

Extensiones o flujos alternativos:

1a. Planos equivocados.

1. El oficial de corte detecta que los planos analizados no corresponden a la estructura que se desea fundir.
2. El oficial de corte busca y selecciona los planos correctos.

2a. Barras incorrectas.

1. El oficial informa al ayudante que las barras transportadas no corresponden con las solicitadas.
2. El ayudante retorna al almacén las barras no solicitadas, y procede a seleccionar y transportar las requeridas.

3a. Corte inapropiado.

1. El oficial mide y corta el acero de dimensiones diferentes a las especificadas en el plano.
2. El oficial almacena la barra junto con el desperdicio para posteriormente analizar si con ésta se pueden suplir otras demandas.

4a. Flejado inapropiado.

1. El oficial detecta que los estribos no cumplen con las especificaciones dadas en los planos.
2. El ayudante endereza las barras.

3. El oficial dobla nuevamente las barras.

5a. Paquetes heterogéneos.

1. El ayudante detecta que los paquetes no contienen barras de iguales características.
2. El ayudante separa las barras diferentes y procede a armar paquetes uniformes.

CASO DE USO UC7: Transportar con torre grúa.

Actor Principal: Operario.

Actores involucrados e intereses:

- **Operario:** quiere que los recursos de cada proceso sea transportados con el mayor rendimiento.
- **Oficial que solicita el recurso:** quiere que el recurso sea transportado a tiempo para que su rendimiento no se vea afectado.
- **Residente de obra:** quiere que los recursos sean transportados con eficiencia y buen rendimiento, para evitar retrasos en otros procesos por demoras en el cargue y costos adicionales en el alquiler del equipo.

Precondiciones: Ha sido registrada la salida de los recursos por el almacenista, y estos están en el sitio de cargue. El sitio de descargue está disponible para depositar los recursos y los ayudantes están en sus posiciones de trabajo durante el cargue y descargue.

Garantías de éxito: Se descargan los recursos con eficiencia y con los rendimientos óptimos para ser empleados en la ejecución del proceso que los requiere.

Nivel: Subfunción.

Escenario principal de éxito:

1. El ayudante carga el recurso* en la torre grúa.
2. El operador de la torre grúa transporta el recurso* desde el lugar de cargue hasta el sitio de descargue en el nivel donde se realiza el proceso.
3. El ayudante descarga el recurso de la torre grúa.

**Los recursos transportados por la torre incluyen materiales o equipos, independientemente de si son cargados por canasta o sujetos por cables.*

Extensiones o flujos alternativos:

1a. Los recursos no cumplen con los requerimientos.

1. Los ayudantes notan que los recursos en el sitio de cargue no son los

requeridos para cargar.

2. Reportan al almacenista la falla, y este reemplaza los recursos por los requeridos.

3. Los ayudantes proceden a cargar la torre grúa.

1b. La canasta de la torre grúa ha sido cargada por encima de su capacidad máxima.

1. El operario de la torre grúa informa que la carga ha superado la capacidad máxima.

2. Los ayudantes retiran el exceso de carga.

2a. La torre grúa presenta falla mecánica.

1. Durante el transporte se presenta una falla en el motor, deteniendo la marcha de la torre grúa.

2. El operario procede a solucionar la falla.

3. La carga llega a su destino con demora y es descargada.

2b. La torre grúa lleva los recursos hasta un nivel diferente al deseado.

1. Si los recursos a utilizar en este nivel cumplen con las mismas especificaciones de los recursos transportados se descargan allí, de lo contrario son transportados y descargados en el nivel requerido.

3a. El sitio de descargue permanece ocupado al momento de realizar la siguiente descarga.

1. Los ayudantes de descarga informan al operario de la torre grúa que el sitio de descargue aún no ha sido desocupado.

2. El operario de la torre grúa espera que la zona sea habilitada.

3. Los ayudantes desocupan la zona de descargue.

4. El operario de la torre se sitúa nuevamente en la zona de descargue.

5. Los ayudantes de descarga desmontan los recursos de la torre grúa.

Como se consideró pertinente para el *CASO DE USO UC4*: Fundir Muro en Concreto, y *CASO DE USO UC5*: Instalar pisos, la utilización de las relaciones con otros casos de uso, se pueden implementar para simplificar la redacción de los demás casos de uso.

La presentación de los casos de uso iniciales implementando relaciones entre casos de uso, se muestran a continuación:

CASO DE USO UC1: Levantar muro de mampostería

...

Escenario principal de éxito:

10. El oficial de mampostería realiza el alineamiento o trazado de ejes sobre los cuales se levantará el muro empleando para ello herramientas menores (HM).
11. Transporte de ladrillo, cemento, arena y cortadora. Incluye *Transportar con torre grúa.*

...

7. El Ayudante hidrata el muro con agua.

Extensiones o flujos alternativos:

1a. Equivocación en el trazado de ejes.

1. Residente de obra aprecia que el trazado de ejes se realizó incorrectamente de tal manera que no concuerdan con los estipulados en los planos.
2. Reporta al oficial de mampostería el error.
3. El oficial de mampostería rectifica los planos, se cerciora sobre la ubicación del muro y procede al trazado de ejes nuevamente.

5a. Se acabó el material del mortero de pega

1. El oficial reporta al almacenista que se requiere más material.
2. El almacenista registra la demanda adicional, y evacúa el material para cargar.
3. El ayudante carga en la canasta de la torre grúa el requerimiento.
 - 3a. La torre grúa no está disponible.
 1. Se carga el material con el malacate.
4. La torre grúa transporta el material al nivel del requerimiento.
5. El ayudante descarga el material y lo lleva al punto en donde se requiere.

6a. El residente de obra comprueba la no verticalidad del muro y lo rechaza.

1. El oficial de mampostería derriba el muro y procede a levantarlo nuevamente.

CASO DE USO UC2: Instalar red hidráulica

...

Escenario principal de éxito:

1. El oficial de instalaciones hidráulicas, realiza el alineamiento o trazado de ejes sobre los cuales irán las tuberías en el sótano, desde el punto de empalme a la red de servicio local, según los planos de diseño hidráulico empleando para ello herramientas menores (HM).
2. Transporte de tuberías, accesorios, y pegantes: Incluye Transportar con torre grúa.

...

15. El oficial de instalación conecta las tuberías y accesorios con soldadura de tuberías.

Extensiones o flujos alternativos:

1a. El oficial de instalaciones hidráulicas, observa que el alineamiento está errado.

1. El oficial rectifica los alineamientos en los planos.
2. Procede a localizarlos nuevamente en el sitio.

6a. El oficial encuentra durante la conexión, que faltaron algunos accesorios y tramos.

1. El oficial reporta la falla al almacenista, y le solicita los accesorios faltantes.
2. Los ayudantes cargan la torre grúa con los materiales adecuados.
3. La torre grúa llega al sitio de descarga, y los ayudantes llevan el material al sitio de instalación.

...

13b. El oficial encuentra que algunos tramos y accesorios que llegaron no corresponden a los necesarios según los diseños.

1. El oficial reporta la falla al almacenista y le solicita los tramos adecuados.
2. Los ayudantes cargan la torre grúa con los materiales adecuados.
3. La torre grúa llega al sitio de descarga, y los ayudantes llevan el material al sitio de instalación.

CASO DE USO UC3: Instalar red sanitaria

...

Escenario principal de éxito:

1. El oficial de instalaciones sanitarias, realiza el alineamiento o trazado de ejes sobre los cuales irán las tuberías en el entrepiso, desde el punto de desagüe al bajante, según los planos de diseño sanitario empleando para

ello herramientas menores (HM).

2. Transporte de tuberías y accesorios: Incluye Transportar con torre grúa.

...

8. El oficial localiza los bajantes, y a partir de ahí, instala las tuberías hasta el piso de abajo más cercano.

En el sótano:

9. El oficial localiza los bajantes y a partir de su ubicación realiza el alineamiento o trazado de ejes sobre los cuales irán las tuberías, según los planos de diseño sanitario empleando para ello herramientas menores (HM).

10. Transportes de tuberías, accesorios y pegantes: Incluye transportar con torre grúa.

...

14. El oficial de instalación conecta las tuberías y accesorios con soldadura de tuberías.

Extensiones o flujos alternativos:

1a. El oficial de instalaciones sanitarias, observa que el alineamiento está errado.

1. El oficial rectifica los alineamientos en los planos.
2. Procede a localizarlos nuevamente en el sitio.

4a. El oficial encuentra durante la conexión, que faltaron algunos accesorios y tramos.

1. El oficial reporta la falla al almacenista, y le solicita los accesorios faltantes.
2. Los ayudantes cargan la torre grúa con los materiales adecuados.
3. La torre grúa llega al sitio de descarga, y los ayudantes llevan el material al sitio de instalación.

4b. El oficial encuentra que algunos tramos y accesorios que llegaron no corresponden a los necesarios según los diseños.

1. El oficial reporta la falla al almacenista y le solicita los tramos adecuados.
2. Los ayudantes cargan la torre grúa con los materiales adecuados.
3. La torre grúa llega al sitio de descarga, y los ayudantes llevan el material al sitio de instalación.

5a. El oficial encuentra que algunos tramos y accesorios que llegaron no corresponden a los necesarios para la montante según los diseños.

1. El oficial reporta la falla al almacenista y le solicita los tramos adecuados.
2. Los ayudantes cargan la torre grúa con los materiales adecuados.

3. La torre grúa llega al sitio de descarga, y los ayudantes llevan el material al sitio de instalación.

En el sótano:

9a. El residente de obra encuentra que los alineamientos no corresponden a los especificados en los planos.

1. Informa al oficial sobre el error.
2. El oficial procede a replantear los alineamientos

12a. El oficial de instalación encuentra que faltaron algunos accesorios y tramos.

1. El oficial reporta la falla al almacenista, y le solicita los accesorios faltantes.
2. Los ayudantes cargan la torre grúa con los materiales adecuados.
3. La torre grúa llega al sitio de descarga, y los ayudantes llevan el material al sitio de instalación.

12b. El oficial encuentra que algunos tramos y accesorios que llegaron no corresponden a los necesarios según los diseños.

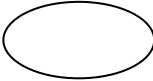


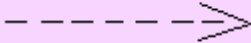

1. El oficial reporta la falla al almacenista y le solicita los tramos adecuados.
2. Los ayudantes cargan la torre grúa con los materiales adecuados.
3. La torre grúa llega al sitio de descarga, y los ayudantes llevan el material al sitio de instalación.

4.1.3.5. Representación gráfica del modelo de casos de uso. El modelo de casos de uso emplea un diagrama para su representación, en el cual se presentan cada uno de los casos de uso descritos y documentados. Como se conoce, cada uno de los casos de uso creados representa un proceso constructivo presente en la edificación, y por lo tanto conforman este sistema.

El diagrama de casos de uso permite la notación de este sistema al cual pertenecen, a través de símbolos, y son presentados en el cuadro 14. En un rectángulo o margen son insertados todos los casos de uso, los cuales se representan a través de un ovalo que contenga el nombre con el cual fue documentado.

De igual manera, los actores principales también tienen su representación y ubicación dentro del diagrama de casos de uso. Estos se presentan a través de la figura mostrada en el cuadro 14, y se acostumbra a ubicar de manera sucesiva en los laterales derecho e izquierdo del rectángulo límite. Con el fin de evitar la creación de un diagrama complejo, se aconseja que los actores se deben colocar lo más próximo posible al caso de uso al cual pertenecen para de esta forma evitar el cruce de asociaciones o relaciones.

Cuadro 14. Símbolos del diagrama de casos de uso

Símbolo	Significado
	Caso de uso
	Actor
	Asociación
	Relación: Inclusión- Extensión
	Límite

Fuente: Enterprise Architect© 7.1.834

Las asociaciones se representan a través de una línea continua, que une a los actores con el caso de uso en el cual participan; las relaciones se grafican con una flecha interrumpida que llega del caso de uso principal, en el caso de los *include*, y salen de este en el caso de los *extend*. A continuación se presenta el diagrama de casos de uso que se encuentra soportado en los documentos redactados y que

será empleado como fundamento para la realización de otros modelos de UML, como se verá más adelante. La herramienta computacional usada para la representación de los diagramas es Enterprise Architect© 7.1.834. Enterprise Architect (EA), es una herramienta CASE (Computer Aided Software Engineering) para el diseño y construcción de sistemas de software, para el modelado de procesos de negocios, y para objetivos de modelado más generalizados.

EA es una herramienta de análisis y diseño [UML](#) comprensivo, cubriendo el desarrollo de software desde la obtención de los requisitos, diseño del modelo, pruebas, cambio de control y mantenimiento para la implementación, con completa trazabilidad. EA brinda un modelado avanzado a todo el equipo de desarrollo de software. Es una herramienta visual con multi-usuario con un gran establecimiento de características ayudando a los analistas, testers, administradores de proyectos, personal del control de calidad y desarrolladores alrededor del mundo a construir y documentar, software sostenible⁷². Para visualizar la aplicación de la herramienta EA, sobre un sistema de obra, modelado a través de casos de uso, ver el Anexo 5.

4.1.4. Modelo del Dominio⁷³.

UML cuenta con otra notación que permite esclarecer y dar importancia, a algunos aspectos relevantes mencionados en el modelo de Casos de Uso. Ésta notación es el *Modelo del Dominio*. Este modelo se utiliza con frecuencia como fuente de inspiración para el diseño de objetos, y muestra clases conceptuales significativas en un dominio del problema; es el artefacto más importante que se crea durante el análisis orientado a objetos.

La identificación de un conjunto rico de objetos o clases conceptuales, es una

⁷² SPARK. Op. cit.

⁷³ LARMAN, Craig. Op. cit. p. 122-130.

parte esencial del análisis orientado a objetos. UML contiene notación en forma de diagrama de clases, para representar los modelos del dominio.

Utilizando la notación UML, un modelo del dominio se representa con un conjunto de diagramas de clases en los que no se define ninguna operación. Pueden mostrar:

- Objetos del dominio o clases conceptuales.
- Asociación entre las clases conceptuales.
- Atributos de las clases conceptuales.

El modelo del dominio puede considerarse como un diccionario visual de las abstracciones relevantes, vocabulario del dominio e información del dominio.

4.1.4.1. Estrategias para identificar clases conceptuales. Para la creación del modelo del dominio de clases se emplean usualmente dos técnicas que permiten identificar las clases conceptuales:

Informalmente, una clase conceptual es una idea, cosa u objeto. Más formalmente, una clase conceptual podría considerarse en términos de su símbolo, intensión, y extensión:

- Símbolo: son palabras o imágenes que representan una clase conceptual.
- Intensión: es la definición de una clase conceptual.
- Extensión: es el conjunto de ejemplos a los que se aplica la clase conceptual.

Cuando se crea un modelo de dominio, el *símbolo* y la *intensión* de la clase conceptual son los que tienen mayor interés práctico.

4.1.4.2. Estrategias para identificar clases conceptuales. Para la creación del modelo del dominio de clases se emplean usualmente dos técnicas que permiten

identificar las clases conceptuales: Lista de categorías de clases conceptuales, y las Frases nominales.

Al emplear la *lista de categorías* se debe presentar una lista general de clases candidatas clasificadas según las categorías habituales de clase. Las categorías no obedecen a un orden ni a parámetros específicos de selección. Otra técnica muy útil para definir las clases conceptuales es a partir de *Frases nominales*. Esta técnica se fundamenta en un análisis de nombres o frases nominales de fácil identificación en las descripciones textuales. El *Modelo de Casos de Uso* se constituye como una herramienta de soporte para esta técnica, ya que al hacer un escaneo sobre las descripciones hechas en cada escenario es posible identificar algunas clases candidatas.

4.1.4.3. Pasos claves para crear un Modelo del dominio. Para establecer un modelo del dominio se sugiere aplicar los siguientes pasos:

- Liste las clases conceptuales candidatas, utilizando las técnicas de la Lista de Categorías de Clases Conceptuales y la identificación de frases nominales, relacionadas con los requisitos actuales de estudio.
- Representélos en un modelo del dominio.
- Añada las asociaciones necesarias para registrar las relaciones que hay que mantener en memoria.
- Añada los atributos necesarios para satisfacer los requisitos de información.

4.1.5. Aplicación del Modelo del domino para el análisis de presupuestos.⁷⁴

El *Modelo del Domino* constituye una herramienta esencial y aplicable para el análisis de presupuestos. Hasta el momento, a través de la implementación del *Modelo de Casos de Uso* ha sido posible describir detalladamente los sucesos que

⁷⁴ Ibid., p. 121-165.

antevienen en cada proceso, considerándolos como tareas o actividades. El *Modelo del Dominio* es una notación que permite avanzar y profundizar en el análisis de presupuestos, ya que al centrarse en la creación de objetos o clases conceptuales, permite identificar los recursos que participan en cada tarea dentro de los procesos que conforma el sistema. La identificación de los recursos activos y la asociación que se presenta entre ellos, permite crear una idea de su influencia en los presupuestos. Tomando como base los pasos propuestos por Larman, se desarrollará el *Modelo del Dominio* para el modelamiento de presupuestos.

4.1.5.1. Lista de clases conceptuales candidatas. La creación del modelo de dominio comienza con la creación de una lista de *clases conceptuales candidatas*. Esta lista puede hacerse a partir de *categorías habituales*, abstraídas de manera arbitraria. En el cuadro 15 se presenta un ejemplo del listado de clases conceptuales candidatas, organizadas en las categorías.

Cuadro 15. Lista de clases conceptuales candidatas.

Categoría de clase conceptual	Clase
Objetos tangibles físicos	Muro
Especificaciones, diseños o descripciones de las cosas	Ejes
Lugares	Nivel de piso
Transacciones	Transporte
Roles de la gente	Ayudante
Contenedores de las cosas	Almacén
Cosas en un contenedor	Materiales
Organizaciones	Constructora
Hechos	Levantar muro

Fuente: Las autoras, basado en el formato de actualización de abstracciones

candidatas, de Sun Services⁷⁵

También es posible crear la lista a partir de las *frases nominales*, que es la otra técnica propuesta por UML para identificar las clases conceptuales. La técnica consiste en inspeccionar los casos de uso documentados, e identificar en el texto los posibles candidatos para las clases conceptuales (ver cuadro 16).

Cuadro 16. Clases conceptuales definitivas

Clases Conceptuales
Torre Grua
Recurso
Materiales
Herramientas
Acero
Desperdicio de Acero
Concreto
Mixer
TipoCdllaCargue
TipoCdllaMamposteria
TipoCdllaEstructura
TipoCdllaCorte
TipoCdllaInstalaciones
TipoCdllaAcabados
Muro
ZonasMuro
SuperficieaEnchapar
RedAgua
TramosTuberia
Estructura
ElementosEstructurales

Fuente: Las autoras

⁷⁵ Sun Services. Object-Oriented Analysis and Design Using UML. Object Oriented Modulus OO-226. (Módulo 8: 2003: Santa Clara-California).Santa Clara-California, Sun Microsystems, 2003. p.20.

A continuación se presenta el ejemplo de la inspección de *frases nominales*, realizado para el *CASO DE USO UC1: Levantar muro de mampostería*.

Inspección de frases nominales, CASO DE USO UC1: Levantar muro de mampostería

...

Escenario principal de éxito:

1. El **oficial de mampostería** realiza el alineamiento o trazado de **ejes** sobre los cuales se levantará el **muro** empleando para ello **herramientas menores (HM)**.
2. Los **Ayudantes** de cargue transportan los **materiales** y herramientas desde el **almacén** hasta el **sitio de cargue** y llenan la canasta de la de la **torre grúa** hasta su capacidad máxima (en lo posible)
3. El **operario** de la torre grúa transporta los materiales desde el sitio de cargue hasta el sitio de descargue en el **nivel** donde se desea levantar el muro.
4. El Ayudante descarga la canasta.
5. El Ayudante transporta los materiales desde el lugar de descargue de la torre grúa hasta el sitio del levantamiento del muro.
6. El oficial de mampostería prepara el **mortero**, empleando HM.
7. El oficial de mampostería levanta el muro.
8. El oficial de mampostería verifica la plomada del muro.
9. El Ayudante hidrata el muro con agua.

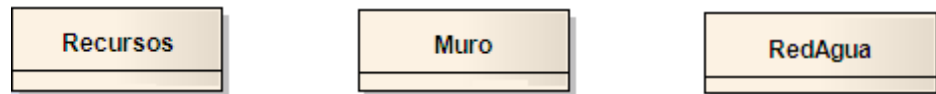
...

De esta manera se han identificado todas las frases nominales (marcadas en azul dentro del escenario de éxito del caso de uso del ejemplo anterior), de los diferentes casos de uso, las cuales se listan como clases candidatas, y posteriormente se filtran bajo el criterio de si son usadas o no en el modelo de clase. Las clases conceptuales presentes en el diagrama del dominio del sistema se presentan en el Cuadro 16.

4.1.5.2. Representación de las clases conceptuales en un modelo del dominio. Las clases conceptuales se representan a través de un rectángulo, en el cual se introduce el nombre con el cual ha sido registrada la clase, como muestra la

Figura 14.

Figura 14. Representaciones en UML de clases conceptuales.



Fuente: Las autoras.

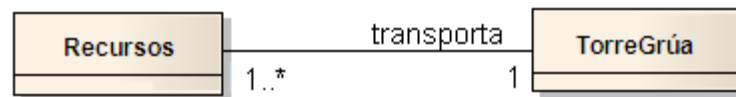
4.1.5.3. Asociación entre clases conceptuales. Las relaciones existentes entre clases conceptuales son representadas a través de una línea recta entre clases, que registra el nombre de la asociación que existe entre ellas. Una asociación es una relación entre clases o instancias de estas, que indica alguna conexión significativa e interesante. La asociación es inherentemente bidimensional, lo que significa que desde dos instancias de cualquiera de las dos clases, es posible el recorrido lógico hacia la otra. Dado el caso que el nombre asignado para la asociación, no corresponda correctamente según el lenguaje natural a ambos extremos, se acostumbra colocarlo más próximo al extremo de origen de la relación.

Los extremos de la línea de asociación usualmente acostumbran contener un número en sus extremos, que indican la *multiplicidad* o relación numérica entre las instancias de las clases. La ***Multiplicidad*** define cuantas instancias de una clase A pueden asociarse con una instancia de una clase B. En el ejemplo mostrado en la Figura 15, una instancia individual de un la clase Torre Grúa puede asociarse con “uno o muchos” (indicado por el “*”) instancias de la clase Recurso.

“El valor de multiplicidad indica cuántas instancias se pueden asociar legalmente con otras, en un momento concreto, en lugar de a lo largo de un periodo de

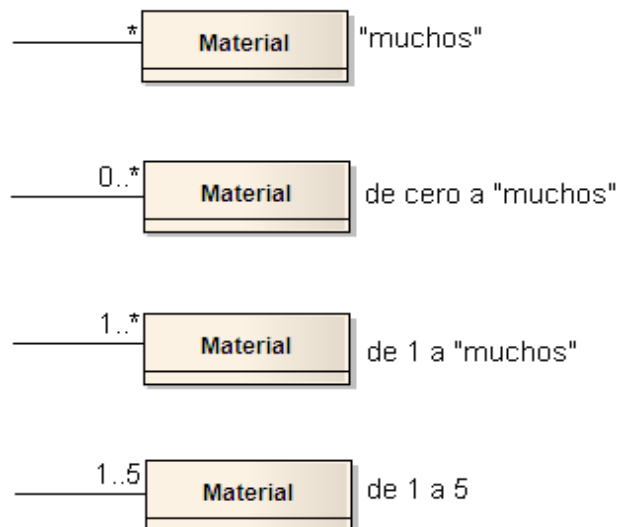
tiempo”⁷⁶. Por ejemplo, una *Torre Grúa* puede ser conducida por varios *Operarios* durante su periodo de vida útil, pero no puede ser conducida por *muchos* operarios en un momento concreto, solo por *uno*. La cantidad de instancias establecidas dependen de lo que se desee comunicar. En la Figura 16 se muestran algunos ejemplos típicos de multiplicidad.

Figura 15. Representación en UML de la multiplicidad entre clases conceptuales.



Fuente: Las autoras

Figura 16. Valores de Multiplicidad



Fuente: Las autoras, basado en el ejemplo de valores de la multiplicidad de LARMAN.⁷⁷

⁷⁶ LARMAN, Op. cit., p. 149.

⁷⁷ LARMAN., Op. cit. p. 150.

La multiplicidad acompañada de la definición de atributos, permite simplificar visualmente el diagrama del dominio, como se verá a continuación, más no reduce su contenido. Por lo anterior, es determinante tener clara su interpretación o la abstracción de lo que en realidad comunica.

4.1.5.4. Atributos. El concepto de atributo, aunque es tenido en cuenta para la simplificación visual del *Diagrama del Dominio*, no se considera requisito primordial el plasmarlo en este diagrama, razón por la cual se presentará en el Diagrama de Clases, para de esta manera hacer mayor claridad.

Un atributo es un valor de datos lógicos de un objeto. Los atributos permiten registrar información sobre un objeto o una clase conceptual, y dependiendo del valor asignado puede hacer referencia a una u otra instancia. Por ejemplo, para establecer la clase que indica el tipo de red de instalaciones de agua (*InstalacionesAgua*), como se ve en la Figura 17, se consideró que esta tendría un atributo Proceso que permite identificar si la red es de instalaciones sanitarias o instalaciones hidráulicas, y resume la creación de dos nuevas clases: *InstalaciónSanitaria* y *InstalaciónHidráulica*.

Figura 17. Asignación de atributos en UML



Fuente: Las autoras

De igual manera, considerando la importancia de los atributos, en el caso de la clase de tipo de cuadrilla de mampostería (*TipoCdllaMampostería*) y en general para todas las cuadrillas, se consideró que esta posee un atributo *tipo* que permite establecer el número de oficiales y ayudantes que la conforman, logrando

sintetizar y organizar las clases participantes en el diagrama pero sin modificar la interpretación del sistema.

Teniendo claro la importancia de estos dos conceptos empleados para la creación del diagrama del dominio se establecieron las asociaciones entre las clases conceptuales definidas para el sistema “Edificación”.

Recalcando lo que se mencionó al inicio de este numeral, el Diagrama del Dominio es un artefacto muy importante que se crea durante el análisis orientado a objetos, ya que como se ha apreciado hasta el momento, permite dar claridad y consistencia al modelo que se desea plasmar. Otra razón por la cual se considera tan importante es porque sobre él se fundamenta el Diagrama de Clases, que se presenta más adelante.

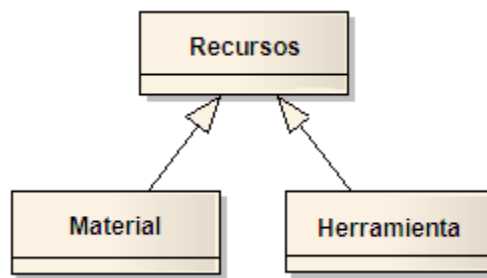
4.1.5.5. Generalización: Adicionalmente a los conceptos aplicados, existe la *Generalización*, otro concepto que complementa el Modelo del Dominio, ya que por su interpretación permite condensar aún más el modelo, subrayando nuevamente que no se está alterando los objetos que constituyen el sistema de edificación.

La *generalización* es una actividad de identificar elementos comunes entre los conceptos y definir las relaciones de superclase (concepto general) y subclase (concepto especializado). La identificación de una superclase y las subclases es útil en un modelo del dominio porque su presencia permite entender los conceptos en términos más generales, refinados y abstractos.⁷⁸ La generalización se representa trazando una flecha que tiene origen en la subclase y fin en la superclase. (Ver Figura 18).

⁷⁸ Ibid., p. 372.

El establecer la jerarquía de clases conceptuales permite dar claridad al modelo y considerar alguna familiaridad entre ellas siempre y cuando todos, es decir, un 100% de los atributos, operaciones y asociaciones de una clase inferior o subclase son heredados de la clase que superior o superclase a la que pertenezca. Las operaciones son acciones que permiten modificar los atributos de una clase, pero de igual manera que los atributos, las operaciones pertenecientes a cada clase conceptual que conforman el sistema, son consideradas en el Modelo del Dominio más no son documentadas en el diagrama.

Figura 18. Representación en UML de la generalización de clases.

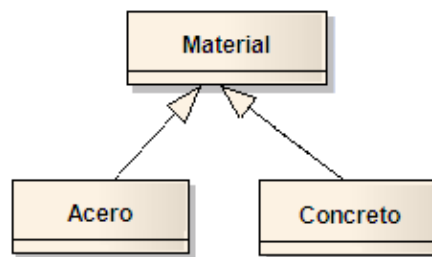


Fuente: Las autoras.

Al Estudiar y considerar a fondo el significado del concepto de generalización fue posible su implementación al modelo del dominio en diferentes maneras. Una de ellas fue al analizar las clases *Materiales* y *Herramientas*, y se observó que tienen similitud en su conformación (atributos, operaciones y asociaciones) y que era posible organizarlos creando una jerarquía de clases, estableciendo una superclase llamada *Recursos* que representa un concepto general y dos subclases especializadas llamadas *Materiales* y *Herramientas*, como se muestra en la Figura 18. En el caso de no establecer la superclase *Recursos* se haría necesario para cada cuadrilla de procesos establecer una asociación llamada “*utilizan*” con la clase *Materiales* y otra con la clase *Herramientas*, lo cual extendería demasiado el diagrama complicando su interpretación.

El concepto de *generalización* también es usado cuando se desea establecer relaciones, atributos u operaciones específicas sobre alguna instancia u objeto en particular y que no son aplicables a los demás objetos que constituyen la clase. Por ejemplo, la clase *Acero* y la clase *Concreto* se generalizaron de la clase *Materiales* porque estos tienen las operaciones de *CalcularCostoDesperdicio* y *CalcularDuraciónVaciado* respectivamente, que se consideran relevantes para estos dos materiales por ser los más representativos en obra, como se muestra en la Figura 19.

Figura 19. Generalización de la clase conceptual material



Fuente: Las autoras

En este caso las clases de *Acero* y *Concreto* se ajustan a todos los atributos, operaciones y asociaciones de la clase *Materiales*, más todos aquellos que automáticamente se generalizan de la clase *Recursos*, adicionando a estos los que le fueron establecidos específicamente a cada uno.

4.1.6. Representación gráfica del Modelo del Dominio.

Con la creación del Modelo del Dominio, se ha logrado un gran avance en el reconocimiento de la influencia de los recursos activos, en los presupuestos de obras civiles como es la edificación. El establecer las clases que conforman el sistema, permite identificar su desempeño en la edificación y la manera como están relacionadas con otras, para hacer posible su ejecución. Como se aprecia

en el Diagrama del Dominio, la torre grúa se encarga del transporte de recursos y estos son utilizados para la construcción de cada proceso. La representación del modelo de dominio, y sus elementos se pueden apreciar en el Anexo 6.

4.1.7. Diagrama de Clases: herramienta de apoyo para analizar los costos directos en los presupuestos de construcción.

El *Modelo Orientado a Objetos* es un modelo que posee gran practicidad, gracias a la abstracción del mundo real que este realiza. Hasta el momento, a partir de las herramientas que presenta el Diagrama de Dominio, ha sido posible establecer las clases que conforman el sistema, cada una de las cuales representa uno o varios objetos del mundo real. De igual manera que en la realidad, todo objeto tiene características y comportamientos que permiten su identificación, y el modelo Orientado a Objetos busca describir esas características como atributos, y los comportamientos como operaciones.

Las clases son el centro del *Modelamiento Orientado a Objetos*. Una clase de objetos es una abstracción sobre un conjunto de objetos, que identifica atributos comunes y los servicios u operaciones que son proporcionados a cada objeto. Los objetos son entidades ejecutables que tienen atributos y servicios de la clase de objeto. Los objetos son instancias de la clase de objetos, y pueden crearse muchos objetos a partir de una clase.⁷⁹

El *Diagrama de Clases* captura la estructura lógica del sistema, las clases y cosas que constituyen el modelo. Es un modelo estático, describiendo lo que existe y qué atributos y comportamiento tiene, más que cómo se hace algo. Los diagramas de Clases son los más útiles para ilustrar las relaciones entre las clases e interfaces. Las generalizaciones, las agregaciones y las asociaciones, son todas

⁷⁹ SOMMERVILLE, Op. cit. p 165.

valiosas para reflejar la herencia, la composición o el uso y las conexiones respectivamente.⁸⁰

El *Modelo del Dominio*, ha hecho posible la descripción y la aplicación de la gran mayoría de conceptos, que sustentan de igual manera el Modelo de Clases. Dos de los conceptos ya mencionados son los *atributos* y las *operaciones*, los cuales se consideran al establecer las generalizaciones en el *Modelo del Dominio*, y se precisa sobre ellos en la aplicación del *Modelo de Clases* para el análisis de costos directos. Otros conceptos que permiten reconocer la influencia de los recursos activos en los procesos constructivos, y directamente en los presupuestos de obra que serán tratados en la aplicación del *Modelo de Clases*, son *navegabilidad*, *herencia* y *agregación*.

4.1.7.1. Aplicación del Modelo de Clases para el análisis de costos directos en presupuestos. Finalmente, luego de la realización del Diagrama de Casos de Uso y del Diagrama del Dominio, es posible abordar el diagrama central que es el Diagrama de Clases de UML, que da fin al Modelamiento del sistema “Edificación”, y permite una notación clara de la metodología orientada a objetos desarrollada a lo largo de este trabajo de grado.

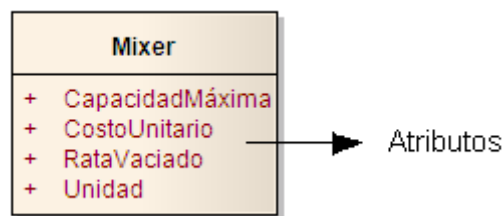
Las clases definidas hasta el momento, corresponden a conjuntos de objetos o instancias que poseen características y comportamientos comunes, y que le permiten ser descritos a partir de los mismos atributos y operaciones. Estas clases definen los actores centrales presentes en cada proceso constructivo, los cuales se consideran determinantes para el cálculo de los costos directos en obra. Es importante determinar los atributos y las operaciones que presentan cada una de las clases conceptuales, como también las relaciones que poseen, para de esta

⁸⁰ SPARK, Op. cit.

manera comprender que estas no se encuentran aisladas, ni presentan comportamientos independientes que no involucren el desempeño de otras clases, lo cual se ve reflejado directamente en los costos.

4.1.7.1.1. Atributos. Están asociados a las clases y objetos, y buscan describirlos de alguna manera.⁸¹ Estos son asignados a cada clase según la necesidad de especificación de características estables que estas requieran, como se muestra en la Figura 20.

Figura 20. Desglose de atributos en una clase conceptual



Fuente: Las autoras

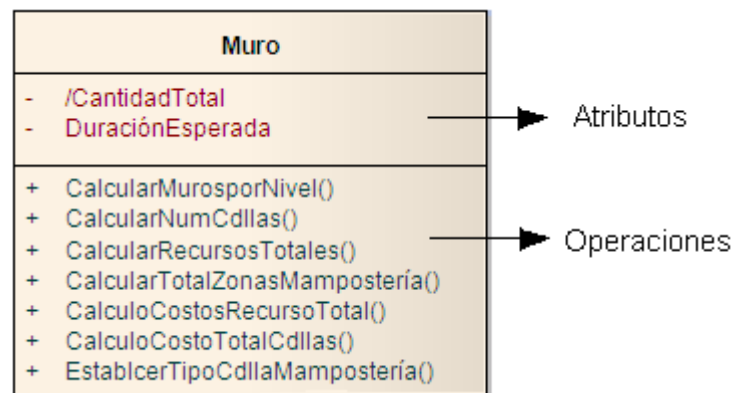
Para el modelo de análisis de la edificación, lo más relevante es la descripción de los costos que se generan por la ejecución de cada proceso, razón por la cual es considerado un atributo central en la mayoría de las clases. Este atributo *costo*, referencia el valor unitario de los recursos activos en obra y por lo tanto, permite el cálculo de los valores parciales en el análisis de precios unitarios APU. Los valores parciales están definidos a partir de estos costos, como también, de las cantidades de obra y las duraciones que se presenten en la realización del proceso.

Por ejemplo, la clase que determina el Tipo de Cuadrilla de Mampostería

⁸¹ PRESSMAN, Op. cit. p.371.

[TipoCdllaMampostería], presenta el atributo *costo* que indica el valor a pagar por una cuadrilla de trabajo, al igual que para todas las clases de Tipos de Cuadrilla de cada proceso en las que se encuentra asignado, pero para determinar el valor parcial a pagar por la mano de obra en el proceso, se requiere también del número de cuadrillas que se han de contratar, lo cual es función de las cantidades de obra a elaborar y del tiempo de ejecución. De esta manera, es necesario establecer como atributos para cada clase que indica producto del proceso, la duración esperada y las cantidades de obra. Estas clases son *Muro*, *Estructura*, *InstalacionesAgua* y *SuperficieaEnchapar*

Figura 21. Desglose de atributos y operaciones en una clase conceptual



Fuente: Las autoras

4.1.7.1.2. Operaciones. Cuando es necesario acceder a algún atributo para su posterior identificación o utilización, es necesario definir operaciones que permitan su manipulación. Una operación es la única forma de alcanzar los atributos.⁸² Las operaciones se presentan como se muestra en la Figura 21. El alcance de una clase sobre los atributos y sobre las operaciones de sí misma o de otra clase, depende de la manera como estos hayan sido definidos. Los atributos se pueden

⁸² Ibid., p. 370.

definir como públicos, privados o protegidos, y solo a partir esta connotación es posible afectarlos o no. Estos términos surgen de la programación orientada a objetos.

Se puede tener acceso a un atributo *público* y cambiar mediante método u operación de algún modelo. Se puede invocar una operación pública con cualquier operación de cualquier objeto. *Protegido* quiere decir que el atributo u operación solo es accesible mediante métodos de esta clase o de sus subclasses, y *privado* significa que solo es accesible mediante esta clase.⁸³ La nomenclatura usada en UML para la especificación de los atributos es la siguiente: publico (+), privado (-) y protegido (#).

En el caso de la cuantificación de los valores parciales por concepto de mano de obra, es necesario conocer la cantidad de obra y la duración esperada del proceso. Esta última es asignada como un atributo directo en la clase que indica cantidad de proceso. Retomando el ejemplo anterior, con el fin de ilustrar la asignación de atributos y operaciones, el atributo *DuracionEsperada* fue asignado a la clase *Muro*. Ver Figura 21. Esta clase para conocer la cantidad de muro a levantar, posee una operación *CalcularTotalZonasMamposteria* que accede a los atributos de la clase *ZonasMuros*. Conociendo el atributo *CantidadTotal*, que se denota en los atributos con un “/” adelante del nombre, para indicar que es resultado de una operación. Con la *DuraciónEsperada*, y accediendo al *Rendimiento* de la clase *TipoCdllaMampostería* mediante la operación *EstablecerTipoCdllaMampostería*, es posible establecer la operación *CalcularNúmCllas*, para determinar la cantidad total de cuadrillas a contratar para la ejecución del proceso. Finalmente mediante atributos y operaciones se

⁸³ KROENKE, David M. Procesamiento de bases de datos, fundamentos, diseño e implementación. Octava edición. México, D. F.: Prentice Hall. 2003. p. 66.

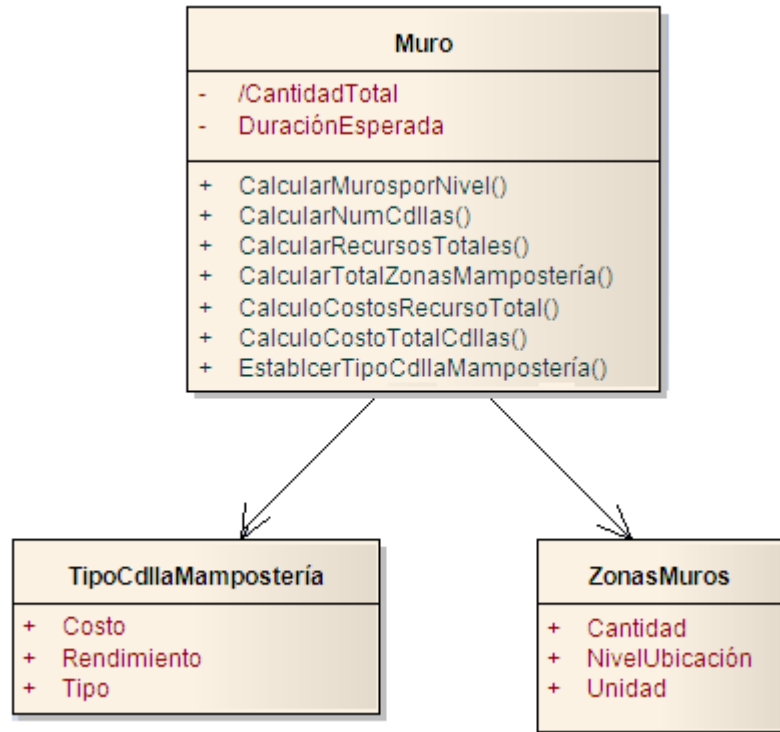
determina el valor parcial deseado. La operación *CalcularCostoTotalCdllas* concluye este cálculo.

4.1.7.1.3. Navegabilidad. Las operaciones se realizan entre clases que estén asociadas y en el sentido que indica la navegabilidad, un nuevo concepto aplicado al Diagrama de Clases. La *Navegabilidad* es una propiedad que indica la dirección en la cual es posible navegar a través de las asociaciones, desde los objetos de la clase de origen a la clase de destino. Esta propiedad denota visibilidad, por lo general de atributos. Aplicar el concepto de navegabilidad permite tener claridad sobre el sentido en el cual es posible realizar las operaciones.

En la Figura 22 se muestra la navegabilidad existente entre las clases relacionadas con la clase *Muro*, y permiten una mejor comprensión de las operaciones descritas anteriormente. Se aprecia que la clase *Muro*, es quien tiene acceso a las clases *TipoCdllaMamposteria* y *ZonasMuro*, por lo tanto es ella quien posee las operaciones que le permiten tener acceso a los atributos de estas. Haciendo uso los conceptos ya mencionados, que sustentan el análisis orientado a objetos, fue posible establecer los atributos y las operaciones de cada proceso constructivo, con el objeto de conocer la relevancia que tiene una clase sobre otra para el cálculo de los costos directos en los presupuestos de obra.

Teniendo en cuenta que el recurso de transporte torre grúa, ha sido el recurso seleccionado para plantear la metodología de análisis de Ingeniería del Software orientada a objetos, por la complejidad que presenta para su discriminación en los análisis de precios unitarios, se considera necesario explicar a continuación, la asignación de atributos, operaciones y relaciones que lo describen, de manera detallada.

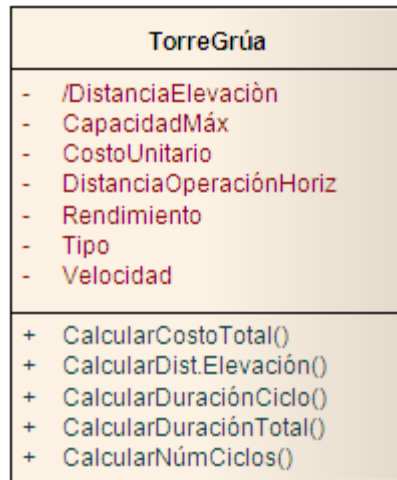
Figura 22. Navegabilidad entre clases conceptuales en UML



Fuente: Las autoras

La clase *TorreGrúa*, como se estableció desde el Diagrama del Dominio, se encuentra relacionada con la clase *Recurso*, a través de la cual se relaciona con cada proceso. De esta manera se presenta nuevamente su influencia en cada uno de ellos, sustentando el análisis hecho por medio del diagrama de Casos de Uso. Para la cuantificación de los costos directos por concepto de transporte con torre grúa en los presupuestos, es necesario considerar la cantidad de recursos que le corresponde trasladar para la ejecución de cada proceso siendo esta directamente proporcional al tiempo de desempeño. Considerando estas dos cantidades, es posible estimar el valor del rendimiento para la determinación del valor parcial por este concepto en los APU.

Figura 23. Representación de la clase conceptual Torre Grúa en UML

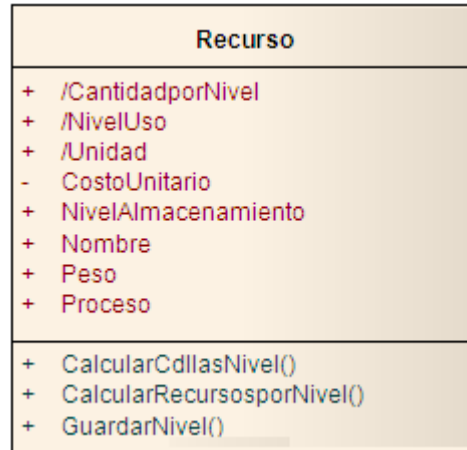


Fuente: Las autoras

Para la clase *TorreGrúa* se determinaron atributos que le permiten diferenciar a cada una de las instancias que la conforman. Ver Figura 23. Este es el caso de atributos como: *CapacidadMáxima*, *Velocidad*, *Rendimiento*, *Tipo* y *CostoUnitario*. Por otra parte se asignaron atributos, que permiten conocer características propias de su desempeño que están ligadas al sitio de operación como es la *DistanciaOperacionHoriz*, que muestra el espacio recorrido por la torre grúa entre las plataformas de carga y descarga fijas en la edificación para operación de la torre grúa.

Al hacer uso de las operaciones definidas para la clase *TorreGrúa*, también es posible conocer otros atributos necesarios para determinar el tiempo de ejecución por proceso, como es el caso de la */DistanciaElevación* que por su notación indica que es resultado de una operación. Esta operación es *CalcularDistanciaElevación*, que se determina al acceder a los atributos *NivelAlmacenamiento* y *NivelUso* de la clase *Recurso*. (Ver Figura 24).

Figura 24. Representación de la clase conceptual Recurso en UML



Fuente: Las autoras

La razón por la cual se considera necesario establecer las distancias entre las cuales opera el equipo es para que a través de la operación *CalcularDuraciónCiclo* que accede a ellos y a otros atributos como *Velocidad*; y a operaciones como *CalcularDuraciónCargue* de la Clase *TipoCdllaCargue*, sea posible el determinar el Tiempo de ejecución por periodos completos. Al conocer el numero total de ciclos, considerando lo planteado anteriormente, es posible establecer la duración total por proceso y a partir de esta el costo que representa en el presupuesto. Estos dos últimos cálculos accediendo a las operaciones *CalcularDuraciónTotal* y *CalcularCostoTotal*, respectivamente.

Las dos clase que se encuentran directamente asociadas a la clase *TorreGrúa* son las clases *TipoCdllaCargue* y *Recursos*, a las cuales accede a través de operaciones como se muestra en la Figura 25. Analizando esta última, se aprecia que algunos de los atributos que esta posee son el resultado de operaciones efectuadas sobre atributos propios o de otra clase. El caso del atributo */CantidadResursoporNivel* fue definido empleando las operación *CalcularResursoporNivel* que accede a las operación propia

CalcularCdllasporNivel, que retorna la cantidad de personal, indispensable de conocer para el caso de las herramientas, y la operación *CalcularZonasporNivel* de la clase Muro, que cuantifica la cantidad de obra a desarrollar por nivel, a partir de la cual calcula la cantidad de materiales.

4.1.7.1.4. Mensajes⁸⁴. Las operaciones descritas en el Diagrama de Clases, denota la influencia que tiene una clase sobre otra. La ejecución de operaciones ocasiona que la instancia de una clase desarrolle cierto comportamiento, que es producto del estímulo inducido recibir un *mensaje*. Los *Mensajes* son el medio a través del cual los objetos interactúan. Una operación dentro de un objeto o instancia emisora genera un mensaje de la forma:

mensaje: [destino, operación, parámetros]

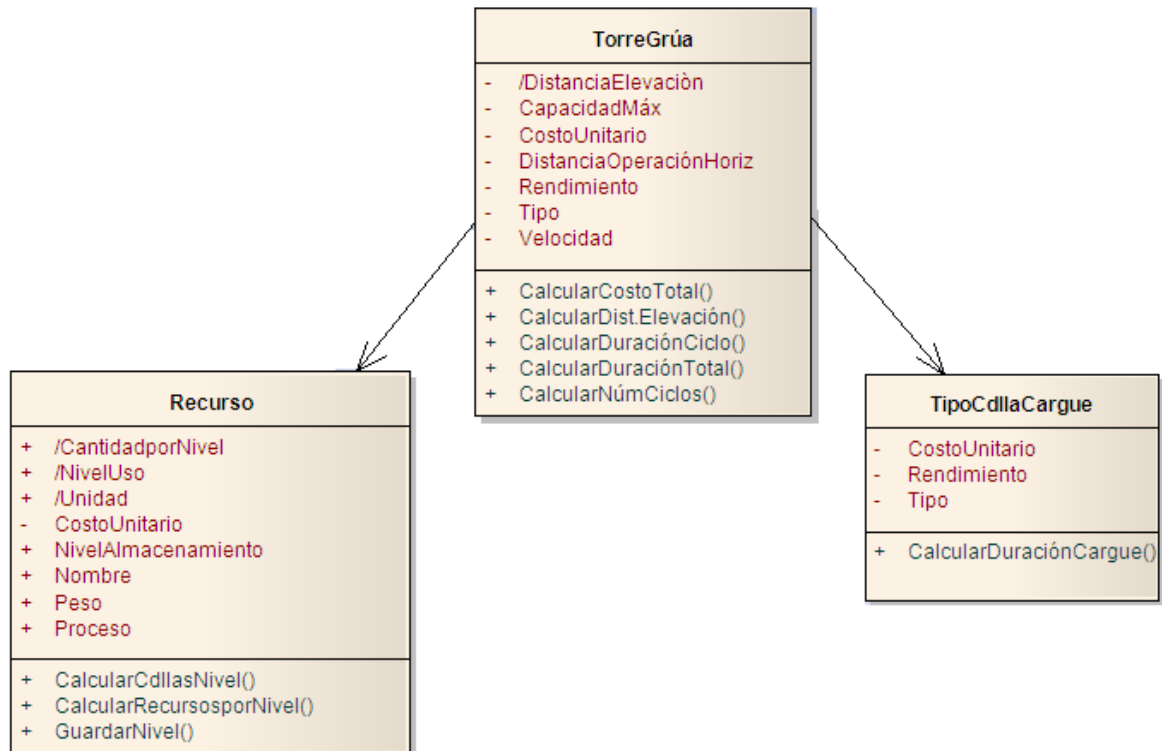
donde el destino define el objeto receptor el cual es estimulado por el mensaje, la operación se refiere al método que recibe el mensaje y parámetros proporciona información requerida para el éxito de la operación.

Volviendo al ejemplo de la clase Recurso, para la realización de las operaciones ya descritas que permiten su cuantificación en cada proceso, es necesario establecer los mensajes que le permiten a una instancia propia comunicarse con las instancias de otra clase. Por ejemplo, para la para obtener el valor de recursos por nivel, la clase Recursos esta obligada a enviar el siguiente mensaje:

Mensaje: [Muro, *CalcularZonasMuroporNivel*, <datos>]

⁸⁴ PRESSMAN, Op.cit., p. 370-373

Figura 25. Navegabilidad de la clase conceptual TorreGrúa



Fuente: Las autoras

En este caso el mensaje es enviado a la clase Muro que contiene la operación *CalcularZonasMuroporNivel*, y esta le retorna la cantidad calculada para de esta manera la clase *Recursos* calcular por medio de la operación *CalcularRecursosporNivel*, los materiales o herramientas que se requieran por nivel, datos a los que posteriormente y a través del paso de mensajes accede la clase *TorreGrúa*.

El paso de mensajes mantiene comunicados un sistema orientado a objetos. Los mensajes proporcionan una visión interna del comportamiento de objetos individuales, y del sistema OO como un todo.

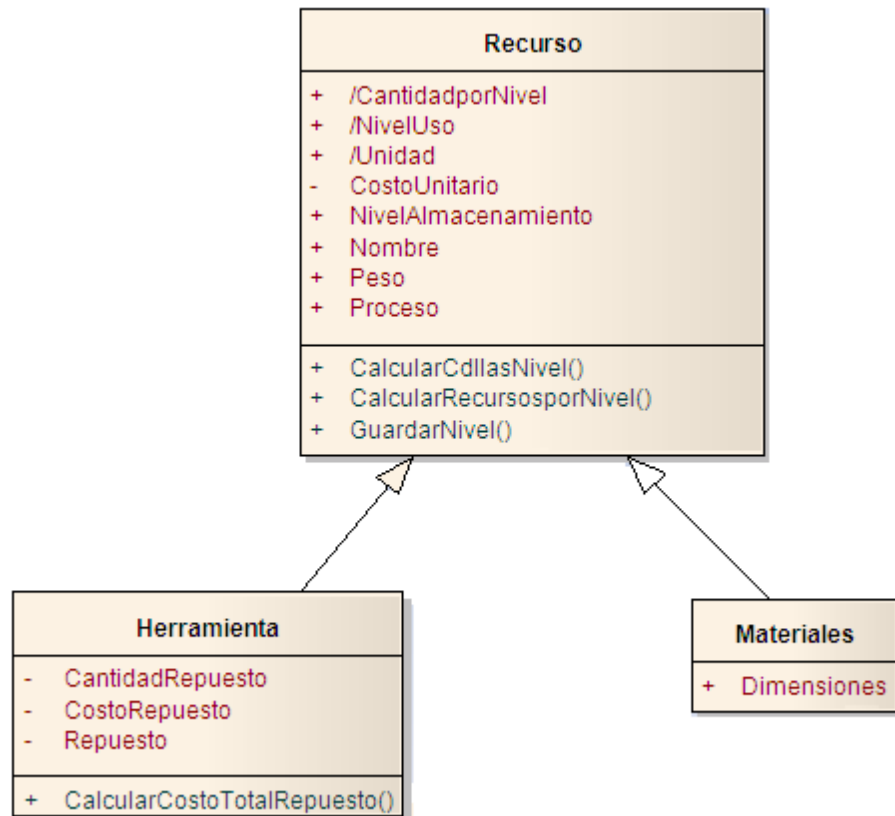
4.1.7.1.5. Herencia. Por otra parte, otro concepto a considerado someramente en el Diagrama del Dominio fue la *Herencia*. Este concepto es una de las diferencias claves entre sistemas convencionales y sistemas Orientados a Objetos⁸⁵. Esta propiedad le permite adquirir a una subclase los atributos y operaciones de una superclase. La herencia se presenta en su totalidad, es decir, tanto los atributos como las operaciones son cedidos entre clases según el orden jerárquico en que se presenten. (Ver Figura 26).

La aplicación de la herencia a las clases pertenecientes al sistema, permite considerar todos aquellos objetos o instancias que están contenidos en ella. En el caso que algún objeto que adicionalmente a los atributos y operaciones adquiridos por herencia presente otros, dignos de considerar, este debe presentarse como una subclase conectada a la clase superior a través de las flechas que indican generalización como es el caso de la Figura 19. en el modelo del Dominio. Aquí los atributos son heredados directamente de la clase *Materiales* y adicionalmente a ellos están presentes aquellos que fueron heredados de la clase *Recurso*, quedando establecida la clase *Acero* con todos estos atributos cedidos de clases superiores a ella, más las operaciones propias que le obligan a representarse de manera individual.

Las relaciones establecidas hasta el momento entre las clases son las *asociaciones*, planteadas de manera sencilla en el Diagrama del Dominio y direccionadas a través de la *navegabilidad* en el Diagrama de Clases, al igual que las *generalizaciones* para las cuales se consideró la *herencia*. Entre clases conceptuales existen otras relaciones que permiten establecer dependencia como son la *agregación de composición* y la *agregación compartida*.

⁸⁵ Ibid., p. 373.

Figura 26. Representación de la herencia de clases conceptuales en UML



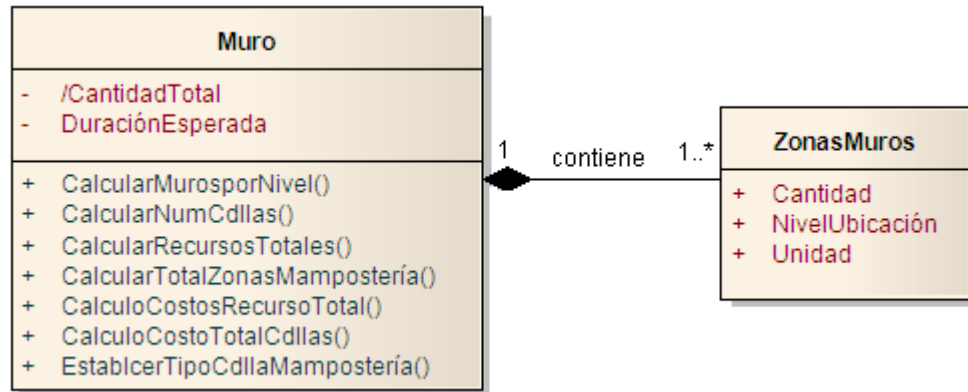
Fuente: Las autoras

Por otra parte se presenta algunas veces la *agregación compartida* para mostrar que la multiplicidad puede ser más que uno y se representa mediante un rombo hueco⁸⁶.

Un ejemplo de la aplicación de este concepto es el plasmado en la Figura 27, donde la clase **ZonasMuros** se considera absolutamente dependiente de la clase **Muro**.

⁸⁶ LARMAN, Op. cit., p. 387-388.

Figura 27. Representación de la agregación en UML



Fuente: Las autoras

4.1.8. Representación del Diagrama de Clases.

Al sustentar la creación de las clases conceptuales del Modelo del Dominio, estableciendo para ellas los atributos y las operaciones que las caractericen y que hacen su participación relevante en el análisis de precios unitarios, como también la aplicación de los conceptos de herencia, navegabilidad, mensajes y agregación, fue posible desarrollar el Diagrama de Clases.

El Diagrama de Clases constituye la notación del Modelo realizado para el sistema "Edificación". El Modelo es una abstracción del mundo real, que permite crear una aproximación de comportamiento entre clases conceptuales. El realizar una aproximación de la realidad permite esclarecer aspectos que en muchas ocasiones no han sido considerados.

El análisis de Modelado Orientado a Objetos y su representación visual, constituye una herramienta efectiva para aclarar la participación de cada recurso activo en un proceso. A través de esta metodología fue posible plasmar la influencia de la torre grúa en los procesos de análisis de este trabajo de grado, considerándose este un recurso primordial en la ejecución de procesos y que es cuantificado de manera

general para todo el sistema, como si se tratará de un costo indirecto.

En el Anexo 7 se muestra el Diagrama de Clases, en el cual se plasma cada una de las abstracciones del sistema apreciadas en obra y que permiten el modelamiento del análisis de costos directos de los recursos que interviene en ella.

5. CONCLUSIONES

- La edificación como obra civil posee la estructura que le permite acceder al concepto de sistema. La edificación puede ser modelada empleando métodos de análisis para sistemas de computadora.
- El método de análisis estructurado presenta muchas falencias que le impiden considerarse como una alternativa de modelado útil para el análisis de presupuestos. La más destacada de ellas, es que su estructura no está diseñada para hacer corresponder las entidades del modelo con las entidades del mundo real, lo cual dificulta su modo de empleo.
- El método de análisis orientado a objetos constituye una alternativa de análisis efectiva para el modelamiento de presupuestos de obra, porque los objetos o instancias que posee permiten estrechar los vínculos entre los componentes del mundo real y el modelado.
- El Lenguaje de Modelado Unificado UML, permite la notación del Modelo Orientado a Objetos, que establece una abstracción de los recursos participantes en cada proceso constructivo que conforman un sistema de edificación.
- El Diagrama de Casos de Uso de UML, muestra las relaciones que existen entre los diferentes escenarios de un sistema de edificación. Su propiedad incluye, permite definir los escenarios comunes a diferentes procesos simultáneamente y los recursos que intervienen en cada uno de ellos. Es una descripción detallada del sistema.

- La definición de clases conceptuales en el Diagrama del Dominio permite seleccionar los agentes relevantes dentro de cada proceso constructivo, y también establecer las relaciones entre ellas, para ilustrar la influencia y el impacto que estas generan en su entorno.
- La elaboración del Diagrama de Clases especifica las características estables de las clases conceptuales y los comportamientos que estas presentan. La definición de atributos y operaciones para cada clase, como la navegabilidad permiten determinar la metodología para establecer los costos directos en el análisis de precios unitarios de cada proceso, reflejando el comportamiento real de los recursos en cada proceso, y de acuerdo a esto determinar su cuantificación en los análisis de precios unitarios.
- Un recurso definido como clase conceptual en el Modelo Orientado a Objetos, genera un impacto directo sobre los procesos en los cuales interviene, por lo cual se considera importante establecer de antemano los posibles efectos, para de esta manera generar un presupuesto representativo de la realidad, y no simplemente una justificación de precios.
- A partir de los análisis estadísticos se pudo determinar la media de los rendimientos en los procesos estudiados, y con estos se tiene una idea de los rendimientos reales del equipo torre grúa en los procesos estudiados, los cuales sirven para la herramienta desarrollada en este trabajo de grado.
- A partir del experimento piloto se pueden obtener algunos resultados, que si bien no son confiables en un contexto general de la construcción, por lo descrito anteriormente en el comienzo de este capítulo, son aplicables a las obras en la zona.

- Los rendimientos obtenidos de la información recopilada en el trabajo de campo, mostraron coeficientes de correlación muy alejados de 1, con lo cual se pudo establecer que los datos de rendimiento para cada proceso eran independientes unos de otros.
- Con los análisis estadísticos realizados se puede decir que en los procesos estudiados, en las circunstancias del experimento, hay elementos de juicio para asegurar que la hipótesis planteada se cumple “El rendimiento del equipo torre grúa, es diferente según sea el proceso en obra en que participe.”,
- Debido a que el rendimiento en el transporte de materiales de la torre grúa, es diferente en cada proceso, se observa que no es adecuado el procedimiento de incluir el costo de este equipo como un ítem global del presupuesto aplicado a cada proceso por igual. Esto es una de las variables que influyen a que los costos reales de ejecución varíen de los costos presupuestados.
- Los rendimientos del equipo torre grúa debe aplicarse en los análisis de precios unitarios con los que se calcula el costo por proceso. De esta manera, se tiene mayor confiabilidad y ajuste a la realidad.
- No se puede generalizar el rendimiento de los equipos en los procesos, y por lo tanto no se debe generalizar en su costo, ya que esto representa variaciones en los costos calculados, mismas que pueden ser una de las muchas causales en las variaciones de precios ejecutados y precios presupuestados en un proyecto.

6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda, implementar la metodología orientada a objetos para el análisis que todos los procesos que conforman la edificación, para de esta manera determinar la influencia total de los recursos y generar un modelo de presupuesto acorde a los eventos presentes en una obra civil.
- Se recomienda implementar el concepto de empaquetamiento de clases conceptuales, al momento de desarrollar el Modelo del sistema que involucre todos los procesos de obra, lo cual permite una mejor interpretación, al tratarse de un Modelo tan amplio.
- Se recomienda profundizar no solo en el análisis de Modelos de sistemas de obras civiles, sino en su diseño y posterior programación ya que esta metodología al ser implantada a partir de la Ingeniería del Software contiene todas las herramientas necesarias para la creación de un programa de computadora que modele costos directos de presupuestos de obra.
- Se recomienda recopilar información del rendimiento de la torre grúa, en otras obras, aplicando el procedimiento de experimentación descrito en este libro. De esta manera, se obtendrá un valor confiable y aplicable a los procesos en que participa, con el fin de calcular su costo directo.
- Se recomienda aplicar el experimento propuesto a un mayor número de obras en Bucaramanga, y en varias ciudades del país, con el fin de aumentar el tamaño de la muestra, y tener mayor confiabilidad en el resultado de rendimiento calculado, mismo que pueda ser usado como estándar en el cálculo de los precios unitarios de los procesos.

7. BIBLIOGRAFÍA

AHUJA, Hira; WALSH, Michael. Ingeniería de costos y administración de proyectos. Barcelona: Alfaomega, 1995. p. 1-294

ECHEVERRY, Diego. et al. Simulación digital de procesos de construcción de estructura en concreto: casos de estudio práctico en Bogotá [en línea]. [Bogotá D.C.] Revista Ingeniería de Construcción Vol.23 N°1, (Abril, 2008). Disponible en internet:<http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S071850732008000200001&script=sciarttext>

GARCERANT, Iván. Prácticas: Seguimiento y control de proyectos. En: Tecnología y Synergix (Junio, 2008). Disponible en internet: <<http://synergix.wordpress.com/2008/06/19/practicas-seguimiento-y-control-de-proyectos>>.

HALPIN W., Daniel. Conceptos financieros y de costos en la industria de la construcción. México; Limusa, 1997. p. 242.

ITEC - Instituto de Tecnología de la Construcción de Catalunya. Introducción a los precios de la construcción: El presupuesto de estimación material. [En línea]. Barcelona, Instituto de tecnología de la construcción de Cataluña. (Abril, 2008). Disponible en internet: <http://www.itec.es/informacio/ConfeccionPresupuesto-PEM.aspx>

KOONTS, Harold. WEIHRICH, Heinz. Administración: Una perspectiva global. Undécima edición. México D.F. McGraw Hill. 1998. p. 13.

KUEHL, Robert. Diseño de experimentos (con análisis de varianza). Segunda edición. Mexico D.F.:Thomson Internacional, 2001. p. 1-65.

LARMAN, Craig. UML y patrones: Una introducción al análisis orientado a objetos y al proceso unificado. Segunda edición. Madrid, Pearson Prentice Hall, 2003. p 43-372.

LEWIS, G. ¿What is Software Engineering? USA: DataPro (4015), 1994. pp. 1-10.

MILLER, Dennis. Building a project work breakdown structure: Visualizing objectives, deliverables, activities and schedules. Taylor and Francis Group, LLC. 2008. p. 21-34.

MONTGOMERY, Douglas. Diseño y análisis de experimentos. México D.F.: Grupo Editorial Iberoamérica, 1991. p. 13-245

PABÓN B., Hernán. Fundamentos de costos. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2004. p. 38-186.

PICÓN, Viviana; VELASCO, Alba. Elaboración de texto guía para la asignatura de construcción I. Capítulos de: Planificación, programación y costos de procesos y operaciones en la construcción. Bucaramanga, 2007, 221 p. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. p. 29-179

PRESSMAN, Roger S. Ingeniería del software: un enfoque práctico. Quinta edición. México D.F.: Mc Graw Hill, 2001. P. 34-373

SANIN, Héctor. Las doce reglas de oro del gerente de proyecto: controle los costos. Curso internacional sobre gestión de la ejecución de proyectos. (11º: 2007: Santiago de Chile). Presentaciones profesores. [En línea]. Santiago de Chile: ILPES, 2007. p.14. Disponible en internet <<http://www.eclac.org/ilpes/noticias/paginas/7/28747/RO%2010%20SyE%20Costo>

s.pdf> .

SCHROEDER, Roger G. Administración de operaciones. Tercera edición. México D.F. McGraw Hill. 1995. p. 533.

SERPELL, Alfredo. Administración de operaciones de construcción. Segunda edición. México D.F.: Alfaomega. p.81.

SOMMERVILLE, Ian. Ingeniería del Software. Séptima edición. Madrid: Pearson Addison Wesley, 2006. p. 5-170

SPARK, Geoffrey. Enterprise Architect User`s Manual. Versión 7.1.834. Sparx Systems. 1998-2008.

STATGRAPHICS Plus para Windows 5.1. Statistical Graphics Corp.© 1994-2000

SUÁREZ SALAZAR, Carlos; SUÁREZ, Carlos. Análisis del costo en la edificación. Tercera edición. México D.F.: Editorial Limusa, 1992. p. 23.

Sun Services. Object-Oriented Analysis and Design Using UML. Object Oriented Modulus OO-226. (Módulo 8: 2003: Santa Clara-California).Santa Clara-California, Sun Microsystems, 2003. p.20.

The Business Roundtable. Modern management systems: A construction industry cost effectiveness project report. [New York]. En: The business roundtable, Report A-6 (Noviembre, 1992). P. 15.

WEBSTER, R.; OLIVER, M. Sample adequately to variograms of soil properties. USA: Journal Soil Sci. No. 43, 1992. P. 178.

WINBLAD, Ann. *et. al.* Software orientado a objetos. Madrid, Adison Wesley/Díaz de Santos. 1993. p. 193.

YOURDON, Edward. Análisis Estructurado Moderno. México D.F.: Prentice Hall Hispanoamericano S.A., 1993. P 136-511.

8. ANEXOS

Anexo 1 REGISTRO FOTOGRÁFICO

Fotografía 1. Obra Torre Miró



Fuente: Archivo fotográfico investigación.

Fotografía 2. Obra Britania



Fuente: Archivo fotográfico investigación.

Anexo 2. CALENDARIOS DE LAS OBRAS

DURACIÓN OBRA TORRE MIRÓ
 DURACIÓN OBRA BRITANIA
 DÍAS COMUNES



2007	ENE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
	FEB	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28				
	MAR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
	ABR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
	MAY	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
	JUN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
	JUL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
	AGO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
	SEPT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
	OCT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
	NOV	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
	DIC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
2008	ENE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
	FEB	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28				
	MAR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
	ABR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
	MAY	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
	JUN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
	JUL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
	AGO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
	SEPT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		

2008	OCT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	NOV	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
	DIC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
2009	ENE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	FEB	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28			
	MAR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	ABR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
	MAY	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	JUN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
	JUL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	AGO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	SEPT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
	OCT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	NOV	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
	DIC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
2010	ENE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	FEB	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28			
	MAR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31

Anexo 3. FORMATO DE TOMA DE DATOS

ESPECIFICACIONES DE LA OBRA

NOMBRE _____

UBICACIÓN _____

EMPRESA CONSTRUCTORA _____

DIRECTOR DE OBRA _____

ESPECIFICACIONES DE LA TORRE GRÚA

MARCA _____

MODELO _____

ESPECIFICACIONES DE OBSERVACIÓN

PROCESO _____

FECHA _____

MATERIAL A CARGAR _____

DESCRIPCIÓN MATERIAL _____

OTRAS CARACTERÍSTICAS _____

MANIOBRA	VELOCIDAD m/min	DISTANCIA MÁXIMA EN OBRA
Elevación	5	
	20	
	40	
Distribución	35	
	15	
	50	
Giro	0.8rpm	
	1.2rpm	
Traslación	25	

CICLO DEL PROCESO						
#	FECHA	HORA	TIEMPO DE CARGA (MIN)	TIEMPO DE TRANSPORTE (MIN)	TIEMPO DE DESCARGA (MIN)	TIEMPO DE RETORNO (MIN)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

Anexo 4. FICHAS DE DATOS RECOPIADOS DURANTE EL EXPERIMENTO PILOTO

TIEMPOS DE CICLO DE LA TORRE GRÚA DURANTE EL PROCESO DE FUNDICIÓN DE MURO

Fecha: Agosto 20 de 2008

Especificaciones: Se funde un muro de contención en concreto de 5000psi,

Dimensiones: 6m x 4m x 0.20m, Cuadrilla de 1x2

Obra: Torre Miro

#	CARGUE			TRANSPORTE			DESCARGUE			RETORNO			TIEMPO TOTAL		
	min	seg	cent	min	seg	cent	min	seg	cent	min	seg	cent	min	seg	cent
1	0	29	78	0	41	65	2	17	23	0	27	65	3	56	31
2	0	25	32	0	43	84	2	11	15	0	31	84	3	52	15
3	0	26	11	0	49	34	1	58	42	0	35	34	3	49	21
4	0	36	75	0	51	53	1	12	34	0	34	53	3	15	15
5	0	27	42	0	42	56	1	57	65	0	34	56	3	42	19
6	0	27	34	0	45	22	2	10	84	0	32	22	3	55	62
7	0	28	97	0	44	84	2	4	67	0	28	84	3	47	32
8	0	30	83	0	50	56	2	21	26	0	29	56	4	12	21
9	0	31	37	0	43	33	1	59	86	0	31	33	3	45	89
10	0	27	62	1	11	66	2	11	44	0	30	53	4	21	25

Observaciones

- ➡ El ayudante abre la tolva interrumpidamente, lo que hace que el ciclo de vaciado sea largo.
- ➡ El oficial al abrir la tolva, descarga una cantidad de concreto que de inmediato se vibra. Esto alarga el ciclo de vaciado

RESULTADOS DE LA PRUEBA PILOTO PARA EL PROCESO FUNDICION DE MURO

Fecha: Agosto 20 de 2008

Especificaciones: Se funde un muro de contención en concreto de 5000psi,

Dimensiones: 6m x 4m x 0.20m, Cuadrilla de 1x2 **Obra:** Torre Miro

TIEMPOS DE CICLO DE LA TORRE GRÚA DURANTE EL PROCESO (min:seg:cent)

#	CARGUE			TRANSPORTE			DESCARGUE			RETORNO			TIEMPO TOTAL	ÁREA MURO*	RENDIMIENTO
	min	seg	cent	min	seg	cent	min	seg	cent	min	seg	cent	hr	m ²	hr-equ/m2
1	0	29	78	0	41	65	2	17	23	0	27	65	0.0656	1.7500	0.0375
2	0	25	32	0	43	84	2	11	15	0	31	84	0.0645	1.7500	0.0368
3	0	26	11	0	49	34	1	58	42	0	35	34	0.0637	1.7500	0.0364
4	0	36	75	0	51	53	1	12	34	0	34	53	0.0542	1.7500	0.0310
5	0	27	42	0	42	56	1	57	65	0	34	56	0.0617	1.7500	0.0353
6	0	27	34	0	45	22	2	10	84	0	32	22	0.0655	1.7500	0.0374
7	0	28	97	0	44	84	2	4	67	0	28	84	0.0631	1.7500	0.0361
8	0	30	83	0	50	56	2	21	26	0	29	56	0.0701	1.7500	0.0400
9	0	31	37	0	43	33	1	59	86	0	31	33	0.0627	1.7500	0.0359
10	0	27	62	1	11	66	2	11	44	0	30	53	0.0726	1.7500	0.0415

*Es el área del muro que se está llenando, aproximadamente. Los datos salen de planos y de aproximaciones visuales

TIEMPOS DE CICLO DE LA TORRE GRÚA DURANTE EL PROCESO DE MAMPOSTERIA

Fecha: Septiembre 18 de 2008

Especificaciones: Se transportan 120 ladrillos H-10 del almacén al quinto piso. Son 12 ladrillos por metro cuadrado de muro.

Metros cuadrados transportados: 10

Dimensiones canasta: 1.28 x 1.28 x 0.88

Obra: Britania

TIEMPOS DE CICLO DE LA TORRE GRÚA DURANTE EL PROCESO (min:seg:cent)

#	CARGUE			TRANSPORTE			DESCARGUE			RETORNO			TIEMPO TOTAL		
	min	seg	cent	min	seg	cent	min	seg	cent	min	seg	cent	min	seg	cent
1	18	12	64	0	51	65	16	34	84	0	21	93	36	1	6
2	17	32	34	0	45	84	13	37	24	0	24	73	32	20	15
3	16	35	76	0	54	34	14	23	30	0	35	49	32	28	89
4	14	45	93	0	59	53	16	53	4	0	24	2	33	2	52
5	15	27	47	0	47	56	15	57	92	0	34	83	32	47	78

Observaciones:

- ➔ La velocidad de transporte según el operario la mantuvo constante durante los ciclos .
- ➔ Los ladrillos necesarios para el piso, no fueron subidos en un mismo día, ya que la torre grúa se requería para otras tareas.

RESULTADOS DE LA PRUEBA PILOTO PARA EL PROCESO FUNDICION DE MAMPOSTERIA

Fecha: Septiembre 18 de 2008

Especificaciones: Se transportan 120 ladrillos H-10 del almacén al quinto piso. Son 12 ladrillos por metro cuadrado de muro.

Metros cuadrados transportados: 10

Dimensiones canasta: 1.28 x 1.28 x 0.88

Obra: Britania

TIEMPOS DE CICLO DE LA TORRE GRÚA DURANTE EL PROCESO (min: seg: cent)

#	CARGUE			TRANSPORTE			DESCARGUE			RETORNO			TIEMPO TOTAL	RENDIMIENTO
	min	seg	cent	min	seg	cent	min	seg	cent	min	seg	cent	hr	hr-equ/m2
1	18	12	64	0	51	65	16	34	84	0	21	93	0.6003	0.0600
2	17	32	34	0	45	84	13	37	24	0	24	73	0.5389	0.0539
3	16	35	76	0	54	34	14	23	30	0	35	49	0.5414	0.0541
4	14	45	93	0	59	53	16	53	4	0	24	2	0.5507	0.0551
5	15	27	47	0	47	56	15	57	92	0	34	83	0.5466	0.0547

TIEMPOS DE CICLO DE LA TORRE GRÚA DURANTE EL PROCESO DE MAMPOSTERIA

Fecha: Septiembre 19 de 2008

Especificaciones: Se transportan 120 ladrillos H-10 del almacén al quinto piso. Son 12 ladrillos por metro cuadrado de muro.

Metros cuadrados transportados: 10

Dimensiones canasta: 1.28 x 1.28 x 0.88

Obra: Britania

TIEMPOS DE CICLO DE LA TORRE GRÚA DURANTE EL PROCESO (min: seg: cent)

#	CARGUE			TRANSPORTE			DESCARGUE			RETORNO			TIEMPO TOTAL		
	min	seg	cent	min	seg	cent	min	seg	cent	min	seg	cent	min	seg	cent
1	15	23	26	0	57	22	17	15	79	0	32	71	34	8	98
2	16	15	96	0	39	84	16	28	82	0	26	19	33	50	81
3	16	52	84	0	41	56	19	23	61	0	24	92	36	22	93
4	18	58	73	0	48	33	18	2	23	0	30	23	38	19	52
5	18	23	79	1	55	66	16	24	3	0	30	15	37	13	63

Observaciones:

- ➔ La velocidad de transporte según el operario la mantuvo constante durante los ciclos .
- ➔ Los ladrillos necesarios para el piso, no fueron subidos en un mismo día, ya que la torre grúa se requería para otras tareas.

RESULTADOS DE LA PRUEBA PILOTO PARA EL PROCESO FUNDICION DE MAMPOSTERIA

Fecha: Septiembre 19 de 2008

Especificaciones: Se transportan 120 ladrillos H-10 del almacén al quinto piso. Son 12 ladrillos por metro cuadrado de muro.

Metros cuadrados transportados: 10

Dimensiones canasta: 1.28 x 1.28 x 0.88

Obra: Britania

TIEMPOS DE CICLO DE LA TORRE GRÚA DURANTE EL PROCESO (min:seg:cent)

#	CARGUE			TRANSPORTE			DESCARGUE			RETORNO			TIEMPO TOTAL	RENDIMIENTO
	min	seg	cent	min	seg	cent	min	seg	cent	min	seg	cent	hr	hr-equ/m2
1	15	23	26	0	57	22	17	15	79	0	32	71	0.5692	0.056916111
2	16	15	96	0	39	84	16	28	82	0	26	19	0.5641	0.056411389
3	16	52	84	0	41	56	19	23	61	0	24	92	0.6064	0.060636944
4	18	58	73	0	48	33	18	2	23	0	30	23	0.6388	0.063875556
5	18	23	79	1	55	66	16	24	3	0	30	15	0.6205	0.062045278

TIEMPOS DE CICLO DE LA TORRE GRÚA DURANTE EL PROCESO DE INSTALACIONES HIDRAULICAS

Fecha: Octubre 08 de 2008

Especificaciones: Se transportan tramos de PVC de diámetro variable al doceavo piso. Se transportan 18 tubos de PVC por viaje, diámetro variable, longitud de 3m cada uno.

Metros lineales transportados: 54

Obra: Britania

TIEMPOS DE CICLO DE LA TORRE GRÚA DURANTE EL PROCESO (min: seg: cent)

	CARGUE			TRANSPORTE			DESCARGUE			RETORNO			TIEMPO TOTAL		
	min	seg	cent	min	seg	cent	min	seg	cent	min	seg	cent	min	seg	cent
1	1	23	26	0	34	45	2	3	85	0	22	93	4	24	49
2	1	42	65	0	39	15	2	35	33	0	18	37	5	15	50
3	1	35	76	0	31	75	2	16	58	0	19	85	4	43	94
4	2	0	63	0	35	7	2	2	54	0	23	68	5	1	92
5	1	56	31	1	29	86	2	19	97	0	23	21	6	9	35

Observaciones:

- ➔ La velocidad de transporte según el operario la mantuvo constante durante los ciclos.
- ➔ Los tramos se amarraron con guaya metálica al gancho de la grúa.
- ➔ El cargue no sólo incluye la disposición de los materiales en la plataforma de carga, sino que incluye el amarre de la guaya.

RESULTADOS DE LA PRUEBA PILOTO PARA EL PROCESO FUNDICION DE INSTALACIONES HIDRAULICAS

Fecha: Octubre 08 de 2008

Especificaciones: Se transportan tramos de PVC de diámetro variable al doceavo piso. Se transportan 18 tubos de PVC por viaje, diámetro variable, longitud de 3m cada uno.

Metros lineales transportados: 54

Obra: Britania

TIEMPOS DE CICLO DE LA TORRE GRÚA DURANTE EL PROCESO (min: seg: cent)

#	CARGUE			TRANSPORTE			DESCARGUE			RETORNO			TIEMPO TOTAL	RENDIMIENTO
	min	seg	cent	min	seg	cent	min	seg	cent	min	seg	cent	hr	hr-equ/m
1	1	23	26	0	34	45	2	3	85	0	22	93	0.0735	0.001360545
2	1	42	65	0	39	15	2	35	33	0	18	37	0.0876	0.001622942
3	1	35	76	0	31	75	2	16	58	0	19	85	0.0789	0.001460597
4	2	0	63	0	35	7	2	2	54	0	23	68	0.0839	0.001553086
5	1	56	31	1	29	86	2	19	97	0	23	21	0.1026	0.001899949

TIEMPOS DE CICLO DE LA TORRE GRÚA DURANTE EL PROCESO DE INSTALACIONES HIDROSANITARIAS

Fecha: Octubre 11 de 2008

Especificaciones: Se transportan tramos de PVC de diámetro variable al treceavo piso. Se transportan por viaje 21 tubos de PVC, diámetro variable, longitud de 3m cada uno.

Metros lineales transportados: 63

Obra: Britania

TIEMPOS DE CICLO DE LA TORRE GRÚA DURANTE EL PROCESO (min: seg: cent)

#	CARGUE			TRANSPORTE			DESCARGUE			RETORNO			TIEMPO TOTAL		
	min	seg	cent	min	seg	cent	min	seg	cent	min	seg	cent	min	seg	cent
1	1	26	54	0	33	37	2	56	74	0	22	74	5	19	39
2	1	6	43	0	40	25	2	39	35	0	18	25	4	44	28
3	1	37	97	0	36	98	2	42	85	0	19	56	5	17	36
4	2	21	74	0	45	63	2	51	35	0	23	83	6	22	55
5	1	30	26	0	32	75	2	33	64	0	21	58	4	58	23

Observaciones:

- ➔ La velocidad de transporte según el operario la mantuvo constante durante los ciclos.
- ➔ Los tramos se amarraron con guaya metálica al gancho de la grúa.
- ➔ El cargue no sólo incluye la disposición de los materiales en la plataforma de carga, sino que incluye el amarre de la guaya.

RESULTADOS DE LA PRUEBA PILOTO PARA EL PROCESO FUNDICION DE INSTALACIONES HIDRAULICAS

Fecha: Octubre 11 de 2008

Especificaciones: Se transportan tramos de PVC de diámetro variable al treceavo piso. Se transportan por viaje 21 tubos de PVC, diámetro variable, longitud de 3m cada uno.

Metros lineales transportados: 63

Obra: Britania

TIEMPOS DE CICLO DE LA TORRE GRÚA DURANTE EL PROCESO (min: seg: cent)

#	CARGUE			TRANSPORTE			DESCARGUE			RETORNO			TIEMPO TOTAL	RENDIMIENTO
	min	seg	cent	min	seg	cent	min	seg	cent	min	seg	cent	hr	hr-equ/m
1	1	26	54	0	33	37	2	56	74	0	22	74	0.0887	0.001408245
2	1	6	43	0	40	25	2	39	35	0	18	25	0.0790	0.001253439
3	1	37	97	0	36	98	2	42	85	0	19	56	0.0882	0.001399295
4	2	21	74	0	45	63	2	51	35	0	23	83	0.1063	0.001686728
5	1	30	26	0	32	75	2	33	64	0	21	58	0.0828	0.001314947

TIEMPOS DE CICLO DE LA TORRE GRÚA DURANTE EL PROCESO DE INSTALACIONES SANITARIAS

Fecha: Octubre 02 de 2008

Especificaciones: se transportan tramos de PVC de diámetro variable al décimo piso. Se transportan por viaje 24 tubos de PVC, diámetro variable, longitud de 3m cada uno.

Metros lineales transportados: 72

Obra: Britania

TIEMPOS DE CICLO DE LA TORRE GRÚA DURANTE EL PROCESO (min: seg: cent)

#	CARGUE			TRANSPORTE			DESCARGUE			RETORNO			TIEMPO TOTAL		
	min	seg	cent	min	seg	cent	min	seg	cent	min	seg	cent	min	seg	cent
1	1	56	84	0	33	64	1	54	24	0	17	75	4	42	47
2	1	58	56	0	31	3	1	27	53	0	14	27	4	11	39
3	2	12	29	0	34	23	1	34	34	0	29	43	4	50	29
4	2	8	42	0	45	12	1	41	64	0	13	53	4	48	71
5	1	50	7	1	41	37	1	42	43	0	21	64	5	35	51

Observaciones:

- ➡ La velocidad de transporte según el operario la mantuvo constante durante los ciclos.
- ➡ Los tramos se amarraron con guaya metálica al gancho de la grúa.
- ➡ El cargue no sólo incluye la disposición de los materiales en la plataforma de carga, sino que incluye el amarre de la guaya.

RESULTADOS DE LA PRUEBA PILOTO PARA EL PROCESO FUNDICION DE INSTALACIONES SANITARIAS

Fecha: Octubre 02 de 2008

Especificaciones: se transportan tramos de PVC de diámetro variable al décimo piso. Se transportan por viaje 24 tubos de PVC, diámetro variable, longitud de 3m cada uno.

Metros lineales transportados: 72

Obra: Britania

TIEMPOS DE CICLO DE LA TORRE GRÚA DURANTE EL PROCESO (min: seg: cent)

#	CARGUE			TRANSPORTE			DESCARGUE			RETORNO			TIEMPO TOTAL	RENDIMIENTO
	min	seg	cent	min	seg	cent	min	seg	cent	min	seg	cent	hr	hr-equ/m
1	1	56	84	0	33	64	1	54	24	0	17	75	0.0785	0.001089776
2	1	58	56	0	31	3	1	27	53	0	14	27	0.0698	0.000969869
3	2	12	29	0	34	23	1	34	34	0	29	43	0.0806	0.001119946
4	2	8	42	0	45	12	1	41	64	0	13	53	0.0802	0.00111385
5	1	50	7	1	41	37	1	42	43	0	21	64	0.0932	0.001294406

TIEMPOS DE CICLO DE LA TORRE GRÚA DURANTE EL PROCESO DE INSTALACIONES SANITARIAS

Fecha: Octubre 18 de 2008

Especificaciones: Se transportan tramos de PVC de diámetro variable al onceavo piso. Se transportan por viaje 16 tubos de PVC, diámetro variable, longitud de 3m cada uno.

Metros lineales transportados: 48

Obra: Britania

TIEMPOS DE CICLO DE LA TORRE GRÚA DURANTE EL PROCESO (min: seg: cent)

#	CARGUE			TRANSPORTE			DESCARGUE			RETORNO			TIEMPO TOTAL		
	min	seg	cent	min	seg	cent	min	seg	cent	min	seg	cent	min	seg	cent
1	1	1	62	0	31	73	0	55	84	0	16	57	2	45	76
2	0	58	47	0	40	5	0	58	67	0	13	83	2	51	2
3	0	45	43	0	39	85	0	54	63	0	19	74	2	39	65
4	0	48	95	0	32	37	0	48	96	0	16	34	2	26	62

Observaciones:

- ➡ La velocidad de transporte según el operario la mantuvo constante durante los ciclos.
- ➡ Los tramos se amarraron con guaya metálica al gancho de la grúa.
- ➡ El cargue no sólo incluye la disposición de los materiales en la plataforma de carga, sino que incluye el amarre de la guaya.

RESULTADOS DE LA PRUEBA PILOTO PARA EL PROCESO FUNDICION DE INSTALACIONES SANITARIAS

Fecha: Octubre 18 de 2008

Especificaciones: Se transportan tramos de PVC de diámetro variable al onceavo piso. Se transportan por viaje 16 tubos de PVC, diámetro variable, longitud de 3m cada uno.

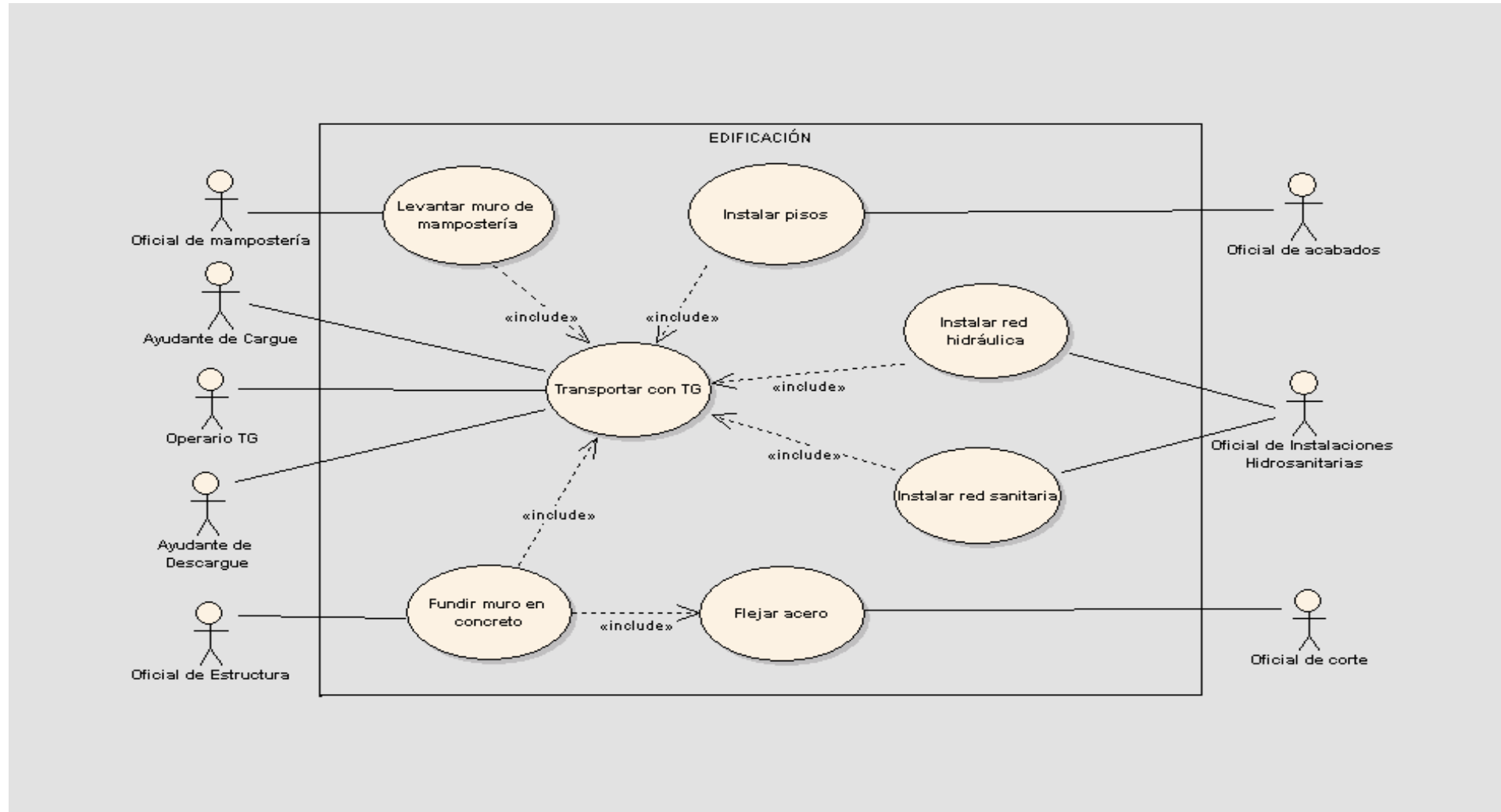
Metros lineales transportados: 48

Obra: Britania

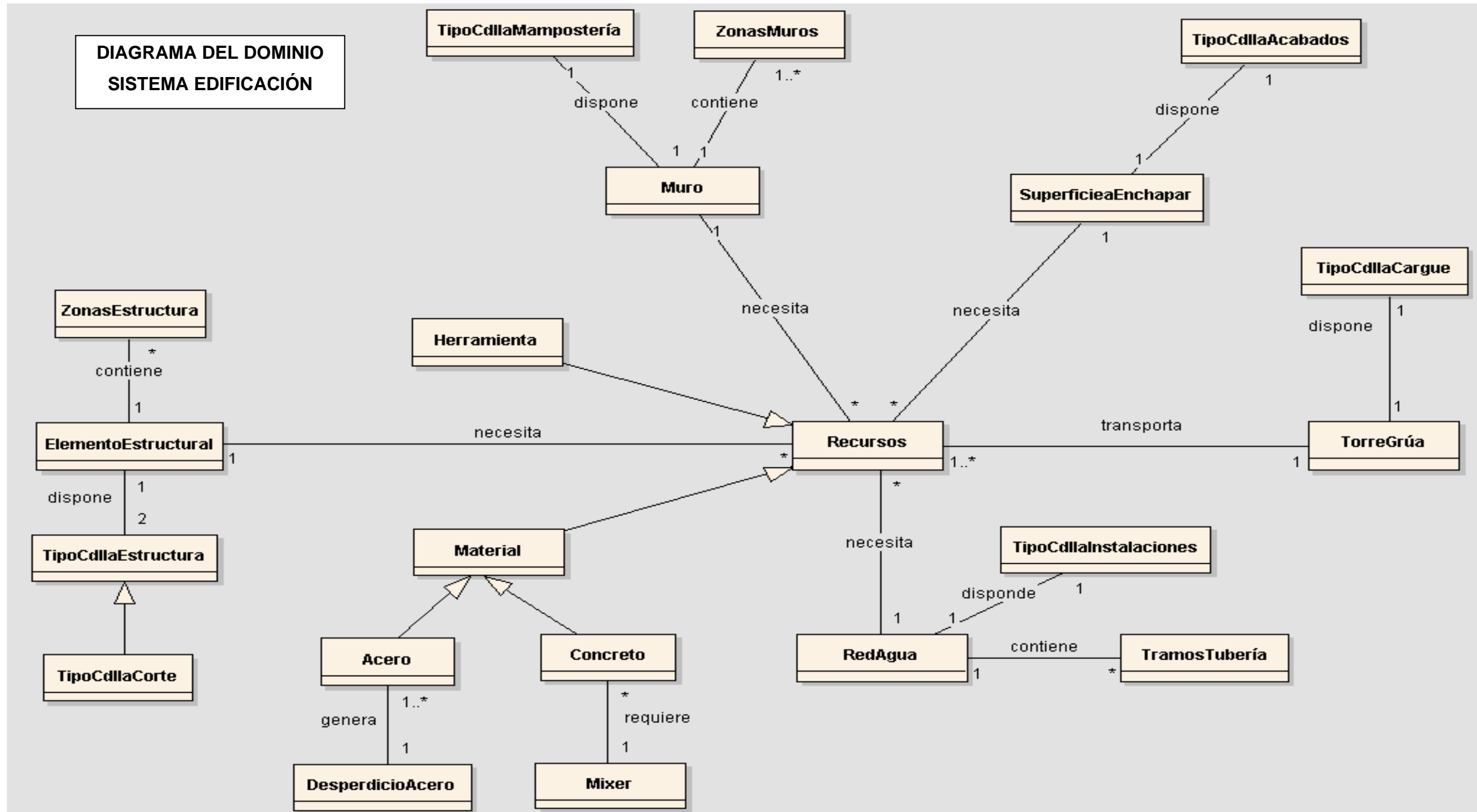
TIEMPOS DE CICLO DE LA TORRE GRÚA DURANTE EL PROCESO (min: seg: cent)

#	CARGUE			TRANSPORTE			DESCARGUE			RETORNO			TIEMPO TOTAL	RENDIMIENTO
	min	seg	cent	min	seg	cent	min	seg	cent	min	seg	cent	hr	hr-equ/m
1	1	1	62	0	31	73	0	55	84	0	16	57	0.0460	0.000959259
2	0	58	47	0	40	5	0	58	67	0	13	83	0.0475	0.000989699
3	0	45	43	0	39	85	0	54	63	0	19	74	0.0443	0.0009239
4	0	48	95	0	32	37	0	48	96	0	16	34	0.0407	0.000848495

Anexo 5. DIAGRAMA DE CASOS DE USO



Anexo 6. DIAGRAMA DEL DOMINIO



Anexo 7. DIAGRAMA DE CLASES: Herramienta de apoyo para analizar los costos directos en los presupuestos de construcción.

