

Design of a cost optimization model in the construction sector. Case study construction sector in Cartagena de Indias - Colombia

Yunellis Del Carmen Burgos Pereira, Doctoranda en Ingeniería Industrial¹, Elvira Gómez Verjel, Magíster en Logística Integral¹, Arcelio Pérez Simanca, Candidato a magíster en Ingeniería de Producción¹, Amaral Enrique Martínez Lugo, Master Estructuras Metálicas y Mixtas², Andrés Felipe Camargo Bocanegra, Magíster en Estructuras & patrimonio³

¹Universidad del Sinú Seccional Cartagena, grupo DEARTICA – Ingeniería Industrial, Colombia,
ingyunellisburgos@gmail.com, elvira.gv@hotmail.com, arcélio.perez@gmail.com

²MCM Ingeniería Proyectos y Construcciones S.A.S, Colombia, amaral.martinezl@mcmingenieriyproyectos.co

³Universidad del Sinú Seccional Cartagena, Ingeniería Civil, Colombia, direccioncivil@unisinucartagena.edu.co

Abstract– Abstract - The process of integrating systems in small and medium-sized companies within the framework of industry 4.0 is important for the operationalization and systematization of processes, which is why optimization models are required that allow the standardization of processes and reduction of costs that allow the use of resources for the management of construction projects for the construction sector that in Cartagena de Indias presents a high demand and there are many companies dedicated to this activity. The integration of construction project management systems allows this group of companies to enhance their innovation capabilities and measure their results to constantly evaluate financial and inventory indicators. As it is the case of the present investigation, it shows how it is possible to optimize resources for the minimization of costs in the subcontracting process of machinery and other materials at the moment of budgeting a type of Civil Works Project, it is taken as reference the time delay due to the development of activities, capacities, and times of use of the machinery and equipment together with the costs assumed for the execution of these.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.809>
ISBN: 978-628-95207-0-5 ISSN: 2414-6390

Diseño de un modelo de optimización de costos en el sector de la construcción. Caso de estudio sector de la construcción en Cartagena de Indias - Colombia

Yunellis Del Carmen Burgos Pereira, Doctoranda en Ingeniería Industrial¹, Elvira Gómez Verjel, Magíster en Logística Integral¹, Arcelio Pérez Simanca, Candidato a magíster en Ingeniería de Producción¹, Amaral Enrique Martínez Lugo, Master Estructuras Metálicas y Mixtas², Andrés Felipe Camargo Bocanegra, Magíster en Estructuras & patrimonio³

¹Universidad del Sinú Seccional Cartagena, grupo DEARTICA – Ingeniería Industrial, Colombia,

ingyunellisburgos@gmail.com, elvira.gv@hotmail.com, arcelio.perez@gmail.com

²MCM Ingeniería Proyectos y Construcciones S.A.S, Colombia, amaral.martinezl@mcmingenieriyproyectos.co

³Universidad del Sinú Seccional Cartagena, Ingeniería Civil, Colombia, direccioncivil@unisinucartagena.edu.co

Resumen - Resumen - El proceso de integración de sistemas en las pequeñas y medianas empresas en el marco de la industria 4.0 es importante para la operacionalización y sistematización de los procesos, por lo que se requiere de modelos de optimización que permitan la estandarización de procesos y reducción de costos que permitan la aprovechamiento de recursos para la gestión de proyectos de construcción para el sector de la construcción que en Cartagena de Indias presenta una alta demanda y existen muchas empresas dedicadas a esta actividad. La integración de sistemas de gestión de proyectos de construcción permite a este grupo de empresas potenciar sus capacidades de innovación y medir sus resultados para evaluar constantemente indicadores financieros y de inventario. Como es el caso de la presente investigación, se muestra cómo es posible optimizar recursos para la minimización de costos en el proceso de subcontratación de maquinaria y otros materiales al momento de presupuestar un tipo de Proyecto de Obra Civil, se toma como referencia el tiempo de demora por el desarrollo de actividades, capacidades y tiempos de uso de la maquinaria y equipo junto con los costos asumidos para la ejecución de estos.

I. INTRODUCCIÓN

El Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) en Colombia para el sector de construcción hace la Clasificación de Bienes y Servicios correlativo con la CPC – Clasificación Central de Productos y establece grupos de empresas con codificación específica: [1]

- GRUPO 530201. Carreteras, calles, vías férreas y pistas de aterrizaje, puentes, carreteras elevadas y túneles.
- GRUPO 530202. Puertos, canales, presas, sistemas de riego y otras obras hidráulicas (acueductos).
- GRUPO 530203. Tuberías para la conducción de gas a larga distancia, líneas de comunicación y cables de poder; tuberías y cables locales, y obras conexas.
- GRUPO 530204. Construcciones en minas y plantas industriales.
- GRUPO 530205. Construcciones deportivas al aire libre y otras obras de ingeniería civil.

De este grupo de empresas la Cámara de Comercio de Cartagena de Indias, establece los CIIU [2] y la actividad económica asociada a este registro que permite categorizar y enfocar la investigación a las características específicas de este tipo de empresas, se presentan la tabla #1.

Tabla. 1 CIIU empresas sector construcción
Este grupo de empresas son las que intervienen en el impacto y resultados de la investigación

| CIUU | Actividad económica |
|------|--|
| 4290 | Construcción de otras obras de ingeniería civil |
| 4390 | Otras actividades especializadas para la construcción de edificios y obras de ingeniería civil |
| 4330 | Terminación y acabado de edificios y obras de ingeniería civil |

Diseñar de un modelo de optimización de costos en el sector de la construcción que permita el aprovechamiento de recursos y una buena gestión de proyectos. Se desarrolla a partir de los objetivos específicos como descripción del sector desde el entorno económico, organizacional y tecnológico para conocer el fluograma de procesos asociado a la gestión de obras civiles y adquisición de insumos. Se analizan principales insumos y la forma de adquisición de ellos para establecer los costos asociados a proyectos e identificar las variables y parámetros del modelo de optimización, se determinan los parámetros y costos de dichos procesos y se procede a realizar un modelo matemático con la utilización del software GAMS, con la finalidad de generar una solución óptima.

Tomando como base el informe sectorial de CAMACOL (Cámara Colombiana de la Construcción) [3] el sector de la construcción se establece como el clúster de industria manufacturera – construcción ubicada en los primeros puestos en cantidad de empresas que impactan en el desarrollo económico. En la figura #1 se presentan las áreas donde las empresas consideran que es necesario realizar mejoras e incorporar tecnología:

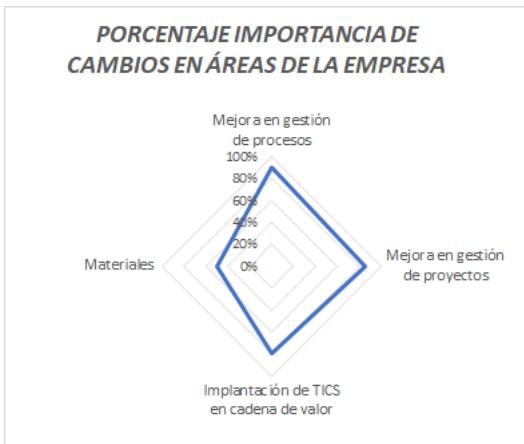


Gráfico. 1 áreas susceptibles a la mejora en empresas
Porcentaje de importancia de mejoras en las áreas de la empresa de construcción

En la mejora de gestión de procesos y proyectos se destaca el buen manejo financiero que deben tener las empresas de construcción ya que consumen más tiempo en la gestión de presupuesto, cálculo de costos y gastos asociados al alistamiento de proyectos de construcción. Es por ello que se analizan y establecen algunos insumos y variables asociadas a estos, los cuales entran en el análisis e inciden en los resultados de la investigación:

Figura. 1 descripción de etapas para proyectos de obra civil
En esta tabla se establecen insumos que facilitan la descripción de la cadena de valor que se puede diseñar para el sector.



Estas etapas que establecidas en la figura #1 para la gestión y administración de proyectos de construcción definen los parámetros para el análisis de costos asociados al modelo.

II. ESTADO DEL ARTE

La inclusión de la economía circular en las empresas de construcción es vital por el tipo de actividad y manejo de residuos que estos generan; la industria de la ecología trata de reunir ecosistemas y simbiosis industriales, producción más limpia, crecimiento verde, capitalismos naturales, entre otros. Con este nuevo concepto cambia el paradigma del “tomar-hacer-desechar” para poder generar cambios hacia los residuos y tomar textualmente la definición de este concepto para el sector de la construcción como “restauradora por diseño y que

tiene como objetivo mantener los productos, componentes y materiales en su máxima utilidad y valor en todo momento, distinguiendo entre ciclos técnicos y biológicos por esto es importante un análisis de costos específicos que ayude, en la presente investigación se busca entonces optimizar los recursos desde el componente de costos que para el sector en la ciudad de Cartagena de Indias les permita considerar incursionar y el concepto de economía circular [4].

Es importante identificar el comportamiento de los costos del sector a través de modelo conocido como ABJ propuesto por Anderson, Banker y Janakiraman que tiene como fundamento la función de costos de Cobb-Douglas [5], este modelo permite evaluar qué cambios ocurren en los costos cuando los ingresos aumentan o disminuyen en períodos sucesivos para evidenciar el comportamiento para la toma de decisiones. [6] El modelo ABJ analiza comportamiento de costos de ventas, administración y comercialización de los sectores construcción, comercio y servicios de empresas que permita sacar conclusiones para ello.

Se ha validado la hipótesis de que la magnitud incrementada en los costos de ventas, de administración y generales frente a un incremento de 1% de los ingresos por venta es superior a la disminución de los mismos cuando los ingresos por ventas disminuyen en un 1% [6].

Los sistemas estructurales son sistemas utilizados en construcción de viviendas de interés social, se utiliza compuesto por muros de mampostería confinada y muros de concreto reforzados convencionalmente cada uno con unas especificaciones y costos distintos y sus ventajas y desventajas. Estos tipos de muros se estudian para aplicarlos en caso que sea necesario y permita una optimización de costos hacienda uso también de los muros de concreto reforzados con fibras de acero [7].

Modelos de mejora en la rentabilidad de proyectos de obras civiles:

Modelo LCyA propuesto por Manquire en 2017 contempla la evaluación de la gestión de la producción y gestión contable con variables definidas como Lean Construction, la variabilidad, restricciones y aplicación de Last planner que permiten esa optimización. El Lean Construction es un modelo libre de grasa, libración de lo indispensable: los desperdicios y agregar valor al cliente.

En una nueva filosofía de la construcción no se muestra solo un modelo de conversión de procesos si no también el flujo del proceso de materiales e información, a estas actividades se deben adicionar los costos directos e indirectos bajo un modelo que lo permite que el modelo ABC es un método tradicional para gestión de costos que comúnmente se utiliza para dividir en actividades los procesos del Proyecto específico y definir costos indirectos que contribuyen a la organización de proyectos de obra civil [8].

Los modelos contemplan costos de oportunidad e inversión, el de oportunidad es el valor que genera un recurso en el mejor uso alternativo relevante en el momento de ahorrar

costos, los costos de inversión son los desembolsos de dinero que se incurren para la adquisición de activos fijos y financiar el capital del trabajo y los de operación que se dan para el funcionamiento y son permanentes en los procesos productivos [9].

[10] *Modelo multiobjetivo no lineal* para el diseño de cadenas de suministro de reciclaje de múltiples productos, los costos fijos y variables contemplados en este modelo se enfocan en costo unitario del producto en el centro de recolección en \$Unidad, costo unitario del producto en la planta en \$Unidad, costo variable por km del medio del transporte en \$km, costo fijo por utilizar el centro de recolección en \$Período, costo fijo por utilizar la planta en \$Período, costo fijo por utilizar el medio de transporte en un viaje en \$viaje.

Modelo de secuenciación se miden variables para la toma de decisiones de tres tipos, planificación de operaciones, cálculo de necesidades de materiales y recursos, programación de la producción con subfunciones carga (loading), secuenciación (sequencing), temporización (scheduling) [11]. Este modelo logra nivelar la carga en cada proceso dentro de las líneas de trabajo y mantener un ritmo constante de consumo requerido.

Modelos inventarios máximos y mínimos: los sistemas de control de inventario tienen demanda determinística y probabilística para determinar los niveles de inventario para determinar el tamaño óptimo de pedido y costos totales relevantes en función del tamaño de pedido. El control preventivo de inventarios es la modalidad del control operativo de stocks que se basa en reposiciones reales ajustadas a las necesidades evitando acumulaciones excesivas de materiales e inventarios [12].

Análisis multivariante con modelo logit antes de aplicar este modelo se hace una identificación de los casos outliers controlando dimensiones como el volumen de recursos propios, activos, materiales comprados para una actividad en específico. Estudios basados en probabilidad condicional establecidos para analizar la capacidad predictiva de los ratios contables [13].

Modelo multicriterio/multicriterio las fases de este procedimiento se centran en superponer una retícula cuadrada sobre el área de estudio, definir una serie de criterios o factores básicos para valoración, ponderar los diferentes criterios seleccionados según la escala de medida en consonancia con la aptitud a cuantificar. Ponderar los diferentes criterios seleccionados, digitalizar los valores de los diversos criterios; definir, mediante criterios limitantes e integrar las diferentes capas de información y clasificar los valores de integración anterior en un reducido número de categorías que expresen el valor de la aptitud de forma más sintética[14]. Las restricciones que se establecen en un modelo permiten la toma de decisiones en un Sistema [15].

III. METODOLOGÍA

La presente investigación evidencia un modelo de optimización el cual responde a unas necesidades identificadas

en el sector de la construcción. Estas necesidades están enmarcadas en términos de programación de trabajos, disponibilidad de maquinarias y minimización de tiempo.

Dentro del proceso de trabajo con el sector específicamente en la ciudad de Cartagena se toma el informe sectorial realizado por CAMACOL (Cámara Colombiana de la Construcción) como análisis de las estadísticas actuales de cómo se mueve dicho sector, seguido se procedió a definir las variables que se contemplaron en el modelo, junto con los parámetros y restricciones.

Una vez definido lo anterior se tomó como proceso de validación a una empresa del sector de la Construcción de la ciudad de Cartagena, con el analizar la viabilidad del modelo y aplicación de este.

Teniendo la validación se continuó con el análisis de los datos en los cuales se definieron estrategias enfocadas al proceso de optimización de programación de trabajos, disponibilidad de maquinaria y minimización del tiempo en la empresa en la cual se validó el presente modelo.

Dentro del desarrollo del modelo mencionado se hizo uso de fuentes primarias al tener contacto con un entorno de aplicación como lo fue la empresa objeto de estudio, así mismo de fuentes secundarias como lo fueron los diferentes artículos de base y los informes del sector.

IV. RESULTADOS

El modelo propuesto en el presente proyecto representa un esquema matemático que contempla una respuesta al sector de la construcción tomando como base de referencia la aplicación en la ciudad de Cartagena, este modelo tiene la función de simular escenarios de asignación de recursos y solicitudes que se manejan en este sector. A continuación, se describen cada una de las etapas en el diseño del modelo de optimización:

Contextualización del modelo del sector de la Construcción tomando como base de aplicación la ciudad de Cartagena.

EXPLICACIÓN DEL MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL.

CONJUNTOS:

$J=1, \dots, n$, Conjunto de Trabajos Programar por el Contratista

$I=1, \dots, m$, Conjunto de Máquinas Disponibles del Contratista.

I_s ($s=1, \dots, s$, Con $I_s \subseteq$

I ; Conjunto de Máquinas Subcontratadas Disponibles.

$T'=1, \dots, T$, Conjunto de Períodos Disponibles, donde; $t=1$ a las 00:00 horas, $t=2$ a las 01:00 horas, hasta $t=24$ a las 23:00 horas.

$B'=1, \dots, B$, Período o Conjunto de períodos Bloqueados.

VARIABLES:

L_j : Indica si el trabajo programado $j \in J$, está atrasado. Si este tiene valor de uno (1) el trabajo está atrasado, y si este tiene valor de cero (0), el trabajo se está ejecutando acuerdo a lo programado.

x_{ijt} : variable que identifica si la máquina $i \in I$ está asignada al trabajo o solicitud $j \in J$, en el período de tiempo $t \in T'$, teniendo esta variable valores de uno (1), si la máquina está asignada a una solicitud j , en un período de tiempo t , o valores de cero si la máquina no está asignada a un trabajo y/o una solicitud.

PARÁMETROS:

p_j : Tiempo (en horas) planificado del trabajo a realizar $j \in J$.

d_j : Hora máxima de finalización del trabajo a realizar $j \in J$.

O_i : Capacidad en toneladas de las máquinas $i \in I$.

R_j : Capacidad en toneladas de la maquina requerida para realizar el trabajo o ser asignada a una solicitud $j \in J$.

D_{ij} : Disponibilidad de la maquina i de atender los trabajos o solicitudes j , donde tiene valores de uno (1) si la maquina puede atender la solitud y cero (0) si la maquina no está disponible.

b_k : Periodo de tiempo $k \in B'$ bloqueado. Periodo de tiempo en el cual las maquinas no pueden ser asignadas o utilizadas en actividades productivas. Esto debido a políticas de mantenimiento, simulacros de emergencia, ceremonias de buques entre otras que pueden ser determinadas por los jefes de operaciones.

W_j : Criterio de Prioridad asignado a la solicitud $j \in J$. Ver tabla

Tabla. 1 prioridades de las solicitudes según peso y prioridad

| TIPO DE SOLICITUD | PRIORIDAD o PESO |
|-----------------------------|------------------|
| Urgente | 1 |
| Solicitud Estratégica | 2 |
| DS N.º 2 | 3 |
| DS N.º 1 | 4 |
| Proyecto Prioritario | 5 |
| Proyectos de Construcción 1 | 6 |
| Proyectos de Construcción 2 | 7 |

| | |
|-----------------------|----|
| Proyectos Pesqueros 1 | 8 |
| Proyectos Pesqueros 2 | 9 |
| Otros Proyectos | 10 |

Fuente: M. Guiñez, L. Pradenas, E. Melgarejo.

FORMULACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO:

Para la formulación objetivo se pretende minimizar costos ($mín$) asociados al cumplimiento de trabajos programados (L_j) en concordancia con la asignación de criterio de prioridad y peso (W_j).

$$\min \sum_{j \in J} L_j W_j$$

RESTRICCIONES DEL MODELO:

$$a. \quad \sum_{i \in I} (t + p_j) x_{ijt} - d_j \geq TL_j; \quad \forall j \in J, e \in T'$$

Establece los parámetros para determinar que un trabajo se considera atrasado cuando este ha sobrepasado la hora tope programada para la finalización de este.

$$b. \quad \sum_{i \in I} \sum_{t \in T'} x_{ijt} = 1; \quad \forall j \in J.$$

Establece los parámetros para que todos trabajos sean asignados a los periodos de tiempo disponibles, aun cuando los trabajos estén atrasados en su programación.

$$c. \quad \sum_{i \in I} R_j x_{ijt} \leq O_i; \quad \forall i \in I, t \in T'$$

Establece los parámetros para determinar que la capacidad en toneladas requerida para realizar un trabajo no sobrepase las capacidades de las máquinas.

$$d. \quad x_{ijt} \leq D_{ij}; \quad \forall i \in I, t \in T', j \in J$$

Establece los parámetros para asignar una máquina específica para un trabajo específico, solo si esta asignación es factible a criterio del jefe de operaciones de turno.

$$e. \quad \sum_{j \in J} \sum_{t \in T'} x_{ijt} \leq 1; \quad \forall i \in I, t \in T', j \in J, \quad \text{con } S = \{t' / ma(t - p_j, 0) < t' < t\}$$

Establece los parámetros para que una máquina no pueda ser utilizada o asignada a un trabajo mientras este en proceso de ejecución de otro.

$$f. \sum_{j \in J} \sum_{t \in T'} x_{ijt} p_j \geq 8; \quad \forall i \in I_s$$

Establece los parámetros para que cada trabajo que requiere la subcontratación de una máquina este debe usarla mínimo 8 horas.

$$x_{ijt} = 0; \quad \forall i \in I, t \in T', j \in J \setminus t >$$

$$T - p_j$$

g.

Establece los parámetros para no permitir que se realicen asignaciones de trabajo por fuera de la jornada laboral.

$$h. \quad x_{ijt} = 0; \quad \forall i \in I, t \in T', j \in J \setminus t > T - p_j, \quad \forall k \in B'$$

Establece los parámetros para restringir o bloquear intervalos de tiempo o períodos de trabajo en los cuales, por ejemplo, se pueden estar haciendo labores de mantenimiento, descansos del personal o alguna actividad específica no relacionada con la producción.

Figura. 2 resultados del modelo aplicado en software
Permite simular los resultados que permitan toma de decisiones gerenciales

| S O L V E S U M M A R Y | | |
|--|----------|-------------------------|
| MODEL | maquinas | OBJECTIVE z |
| TYPE | MIP | DIRECTION MINIMIZE |
| SOLVER | CPLEX | FROM LINE 105 |
| **** SOLVER STATUS | 1 | Normal Completion |
| **** MODEL STATUS | 1 | Optimal |
| **** OBJECTIVE VALUE | | 4.0000 |
| RESOURCE USAGE, LIMIT | 0.033 | 1000.000 |
| ITERATION COUNT, LIMIT | 1 | 2000000000 |
| IBM ILOG CPLEX Dec 13, 2010 23.6.5 WEX 24181.24195 WEI x86_64/MS Windows | | |
| Cplex 12.2.0.2, GAMS Link 34 | | |
| GAMS/Cplex licensed for continuous and discrete problems. | | |
| MIP status(101): integer optimal solution | | |
| Fixed MIP status(1): optimal | | |
| Proven optimal solution. | | |
| MIP Solution: | 4.000000 | (1 iterations, 0 nodes) |
| Final Solve: | 4.000000 | (0 iterations) |
| Best objective: | 4.000000 | |
| Absolute gap: | 0.000000 | |
| Relative gap: | 0.000000 | |

De la figura #2 se puede apreciar que la mejor solución obtenida por el presente modelo de programación lineal entera es de 4, siendo este valor, la prioridad del modelo, entendida como una proporción de la importancia de los trabajos realizados.

| |
|---|
| 107 VARIABLE i.L variable que indica si la tarea esta o no atrasada |
| 2 1.000 |

---- 107 VARIABLE a.L Tiene valor 1 si la maquina i puede atender la solicitud j

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 2 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 3 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

Tabla. 2 valores de variables del modelo

En la presente tabla se presentan los valores que toman las variables con el valor de 1 siempre que cumpla la condición establecida

El modelo permite decidir de acuerdo con la solución obtenido bajo el servidor Neos Server, por tal razón, en la tabla anterior se permite atender a todas las máquinas con las solicitudes, lo cual da autonomía para la toma de decisiones de programación de las operaciones.

---- 107 VARIABLE x.L variable de decisión de atender una solicitud

| | 1 | 2 | 4 |
|-----|-------|-------|-------|
| 1.1 | 1.000 | | |
| 2.2 | | | 1.000 |
| 2.4 | 1.000 | | |
| 2.5 | | 1.000 | |
| 3.3 | 1.000 | | |

Tabla. 3 valores de variables del modelo

En la presente tabla se presentan los valores que toman las variables de decisión de atender una solicitud

ANÁLISIS EN TÉRMINO DE COSTOS:

Los costos que se buscan minimizar se asocian a los precios unitarios relacionados con las cantidades de obras, con este modelo se permite determinar que un trabajo se considera atrasado, que todos los trabajos sean asignados a los períodos de tiempo disponibles.

Para esto se determina que la capacidad en toneladas requerida para realizar una actividad de obra civil es dependiente de la asignación de maquinaria específica para un trabajo específico, solo si esta asignación es factible a criterio del jefe de operaciones de turno.

La máquina no pueda ser utilizada o asignada a un trabajo mientras este en proceso de ejecución de otro, cada trabajo que requiere la subcontratación de una máquina este debe usarla mínimo 8 horas, no se debe permitir que se realicen asignaciones de trabajo por fuera de la jornada laboral y se deben restringir o bloquear intervalos de tiempo o períodos de trabajo en los cuales, se pueden estar haciendo labores de mantenimiento, descansos del personal o alguna actividad específica no relacionada con la producción.

Se establece una estructura dividida en ítems que son establecidos para cumplir con las restricciones que muestra el modelo y establecer unos materiales mínimos/bases para llevar control de proyectos de obras civiles; ejemplos para actividades de levante, construcción de vigas y zapatas (siendo estas las actividades más frecuentes :

| ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS | | | | |
|--|-------|---------|-------------------|------------------|
| ITEM 2,01: Levante en ladrillo de 24x11,5x5,5 cms para muro lateral. | | | | |
| UNIDAD : M2 | | | | |
| Materiales | Un. | Cant. | Vr. Unitario | Vr. Parcial |
| Ladrillo | Unid | | | |
| Mortero pega 1:4 | m3 | 0,04 | 320.000 | \$ 12.800,00 |
| Desperdicio | 5% | | | \$ 640,00 |
| | | | Subt-otal | 13.871,72 |
| Mano de Obra | Rend. | Hombres | Jornal+Prest | Vr. Parcial |
| 1 Oficial | 15 | 1 | 74.605 | \$ 4.973,63 |
| 4 Ayudantes | 20 | 4 | 66.608 | \$ 13.321,54 |
| | | | Sub-tot | 18.181,43 |
| Equipo | Rend. | | Tarifa | Vr. Parcial |
| Herramientas menores | | 15 | 31.890 | \$ 2.126,00 |
| Andamios | 6 | 6 | 5.000 | \$ 5.000,00 |
| | | | Sub-tot | 7.126,00 |
| Transporte Unid | | Cant. | Tarifa | Vr. Parcial |
| Unidida de block | | 12,5 | 200 | \$ 2.500,00 |
| | | | Sub-tot | 2.500,00 |
| | | | TOTAL ITEM | 41.679,15 |

Figura. 3 costos para Levante

| ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS | | | | |
|--|-------|----------|-------------------|-------------------|
| ITEM 2,03: Viga de 20X30, en concreto 3.500 psi, armada en acero pdr-60, abajo con 2Ø 5/8+1Ø1/2" y arriba 3Ø 1/2", carguera, Estructural, a la cota de elevación de un metro (1 Mts); Viga soporte ladrillo. | | | | |
| UNIDAD : ML | | | | |
| Materiales | Un. | Cant. | Vr. Unitario | Vr. Parcial |
| Concreto 3500 psi | ml | 0,06 | 525.000 | \$ 31.500,00 |
| Acer refuerzo 1/2" | kg | 8,51 | 5.420 | \$ 46.124,20 |
| Estríbos 3/8" @0,20mts | kg | 3 | 5.420 | \$ 15.176,00 |
| Encofrado en madera | Pie | 4,03 | 4.500 | \$ 18.150,00 |
| Alambre quemao | Kg | 0,015 | 2.500 | \$ 36,25 |
| Desperdicios | 2% | | | \$ 2.219,73 |
| | | | Sub-tot | 113.206 |
| Mano de Obra | Rend. | Cantidad | | Vr. Parcial |
| 1 Oficial | 20 | 1 | 74.605 | \$ 3.730,23 |
| 3 Ayudantes | 25 | 3 | 66.608 | \$ 7.992,92 |
| | | | Sub-tot | 11.723,15 |
| Equipo y Herramientas | Rend. | Cantidad | Tarifa | Vr. Parcial |
| Herramientas menores | | 5% | 11.723 | \$ 586,16 |
| Vibrador | 45 | 1 | 40.000 | \$ 726,21 |
| andamios | 10 | 6 | 1.500 | \$ 900,00 |
| Mezcladora 15 HP | 0,25 | 1 | 9.000 | \$ 2.250,00 |
| | | | Sub-tot | 4.462,37 |
| | | | TOTAL ITEM | 129.391,69 |

Figura. 4 costos para construcción de vigas

| ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS | | | | |
|--|-------|----------|-------------------|-------------------|
| ITEM 2,05: Zapatas de 1.0MX1,0Mx0,35Mts, en concreto 3500 psi y reforzados de 4 Ø5/8", doble sentido, pdr-60 y estribos de Ø 5/8" @ 20 cms., incluye; Concreto Ciclopé e=0,20Mts, las excavaciones y relleno seleccionado. | | | | |
| UNIDAD : UNIDAD | | | | |
| Materiales | Un. | Cant. | Vr. Unitario | Vr. Parcial |
| Excavación en terreno semi húmedo h=1,0 mts | M3 | 1,44 | 35.000 | \$ 50.400,00 |
| Relleno seleccionado en zona semi húmedo h=0,35 mts | M3 | 0,50 | 71.200 | \$ 35.884,80 |
| Concreto Ciclopé en sitios húmedos | M3 | 0,29 | 246.000 | \$ 70.848,00 |
| Concreto 3500 psi | ml | 0,35 | 398.000 | \$ 139.300,00 |
| Acer refuerzo | kg | 19 | 5.420 | \$ 103.196,80 |
| Alambre quemao | Kg | 0,015 | 2.500 | \$ 36,25 |
| Formaleta | Pie | 2,29 | 4.500 | \$ 10.312,50 |
| Desperdicios | 2% | | | \$ 5.056,91 |
| | | | Sub-total | 415.035,26 |
| Mano de Obra | Rend. | Cantidad | Jornal +pres | Vr. Parcial |
| 1 Oficial | 6 | 1 | 74.605 | \$ 12.434,08 |
| 2Ayudantes | 6 | 2 | 66.608 | \$ 22.202,57 |
| | | | Sub-total | 34.636,65 |
| Equipo | Rend. | Cantidad | Tarifa | Vr. Parcial |
| Herramientas menores | | 1 | 24 | \$ 19,00 |
| Vibrador | 45 | 1 | 3.000 | \$ 66,67 |
| andamios | 10 | 6 | 1.500 | \$ 900,00 |
| Mezcladora 15 HP | 0,25 | 1 | 9.000 | \$ 2.250,00 |
| | | | Sub-total | 3.235,67 |
| | | | TOTAL ITEM | 452.907,58 |

Figura. 3, 4 y 5 correspondientes a plantilla diseñada para manejo de costos como resultado del análisis del modelo

Figura. 5 costos para construcción de zapatas

V. CONCLUSIONES

Las empresas que hacen parte del sector de las construcciones tienen un compromiso directo entre su planeación de actividades y costos para lograr un cumplimiento eficaz en sus tiempos y servicios prestados.

Finalmente, el modelo de optimización permite establecer las asignaciones de maquina a las solicitudes en el tiempo, donde se puede observar que las maquinas son usadas en su totalidad para cubrir 3 trabajos, en tiempos, generándose un balde de tiempo de un periodo de trabajo con un porcentaje de cumplimiento del 60% de las asignaciones, lo cual indica que para efectos prácticos se debería contemplar incluir al menos 1 máquinas más.

REFERENCIAS

- [1] “Nuevas mediciones del sector infraestructura,” 2021.
- [2] “BD Universidad del Sinú EBZ - OSCAR JAVIER TORRES YARZAGARAY.” .
- [3] A. P. Gil *et al.*, *Investigación del Sector de la Construcción de Edificaciones en Colombia*. 2016.
- [4] M. Norouzi, M. Cháfer, L. F. Cabeza, L. Jiménez, and D. Boer, “Circular economy in the building and construction sector: A scientific evolution analysis,” *J. Build. Eng.*, vol. 44, no. December 2020, 2021, doi: 10.1016/j.jobe.2021.102704.
- [5] C. Le *et al.*, “DOI: <http://dx.doi.org/10.22267/rtend.181902.98>,” pp. 74–92, 2018.
- [6] M. I. Stimolo and M. Díaz, “Comportamiento Asimétrico De Los

- Costos En Empresas Argentinas Listadas En El Mercado De Valores De Los Sectores Construcción, Comercio Y Servicios,” *Cuad. del CIMPAGE N°*, vol. 19, pp. 43–65, 2017.
- [7] C. Julián, A. William, and E. Fabián, “Evaluación de los costos de construcción de sistemas estructurales para viviendas de baja altura y de interés social,” *Ing. Investig. y Tecnol.*, vol. 16, no. 4, pp. 479–490, 2015, doi: 10.1016/j.rit.2015.09.001.
- [8] H. 2011. F. – faktor yang berhubungan dengan kejadian I. pada anak B. di wilayah P. B. K. B. T. 2011. T. P. P. U. Ibrahim, no. c, pp. 1–43, 2014.
- [9] M. D. L. Rojas, M. E. C. Valencia, and D. P. Cuartas, “Optimización racional de costos,” *Espacios*, vol. 38, no. 39, pp. 47–103, 2017.
- [10] M. Feitó Cespón, R. Cespón Castro, and M. A. Rubio Rodríguez, “Modelos de optimización para el diseño sostenible de cadenas de suministros de reciclaje de múltiples productos,” *Ingeniare. Rev. Chil. Ing.*, vol. 24, no. 1, pp. 135–148, 2016, doi: 10.4067/s0718-33052016000100013.
- [11] J. Cano Belman, “Modelos y Algoritmos de Secuenciación en Líneas de Ensamble de productos Mixtos,” p. 141, 2006, [Online]. Available: www.prothius.com/JIT/ThesisJCB-W.pdf.
- [12] E. M. Velásquez, “Estudio del modelo de gestión de inventarios basado en máximos y mínimos,” *Univ. Santiago Cali*, pp. 1–29, 2019.
- [13] D. Martín, “Determinantes de la insolvencia en el sector español de la construcción: un análisis logit,” pp. 1–56, 2014, [Online]. Available: <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/13207>.
- [14] J. M. Santos Preciado, “El planteamiento teórico multiobjetivo/multicriterio y su aplicación a la resolución de problemas medioambientales y territoriales, mediante los S.I.G. raster,” *Espac. Tiempo y Forma. Ser. VI, Geogr.*, no. 10, pp. 129–151, 1997, doi: 10.5944/etfv.10.1997.2547.
- [15] L. García Benedicto, “Desarrollo de un Modelo Multicriterio-Multiobjetivo de Oferta de Energías Renovables: Aplicación a la Comunidad de Madrid,” p. 450, 2004.