



Maestría en Desarrollo y Gerencia Integral de Proyectos.

**Desarrollo de una Guía Para Administrar Recursos en la Fase de
Construcción de Las Obras De Edificación De Vivienda en la Ciudad De
Bogotá.**

Fabián David Ávila Cortes

Yoad Ernesto Pérez Becerra

Wendy Fernanda González Leiva

Bogotá, D.C

09 de julio 2021

**Desarrollo de una Guía Para Administrar Recursos en la Fase de
Construcción de Las Obras De Edificación De Vivienda en la Ciudad De
Bogotá.**

Trabajo de grado para optar por el título de:

**Magister en Desarrollo y Gerencia Integral de Proyectos con énfasis en
gerencia de proyectos y estrategia, formulación y evaluación de proyectos**

**Ing. José Arturo Rodríguez.
Director trabajo de grado**

**Adm. Diana Carolina Cabra Ballesteros
Jurado**

**Ing. José Luis López Cano
Jurado**

Bogotá, D.C

09 de julio 2021

Nota de Aceptación

El trabajo de investigación de maestría titulado: “Desarrollo de una guía para administrar recursos en la fase de construcción de obras de edificación de vivienda en la ciudad de Bogotá”, presentado por Fabián David Ávila Cortes, Yoad Ernesto Pérez Becerra y Wendy Fernanda González Leiva, cumple con los requisitos establecidos por la Unidad de Proyecto de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito para optar al título como Magister en Desarrollo y Gerencia Integral de Proyectos con énfasis en gerencia de proyectos y estrategia, formulación y evaluación de proyectos.



Ing. José Arturo Rodríguez.
Director trabajo de grado



Ing. José Luis López Cano
Jurado



Adm. Diana Carolina Cabra Ballesteros
Jurado

Bogotá, D.C
09 de Julio de 2021

Tabla de contenido

Definiciones y acrónimos.....	9
Resumen.....	15
1. INTRODUCCIÓN.....	17
2. JUSTIFICACIÓN	17
2.1. Identificación Problema	20
2.1.2. Necesidad por Satisfacer	23
2.1.4. Problema por Resolver	25
2.1.5. Propósito del Proyecto y Objetivo Estratégico de la Organización al cual Contribuye.....	26
2.1.6. Pregunta de Investigación.....	27
3. OBJETIVOS.....	27
3.1. Objetivo General	27
3.2. Objetivos Específicos	27
4. DISEÑO METODOLÓGICO.....	27
4.1.1. Tipo de Investigación.....	27
4.1.2. Nivel de Investigación.....	28
5. MARCO TEÓRICO.....	33
5.1. Identificar Técnicas para Administrar Recursos en la Fase de Construcción en las Obras de Edificación	33
5.2. Diseño de <i>Layout</i>	35
5.2.1. Importancia Estratégica de las Decisiones de <i>Layout</i>	36
5.2.2. Tipos de <i>Layout</i>	37
5.2.2.1 <i>Layout</i> de Almacenes	38
5.2.2.2 <i>Layout</i> Orientado al Proceso.....	38
5.2.2.3 Distribución repetitiva y orientada al producto.	42
5.2.2.4 <i>Layout</i> de célula de trabajo.....	43
5.2.2.5 Distribuciones por proyecto o <i>Layout</i> de posición fija.	45
5.2.2.6 <i>Cross Docking</i>	48
5.3. Formatos Básicos de la Distribución para Construcción de Obras de Ingeniería.....	49
5.3.1. Taller de trabajo.....	49
5.3.2. Línea de Ensamble.	49
5.3.3. Planeación Sistemática de la Distribución.....	50
5.4. Definición de Inventario.	51
5.4.1. Tipos de Inventarios.....	51
5.4.1.1 Inventarios de Materias Primas	51

5.4.1.2	Inventario de Trabajo en Proceso (WIP)	51
5.4.1.3	MRO	52
5.4.1.4	Inventario de Productos Terminados	52
5.4.2	Administración de Inventarios	53
5.4.2.1	Análisis ABC	53
5.4.2.2	Modelos de Inventario.....	54
5.4.2.2.1	Modelo Básico de la Cantidad Económica a Ordenar (EOQ).....	54
5.4.2.2.2	Modelo de la Cantidad Económica a Producir.....	55
5.4.2.2.3	Modelos de Descuentos Por Cantidad.	56
5.4.2.3	Minimización de los Costos.....	57
5.4.2.4	Propósitos del Inventario en la Fase de Construcción de Proyectos de Vivienda.....	57
5.4.2.5	Costo del inventario en la fase de construcción de proyectos de vivienda.....	58
5.4.2.6	Costos de Mantener, Odenar y Preparar.	61
5.5	Programa Maestro de Producción.....	62
5.5.1	Planeación de Requerimientos de Materiales (MRP).....	63
5.5.2	Administración MRP.....	64
5.5.3	Tiempos de Entrega para Componentes.....	64
5.5.4	Producción Justo a Tiempo y Producción Esbelta.....	65
5.5.5	Técnica FEFO en los Sectores Productivos.	66
5.5.5.1	Requisitos Comunes del FEFO en los Sectores Productivos.....	67
5.5.5.2	Ventajas de la Técnica FEFO en la Construcción.	68
5.5.5.3	Desventajas de la Técnica FEFO en la Construcción.....	68
5.6	<i>Lean Manufacturing</i>	68
5.6.1.	Metodología de la “Cinco Eses” en el Sector de la Construcción.....	69
5.7	La Filosofía <i>Lean Construction (Lc)</i> O “Construcción sin Pérdidas”	70
5.8	Análisis Cuantitativo de la Investigación.	75
5.8.1.	Análisis del Pilotaje de la Encuesta.....	76
5.8.2.	Análisis de la Encuesta	77
5.8.3.	Resultado de la Encuesta	79
5.9	Cierre del Objetivo 1.....	83
6.	SELECCIONAR TÉCNICAS PARA ADMINISTRAR RECURSOS EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN QUE APLICAN PARA LAS OBRAS DE EDIFICACIÓN EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.	84
6.1.	Cierre del Objetivo 2.....	92
7.	CONSTRUIR LA GUÍA PARA LA ADMINISTRACIÓN DE RECURSOS EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DE EDIFICACIÓN DE VIVIENDA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C	93
7.1	Estructura de Desglose de Recursos en las Obras de Edificación.....	93

7.2 Programación <i>Last Planner</i> de los recursos en Obras de Edificación.....	95
7.3 Funciones del Inventario en las Obras de Edificación.....	96
7.4 Tipos de Inventario en las Obras de Edificación.....	97
7.4.1 Administración de Inventarios en las Obras de Edificación.....	98
7.4.2 Análisis ABC de Materiales para una Obra de Edificación.....	98
7.4.2.1 Representación Gráfica del Análisis ABC.....	99
7.4.3 Conteo Cíclico de los Materiales.....	100
7.4.4 Tiempos de Preparación en las Obras de Edificación.	101
7.4.5 Uso de la hoja de cálculo Excel para Resolver la Simulación de los Problemas de Inventario. 102	
7.4.6 <i>Layout</i>	107
7.4.7 <i>Layout</i> de Posición Fija o de Proyecto.....	110
7.5 Cierre del Objetivo Número 3.....	111
8 VERIFICAR LA GUÍA LA METODOLÓGICA CON EXPERTOS DEL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN.....	111
8.1 Modelo de <i>LAW SHE</i> para la Verificación Cuantitativa de la Validez del Contenido	116
8.1.1 Análisis Estadístico para la Validez de la Guía.....	118
8.1.2 Conclusiones y Recomendaciones para Futuras Obras de Edificación	119
Bibliografía	122
1. Anexos	127

Lista de Tablas

Tabla 1. Propósito del trabajo de grado	26
Tabla 2. Características de investigación.....	29
Tabla 3. Metodología general del proyecto de investigación	31
Tabla 4. Preparación y vaciado	35
Tabla 5. Calculo ABC para la separación de los artículos y priorizarlos	53
Tabla 6. Diferencias entre cantidad de pedido fija y periodo fijo.....	59
Tabla 7. Determinación de los costos de mantener el inventario.....	61
Tabla 8. Partidas para una obra de edificación	62
Tabla 9. Filosofía de la 5S	69
Tabla 10. Desperdicios en la construcción.....	70
Tabla 11. Estimado de desperdicio en obras de edificaciones.....	71
Tabla 12. Estimado de desperdicio en obras de edificaciones.....	72
Tabla 13. Estimado de desperdicio en obras de edificaciones.....	73
Tabla 14. Número de estudiantes de los programas de maestría y especialización de Ingeniería Civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito	78
Tabla 15. Plan de requerimientos de materiales MRP.....	79
Tabla 16. Layout orientado al proceso.....	81
Tabla 17. Distribuciones por proyecto o Layout de posición fija.....	82

Tabla 18. Escala fundamental AHP para definir las prácticas de administración	87
Tabla 19. Opciones establecidas versus los criterios establecidos.....	87
Tabla 20. Criterio reducción del costo	88
Tabla 21. Desperdicio de materiales	89
Tabla 22. Entrega justo a tiempo	89
Tabla 23. Demoras en el inventario	90
Tabla 24. Matriz de comparación por pares.....	90
Tabla 25. Resultado de la matriz opciones establecidas versus los criterios establecidos.....	91
Tabla 26. Análisis ABC de los materiales para una obra de edificación	98
Tabla 27. Conteo cíclico para determinar el número de artículos de cada clasificación que debe contarse cada día.....	100
Tabla 28. Análisis de EOQ y punto de reorden	103
Tabla 29. Análisis de los Resultados Análisis de EOQ y punto de reorden	103
Tabla 30. Regresión lineal para determinar costo de mantenimiento del fierro corrugado de 5/8	104
Tabla 31. Resultados de la simulación mediante de la hoja de cálculo Excel	106
Tabla 32. Costo total para el modelo básico de cantidad de orden fija del fierro corrugado de 5/8	106
Tabla 33. Cantidad de movimientos entre puntos de acopio a puntos de producción	108
Tabla 34. Asignación de valor	112
Tabla 35. Datos de los expertos	112
Tabla 36. Contenido de la guía para administrar recursos	118
Tabla 37. Nivel de importancia de las técnicas.....	119

Lista de Figuras

Figura 1. Identificación problema de la investigación.....	22
Figura 2. Método mixto para el análisis cuantitativo y cualitativo.....	28
Figura 3. Flujo de partes entre departamentos	41
Figura 4. Dimensiones de construcción y una distribución de departamentos posible	41
Figura 5. Células de trabajo en los sectores productivos	44
Figura 6. Distribución de un centro de trabajo en un proceso productivo.....	47
Figura 7. Matriz de rutas basada en el flujo de las piezas	47
Figura 8. Reasignación de las máquinas para formar celdas	48
Figura 9. Ciclo de flujo del material en un proceso productivo	52
Figura 10. Modelo básico de la cantidad económica a ordenar (EOQ).....	55
Figura 11. Costo total de preparar y mantener y ordenar inventarios.....	57
Figura 12. Matriz de diseño del sistema de control de inventarios.....	58
Figura 13. Sistemas de inventarios de cantidad de pedido fija y periodo fijo	60
Figura 14. Proceso de planeación en los sectores productivos	63
Figura 15. Estructura escalonada del producto	64
Figura 16. Costo total de ordenar y el costo total de mantenimiento a través de la distribución física para JIT.....	66
Figura 17. Proyecto edificación de viviendas	67
Figura 18. Modelo TFV	73

Figura 19. Comportamiento de las técnicas de administración de recursos en los últimos dos años	74
Figura 20. Técnicas estandarizadas para la distribución de los materiales en la fase de construcción	76
Figura 21. Contribución de las técnicas Layout para la administración de recursos en la fase de construcción	77
Figura 22. Percepción de la población plan de requerimientos de materiales MRP	80
Figura 23. Layout orientado al proceso	81
Figura 24. Layout de posición fija	82
Figura 25. Estructura jerárquica AHP	85
Figura 26. Estructura de desglose de recursos en una obra de construcción de vivienda	93
Figura 27. Cadena de suministro en las obras de edificación	94
Figura 28. Diagrama de flujo a través de la programación Last Planner de los recursos en obras de edificación	95
Figura 29. Ciclo de flujo del cemento para una obra de edificación.	97
Figura 30. Análisis ABC para materiales requeridos en una obra de edificación	99
Figura 31. Modelo cantidad de perdido económico y el modelo de la cantidad económica a producir	101
Figura 32. <i>Control y uso del inventario a través del tiempo del fierro corrugado de 5/8”</i>	103
Figura 33. <i>Línea de regresión de mínimos cuadrados</i>	105
Figura 34. <i>Costos de la cantidad a ordenar para el fierro corrugado de 5/8”</i>	106
Figura 35. <i>Layout orientado al proceso en actividades de construcción</i>	107
Figura 36. Layout orientado al proceso para una de obra de edificación	109
Figura 37 Layout de posición fija	110
Figura 38 <i>Calificación del contenido de la guía</i>	113
Figura 39 <i>Importancia de las técnicas en la guía</i>	114
Figura 40. <i>Nivel de madurez en la administración de recursos en las obras de edificación</i>	115

Definiciones y acrónimos.

Acrónimos y palabras claves	Descripción
5S: Una lista de verificación para la producción esbelta	Separar Simplificar Limpiar (<i>Shine</i>) Estandarizar (<i>Standardize</i>) Sostener. (Render, 2019)
AHP	Proceso analítico jerárquico (SCIELO, 2021)
Almacenamiento cruzado	Sistema para evitar que los materiales o suministros se coloquen en almacén al procesarlos conforme son recibidos para su embarque. (Render, 2019)
Análisis ABC	Un método para dividir el inventario disponible en tres clases según el volumen anual en dinero. (RENDER, 2014)
Balanceo de la línea de ensamble	Obtención de una salida (o producción) en cada estación de trabajo de la línea de producción de manera que se disminuyan al mínimo las demoras. (Heizer, 2019)
Barreras de tiempo	Una manera de permitir que un segmento del programa maestro se designe como “no debe ser reprogramado”. (Render, 2019)
Calidad / <i>Quality</i>	Grado en el que un conjunto de características inherentes satisface los requisitos. (PMBOK, 2017)
Cantidad de pedido periódica (POQ)	Una técnica para ordenar el inventario que emite pedidos en un intervalo de tiempo predeterminado, donde la cantidad a ordenar cubre el total de los requerimientos del intervalo. (Chase, 2019)
Caso de Negocio / Business Case	Estudio de viabilidad económica documentado utilizado para establecer la validez de los beneficios de un componente seleccionado que carece de una definición suficiente y que se usa como base para la autorización de otras actividades de dirección del proyecto.
Célula de trabajo	Un arreglo de máquinas y personas que se enfocan en la fabricación de un solo producto o de una familia de productos relacionados. (Jacobs, 2019)
Centro de trabajo enfocado	Un arreglo permanente o semipermanente de máquinas y personal orientado al producto. (Jacobs, 2019)
Codificación	Un número que identifica los artículos por el nivel más bajo en que pueden ocurrir. (Heizer, 2019)
Conteo cíclico	Una conciliación continua del inventario con los registros de inventario. (Heizer, 2019)
Costo de hacer pedidos	Costo del proceso de hacer el pedido. (Render, 2014)
Costo de mantener el inventario	Costo de guardar o llevar artículos en inventario. (Aquilano, 2019)

Acrónimos y palabras claves	Descripción
Costo de preparación	El costo de preparar una maquina o un proceso para realizar la producción. (Jacobs, 2019)
Cubos	Unidades de tiempo en un sistema de planeación de los requerimientos de materiales. (Jacobs, 2019)
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE,2021)
Decisión sobre el tamaño del lote	Es el proceso de, o las técnicas usadas para, determinar el tamaño de un lote. (Aquilano, 2019)
Descuento por cantidad	Un precio reducido de los artículos que se compran en grandes cantidades. (Heizer, 2019)
Distribución de almacenes	Un diseño que intenta disminuir al mínimo el costo total mediante un intercambio óptimo entre el espacio y el manejo de materiales. (Heizer, 2019)
Distribución de posición fija	Un sistema que aborda los requerimientos de distribución para proyectos estacionarios. (Aquilano, 2019)
Distribución orientada al proceso	Una distribución que trata con la producción de bajo volumen y alta variedad, donde se agrupan máquinas y equipos similares. (Aquilano, 2019)
Gestión	Un conjunto de acciones u operaciones relacionadas con la administración y dirección de una organización. (PMBOK, 2017)
Gestión de la Calidad del Proyecto	Incluye los procesos para incorporar la política de calidad de la organización en cuanto a la planificación, gestión y control de los requisitos de calidad del proyecto y el producto, a fin de satisfacer las expectativas de los interesados. (PMBOK, 2017)
Gestión de los Costos del Proyecto	Incluye los procesos involucrados en planificar, estimar, presupuestar, financiar, obtener financiamiento y controlar los costos de modo que se complete el proyecto dentro del presupuesto aprobado. (PMBOK, 2017)
Gestión de los Recursos del Proyecto	Proceso de planificar, programar y asignar previamente los recursos para maximizar su eficacia y una conclusión exitosa del proyecto(PMBOK, 2017)
Informe de carga	Un informe que muestra los requerimientos de recursos en un centro de trabajo para cumplir con todo el trabajo asignado a dicho centro; también muestra todas las órdenes planeadas y esperadas (Jacobs, 2019)
Infraestructura	Entre los ejemplos se incluyen instalaciones existentes, equipamiento, canales de telecomunicaciones de la organización, hardware informático, disponibilidad y capacidad. (PMBOK, 2017)
Inventario a consignación	Un arreglo donde el proveedor conserva la propiedad del inventario hasta que se usa. (Jacobs, 2019)

Acrónimos y palabras claves	Descripción
Inventario de bienes terminados	Artículos finales listos para venderse, pero que todavía son activos en los libros de la compañía. (Aquilano, 2019)
Inventario de materias primas:	Materiales que por lo regular se compran pero aún deben entrar al proceso de manufactura. (Aquilano, 2019)
Inventario de seguridad	Inventario adicional agregado para satisfacer una demanda dispareja; es un amortiguador. (Jacobs, 2019)
Inventario de trabajo en proceso (WIP)	Productos o componentes que ya no son materia prima pero todavía deben transformarse en productos terminados. (Jacobs, 2019)
Inventario justo a tiempo	Inventario mínimo necesario para que un sistema funcione a la perfección. (Solares, 2019)
Justo a tiempo (JIT)	Resolución continua y forzada de problemas mediante un enfoque en la reducción del tiempo de producción y del inventario. (Solares, 2019)
<i>Layout</i>	Distribución que procura minimizar el coste total tratando los equilibrios entre espacio y el manejo de los materiales. (Jacobs, 2019)
Liberación planeada de la orden	La fecha programada para liberar una orden. (Jacobs, 2019)
Línea de ensamble	Un enfoque donde se colocan las partes fabricadas juntas en una serie de estaciones de trabajo; se usa en los procesos repetitivos. (Aquilano, 2019)
Línea de fabricación	Una instalación orientada al producto, al paso de las máquinas, para la construcción de componentes. (Jacobs, 2019)
Lista estructurada de materiales (BOM)	Un listado de los componentes, su descripción, y la cantidad requerida de cada uno para hacer una unidad de un producto. (Jacobs, 2019)
Listas de planeación (o juegos)	Un agrupamiento de materiales creado con el fin de asignar un padre artificial a la lista estructurada de materiales; también se conocen como “ <i>pseudo</i> ” listas. (Solares, 2019)
Listas fantasma de materiales	Listas de materiales para componentes, por lo general ensambles, que existen sólo temporalmente; nunca están en inventario. (Solares, 2019)
Listas modulares	Listas estructuradas de materiales organizadas por subensambles principales o por alternativas de producto. (Jacobs, 2019)
Lote por lote	Una técnica para determinar el tamaño del lote, la cual genera justo lo que se requiere para cumplir con el plan. (Jacobs, 2019)
Lotes de trabajo	Grupos o lotes de partes que se procesan juntos. (Heizer, 2019)
Merma	Inventario de tiendas al menudeo por el que nadie se responsabiliza entre la recepción y la venta. (Heizer, 2019)

Acrónimos y palabras claves	Descripción
Modelo de inventarios de un solo periodo	Un sistema para ordenar artículos que tienen poco o ningún valor al final de un periodo de ventas (perecederos). (Heizer, 2019)
Modelo de la cantidad económica a ordenar (EOQ):	Una técnica para el control de inventarios que disminuye al mínimo los costos totales de ordenar y mantener el inventario. (Solares, 2019)
Modelo de la cantidad económica a producir	Una técnica para el lote económico a producir que se aplica a las órdenes de producción. (Solares, 2019)
Modelo probabilístico	Un modelo estadístico aplicable cuando se desconoce la demanda del producto o cualquier otra variable, pero ésta puede especificarse mediante una distribución de probabilidad. (Solares, 2019)
Monitorear	Los directores de proyecto supervisan y controlan el trabajo para la producción de los productos, servicios o resultados para los que se emprendió el proyecto. (PMBOK, 2017)
MRO	Materiales para mantenimiento, reparación y operaciones.
Nerviosismo del sistema	Cambios frecuentes en un sistema MRP. (Render, 2019)
Nivel de inventarios en un sistema de periodo fijo (P)	Se ordenan varias cantidades (Q1, Q2, Q3, etcétera) a intervalos regulares (P) con base en la cantidad necesaria para elevar el inventario hasta la cantidad meta (T). (Render, 2019)
Nivel de servicio	La probabilidad de que la demanda no sea mayor que el suministro durante el tiempo de entrega. Es el complemento de la probabilidad de un faltante. (Render, 2019)
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible, también conocidos por sus siglas ODS (ONU, 2021)
Plan de requerimientos brutos de materiales	Un programa que muestra la demanda total de un artículo (antes de restar el inventario actual y las entregas programadas), así como (1) cuándo debe ordenarse a los proveedores o (2) cuándo debe iniciar la producción para satisfacer su demanda en una fecha particular. (Solares, 2019)
Plan de requerimientos netos	El resultado de ajustar los requerimientos brutos al inventario disponible y a las recepciones programadas. (Solares, 2019)
Planeación de la distribución de los recursos (DRP)	Plan de reabastecimiento escalonado del inventario para todos los niveles de una red de distribución. (Solares, 2019)

Acrónimos y palabras claves	Descripción
Planeación de los recursos de la empresa (ERP)	Un sistema de información utilizado para planear e identificar los grandes recursos empresariales necesarios para tomar, procesar, embarcar y contabilizar las órdenes del cliente. (Murrieta, 2019)
Planeación de los requerimientos de materiales (MRP):	Una técnica de demanda dependiente que usa una lista estructurada de materiales, inventario, facturación esperada y un programa de producción maestro para determinar los requerimientos de materiales. (Murrieta, 2019)
Planeación de los requerimientos de materiales II (MRP II)	Un sistema que permite, con una MRP en funciones, aumentar los datos del inventario con otras variables de recursos; en este caso, la MRP se convierte en planeación de los recursos de materiales. (Murrieta, 2019)
Planificación	Los directores de proyecto elaboran progresivamente información a alto nivel en planes detallados a lo largo del ciclo de vida del proyecto. (PMBOK, 2017)
Programa de producción maestro (MPS)	Una tabla de tiempo que especifica qué debe hacerse (por lo general, bienes terminados) y cuándo hacerlo. (Heizer, 2019)
Proyectos	Un proyecto es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único. (Render, 2019)
Punto de reorden (ROP)	Nivel (punto) de inventario en el cual se emprenden acciones para reabastecer el artículo almacenado. (Render, 2019)
Rastreo inverso	En los sistemas de planeación de los requerimientos de materiales, es el seguimiento hacia arriba que se le da al artículo padre en la lista estructurada de materiales del componente. (Render, 2019)
Recepción planeada de la orden	La cantidad que se planea recibir en una fecha futura. (Render, 2019)
Robo	Hurto en pequeñas cantidades.
Robusto	Modelo que proporciona respuestas satisfactorias incluso con variaciones sustanciales en sus parámetros. (Heizer, 2019)
Seis desperdicios	Producción excesiva, filas, transporte, Inventario en movimiento, procesamiento excesivo, producto defectuoso. (Heizer, 2019)

Acrónimos y palabras claves	Descripción
Sistema de cantidad fija (Q)	Un sistema de órdenes en el que cada vez se ordena la misma cantidad. (Heizer, 2019)
Sistema de inventario perpetuo	Un sistema que da seguimiento continuo a cada salida o entrada del inventario, de manera que los registros siempre están actualizados. (Liker, 2017)
Sistema de jalar	Un concepto que da como resultado la producción de material sólo cuando se solicita, y se lleva al punto donde se necesita justo como se necesita.(Murrieta, 2019)
Sistema de periodo fijo (P)	Un sistema en el que las órdenes de inventario se realizan a intervalos regulares. (Murrieta, 2019)
Sistema de producción Toyota (TPS)	Enfoque en la mejora continua, el respeto por las personas y las prácticas de trabajo estándar. (Liker, 2017)
Sistema MRP de ciclo cerrado	Un sistema que proporciona retroalimentación al plan de la capacidad, al programa de producción maestro, y al plan de producción a fin de mantener todo el tiempo la validez del plan. (Drucker, 2019)
Tiempo de entrega	En los sistemas de compras, es el tiempo que transcurre entre hacer el pedido y recibir una orden; en los sistemas de producción, es el tiempo de espera, movimiento, cola, preparación y corrida para cada componente que se produce. (Solares, 2019)
Tiempo de preparación:	Tiempo necesario para preparar una máquina o un proceso a fin de efectuar la producción. (Heizer, 2019)
Tiempo de producción	La velocidad con la que las unidades se mueven a través de un proceso de producción. (Heizer, 2019)
Tiempo del ciclo	Tiempo máximo permitido para que un producto esté en cada estación de trabajo. (Solares, 2019)
Tiempo del ciclo de manufactura	El tiempo que transcurre entre la llegada de la materia prima y el embarque de los productos terminados. (Solares, 2019)
Tiempo <i>takt</i>	Paso de la producción necesario para satisfacer las demandas del cliente.(Murrieta, 2019)
Variabilidad	Cualquier desviación del proceso óptimo que entrega un producto perfecto a tiempo, todas las veces. (Render, 2019)

Fuente: Autores, 2021.

Resumen

La presente investigación tuvo como propósito el desarrollo de una guía para la administración de recursos en la fase de construcción en las obras de edificación en la ciudad de Bogotá D.C. Se tuvo en cuenta el diagnóstico que arrojó la identificación del problema, donde se ilustra un inadecuado manejo del plan de requerimientos de materiales, deficiente control en los inventarios e inconsistencias en el diseño, lo que genera retrasos en las partidas y procesos en las edificaciones, y una inadecuada distribución de las células de trabajo o desconocimiento de la programación del proyecto. Lo mismo ocurre con la inestabilidad del diseño, con un *Layout* ineficiente, que ocasiona un bajo desempeño en la administración de los recursos, materiales y equipos en la etapa de construcción de las obras de edificación.

Una vez identificado el problema, se procedió al desarrollo del objetivo número 1, que se basó en la identificación de las técnicas utilizadas en los sectores productivos para administrar recursos. Se hizo necesario revisar la literatura de diferentes autores que han aportado conocimiento a nivel académico y práctico en las compañías de los sectores productivos a nivel internacional. Las técnicas que se identificaron están relacionadas con los diferentes tipos de *Layout*, administración de inventarios y plan de requerimientos de materiales. Con relación a lo anterior, y como soporte nacional, se aplicó una encuesta a 31 profesionales de ingeniería civil con amplia experiencia en dirección de obras de edificación. Se realizó un análisis cuantitativo y se determinó como se encuentra el sector de la construcción en la administración de los recursos utilizados para el desarrollo de los proyectos en Colombia.

Luego de realizar el análisis estadístico, se procedió con el desarrollo del objetivo número 2, relacionado con la selección de las técnicas para administrar los recursos en los sectores productivos, que aplican para la fase de construcción en las obras de edificación de viviendas. Para esto se utilizó el método AHP o análisis multicriterio. Se asumieron las diferentes técnicas identificadas en el objetivo número 1, así como los criterios registrados en el problema, referentes a la reducción del costo, desperdicio de materiales, entrega justo a tiempo y deficiente control en los inventarios. El propósito del análisis multicriterio es encontrar un vector con mayor puntaje de acuerdo con la normalización de cada uno de los criterios. Una vez seleccionadas las técnicas se continuó con el desarrollo del objetivo número 3, basado en la construcción de la guía para la administración de recursos en la fase de construcción de las obras de edificación de vivienda en la ciudad de Bogotá D.C., para esto se tuvo en cuenta la estructura de desglose de recursos, la cadena de suministro, programación *Last Planner* de los recursos, todo esto en obras de edificación y, en ese orden ideas, se incluyeron las técnicas seleccionadas en el objetivo número 2,

relacionadas con la administración de inventarios, plan de requerimientos de materiales y los diferentes tipos de *Layout*, posteriormente se realizó la verificación con expertos del sector.

En definitiva, se obtuvo una guía verificada mediante el modelo de *Lawshe*, se determinó la validez del contenido con expertos principalmente por gerentes de proyectos, directores de obra y de operaciones, con experiencia y conocimiento en las técnicas de *Layout* por posición fija, *Layout* orientada al proceso, administración de inventarios y planeación de requerimientos de materiales en compañías dedicadas a proyectos de edificación.

Palabras claves:

Gerencia de proyectos de edificación, Administración de Recursos, Administración de Inventario, Plan de Requerimientos de Materiales, Layout por Posición Fija y Layout orientada al Proceso y obras de edificación.

1. INTRODUCCIÓN

En toda obra de construcción, sin importar el alcance, la programación de recursos en la fase de construcción puede ser el éxito si se administra de manera eficiente, “una programación efectiva permite que las compañías usen sus activos de manera más eficiente y generen mayor capacidad por unidad monetaria invertida, con lo cual bajan los costos” (Heizer, 2019, pág. 560).

Se considera un proyecto exitoso cuando en la fase de ejecución se utilizan las técnicas, prácticas, herramientas y métodos de trabajo apropiados para la administración de recursos. Actualmente uno de cada cinco proyectos de vivienda de interés social presenta incrementos en un 50% en la ejecución, esto se genera porque en la fase de planeación no se “incluye el establecimiento de las metas, la definición del proyecto y la organización del equipo” (Heizer, 2019, pág. 59). La práctica ha demostrado que para optimizar los recursos en la construcción es necesario disponer de una programación del *Layout* eficiente y evitar retrasos en el cronograma, desviaciones en el presupuesto, incumplimiento en las entregas y pésima calidad en el producto.

Se entiende por administración de operaciones y suministros “elemento medular para el incremento de la productividad que han registrado empresas de todo el mundo. Para crear una ventaja competitiva con las operaciones es preciso comprender cómo la función de operaciones y suministro contribuyen a incrementar la productividad en los proyectos” (Aquilano N. , 2019). Sumado a lo anterior, junto con la administración de materiales y equipos de proyectos que constituyen uno de los recursos más importantes en los procesos constructivos, surgió la necesidad de desarrollar una guía para la administración de los recursos en la fase de construcción de obras de edificación en la ciudad de Bogotá D.C., que permita controlar el flujo de los materiales y equipos de proyectos dentro de las obras, de esta manera se logra optimizar los recursos en las partidas y procesos que integran la construcción de las viviendas a través de técnicas de distribución de *Layout*, administración de inventarios y la programación de los requerimientos de los materiales.

2. JUSTIFICACIÓN

Para empezar, se habla de la administración de recursos a nivel nacional e internacional, implementadas por expertos en la programación *Layout* para la optimización de los recursos en la fase de ejecución de proyectos de ingeniería. Seguidamente, se habla de tres grandes proyectos de ingeniería en Colombia que

han fracasado en la fase de ejecución y, para finalizar, se plantea una metodología de investigación como posible solución.

Actualmente, la administración de recursos en materiales y equipos de proyecto es uno de los pilares fundamentales en las obras de ingeniería en los sectores productivos del mundo, empresas multinacionales como *ACS*, *VINCI*, *POWERCHINA Y BOUYGUEZ* han construido los grandes proyectos de ingeniería a nivel mundial. Uno de los factores del éxito de estas compañías ha sido la planeación efectiva de los recursos a utilizar en la fase de construcción de las obras y se mantienen no solo con un músculo financiero competitivo, sino que han fortalecido la responsabilidad social y ambiental con los interesados. “De aquí proviene la más evidente responsabilidad de la ingeniería, que por simple sentido común exige no emprender ningún proyecto que cause daño injustificado en la naturaleza y la sociedad” (Rezéndiz, 2016, pág. 161)

Por otra parte, en Colombia, en los últimos 8 años se han presentado una serie de problemas con los proyectos de ingeniería, algunos construidos con recursos públicos y otros de origen privado. El primer caso de los proyectos que han generado crítica en el contexto nacional ha sido el puente Chirajara en el kilómetro 58 del municipio Guayabetal, vía Villavicencio; ésta es una de las obras de ingeniería de detalle que la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), responsable del proyecto en el aspecto técnico y financiero, le mostraba al país especialmente al gremio de la construcción y al sector educativo. Otro caso emblemático, es el desplome del edificio *SPACE*, en el barrio El Poblado, en el suroccidente de Medellín; y, por último, Hidroituango, un proyecto de ingeniería, el más grande de Colombia, que seleccionó para su desarrollo, a los profesionales con los conocimientos técnicos más avanzados en ingeniería de detalle. “Es el proyecto de generación de energía más grande que se está construyendo en Colombia. Generará 2400 MW de energía con ocho unidades de generación (turbinas tipo Francis)” (EPM, 2020). Se presume, que la causa de los inconvenientes presentados en dichos proyectos sea la planeación inadecuada de los recursos.

El colapso de las obras, en los sectores productivos colombianos, emite un mensaje a los profesionales de ingeniería que cumplen el rol de gerentes de proyectos.

No obstante, algunos expertos manifiestan que el éxito de las obras está en la planeación, otros expresan que es en la ejecución y hay quienes afirman que es el seguimiento y control de estas.

Por lo anteriormente expuesto, la propuesta de investigación para optar el título de Magister en Desarrollo y Gerencia Integral de Proyectos, se relaciona con una guía para la administración de recursos

en la etapa de ejecución de obras de edificación de vivienda en la ciudad de Bogotá, esta iniciativa surgió de la necesidad de mejora del desempeño de las obras en la programación del *Layout* para la distribución de los materiales y equipos “Los proyectos de vivienda y construcción son los que tienen mayor dificultad para ser ejecutados. Principal conclusión a la que llegó el Departamento Nacional de Planeación (DNP) al revisar este tipo de proyectos” (Vega, 2017). Si bien, el sector de la construcción ha sido un impulsor de la economía del país, expertos reconocen que han tenido fallas en la ejecución de los proyectos, debido a que en la fase de planeación no se incluyen las mejores prácticas del *Layout* para el control de los materiales y equipos. “De acuerdo con el informe presentado por el Departamento Nacional de Planeación son 382 proyectos de este tipo los que se encuentran en estado crítico. La inversión para estas obras asciende a un monto de \$3,3 billones y entre los problemas que enfrentan están riesgos en temas de sostenibilidad, retrasos en los cronogramas o dificultades técnicas en su avance” (Vega, 2017).

Como se mencionó al principio, en la guía para administrar recursos en la fase de construcción de las obras de edificación, se identificaron las mejores técnicas, prácticas y herramientas actuales para la administración de recursos a nivel nacional e internacional, implementadas por expertos en la programación *Layout* para optimizarlos en la fase de ejecución de proyectos de ingeniería relacionada con la construcción de viviendas. Construir la guía, apostó en un valor agregado a las operaciones que se desarrollan diariamente en las obras de ingeniería; esta asumió un rol importante y se verificó con expertos del sector de la construcción. Posteriormente se validó para que las empresas que se dedican a las obras de edificación la pongan en práctica en futuros proyectos, así mejorar el desempeño en la programación del *Layout*, administración de inventarios y plan de requerimiento de materiales y, de esta manera, evitar dilataciones en los procesos. “Se explica por tres factores que limitan la capacidad del sector de generar valor agregado: un menor volumen de actividad constructiva, un menor ritmo en la ejecución de los proyectos y una menor participación de segmentos de actividad no residencial y vivienda no social, en los cuales se concentra la mayor generación de valor agregado del sector” (Forero, 2019).

De manera que el desarrollo de la guía para la administración de recursos implicó un análisis de los problemas relacionados con el manejo del plan de requerimientos de materiales, diseño, programación del proyecto y distribución de células de trabajo, lo cual genera retrasos en los procesos y *Layout* ineficientes en la construcción de las obras. Las consecuencias se ven reflejadas en el bajo desempeño de la administración de materiales y equipos en la fase de construcción de proyectos de vivienda. Galindo (2020) investigador de la Universidad Javeriana afirma la siguiente.

Actualmente, siete de cada nueve proyectos presentan incrementos desde un 5% a un 28% en el tiempo y en 3% al 28% en la línea base del costo, lo que ocasiona pérdida de clientes, mermas financieras, sobrecostos en los procesos y baja calidad del producto (pág. 10).

“Con la ejecución de los programas de vivienda y el desarrollo de los proyectos se logra mantener estables los niveles de actividad constructiva y por ende una buena parte de la ocupación del país” (Forero, 2016). Como una oportunidad de mejora, frente a procesos de seguimiento y control en la etapa de ejecución, los proyectos de vivienda presentan reprocesos y retrocesos, “Una programación efectiva permite que las compañías usen sus activos de manera más eficiente y generen mayor capacidad por unidad monetaria invertida, con lo cual bajan los costos” (Heizer, 2019, pág. 560). Hoy por hoy las empresas que se dedican a la construcción de vivienda, presentan graves problemas en la administración de los activos por la ausencia de recursos. Generalmente, este tipo de proyectos ha impulsado la economía del país.

2.1. Identificación Problema

Actualmente el sector de la construcción en Colombia se encuentra en constante crecimiento, principalmente el de las obras de edificación, de acuerdo con lo manifestado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) relacionado con la información IV trimestre 2020.

El total del área censada en las 20 áreas de cobertura para el cuarto trimestre de 2020 fue 38.237.700 m². De este total, 3.865.983 m² corresponde al área culminada, 23.906.252 m² al área en proceso y 10.465.465 m² al área que se encontró paralizada. Del área en proceso, 3.313.120 m² son obras nuevas, 19.708.594 m² obras que continúan en proceso y 884.538 m² a obras que reiniciaron su proceso constructivo. (DANE, 2021)

Suministradas las proyecciones de la Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL), donde se evidenció que para el año 2020 las constructoras en Colombia alcanzaron ventas por las 132.854 unidades, lo que representó 8% de aumento frente al año anterior. A pesar del crecimiento del sector de la construcción en Colombia, se identificó un problema relacionado con el desempeño en la administración de recursos de materiales y equipos en la etapa de construcción de las obras de edificación en la ciudad de Bogotá; esto se ocasiona por un inadecuado plan de requerimientos de materiales, incorrecta distribución de células de trabajo, deficiente control en el inventario, inadecuada distribución de equipos y maquinaria. Por otro lado, el desconocimiento de la programación del proyecto genera desperdicio en material en las obras de edificación. Por ejemplo, resto de mortero, ladrillo, madera, limpieza y retirada del material en un 5%.

Adicionalmente, en las especificaciones adicionales del mortero se encontró que en las partidas de tarrajes de techos, contrapisos, tarrajes de paredes internas y externas también se presentan desperdicios del 5%. Además, se localizó desperdicios en las obras de edificaciones, en la partida de dosificaciones no optimizadas concernientes con el concreto, mortero de tarrajeo de techos, mortero de tarrajeo de paredes, mortero de contrapisos y mortero de revestimiento lo que representa un desperdicio del 2% en la construcción.

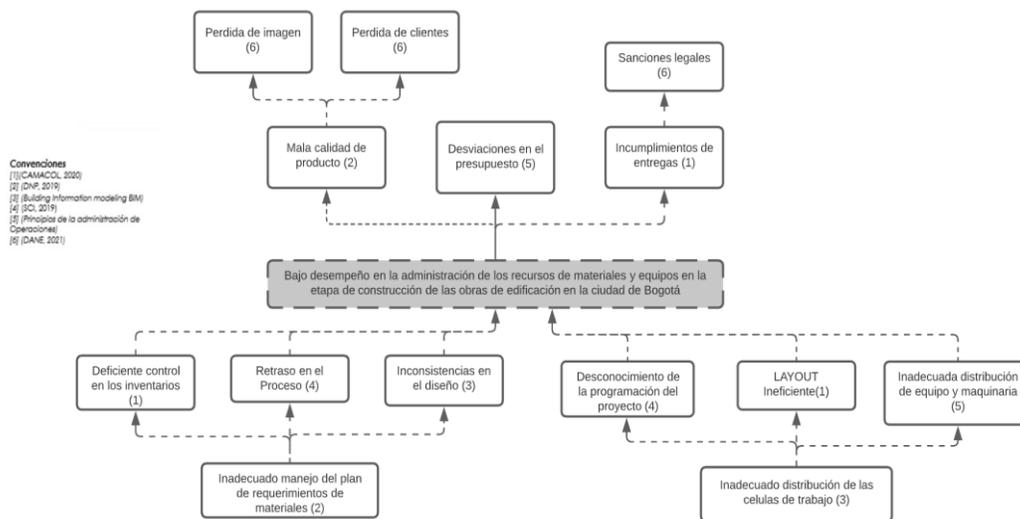
“La Sociedad Colombiana de Ingenieros (SCI) expuso su preocupación y entregó un análisis de las posibles causas que generan problemas estructurales en edificios a nivel nacional” (Ingenieros, 2019) afirmó que los retrasos en los procesos de las obras de edificación y los *Layout* ineficientes son las causas principales que actualmente presentan un bajo desempeño en la administración de recursos de materiales y equipos en la etapa de construcción de las obras de edificación, este problema ha ocasionado que empresas constructoras entreguen proyectos con mala calidad en el producto y que se pierda la imagen y clientes.

German Pardo miembro de la Sociedad Colombiana de Ingenieros (SCI) aseguró que con las normas actuales que rigen al sector de la construcción, los promotores de los proyectos escogen al diseñador, al revisor independiente, a la curaduría urbana, al constructor, al supervisor técnico independiente, al comprador e incluso la forma de otorgar las garantías (bancarias, pólizas, fiducias). Lo que en la práctica según los ingenieros da libertad al promotor de buscar “ahorros” incluso en los honorarios de quienes controlan la calidad de sus diseños, materiales y equipos para el desarrollo de las construcciones, como son el revisor y el supervisor. Afecta rotundamente el propósito de la norma, mediante la cual el Estado pretende delegar el control independiente, pero en forma ineficaz, sin que pueda eximirse de su responsabilidad. (Ingenieros, 2019)

El Departamento Nacional de Planeación (DNP), en un informe presentado para el año 2017, argumentó que 382 proyectos de vivienda se encuentran en estado crítico, en la fase de construcción y han ocasionado, a la gerencia estratégica de las compañías constructoras, problemas relacionados con riesgos de sostenibilidad. Una de las causas que tienen en riesgo dichos proyectos está relacionado con el inadecuado diseño del *Layout* y el control de los materiales en el inventario, esto genera que los directores de obra o gerentes de proyectos busquen construir estructuras más baratas con menos refuerzo, debido a las llamadas hiperoptimizaciones, que no son otra cosa, según los ingenieros, que bajar los factores de seguridad de las estructuras y no cumplir con las normas establecidas para los tipos de materiales, insumos y materias primas requeridas para la producción de las partidas en las obras de edificación.

Actualmente, los proyectos de vivienda y construcción tienen mayor dificultad para ser ejecutados. Principal conclusión a la que llegó el Departamento Nacional de Planeación (DNP) al revisar este tipo de proyectos”. (Vega, 2017) El sector de la construcción es uno de los impulsores de la economía del país; expertos reconocen que han tenido fallas en la ejecución de los proyectos debido a que en la fase de planeación no se incluyen las mejores técnicas del *Layout*, administración de inventarios y el plan de requerimientos de materiales para el control y la producción de las partidas en las obras de edificación. En la **Figura 1**. Identificación problema de la investigación, se ilustra el comportamiento de la identificación del problema que presenta el sector de la construcción en Colombia, principalmente en las obras de edificación.

Figura 1. Identificación problema de la investigación



Fuente: Construcción de autor, 2021

Nota. La metodología que se empleó para la identificación del problema se basó en la guía práctica para el análisis empresarial del *Project Management Institute* (PMI), para esto se realizó una evaluación de necesidades del sector de la construcción, principalmente en las obras de edificación. Lo cual arrojó el bajo desempeño en la administración de recursos de materiales y equipos en la etapa de construcción de las obras de edificación en la ciudad de Bogotá. Se hizo hincapié en cada una de las causas para obtener información y descubrir los datos necesarios para identificar completamente el problema u oportunidad de

mejoramiento, como se ilustra en la figura 1, y así lograr comprender el entorno actual del sector de la construcción y analizar la información descubierta para dar paso al desarrollo de una guía para la administración de recursos en la fase de construcción de las obras de edificación de vivienda en la ciudad de Bogotá D.C., la numeración señalada en cada de las causas y los efectos es concerniente con las convenciones donde se encontró la información para identificar el problema.

2.1.1. Oportunidad por Aprovechar.

De acuerdo con el problema identificado en el bajo desempeño con la administración de recursos de materiales y equipos en la etapa de construcción de las obras de edificación en la ciudad de Bogotá, se dio la oportunidad de aprovechar y desarrollar una guía para administrar recursos en la fase de construcción de las obras de edificación de vivienda en la ciudad de Bogotá. Se tuvo en cuenta que el crecimiento del sector de la construcción está en constante crecimiento, de acuerdo con lo manifestado por Sandra Forero presidente de la Cámara Colombiana de la Construcción. (CAMACOL)

En materia de proyectos con oferta disponible, la vivienda social es el eje central del mercado. 75 de cada 100 viviendas nuevas que se lanzan al mercado corresponde a Vivienda de Interés Social, una tendencia que va al alza y que demuestra el éxito del programa Mi Casa Ya, y que sumado a los instrumentos que permiten la generación de nueva oferta, se debe preservar y fortalecer cada vez más. (Camacol, 2021)

Si bien el sector de la construcción lidera la reactivación social y económica del país, existen oportunidades de mejora en la etapa de construcción de las obras de edificación, principalmente en la distribución y programación de *Layout*, administración de inventarios y plan de requerimientos de materiales. Si la alta dirección de las empresas constructoras, aplican la guía, logran mejorar procesos y reducir en grandes cantidades el desperdicio de materiales en procesos relacionados con los espesores adicionales de mortero, dosificaciones no optimizadas, reparaciones y retrabajos no computados en el resto de materiales y pérdida de productividad debido a problemas de calidad. En la actualidad el sector de la construcción reporta pérdidas en un 5% relacionadas con restos de materiales como mortero, ladrillo, madera, y limpieza o retirada del material. Otros procesos donde también se presentan desperdicios en las obras de edificación y con la implementación de la guía se pueden reducir es en contrapisos y terrajeos de techos paredes internas y externas.

2.1.2. Necesidad por Satisfacer

Colombia sigue los lineamientos de la Organización de las Naciones Unidas ONU, mediante los Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS, donde se establecieron programas estratégicos liderados por el Departamento Nacional de Planeación DNP, basados en la industria, ambiente, sociedad, equidad, paz y educación como unos de los pilares fundamentales bajo los cuales se debe regir el crecimiento del país. La presente investigación que se basó en el desarrollo de una guía para la administración de recursos en la fase de construcción de las obras de edificación hace parte de la solución del problema que actualmente presentan las empresas del sector de la construcción, relacionado con el bajo desempeño en la administración de recursos de materiales y equipos de proyecto en las obras de edificación en la ciudad de Bogotá D.C. Es entonces, que se encaminó en el desarrollo de una guía que permita aplicar conceptos y técnicas fundamentadas en la administración de los recursos en los sectores productivos, lo que genera oportunidades de mejora basadas en lineamientos del ODS9 que señala lo siguiente:

En especial, los países menos desarrollados necesitan acelerar el desarrollo de sus sectores manufactureros si desean conseguir la meta de 2030 y aumentar la inversión en investigación e innovación científicas. (ODS, 2021)

En pro de aportar al desarrollo del país, se consideran los avances de los sectores productivos principalmente al constante crecimiento del sector de la construcción en Colombia, como se menciono anteriormente las ventas han sido considerables en 32.854 unidades lo que representó 8% de crecimiento frente al año anterior, el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio ha fortalecido la política de vivienda a nivel nacional y realiza convenios con las empresas del sector de la construcción para cubrir el déficit que actualmente presenta el país, se tiene en cuenta lo afirmado por Anderson Urrego Jiménez. (2020)

Cerca de 18,2 millones de colombianos viven en estado de déficit habitacional (con carencias relacionadas con una óptima y digna calidad residencial), lo que equivale al 36,59% del total de la población actual, según el Censo de Población y Vivienda realizado por el DNP, el DANE y la ONU (pág. 1).

Además, el fortalecimiento en la administración de recursos de los procesos en la fase de construcción de las obras de edificación se realizó con el propósito de dar conocer las técnicas para administrar recursos en los sectores productivos y aplicarlas mediante una guía en el sector de la construcción, con el fin de aportar en el mejoramiento continuo, de esta manera lograr calidad en el producto, control en el presupuesto y cumplimiento en las entregas.

En conclusión, se creó un medio que permite a los gerentes de los proyectos, directores de obra y de operaciones de las compañías constructoras, establecer una administración integral de los recursos en la fase de construcción de las obras de edificación. Implica un mejoramiento continuo mediante las técnicas de administración de inventarios, plan de requerimientos de materiales y *Layout* por posición fija, *Layout* orientada al proceso, a fin de facilitar la producción de las partidas que integran la construcción de las edificaciones y evitar causas que generan retrasos en los procesos y *Layout* ineficientes.

2.1.3. Requisito por Cumplir

En el sector de la construcción, principalmente en las obras de edificación, se cumplen una serie de requisitos técnicos exigidos por la normatividad vigente para la construcción de proyectos de edificación y habilitación urbana. Actualmente, las compañías constructoras en la fase de construcción eluden requisitos y lineamientos para la administración de los recursos, lo cual genera pérdidas en los materiales requeridos para la producción de las partidas, al interior de las obras. Esto implica que las compañías le apuesten a un mejoramiento continuo en cada una de las partidas que integran los procesos de construcción mediante técnicas de administración de inventarios, plan de requerimientos de materiales, *Layout* por posición fija y *Layout* orientada al proceso, a fin de facilitar la utilización de los recursos para la producción de las partidas que integran la construcción de las edificaciones y evitar retrasos en los procesos y *Layout* ineficientes.

2.1.4. Problema por Resolver

En Colombia el sector de la construcción registra un crecimiento anual del 8% de acuerdo con lo afirmado por Sandra Forero, presidente de CAMACOL, a pesar del constante crecimiento se detectan proyectos que presentan problemas por resolver, estos se presentan en la administración de los recursos principalmente en la fase de ejecución. La creación de la guía para administrar recursos hace parte de la solución del problema identificado en las obras de edificación relacionado con el bajo desempeño en la administración de recursos, materiales y equipos de proyecto en la fase de construcción en las obras de edificación en la ciudad de Bogotá.

Thomas (2019) presidente y director ejecutivo de *Project Cost Solutions*, con más de 20 años de experiencia práctica en procesos operativos, afirma que los proyectos de construcción fracasan debido a fallas en la comunicación y la incapacidad de abordar los problemas subyacentes en la

administración de recursos, estas razones fundamentales del fracaso se pueden atribuir a algunos factores claves en la gestión de los proyectos de construcción.

2.1.5. Propósito del Proyecto y Objetivo Estratégico de la Organización al cual Contribuye

El propósito del proyecto de investigación a través del desarrollo de la guía para administrar recursos en fase de construcción de las obras de edificación es fortalecer las compañías del sector de la construcción en la administración de los materiales insumos y materias primas que son requeridos en las estaciones de trabajo para el desarrollo de los proyectos de edificación de vivienda, en la Tabla 1. Propósito del trabajo de grado, **Tabla 1.** Propósito del trabajo de grado se ilustra el propósito del proyecto, frente a los objetivos estratégicos de las organizaciones al cual contribuyen.

Tabla 1. Propósito del trabajo de grado

Objetivos Organizacionales	Objetivos Estratégicos	Contribución del Proyecto
	<p>OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE Objetivo 9: Fomentar la inversión en empresas del sector de la infraestructura y la innovación son motores fundamentales del crecimiento y el desarrollo económico.</p>	<p>Contribuye al crecimiento económico permitiendo a las empresas del sector de la construcción validar su estado actual y profundizar en mejores técnicas y procesos.</p>
	<p>Asegurar la disponibilidad y el uso racional de los recursos, para garantizar la continuidad de la operación y la generación de proyectos y actividades estratégicas que impacten los objetivos que orienten la gestión.</p>	<p>Contribuye con el gremio de la construcción, para que las empresas apliquen las mejores técnicas de programación del <i>Layout</i>, Administración de Inventarios, Plan de Requerimientos de Materiales y así lograr optimizar los tiempos, costos en la distribución de los recursos.</p>
	<p>Contribuir de manera significativa a la investigación y profundización dentro de la formación de profesionales en las áreas de desarrollo y gerencia de proyectos, con altos niveles de calidad.</p>	<p>Contextualizar a las empresas del sector de la construcción, sobre las mejores técnicas en la administración de recursos para mejorar los procesos en gestión de tiempos y costos.</p>

Fuente: Construcción del autor, 2021

Nota. El desarrollo de la guía para administrar recursos en la fase de construcción de las obras de edificación apostó por un impacto positivo en el mejoramiento continuo en cada de unos de los procesos constructivos en las compañías que agremian el sector de la construcción.

2.1.6. Pregunta de Investigación.

¿Cómo se puede mejorar el bajo desempeño en la administración de recursos, materiales y equipos de proyecto en la fase de construcción en las obras de edificación en la ciudad de Bogotá?

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Desarrollar una guía para la administración de recursos en la fase de construcción de las obras de edificación de vivienda en la ciudad de Bogotá D.C.

3.2. Objetivos Específicos

1. Identificar técnicas actuales para la administración de los recursos en la fase construcción de las obras de edificación.
2. Seleccionar técnicas para administrar los recursos en los sectores productivos que aplican para la fase construcción en las obras de edificación de viviendas.
3. Construir la guía para la administración de recursos en la fase de construcción de las obras de edificación de vivienda en la ciudad de Bogotá D.C.
4. Verificar la guía para administrar recursos en la fase de construcción de obras de edificación, con expertos del sector.

4. DISEÑO METODOLÓGICO.

4.1.1. Tipo de Investigación

El presente estudio se diseñó desde el enfoque mixto, destinado al desarrollo de una guía para la administración de recursos en la fase de construcción de obras de edificación en la ciudad de Bogotá, de acuerdo a, Sampieri (2014) menciona que el enfoque mixto busca principalmente la “recolección de los datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer pautas y comportamiento, y probar teoría” (pág. 4).

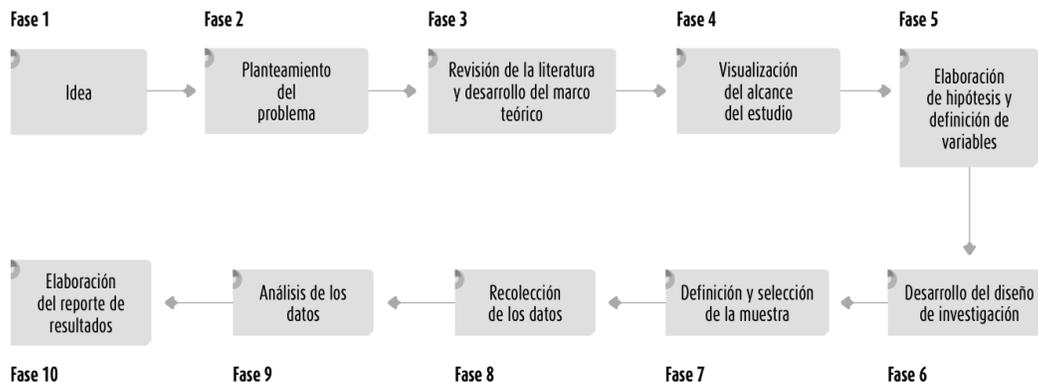
Para la elaboración de la guía se realizó un análisis de las técnicas utilizadas para administrar recursos relacionados con materiales, insumos y materias primas y equipos de proyecto utilizados en la fase de construcción de las obras de edificación. Además, se aplicó una encuesta a profesionales en ingeniería civil con experiencia en dirección de obras o dirección de operaciones del sector de la construcción. La investigación se realizó mediante un equipo de trabajo, compuesto de 3 interesados: Yoad Ernesto Pérez Becerra siendo el gerente del proyecto y líder de investigación. Wendy Fernanda Gonzales, como líder de procesos, Fabián David Ávila, como líder en dirección de obras, revisando procesos técnicos o validando la información y José Arturo Rodríguez director de la investigación designado por la unidad de proyectos de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

4.1.2. Nivel de Investigación

La presente investigación se desarrolló a través de una revisión bibliográfica de autores que han establecido estudios en técnicas relacionadas con la administración de los recursos, generalmente en los materiales, insumos y materias primas utilizadas en los sectores productivos, en especial el sector de la construcción. Mediante un análisis descriptivo se realizó la selección de las técnicas, se empleó el análisis multicriterio (AHP), se tuvo en cuenta los resultados de la encuesta que se aplicó a profesionales en ingeniería con amplia experiencia en el sector de la construcción con el fin de determinar las técnicas que se utilizan actualmente en la fase de construcción en las obras de edificación.

El desarrollo de la investigación se soportó en una descripción mixta, basada en un análisis cuantitativo y cualitativo, por medio de una encuesta que se aplicó a profesionales de ingeniería civil con experiencia en dirección de obras de edificación y directores de operaciones de empresas constructoras. “La investigación es un conjunto de procesos sistemáticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno”. (Sampieri, 2014, pág. 22) En la **Figura 2**. Método mixto para el análisis cuantitativo y cualitativo, se ilustra el método para la elaboración de la guía.

Figura 2. *Método mixto para el análisis cuantitativo y cualitativo*



Fuente: Metodología de la Investigación, 2021.

Nota. Enfoque cuantitativo utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías. *Tomado Metodología de la investigación* (pág. 5) por (Sampieri, 2014), McGraw-Hill.

En general las investigaciones presentan características cuantitativas y cualitativas, las cuales permiten a los investigadores determinar el alcance mediante un análisis estadístico para ejecutar la investigación. El proyecto, desarrollo de una guía para administrar recursos en la fase de construcción de las obras de edificación, se estableció a través de una investigación aplicada mediante un método hipotético deductivo con un análisis mixto cuantitativo y cualitativo se tuvo en cuenta las fases mencionadas en la **Figura 2.** Método mixto para el análisis cuantitativo y cualitativo Lo anterior con el fin de realizar un proceso descriptivo durante el desarrollo de cada uno de los objetivos planteados. En la **Tabla 2.** Características de investigación, se ilustran las características de investigación empleada.

Tabla 2. Características de investigación

Investigación Aplicada	Características de investigación		
	Método Hipotético deductivo	Mixto (Cuantitativo – Cualitativo)	Investigación descriptiva
Se cuenta con un problema establecido en el sector de la construcción, por el “Bajo desempeño en la administración de los recursos materiales y equipos en la etapa de construcción de las obras de edificación de vivienda en la ciudad de Bogotá”. Para hacer parte de la posible solución se determinó implementar el Desarrollo de una Guía Para	Se eligió el método hipotético deductivo y se realizó un análisis a las técnicas de administración de recursos identificadas en los sectores productivos. Además, se aplicó un cuestionario tipo encuesta a expertos del sector de la construcción, para plantear aspectos hipotéticos y resolverlos.	Se emplearon datos de las técnicas utilizadas para la administración de recursos en los sectores productivos. Además, se realizó el análisis a las respuestas del cuestionario aplicado a los expertos.	Se realizó una investigación descriptiva, se recopiló información estadística de acuerdo con el formulario de encuesta que se aplicó a expertos del sector de la construcción y así determinar la investigación estructurada con mayor precisión para la

Investigación Aplicada	Características de investigación		
	Método Hipotético deductivo	Mixto (Cuantitativo – Cualitativo)	Investigación descriptiva
Administrar Recursos, contribuyendo con el mejoramiento continuo y fortaleciendo la gestión del conocimiento.			administración de recursos.

Fuente: Construcción del autor, 2021.

Nota. El desarrollo de la investigación implicó tener características para el respectivo desarrollo mediante una investigación aplicada, Método hipotético deductivo, análisis cuantitativo y descriptivo.

En la **Tabla 3. Metodología** general del proyecto de investigación se ilustra la metodología general empleada para el desarrollo de la investigación.

Tabla 3. Metodología general del proyecto de investigación

Metodología general del proyecto de investigación					
Objetivo General	Objetivos Específicos	Actividad	Técnica	Instrumento	Entregable
Desarrollar una Guía para Administrar Recursos en la Fase de Construcción de las Obras de Edificación de Vivienda en la Ciudad De Bogotá D.C.	Identificar técnicas actuales para la administración de los recursos en la fase construcción de las obras de edificación.	Formalizar una revisión bibliográfica de las técnicas para administrar recursos en los sectores productivos, especialmente el sector de la construcción. Además, revisar artículos e investigaciones realizadas por autores para la administración de los insumos y materias primas utilizados en las obras de edificación.	Recopilación y/o consultas de la información documentada de las técnicas para administrar recursos de los autores, en bibliotecas digitales y libros. Asesoría y consultas en la temática del proyecto de investigación a los docentes de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.	1. Bases de datos, libros, artículos, revistas, medios físicos y virtuales. 2. Consolidación de la información en el documento trabajo de grado mediante reuniones con el director del trabajo de grado y determinar qué información es de vital importancia para el desarrollo de la investigación	Técnicas identificadas para la administración de recursos en los sectores productivos de acuerdo con las consultas realizadas, basados en autores internacionales de la Universidad de Indiana, Universidad de la California Universidad Nacional Autónoma de México
	Seleccionar técnicas para administrar los recursos en los sectores productivos que aplican para la fase construcción en las obras de edificación de viviendas.	Seleccionar las técnicas idóneas para la administración de recursos en la fase de construcción mediante la herramienta AHP o análisis multicriterio.	Recopilación y/o consultas de métodos para seleccionar las técnicas, encuestas a profesionales en ingeniería civil con experiencia en los proyectos de edificación y directores de operaciones en compañías dedicadas a la construcción.	1. Bases de datos, libros, artículos, revistas, medios físicos y virtuales. 2. Formatos de encuestas, modelos matemáticos para selección de alternativas en el campo de la investigación de operaciones.	Establecer el modelo de selección de las técnicas para administrar recursos (materiales insumos y materias primas) en la fase de construcción de las obras de edificación.
	Construir la guía para la administración de recursos en la fase de construcción de las obras de edificación de	Plasmar en la guía, las técnicas relacionadas con la administración de inventarios, planeación de los materiales y la distribución de los recursos a través del <i>Layout</i> por posición	Observación y revisión sistemática de cada una de las técnicas seleccionadas para administrar recursos en fase de construcción.	1. Bases de datos, libros, artículos de investigación, revistas. 2. Modelo de guías relacionada con la	Esquematación de la información de la guía para administrar recursos con su contenido académico

Metodología general del proyecto de investigación

Objetivo General	Objetivos Específicos	Actividad	Técnica	Instrumento	Entregable
	vivienda en la ciudad de Bogotá D.C.	fija, proyecto y orientada al proceso, con el fin de eliminar desperdicios en los materiales, insumos y materias primas en la producción de las partidas de la edificación.		administración de recursos.	de para estructuración final
	Verificar la guía para administrar recursos en la fase de construcción de obras de edificación, con expertos del sector.	Proporcionar la guía, administrar recursos a los gerentes de la constructora y presidentes de los gremios que asocian el sector de la construcción, para verificar la aplicación en el sector de la construcción.	Validación de la guía con expertos, para determinar la efectividad en la administración de los recursos.	1. Formato para aplicar método de juicio de expertos. 2. Formatos para el seguimiento y control de acciones correctivas a las temáticas del proyecto de investigación.	Verificación para aplicación y generar lecciones aprendidas en los proyectos del sector de la construcción principalmente las obras de edificación

Fuente: Construcción del autor, 2021.

5. MARCO TEÓRICO.

5.1. Identificar Técnicas para Administrar Recursos en la Fase de Construcción en las Obras de Edificación

Para el desarrollo del objetivo 1 de la investigación, se identificaron diferentes técnicas de *Layout*, administración de inventarios y plan de requerimientos de materiales, que facilitan a los gerentes y directores de las compañías que integran los sectores productivos, una óptima administración de los recursos. Por otra parte, en las compañías dedicadas a la construcción, principalmente en las obras de edificación y habilitación urbana, para el desarrollo de las construcciones, la gerencia que ha utilizado los sistemas *Last Planner*® y el *Lean Construction* en los procesos o partidas, les ha permitido mantener un “sistema de control que mejora sustancialmente el cumplimiento de actividades y la correcta utilización de recursos de los proyectos de construcción” (Enterprise, 2021). Actualmente, el sector de la construcción en Colombia ha presentado un crecimiento de acuerdo a lo manifestado por Sandra Forero Ramírez presidente de la Cámara Colombiana de la Construcción.

Para el 2021, se tendrá un año con ventas de vivienda nueva que llegarán a 195.500 unidades, donde la vivienda social aportará 72% del mercado. Con esa dinámica, se espera que se inicie la construcción de 149.700 viviendas, un 26% más que en 2020, y proyectamos que el valor agregado del sector aumente en 8,6%. (2020)

Se tiene en cuenta que el sector de la construcción es un dinamizador de la economía a nivel mundial y cada día los directores de operaciones, como política estratégica de las organizaciones, hacen grandes esfuerzos para el mejoramiento continuo de los recursos con el objetivo de generar una ventaja competitiva frente a la competencia. Para el desarrollo de la investigación se analizaron compañías dedicadas a la construcción, fundamentadas en las obras de edificación y habilitación urbana de algunos países del continente americano, de acuerdo con el constante desarrollo económico en materia de la construcción, como es el caso de Estados Unidos en Norte América; Francia en el continente europeo y Colombia en América de Sur. Así las cosas, en Estados Unidos la técnica *Layout* de almacenes es muy utilizada para los diferentes proyectos de edificación de viviendas que demanda los sectores constructivos. Constructoras como *NVR*, *KB Homes*, *Centex* y *Hovnanian*, emplean el *Layout* de almacenes, *Layout* de posición fija o de proyecto, *Layout* orientado al proceso, centros de trabajo y balanceo de la línea de ensamble. Además, utilizan la administración de inventarios a través de los modelos matemáticos de demanda dependiente e

independiente. El plan de requerimientos de materiales MRP lo emplean para controlar los materiales e insumos y materias primas que son requeridos en la fase de construcción de las obras de edificación.

De la misma manera, en Francia las empresas dedicadas a la construcción de obras de ingeniería civil emplean las técnicas de programación de *Layout* para la administración de los recursos en la fase construcción, unas de las empresas que se identificaron son las siguientes *THERMIKAL*, *ATELIER REC* y *OXAN*. Estas empresas emplean en la ejecución de sus proyectos de construcción generalmente en las obras de edificación de viviendas y habilitación urbana, técnicas de *Layout* por posición fija o de proyecto, *Layout* orientado al proceso, centros de trabajo y balanceo de la línea de ensamble, almacenamiento aleatorio, Personalización y *Cross Docking*.

Se identificó que las constructoras en Colombia como AMARILO, BOLÍVAR Y MARVAL etc., presentan oportunidades de progreso en las técnicas para administrar recursos como parte del mejoramiento continuo de las compañías; desde hace tres décadas emplean los sistemas *Last Planner*® y el *Lean Construction* en los procesos o partidas de las obras de edificación. Las técnicas de *Layout*, administración de inventarios y plan de requerimientos de materiales no están en un 100% establecidas para administrar y controlar los recursos en la fase construcción, en ocasiones emplean técnicas como las 5 S que se describirá más adelante en **Tabla 9**. Filosofía de la 5S, utilizadas por las compañías japonesas, relacionada con la clasificación, organización, limpieza en las plantas industriales especialmente en los procesos. Además, son utilizadas para ordenar y controlar los materiales requeridos en la ejecución de los proyectos de vivienda. Se identificó que la programación del MRP no está alineada con el control de los inventarios lo que genera que se presente desperdicios de materiales como morteros, cabilla, bloques etc. En la **Tabla 4**. Preparación y vaciado se ilustran los recursos empleados para la producción de la partida vigas de $f c = 175\text{kg/cm}^3$ en una obra de edificación, este proceso requiere mezcladora de 9 a 11p³, vibrador, winche gasolina y aceite, para determinar las cantidades de rendimiento vaciado y curado se empleó la siguiente ecuación.

$$\text{Cantidad} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de cuadrilla}}{\text{Rendimiento}}$$

Es decir, en el caso de capataz para determinar el rendimiento (preparación y vaciado)

$$\text{Cantidad de capataz} = \frac{0.2 \cdot 8\text{h/día}}{20\text{m}^3/\text{día}} = 0.0800 \text{ horas}$$

Para el caso del capataz para determinar el rendimiento (curado)

$$\text{Cantidad de capataz} = \frac{0.1 \cdot 8 \text{h/día}}{40 \text{m}^3/\text{día}} = 0.0200 \text{ horas}$$

Tabla 4. Preparación y vaciado

Rendimiento (preparación y vaciado)		20m³/día		Jornada		8h/día
Rendimiento (curado)		40m³/día		Jornada		8h/día
Descripción	Und.	Cuad.(prep.)	Cant.(prep.)	Cuad.(cur.)	Cant.(cur)	Cant. Total
Mano de obra						
Capataz	Hh	0.2	0.08	0.1	0.02	0.1
Operario	Hh	2	0.8	0	0.0	0.8
Oficial	Hh	2	0.8	0	0.0	0.8
Peón	Hh	10	4	1	0.2	4.2
Operador de equipo liviano	Hh	3	1.2	0	0.0	1.2
Equipos y herramientas						
Herramientas manuales	%Mo		0,03			0.03
Mezcladora de 9 a 11 p ³	Hm	1	0.4			0.4
Vibrador de 2” – 4hp	Hm	1	0.4			0.4
Winche eléctrico de tambores	Hm	1	0.4			0.4
Materiales						
Cemento Portland tipo I	Bolsa		8.43			8.43
Arena gruesa	m ³		0.54			0.54
Piedra chancada de ½”	m ³		0.55			0.55

Nota. El análisis de costos unitarios de los recursos utilizados para la partida, vigas de $f_c = 175 \text{kg/cm}^3$ en una edificación relacionados con la mano de obra, equipos, herramientas, materiales y las cantidades a emplear durante una jornada laboral de 8 horas. *Tomado de Costos y presupuestos para edificaciones*, (pág. 101), por (Acosta, 2018), *Macro*.

5.2. Diseño de Layout

Consiste en la integración de las diferentes áreas funcionales que conforman la solución de una instalación logística en un edificio único. Abarca no sólo el arreglo y composición de las secciones

funcionales internas a dicho edificio lo que se encuentra dentro de las cuatro paredes, sino también las demás áreas externas. (Layout C. d., 2020)

La distribución por proyecto es una de las técnicas más utilizadas por las compañías constructoras a nivel mundial y ofrece beneficios a la alta gerencia con la optimización de los recursos, ya que permite que los materiales estén fijos en un lugar de la edificación y el equipo de producción de cada partida se suministre de las cantidades requeridas. Un ejemplo en las obras de edificación es la producción de la partida relacionada con el asentado de pisos de loseta veneciana de 30*30 cm. Jacobs (2019) experto en administraciones de operaciones en los sectores productivos principalmente en obras de edificación afirma lo siguiente.

Muchas partidas en las construcciones combinan dos tipos de distribución, un área de producción dada se organizaría como taller de trabajo, y la otra como línea de ensamble. También es frecuente encontrar una construcción entera ordenada con base en el flujo de los materiales asignados a cada una de las estaciones de trabajo por ejemplo el asentado de piso de cerámico hexagonal y en la colocación de la loseta vinílica de 1.6 mm (pág. 171).

5.2.1. Importancia Estratégica de las Decisiones de *Layout*

“Las decisiones sobre la *Layout* son clave para determinar la eficiencia a largo plazo de las operaciones. El *Layout* de las operaciones tiene numerosas implicaciones estratégicas” (Render, 2018, pág. 433), en el desarrollo de los proyectos porque determina las prioridades competitivas de una empresa desde el punto de vista de la capacidad, procesos, flexibilidad y costes.

Un *Layout* eficaz puede mejorar en la distribución de los materiales que son requeridos para la producción de las partidas en la obra de edificación lo que motiva a las constructoras a conseguir una estrategia que esté basada en diferenciación, bajos costos o rapidez de respuesta, en la disposición de los materiales y equipos para lograr disminuir los tiempos de entrega de los productos. El objetivo de las obras de edificación y habilitación urbana, con la estrategia de *Layout* buscan desarrollar la optimización de los recursos en los procesos y satisfacer los requerimientos competitivos que exige el mercado. Actualmente, las empresas americanas emplean la filosofía de *Lean Construction* para eliminar desperdicios y generar mejora continua de los procesos de las obras de concreto simple y concreto armado, y cumplir con los tiempos establecidos para cada actividad.

(Render, 2018) experto en administración de recursos y operaciones en los sectores productivos manifiesta que en todos los casos del diseño del *Layout* se debe tener en cuenta cómo conseguir lo siguiente.

1. Optimización del espacio, equipos y personas.
2. Mejora del flujo de información, materiales y personas.
3. Mejora de la moral y la seguridad de las condiciones de trabajo de los empleados.
4. Mejora de la interacción con el cliente.
5. Flexibilidad (sea como sea actualmente el *Layout*, tendrá que cambiar en algún momento).

Los diseños del *Layout* se conciben de manera eficiente en las obras de edificación y habilitación urbana para reducir los tiempos de entrega de materiales y equipos que son requeridos en la fase de construcción. Esto implica equipos ligeros, móviles y flexibles; los operarios, soldadores, oficiales de construcción y electricistas que ejercen operaciones en las obras de ingeniería deben ser móviles; así como los andamios y las células de trabajo deben ser apropiadas, y los estantes de los almacenes de los materiales e insumos de tipo prefabricados. Para hacer cambios fáciles y rápidos en la producción de las partidas en las obras de edificación, los directores de obra deben disponer de una programación integrada con la administración de inventarios para la entrega de los materiales justo a tiempo en el momento que las estaciones de trabajo los requieren, de esta manera se logra alcanzar los niveles de producción planeados por el programa maestro de producción. Los directores de proyectos deben planificar flexibilidad en sus *Layout* al momento de iniciar las construcciones con el fin de evitar desperdicios en materiales, Render (2018) afirma lo siguiente.

Para obtener esa flexibilidad en el *Layout* los directores de proyectos y de obra forman a sus empleados para que puedan ser polivalentes, mantienen los equipos adecuadamente, procuran que las inversiones sean bajas, colocan los puestos de trabajo próximos entre sí, y utilizan equipos pequeños y móviles. (pág. 433)

5.2.2. Tipos de *Layout*

“Las decisiones de *Layout* buscan determinar la mejor ubicación de la maquinaria en entornos de producción” (Parra, 2018). Un *Layout* eficaz en las construcciones de vivienda, como obras de ingeniería facilita el flujo de materiales, personas e información dentro de cada área y entre ellas. Para dar alcance al objetivo “Identificar técnicas actuales para la administración de los recursos en la fase construcción de las obras de edificación”. Se ha identificado un abanico de seis técnicas referentes a la distribución de *Layout* de acuerdo con Render (2018).

1. *Layout* de almacenes: busca el equilibrio entre necesidades de espacio y manejo de materiales.
2. *Layout* orientado al proceso: trata de la producción de bajo volumen y alta variedad (también llamada producción tipo “taller” o intermitente).
3. *Layout* orientado al producto: busca la mejor utilización del personal y la maquinaria en una producción repetitiva o continua.
4. *Layout* de célula de trabajo: organiza la maquinaria y los equipos para centrarse en la producción de un único producto o grupo de productos relacionados.
5. *Cross Docking*: consiste en evitar situar materiales o suministros en el almacén, procesándolos a medida que se reciben.
6. *Layout* de posición fija o de proyecto: trata de los requerimientos del *Layout* de grandes y voluminosos proyectos, como barcos y edificios.

5.2.2.1 *Layout* de Almacenes

Render (2018) experto en dirección de la producción y de operaciones, decisiones estratégicas afirma que el objetivo de *Layout* de los almacenes es encontrar el mejor equilibrio entre los costes de mantenimiento y los costes asociados con el espacio de almacenamiento. Por consiguiente, la tarea de la dirección es la de maximizar la utilización del volumen total del almacén; es decir, aprovechar todo su volumen al mismo tiempo que se mantienen bajos los costes de manipulación de los materiales. Se definió los costes de manipulación del material o costes de mantenimiento como todos los costes relacionados con una operación (pág. 439).

En las obras de edificación, los costes de mantenimiento de los materiales requeridos para la producción de las partidas hacen referencia al alistamiento del concreto, acero, ladrillo y arena que deben estar disponibles por el director de la obra y, así, evitar retrasos en cada una de las partidas. De igual manera, los costos de manipulación en las obras de edificación están relacionadas con el rendimiento de la mano de obra requerida para la producción de las partidas, es decir, las horas requeridas por el capataz, operario o el residente de obra para el desarrollo del proyecto o la partida de la construcción.

5.2.2.2 *Layout* Orientado al Proceso.

Los sectores productivos emplean la distribución orientada al proceso debido a que genera ventajas en la ubicación de los materiales en las estaciones de trabajo. Además, se puede utilizar en forma simultánea y permite una amplia variedad de productos o servicios. Asimismo, en las obras de edificación la gerencia

emplea la forma tradicional de apoyar una estrategia de diferenciación del producto de acuerdo con los materiales que son utilizados en cada una de las partidas y esto les resulta más eficiente. Por ejemplo, en la producción de losas macizas y losas aligeradas son utilizados los mismos recursos relacionados con los equipos y herramientas, materiales y mano de obra.

“Una gran ventaja de la distribución orientada al proceso es su flexibilidad para la asignación de equipo y mano de obra” (Render, 2019, pág. 366), en el momento que las máquinas requieren mantenimiento productivo total de una avería, no necesariamente se detiene todo un proceso; el trabajo puede transferirse a otras máquinas para el desarrollo o la producción de las partidas. “La distribución orientada al proceso es conveniente para manejar la manufactura de partes en lotes pequeños, o lotes de trabajo en los procesos constructivos principalmente en las obras de edificación, así como para la producción de las partidas” (Heizer, 2019, pág. 367) con una amplia variedad de materiales de acuerdo con los diferentes tamaños o formas.

Barry (2019) afirma que las desventajas de la distribución orientada al proceso provienen del uso de propósito general del equipo. Los pedidos toman más tiempo para moverse a través del sistema debido a su difícil programación, las cambiantes preparaciones y el manejo único de materiales. Además, el equipo de propósito general requiere mano de obra calificada y grandes inventarios de trabajo en proceso debido a la falta de balanceo en el proceso de producción. La mano de obra calificada también aumenta el nivel de capacitación y experiencia requerido, además los altos niveles de inventario de trabajo en proceso incrementan la inversión de capital. (pág. 366)

“El *Layout* orientado al proceso puede realizar simultáneamente una amplia variedad de productos o servicios. Esta es la forma tradicional para apoyar una estrategia de diferenciación del producto”. (Heizer, 2018, pág. 441). En el sector de la construcción principalmente en las obras de edificación y habilitación urbana, la distribución orientada al proceso se ha adaptado como mejora continua y entrega justo a tiempo de los proyectos constructivos.

Así mismo, en Europa y en Estados Unidos, en las obras de concreto simple, concreto armado, estructuras metálicas y estructuras de madera han arrojado grandes resultados como la optimización de los recursos en la fase de construcción de los proyectos, lo que genera un *Layout* orientado al proceso para el análisis de los recursos, de esta manera se reduce el volumen de materiales que no son necesarios para su uso en poco tiempo, con esto se evita grandes volúmenes en almacenes (*stock*).

“En este entorno de taller cada producto o pequeño grupo de productos sigue una secuencia distinta de operaciones. Un producto o una pequeña orden se produce trasladándolo de un departamento a otro según la secuencia requerida por el producto”. (Render, 2018) En las obras de edificación y habilitación urbana es utilizado el *Layout* orientado al proceso debido al traslado de los materiales que requieren los centros de trabajo para el avance de cada actividad, uno de los procesos que requieren demanda de materiales en las obras de edificación son las bases de concreto, estructuras de sostenimiento y excavaciones, sobre cimientos, gradas etc.

“El *Layout* orientado al proceso también está particularmente indicado para tratar la manufactura de piezas en pequeños grupos o lotes de trabajo, y para la producción de una gran variedad de piezas en diferentes tamaños o formas”. (Render, 2018, pág. 443) Las constructoras en Colombia como AMARILO, BOLÍVAR Y MARVAL etc., en los proyectos de edificación y habilitación urbana se presentan oportunidades de mejora a través de técnicas de distribución para cumplir con los requerimientos en los procesos de armado, columnas o pilares, vigas, tijerales y reticulados, correas, planchas corrugadas galvanizadas en obras de estructuras metálicas, como también son utilizadas en obras de concreto simple y obras de concreto armado. Render (2018) experto en la producción de los sectores productivos especialmente en los constructivos afirma lo siguiente.

Las órdenes de producción necesitan más tiempo para moverse por el sistema, debido a una difícil programación, a las preparaciones y cambios en los equipos, movimiento de materiales.

Además, los equipos multifuncionales o de utilización general requieren altas habilidades de la mano de obra, y los inventarios de trabajo en proceso de fabricación (*work in process*) son mayores debido al desequilibrio existente entre los procesos de producción” (pág. 443).

Los equipos multifuncionales en las obras de edificación y habilitación urbana, de acuerdo con el número de viviendas, son esenciales para la distribución de los materiales un ejemplo es el cargador frontal cat – 950 y la planta de asfalto en caliente facilita a las células de trabajo cumplir con las actividades en los tiempos establecidos.

Las necesidades de mano de obra en las construcciones generalmente en las edificaciones de vivienda y habilitación urbana como son el capataz de equipo pesado, oficial y operario elevan el nivel de formación, la experiencia necesaria y el alto nivel de trabajo en curso, lo cual permite a las constructoras aumentar la inversión en capital para que las empresas generen ventaja competitiva en los procesos constructivos y cumplan los requerimientos del cliente.

En la **Figura 3**. Flujo de partes entre departamentos Se ilustra el flujo de partes entre departamentos, el procedimiento de *Layout* para organizar la distribución en planta de los seis departamentos de una fábrica de modo que se minimicen los costes de manejo de materiales entre los departamentos.

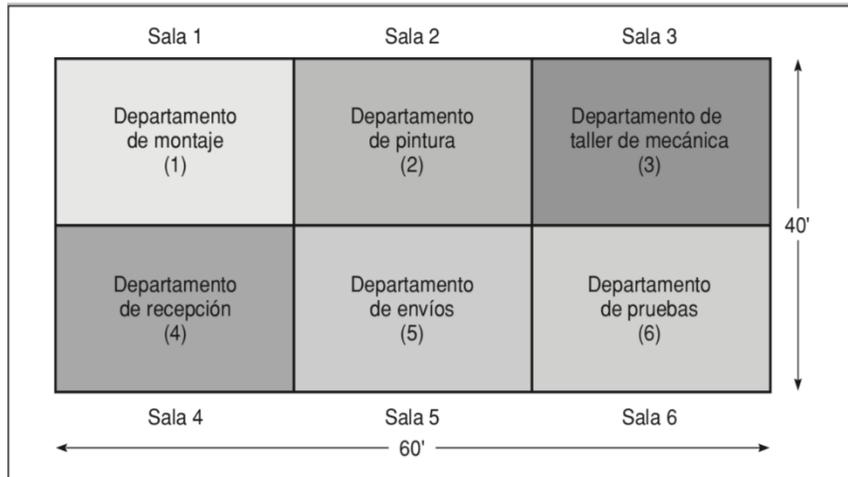
Figura 3. Flujo de partes entre departamentos

Secciones	Número de cargas por semana					
	Montaje (1)	Pintura (2)	Taller mecánico (3)	Recepción (4)	Envíos (5)	Pruebas (6)
Montaje (1)		50	100	0	0	20
Pintura (2)			30	50	10	0
Taller mecánico (3)				20	0	100
Recepción(4)					50	0
Envíos(5)						0
Pruebas (6)						

Nota. En la **Figura 3**. Flujo de partes entre departamentos se ilustra el flujo de los componentes entre secciones, los altos flujos entre 1 y 3, y 3 y 6 destacan inmediatamente. Los departamentos 1, 3 y 6, por tanto, deben estar juntos, se evidencia las secciones con respecto al número de cargas por semana. *Tomado de la Dirección de la Producción* (pág. 444), por (Heizer, 2018), Pearson Educación S.A.

En la **Figura 4**. Dimensiones de construcción y una distribución de departamentos posible, también se muestra el proceso para determinar las necesidades de espacio para cada departamento de acuerdo con la disposición en la planta. El director de operaciones sugiere desarrollar un diagrama esquemático inicial que muestre la secuencia de los departamentos a través de las componentes que se transporta, lo que busca la compañía con el *Layout* orientada al proceso es colocar los departamentos con mayor flujo de materiales o piezas unos cerca de otros. Esto permite calcular el coste del *Layout* utilizando la ecuación del coste de manejo de material.

Figura 4. Dimensiones de construcción y una distribución de departamentos posible



Nota. Las dimensiones de edificación y posible *Layout* de los departamentos orientada al proceso, cada departamento realiza un proceso para dar paso al siguiente, lo que le permite al gerente de operaciones saber el costo de cada uno. *Tomado de la Dirección de la Producción* (pág. 444), por (Heizer, 2018), Pearson Educación S.A.

5.2.2.3 Distribución repetitiva y orientada al producto.

En el sector de la construcción especialmente en las obras de edificación, la distribución repetitiva y orientada al producto es empleada en las compañías de los sectores productivos a nivel internacional, en los proyectos de ingeniería, debido a que en las obras de construcción la producción es continua por las operaciones repetitivas. “Los *Layout* orientados al producto se organizan alrededor de productos o familias de productos similares con altos volúmenes y baja variedad. La producción repetitiva y la producción continua”. (Render, 2018) en la construcción de edificaciones de vivienda se presentan varios procesos.

Un ejemplo de ello es el proceso vaciado con el concreto reforzado piso a piso, de acuerdo con la disponibilidad del equipo, personal y materiales, se establece una rutina de vaciado, se vuelve repetitivo en actividades y en tiempos hasta llegar a su fin.

De igual forma, la instalación de ventanearía inicia de acuerdo con la revisión y fabricación del diseño, por medio de medidas previas, se procede con la fabricación; partiendo de un apartamento típico, se multiplica por la cantidad de apartamentos disponibles para su instalación.

Otro caso es la carpintería en madera inicia con la revisión y fabricación, con base en el tipo de apartamentos. Una vez definido las dimensiones y especificaciones técnicas, se procede con la fabricación en instalación de cada uno de los apartamentos.

Por su parte la carpintería metálica, de acuerdo con las especificaciones técnicas, se evalúa los elementos repetitivos, quienes serán sometidos a fabricación, distribución e instalación, partiendo de una medida inicial del estándar preestablecido.

Los cuatro supuestos que mencionan Render (2018) experto en la dirección de la producción son utilizados en las obras de edificación y habilitación urbana a nivel internacional ya que la producción repetitiva y la producción continua en el sector construcción ha calado con éxito.

1. El volumen es adecuado para una alta utilización de los equipos.
2. La demanda del producto es lo suficientemente estable para justificar altas inversiones en equipos especializados.
3. El producto está estandarizado, o se acerca a una fase de su ciclo de vida que justifica inversiones en equipos especializados.
4. Los suministros de materias primas y componentes son adecuados y de calidad uniforme (adecuadamente estandarizados), para garantizar que funcionarán con el equipo especializado.

En las obras de concreto simple la producción repetitiva y la producción continua es elemental para el avance de los procesos, por ejemplo: los cimientos corridos, solados, gradas, rampas y estructuras de excavaciones. “Dos tipos de *Layout* orientado al producto son las líneas de montaje y las de fabricación. La línea de fabricación elabora componentes, como ruedas para automóviles o piezas metálicas de una nevera, en una serie de máquinas”. (Render, 2018, pág. 453) En las obras de concreto simple y concreto armado las operaciones son repetitivas por lo tanto los gremios que asocian a las empresas de la construcción han optado por utilizar las líneas de montaje o línea de ensamble y las líneas de fabricación para el mejoramiento continuo en los procesos.

5.2.2.4 *Layout* de célula de trabajo.

“El enfoque más común para efectuar la distribución de un centro de trabajo consiste en ordenar centros de trabajo que tienen procesos similares de modo que optimicen su ubicación relativa”. (Aquilano N. , 2019, pág. 222) En las obras de edificación y de habilitación que hacen parte del sector de la construcción la programación de centros de trabajo es fundamental para el desarrollo de las actividades, en los procesos de

movimientos de tierra las actividades relacionadas con la nivelación del terreno, nivelado y apisonado, excavaciones, cortes y relleno con material propio las máquinas deben estar en justo a tiempo en el momento que se inicié cada actividad con el fin evitar demoras en el proceso.

En las obras de concreto armado y concreto simple las células de trabajo debe tener una organización de acuerdo con el flujo de materiales para el avance de manera secuencial de los cimientos corridos, gradas, encofrado y desencofrado, solados y bases de concreto etc.

Heizer (2018) experto en la dirección de producción de los sectores productivos afirma que una célula de trabajo reorganiza a personas y máquinas que normalmente estarían dispersas en diferentes departamentos en un grupo de forma que puedan centrarse en la producción de un único producto o grupo de productos relacionados”. (pág. 448)

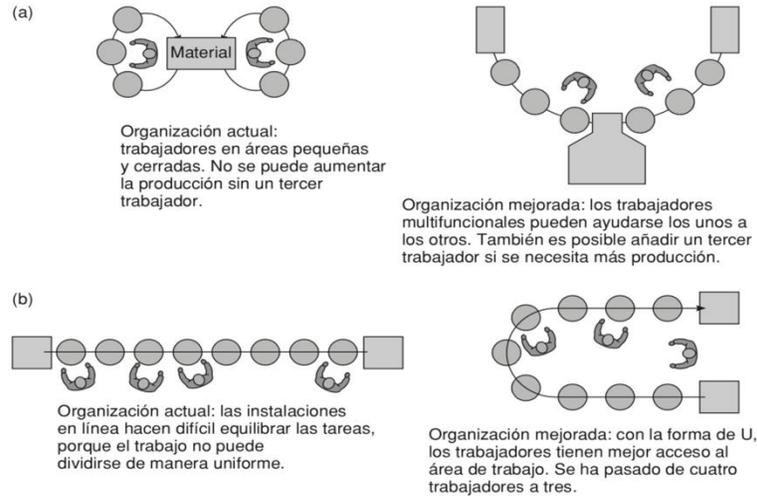
Las ventajas de las células de trabajo en los procesos productivos según Heizer (2018) son las siguientes:

1. Reducción del inventario de trabajo en curso, porque la célula de trabajo está preparada para suministrar un flujo unitario (de una pieza) de máquina a máquina.
2. Se requiere menor espacio de planta, ya que se necesita menos espacio entre máquinas para contener el también menor inventario de trabajos en curso.
3. Reducción de los inventarios de materias primas y de productos acabados, porque el menor trabajo en curso permite un movimiento más rápido de los materiales a través de la célula de trabajo.
4. Reducción del coste de mano de obra directa, debido a una mejor comunicación entre los trabajadores, a un mejor flujo de materiales y a una mejor programación.
5. Mayor utilización de equipos y maquinaria, gracias a la mejor programación y al flujo más rápido de los materiales.

Las células de trabajo en los sectores productivos, principalmente el de la construcción reducen incrementos en el costo por traslado y el aprovechamiento de los materiales.

Figura 5. Células de trabajo en los sectores productivos, se ilustra la mejora del *Layout* mediante la utilización de este concepto y su comportamiento en los sectores productivos, el punto a) muestra la distribución de los materiales relacionado con el concepto de las organizaciones actuales, el punto b) muestra la distribución de los materiales relacionado con las organizaciones mejoradas.

Figura 5. Células de trabajo en los sectores productivos



Nota. Alrededor del 40% de las fábricas de Estados Unidos con menos de 100 empleados utiliza algún tipo de sistema de células, mientras que el 74% de las grandes plantas ha adoptado métodos de producción celular. *Tomado de la Dirección de la Producción* (pág. 449), por (Heizer, 2018) Pearson Educación S.A.

5.2.2.5 Distribuciones por proyecto o *Layout* de posición fija.

La distribución por posición fija en las obras de edificación permanece en un lugar, y los trabajadores y el equipo llegan a esa área de trabajo. Un ejemplo de este tipo de proyecto es la construcción de una edificación, un barco, una carretera, un puente y una mesa de operaciones en un quirófano. Solares (2019) experto en administración de recursos en proyectos constructivos afirma lo siguiente.

Las técnicas utilizadas para enfrentar los problemas de distribución de posición fija no están bien desarrolladas y se complican por tres factores. Primero, existe un espacio limitado en casi todos los sitios. Segundo, en las diferentes etapas de un proyecto se necesitan distintos materiales; por lo tanto, artículos distintos se vuelven fundamentales a medida que el proyecto avanza. Tercero, el volumen de los materiales necesarios es dinámico. Por ejemplo, la tasa de producción en una construcción facilita al director de obra el uso de los de los materiales requeridos para avanzar sin inconvenientes en el proyecto (pág. 364).

En las obras de edificación, debido a que es complejo encontrar una buena solución para la distribución de los materiales, generalmente los directores o administradores de obra presentan inconvenientes en la distribución de los materiales en la posición fija en las estaciones de trabajo, una alternativa que sugieren los administradores de operaciones de los sectores productivos es el enfoque que se usa en la industria de

la construcción de barcos cuando se ensamblan unidades estándar, digamos las ménsulas para soporte de la tubería en una línea de ensamble. Render (2019) maestro en investigación de Operaciones del Tecnológico de Monterrey afirma lo siguiente.

Asimismo, muchos constructores de edificaciones a nivel nacional e internacional han venido cambiando la estrategia de distribución de posición fija a una más orientada al producto. En Estados Unidos, cerca de un tercio de las casas nuevas se construyen de esta manera. Además, muchas casas que se construyen en el sitio (posición fija) obtienen la mayoría de los componentes como puertas, ventanas, accesorios, armaduras, escaleras y muros construidos como módulos mediante procesos externos más eficientes (pág. 365).

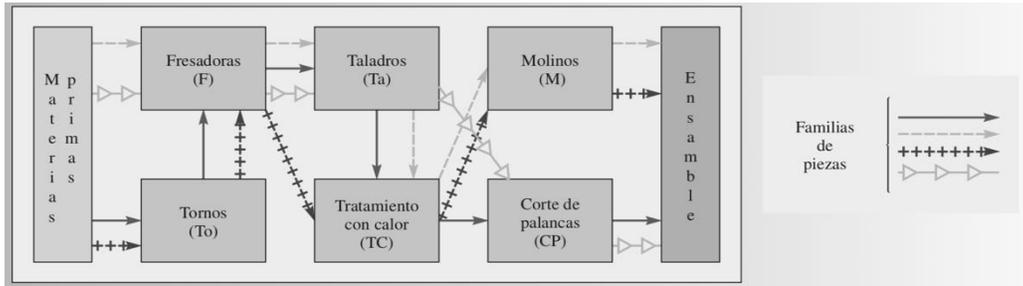
Actualmente, las compañías dedicadas a la construcción apuestan a administrar correctamente los recursos en la fase de construcción. Asimismo, distribuir los materiales en las cantidades requeridas para cada una de las partidas y no generar desperdicios en materiales, por ejemplo, acero, ladrillo, arena y cemento. Una de las fases de mayor importancia en proyecto es el movimiento de tierras, las partidas que se requieren para el desarrollo de esta fase son las excavaciones masivas, nivelaciones, cortes y rellenos. Generalmente los directores de obra miden estas partidas en metros cúbicos, pero en ocasiones las compañías constructoras de cuerdo al uso las dan en metros lineales o metros cuadrados.

Aquilano (2019) afirma que en la manufactura de la construcción se presentan una combinación de dos tipos de distribución. Por ejemplo, un área de producción dada estaría organizada como centro de trabajo, mientras que otra sería una línea de ensamble. También es frecuente encontrar una planta entera ordenada con base en el flujo de los productos; por ejemplo, un área de maquinado de piezas, a continuación, un área de subensamble y un área final de ensamble al final del proceso. Se pueden utilizar distintos tipos de distribuciones en cada área, con centros de trabajo para el maquinado, celdas de manufactura para el subensamble y una línea de ensamble para la pieza final (pág. 222).

“La distribución por proyecto se caracteriza porque tiene un número relativamente pequeño de unidades de producción en comparación con los formatos del centro de trabajo y la línea de ensamble”. (Aquilano N. , 2019, pág. 183) La distribución por proyecto es utilizada por las empresas constructoras del mercado americano que ha crecido y se ha expandido hacia el mercado de la construcción latinoamericana. Los directores de proyecto han considerado que el flujo de materiales llegue justo a tiempo a las estaciones de trabajo que lo requieren. “En la distribución por proyecto el producto es el eje de una rueda y que los materiales y el equipamiento están colocados de forma concéntrica en torno al punto de producción por

orden de uso y dificultad de traslado”. (Aquilano N. , 2019, pág. 183) En la **Figura 6**. Distribución de un centro de trabajo en un proceso productivo, se ilustra la distribución de las máquinas en los centros de trabajo.

Figura 6. Distribución de un centro de trabajo en un proceso productivo



Nota. En las obras de edificación es recomendable establecer la creación de celdas de manufactura para distribuir los materiales en los tiempos programados para avanzar en la producción de las partidas.

Tomado de Administración de Operaciones (pág. 183), por (Chase, 2019) Mc Graw-Hill

En las obras de edificación y habilitación urbana para la administración y control de los recursos se emplean la matriz de rutas basada en el flujo de las piezas principalmente en las obras de concreto simple y en las obras de concreto armado, y lograr un control de materiales que requieren las estructuras de sostenimiento de excavaciones, vigas de cimentación, armadura de acero y el encofrado y desencofrado en gradas. En la **Figura 7**. Matriz de rutas basada en el flujo de las piezas se muestra el comportamiento de las máquinas y materias primas en un proceso productivo.

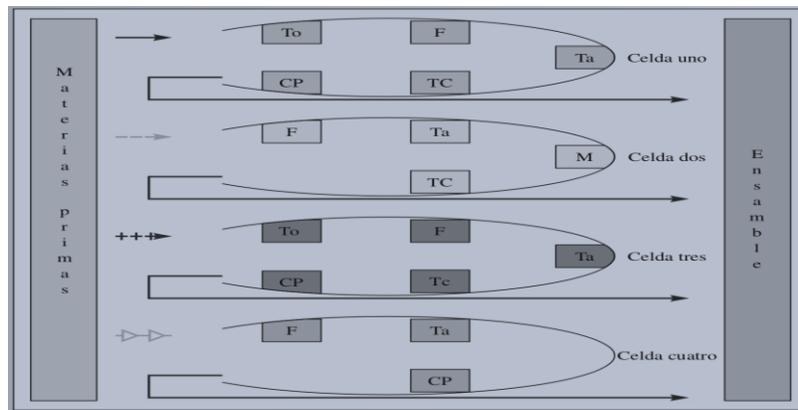
Figura 7. Matriz de rutas basada en el flujo de las piezas

Materias primas	Familia de piezas	Tornos	Fresadoras	Taladros	Tratamiento con calor	Molinos	Corte de palancas	a	Ensamble
	→	X	X	X	X		X	→	
	- - - →		X	X	X	X		- - - →	
	+++ →	X	X	X	X		X	+++ →	
	▷▷		X	X			X	▷▷	

Nota. La Matriz de rutas basada en el flujo de las piezas facilita en la distribución por proyecto que las tareas estén bastante sujetas a un orden y, en la medida que la precedencia determine las etapas de producción, la distribución se podría crear ordenando los materiales de acuerdo con su prioridad tecnológica. *Tomado de Administración de Operaciones* (pág. 236), por (Chase, 2019) McGraw-Hill

“En un *Layout* de posición fija o de proyecto, el proyecto (producto) permanece fijo en un lugar, y los trabajadores y equipos acuden a esa única área de trabajo”. (Render, 2018) En los proyectos que más utilizan el *Layout* de posición fija o de proyecto a nivel internacional es en la construcción de barcos, autopistas, puentes, casas, y la mesa de operaciones en el quirófano de un hospital. Actualmente, en las obras de construcción en Europa, Asia y Estados Unidos emplean el *Layout* de posición fija o de proyecto ya que ha sido competente con la filosofía *Lean Construction*, unas máquinas que requieren posición para distribución de los materiales en la estación de trabajo. En la **Figura 8**. Reasignación de las máquinas para formar celdas, se ilustra con base en los requerimientos del procesamiento de las familias de piezas.

Figura 8. Reasignación de las máquinas para formar celdas



Nota. Las celdas de manufactura facilitan reasignación de las máquinas para formar celdas con base en los requerimientos de procesamiento de las familias de piezas en los departamentos para distribuir los materiales justo a tiempo y reducir los tiempos de entrega de los procesos. *Tomado de Administración de Operaciones* (pág. 236), por (Chase, 2019) *McGraw-Hill*

5.2.2.6 *Cross Docking*

“El sistema *Cross Docking* consiste en evitar situar materiales o suministros en el almacén, procesándolos a medida que se reciben. En una instalación industrial se recibe el producto directamente en la cadena de montaje”. (Render, 2018, pág. 439) algunas compañías en las obras de edificación y habilitación urbana emplean las células de trabajo para distribuir los materiales requeridos en las partidas. Por ejemplo, para el proceso del concreto en losas aligeradas el programador de materiales debe distribuir las cargas etiquetadas, clasificadas y relacionadas con el cemento, arena gruesa, piedra chancada de ½” y agua para la producción de cada proceso en las estructuras metálicas para el desarrollo de la columnas o pilares, vigas, planchas corrugadas y galvanizadas. Por lo anterior, los directores de obra sugieren emplear la técnica de *Cross Docking*.

En las obras de edificación el flujo de materiales es constante, generalmente la gerencia junto con la dirección de obra y la administración de inventarios le apuestan a tener un conocimiento de las cantidades disponibles en las ubicaciones en las obras de edificación, esto implica el aprovechamiento de toda la instalación donde se genera la producción. Los administradores de operaciones y directores de obras de las compañías constructoras sugieren el aprovechamiento de todo el espacio en las estaciones de trabajo, esto les genera rendimiento en la distribución de los materiales para el desarrollo de las edificaciones. Así como los sistemas informáticos de almacenamiento aleatorio que se realizan habitualmente, entre otras tareas de acuerdo con lo afirmado por (Heizer, 2018).

1. Mantener una lista de ubicaciones de almacén “abiertas (vacías)”
2. Mantener registros exactos del inventario existente y de sus ubicaciones.
3. Secuenciar los artículos de los pedidos para minimizar el tiempo de desplazamiento necesario para “recogerlos”.
4. Combinar los pedidos para reducir el tiempo de recogida (*picking*).
5. Asignar los artículos de mucho uso o las áreas específicas, de forma que la distancia total recorrida dentro del almacén se reduzca al mínimo.

5.3. Formatos Básicos de la Distribución para Construcción de Obras de Ingeniería.

En el sector de la construcción el patrón general del flujo de trabajo define los formatos para ordenar en cada una de las estaciones. Se tienen dos tipos básicos de formatos, el centro de trabajo, la línea de ensamble y uno híbrido la planeación sistemática de la distribución.

5.3.1. Taller de trabajo.

En los sectores productivos en Estados Unidos, el taller de trabajo es uno de los procesos que genera buenas tasas de producción ya que agrupa funciones y equipamientos similares entre las máquinas y los materiales, esto refiere una capacidad operacional en cada una de las partidas de la construcción. Chase (2019) experto en la cadena de suministros de sector de la construcción afirma que

Las máquinas necesarias para cada operación en las partidas de las construcciones son polifuncionales en la distribución de los materiales ya que están diseñadas a servicios particulares como el forjado y revestimiento de gradas y cobertura de techo con torta de barro (pág. 171)

5.3.2. Línea de Ensamble.

En la industria de la construcción principalmente en las obras de edificación se emplea el balanceo de línea o línea de ensamble para el desarrollo de cada una de las partidas que integra las edificaciones; esta técnica permite a los directores de obra o de operaciones de los proyectos relacionados con la construcción mejores ciclos y flujos de trabajo en cada una de las partidas de la construcción.

Para Jacobs (2019) experto en producción y cadena de suministros define la línea de ensamble también llamada *distribución de flujo del trabajo*, el equipo o los procesos de trabajo están ordenados siguiendo los pasos progresivos de las partidas de la construcción de la edificación. La ruta de cada uno de los materiales insumos y materias primas, de hecho, una línea recta. Las líneas de ensamble de calzado, las plantas químicas y los lavados de autos son distribuciones basadas en el producto similares a operaciones repetitivas de las líneas de ensamble en las obras de edificación (pág. 221).

En los sectores productivos se utilizan las celdas de manufacturas, estas reúnen las máquinas aprovechando el funcionamiento para trabajar en productos, procesos, formas y requerimientos de procesamiento equivalentes en las obras de edificación las celdas de manufactura funcionarían de una forma robustas teniendo en cuenta que las operaciones son repetitivas y las máquinas son polifuncionales lo que generaría productividad en los centros de trabajo, Jacobs (2019) argumenta lo siguiente.

Muchas compañías dedicadas a la construcción de obras de edificación presentan una combinación de dos tipos de distribución. Por ejemplo, un área de producción dada estaría organizada como centro de trabajo, mientras que otra sería una línea de ensamble de partidas de acuerdo a las operaciones repetitivas. También es frecuente encontrar una construcción entera ordenada con base en el flujo de los materiales; por ejemplo, un área donde la torre grúa distribuye los materiales a cada una de las estaciones de trabajo con el fin reducir los tiempos de entrega y lograr la producción de la partida justo a tiempo (pág. 171).

5.3.3. Planeación Sistemática de la Distribución.

Chase (2019) afirma que en el sector de la construcción principalmente en las obras de edificación y habitación urbana se requiere orden en el flujo de materiales para las estaciones o centros de trabajo en la producción de las partidas que integran la edificación; por ejemplo, movimientos de tierra, obras de concreto simple, obras de concreto armado, estructuras metálicas y estructuras de maderas, con la planeación sistemática el planeador de los materiales de la obra de

edificación busca distribuir los materiales como el filler, piedra chancada ½”, arena gruesa y cemento asfáltico para realizar la preparación de la mezcla asfáltica para que la planta de asfalto en caliente y el secador áridos realice el proceso en la estación de trabajo que lo requiere justo a tiempo y evitar retrasos en general de los procesos (pág. 175).

5.4. Definición de Inventario.

Inventario son las existencias de una pieza o recurso utilizado en una organización. Un sistema de inventario es el conjunto de políticas y controles que vigilan los niveles del inventario y determinan aquellos a mantener, el momento en que es necesario reabastecerlo y qué tan grandes deben ser los pedidos. (Aquilano N. , 2018)

5.4.1. Tipos de Inventarios.

Los sectores productivos que integran las empresas dedicadas a la construcción principalmente en las obras de edificación establecen cuatro tipos de inventario. La industria de la construcción en las obras de edificación para cumplir los requerimientos del cliente, en la fase de construcción controlan los inventarios como clave del éxito del avance de las estaciones de trabajo. Uno de los inventarios que requiere mayor demanda en las obras de edificación de vivienda es el ladrillo hueco de arcilla h = 15 cm para techos aligerados.

5.4.1.1 Inventarios de Materias Primas

“Este inventario se puede usar para separar a los proveedores del proceso de producción. Sin embargo, el enfoque preferido consiste en eliminar la variabilidad en cantidad, en calidad o en entrega por parte del proveedor”. (Heizer, 2019, pág. 452) Los materiales en las obras de edificación están relacionados con los requerimientos para el concreto armado, columnas, vigas, y losas aligeradas. Teniendo en cuenta el rendimiento y el alcance de los proyectos, hay recursos que dentro de ellos se pueden fabricar; por ejemplo, el concreto, que, partiendo de unos recursos iniciales, como: arena de río, grava, cemento y agua, se procede a generar el producto, para el uso de superficies o elementos estructurales o no estructurales. Es así como se debe establecer inventarios de materias primas para elaborar recursos.

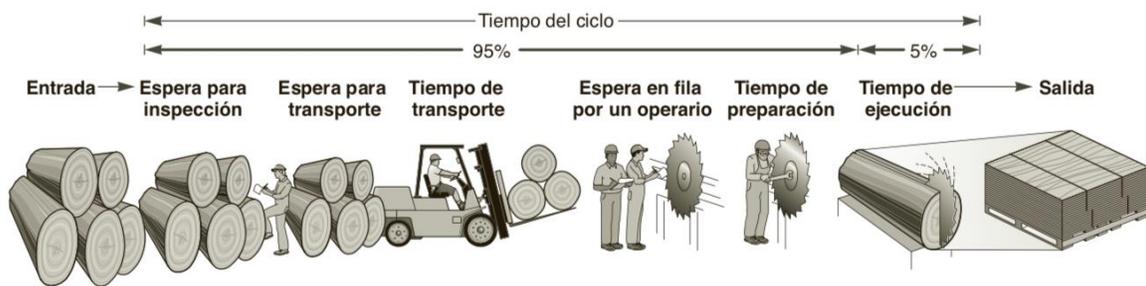
5.4.1.2 Inventario de Trabajo en Proceso (WIP)

“Son los componentes o materias primas que han sufrido ciertos cambios, pero no están terminados. El WIP existe por el tiempo requerido para hacer un producto (tiempo del ciclo) reducir el tiempo del ciclo disminuye el inventario”. (Render, 2019, pág. 477) En las obras de edificación se presentan inventarios de trabajo en procesos de acuerdo al número de requerimientos de materiales que solicita la planeación para la operación de las estaciones de trabajo, teniendo en cuenta que las operaciones son repetitivas en las obras de ingeniería, los ingenieros de obra utilizan técnicas de pronósticos para determinar la cantidad de materiales a utilizar en los proyectos de construcción.

5.4.1.3 MRO

“Los MRO son inventarios dedicados a suministros de reparación y operaciones necesarios para mantener productivos la maquinaria y los procesos” (Heizer, 2019, pág. 452) en las obras de edificación y habilitaciones urbanas el MRO son empleados en la maquinaria amarilla para los procesos de movimientos de tierras, nivelación de terreno, excavaciones, cortes, rellenos, nivelación interior y eliminación de material excedente, coordinar un mantenimiento productivo total TPM en las obras de edificación es fundamental para cumplir con los tiempos requeridos en la planeación establecida de los proyectos. En la siguiente **Figura 9.** Ciclo de flujo del material en un proceso productivos, se ilustra el tiempo del ciclo para el procesamiento de la madera

Figura 9. Ciclo de flujo del material en un proceso productivo



Nota. Los inventarios de materiales, insumos y materias primas presentan un tiempo de ciclo para ser procesados, en general 95% lo emplean en el proceso logístico. el tiempo de trabajo real o tiempo “de corrida” es una pequeña porción del tiempo de flujo del material, quizá tan solo del 5%. Tomado de *Principios de Administración de Operaciones* (pág. 477), por (Render, 2019) Pearson Educación.

5.4.1.4 Inventario de Productos Terminados

En las obras de edificación el producto terminado se relaciona con la culminación en general de la vivienda junto con los acabados. Por ejemplo, una vivienda de 60 m² cuyo componente técnico se basa en mampostería estructural de bloques cerámicos y losas de hormigón prefabricadas. De la misma manera sucede en un proyecto residencial de interés social o prioritario con una capacidad de 12 bloques de 5 plantas con 20 apartamentos por bloque, con un total de 240 viviendas, cada una con 60 m², en un total de 14.400 m², el gerente determina el producto terminado en el momento que todas las viviendas cumplan todos los acabados y las especificaciones técnicas establecidas en el alcance del producto del proyecto.

5.4.2 Administración de Inventarios

En los sectores productivos la administración de inventarios es fundamental para el control de recursos invertidos en unidades monetarias, los administradores de operaciones establecen sistemas para el manejo de inventarios unos de los sistemas más conocidos es la clasificación de los artículos o materiales a través del análisis ABC y el otro método es mantener registros de inventarios.

5.4.2.1 Análisis ABC

“El análisis ABC divide el inventario que se tiene en tres grupos según su volumen anual en unidades monetarias. El análisis ABC es una aplicación de lo que conocemos como Principio de Pareto”. (Heizer, 2019, pág. 453) En el sector de la construcción principalmente en las obras de edificación es fundamental la aplicación del Principio de Pareto por que establece los pocos materiales importantes y muchos triviales. “Los materiales deben tener una unidad de medida clara para determinar las cantidades necesarias para la elaboración de un producto. Esta unidad nos servirá también para determinar los costos”. (Acosta, 2018, pág. 64)

Con el fin de determinar el volumen de unidades monetarias se realizó el análisis ABC para los diferentes tipos de pago que son requeridos en una obra de edificación de vivienda. En la **Tabla 5**. Cálculo ABC para la separación de los artículos y priorizarlos, permite a los gerentes de operaciones y de proyectos de los sectores productivos mantener un control del inventario, de materias primas, materiales e insumos que son requeridos para generar un bien o servicio.

Tabla 5. *Cálculo ABC para la separación de los artículos y priorizarlos*

Número de Artículos en Inventario	Porcentaje del Núm. de Arts. en Inventario	Volumen Anual (Unidades)	Costo Unitario	Volumen Anual en Dólares	Porcentaje del Vol. Anual en Dólares		Clase
#10286	20%	1000	90	90000	38,8%	72%	A
#11526		500	154	77000	33,2%		A
#12760	30%	1550	17	26350	11,4%	23%	B
#10867		350	42,86	15001	6%		B
#10500		1000	12,5	12500	5%		B
#12572		600	14,17	8502	4%		C
#14075	50%	2000	0,6	1200	1%	5%	C
#01036		100	8,5	850	0%		C
#01307		1200	0,42	504	0%		C
#10572		250	0,6	150	0%		C
		<u>8550</u>		<u>\$ 232.057</u>			

Nota. Tomado de Principios de Administración de Operaciones (Render, 2019, pág. 478)

5.4.2.2 Modelos de Inventario

En los sectores productivos los modelos de inventarios son vitales para la administración y el control de los materiales en procesos de elaboración del producto y generaran alertas para mejorar la cantidad económica a ordenar. Los modelos de demanda que son utilizadas por las empresas que hacen parte de los sectores productivos son los siguientes.

1. Modelo de la cantidad económica a ordenar (EOQ)
2. Modelo de la cantidad económica a producir.
3. Modelo de descuentos por cantidad.

5.4.2.2.1 Modelo Básico de la Cantidad Económica a Ordenar (EOQ).

“El (EOQ) (*economic order quantity*; modelo de la cantidad a ordenar) es una técnica utilizada por los administradores de operaciones de los sectores productivos para el control de inventarios. Esta técnica es relativamente fácil de usar y se basa en varios supuestos” (Heizer, 2019, pág. 457):

1. La demanda es conocida, constante e independiente.

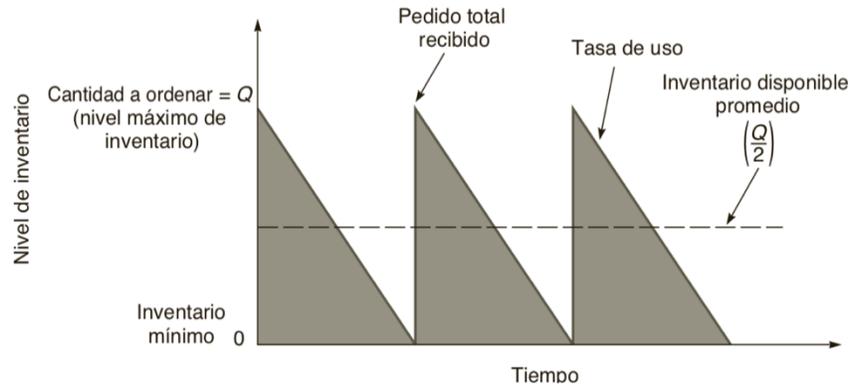
2. El tiempo de entrega, es decir, el tiempo colocar y recibir la orden se conoce y es constante.
3. La recepción del inventario es instantánea y completa. En otras palabras, el inventario de una orden llega en un lote al mismo tiempo.
4. Los descuentos por cantidad no son posibles.
5. Las únicas variables son el costo de preparar o colocar una orden (costo de preparación) y el costo de mantener o almacenar inventarios a través del tiempo (costo de mantener o llevar).

5.4.2.2.2 Modelo de la Cantidad Económica a Producir.

Heizer (2019), en el modelo de inventario anterior, admite que la orden se recibe completa al mismo tiempo. Sin embargo, en ocasiones las empresas de los sectores constructivos reciben el inventario durante el curso de algún periodo. Esos casos requieren un modelo distinto, que no necesite el supuesto de la entrega instantánea. Este modelo se aplica en dos circunstancias: (1) cuando el inventario fluye de manera continua o se acumula durante un periodo después de hacer el pedido, y (2) cuando los materiales son requeridos para la producción de las partidas y se avanza en forma simultánea la construcción de la edificación. Bajo estas circunstancias se toman en cuenta la tasa de producción diaria o flujo de inventario y la tasa de demanda diaria. (pág. 489)

Dado que este modelo es muy adecuado para los entornos de producción en las obras de edificación, en los sectores productivos se conoce como el modelo de la cantidad económica a producir. “Es útil cuando el inventario se acumula de manera continua en el tiempo y se cumplen los supuestos tradicionales de la cantidad económica a ordenar” (Murrieta, 2019, pág. 489). Este modelo se obtiene de igualar el costo de ordenar o preparar al costo de mantener el inventario y despejar el tamaño del lote óptimo, Q^* . En la **Figura 10**. Modelo básico de la cantidad económica a ordenar (EOQ), se ilustra el modelo utilizado en los sectores productivos.

Figura 10. *Modelo básico de la cantidad económica a ordenar (EOQ)*



Nota. El modelo básico de la cantidad económica a ordenar genera un control de los inventarios y facilita que el plan de requerimientos de materiales cumpla las órdenes del programa maestro de la producción. Por lo tanto, el nivel de inventario salta de 0 a 600 unidades. En general, cuando llega una orden el nivel de inventario aumenta de 0 a Q unidades. *Tomado de Principios de Administración de Operaciones* (pág. 483), por (Render, 2019), Pearson Educación.

5.4.2.2.3 Modelos de Descuentos Por Cantidad.

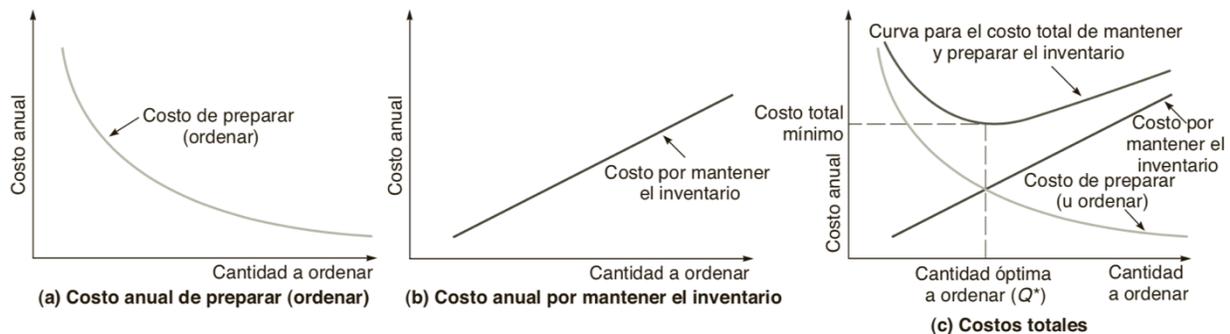
Jacobs (2019) afirma que, en el sector de la construcción, el modelo de precio descontado en la administración de los inventarios varía según el tamaño del pedido que requiere el programador de materiales. Se trata de un cambio discreto en lugar de unitario. Por ejemplo, los tornillos para madera cuestan 0.02 unidades monetarias cada uno en una compra de uno a 99 tornillos, 1.60 por 100 y 13.50 por 1 000. Para determinar la cantidad óptima a pedir de cualquier pieza, sólo se tiene que calcular la cantidad económica de pedido para cada precio y en el punto de cambio de precio. Pero no todas las cantidades económicas de pedido que la fórmula determina son factibles. En el ejemplo de los tornillos para madera, la fórmula Q podría indicar que la decisión óptima en el precio de 1.60 es pedir 75 tornillos. Sin embargo, esto sería imposible porque 75 tornillos tendrían un costo de 2 centavos cada uno. (pág. 535)

En general, para encontrar la cantidad de materiales a pedir al menor costo en los sectores productivos principalmente en las obras de edificación, la administración de inventarios necesita calcular la cantidad económica de pedidos de materiales para la producción de cada partida y entregar el avance de la obra en la fecha programada. “Es posible que la cantidad económica de pedido calculada sea alta o baja que el rango al que corresponde el precio”. (Jacobs, 2019, pág. 536) Esto facilita a las compañías constructoras controlar el costo de los recursos y evitar sobre costos en la ejecución de los proyectos.

5.4.2.3 Minimización de los Costos.

“La meta de casi todos los modelos de inventarios es minimizar los costos totales. Con las suposiciones dadas, los costos significativos son el costo de preparar (o de ordenar) y el costo de mantener (o de manejo)”. En el sector de la construcción la minimización de los costos de preparar y mantener inventarios es fundamental ya que el flujo de materiales es constante, los materiales que se deben controlar en las obras de edificación. En la **Figura 11**. Costo total de preparar y mantener y ordenar inventarios, se ilustra el costo total de preparar y mantener y ordenar inventarios.

Figura 11. Costo total de preparar y mantener y ordenar inventarios



Nota. En los sectores productivos el corazón de los procesos es el modelado EOQ. Se desea encontrar el costo total más pequeño (curva superior), que es la suma de las curvas que se encuentran por debajo de ésta. Una de las metas que establece la gerencia estratégica es el control de los inventarios de los materiales, insumos y materias prima. Tomado de *Principios de Administración de operaciones* (pág. 483), por (Heizer, 2019), Pearson Educación.

5.4.2.4 Propósitos del Inventario en la Fase de Construcción de Proyectos de Vivienda.

El experto en administración de la producción Aquilano (2018) define los siguientes propósitos para los proyectos de construcción.

1. Para mantener la independencia entre las operaciones. El suministro de materiales en el centro de trabajo permite flexibilidad en las operaciones.
2. La independencia de las estaciones de trabajo también es deseable en las líneas de ensamblaje. El tiempo necesario para realizar operaciones idénticas varía de una unidad a otra. Por lo tanto, lo mejor es tener una holgura de varias partes en la estación de trabajo.

3. Para cubrir la variación en la demanda. Si la demanda del producto se conoce con precisión, quizá sea posible (aunque no necesariamente económico) producirlo en la cantidad exacta para cubrir la demanda.
4. Para permitir flexibilidad en la programación de la producción. La existencia de un inventario alivia la presión sobre el sistema de producción para tener listos los bienes.

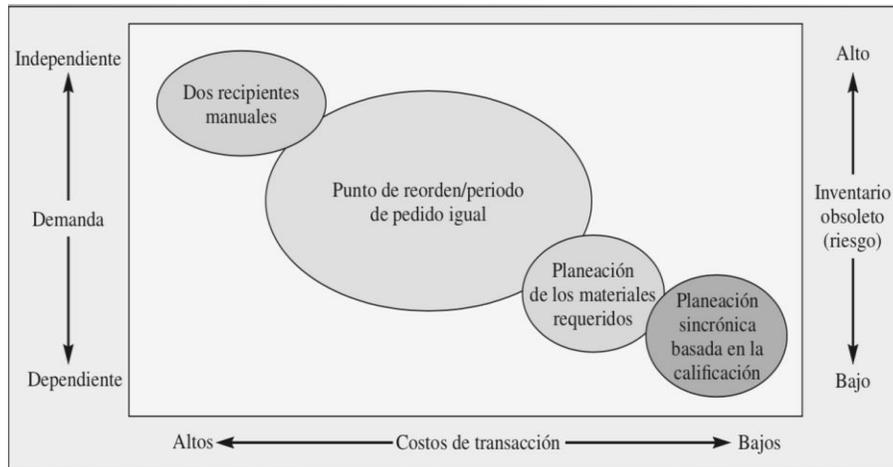
5.4.2.5 Costo del inventario en la fase de construcción de proyectos de vivienda.

1. Costos de mantenimiento (o transporte). Esta amplia categoría incluye los costos de las instalaciones de almacenamiento, manejo, seguros, desperdicios y daños, obsolescencia, depreciación, impuestos y el costo de oportunidad del capital.
2. Costos de configuración (o cambio de producción). La fabricación de cada producto comprende la obtención del material necesario, el arreglo de las configuraciones específicas en el equipo, el llenado del papeleo requerido, el cobro apropiado del tiempo y el material, y la salida de las existencias anteriores.
3. Costos de pedidos. Estos costos se refieren a los costos administrativos y de oficina por preparar la orden de compra o producción. Los costos de pedidos incluyen todos los detalles, como el conteo de piezas y el cálculo de las cantidades a pedir.
4. Costos de faltantes. Cuando las existencias de una pieza se agotan, el pedido debe esperar hasta que las existencias se vuelvan a surtir o bien es necesario cancelarlo. (Chase R. B., 2018)

En las obras de edificaciones el control de inventarios es fundamental para la distribución de los materiales que son requeridos por las estaciones de trabajo para las operaciones repetitivas y lograr evitar desperdicio los de materiales y no generar pérdidas en mortero, ladrillo, madera etc.” El riesgo a la obsolescencia también es una consideración importante. Si una pieza se usa con poca frecuencia o solo para un propósito específico, existe un riesgo considerable al utilizar la lógica de control de inventarios”. (Jacobs, pág. 549)

En la **Figura 12**. Matriz de diseño del sistema de control de inventarios, se ilustra la matriz utilizada en los sectores productivos para administrar los materiales.

Figura 12. *Matriz de diseño del sistema de control de inventarios*



Nota. La matriz de diseño del sistema de control de inventarios es el marco que describe la lógica del control de inventarios. Una característica importante de la demanda se relaciona con el hecho de si ésta se deriva de una pieza final o si se relaciona con la pieza misma. Se usan los términos demanda independiente y dependiente, además facilita al planeador de requerimientos de materiales que tipo de materiales están en estado obsoleto o en riesgo. *Tomado Administración de operaciones, producción y cadena de suministros* (pág. 520), por (Chase, 2019), McGraw Hill

En las obras de edificación de viviendas los dos tipos generales de inventarios son fundamentales para el control de los recursos en la fase de construcción, debido a que las órdenes por la planeación de los materiales son por demanda constante para la elaboración del producto con la robustez planeada y la entrega justo a tiempo con los requerimientos técnicos de calidad establecidos por la constructora. “Los modelos de cantidad de pedido fijo (también llamado cantidad de pedido económico, EOQ *economic order quantity* y modelo Q) y modelos de periodo fijo (conocidos también como sistema periódico, sistema de revisión periódica”. (Chase, 2019, pág. 524) En la **Tabla 6.** Diferencias entre cantidad de pedido fija y periodo fijo, se muestra las diferencias entre cantidad de pedido fija y periodo fijo.

Tabla 6. Diferencias entre cantidad de pedido fija y periodo fijo

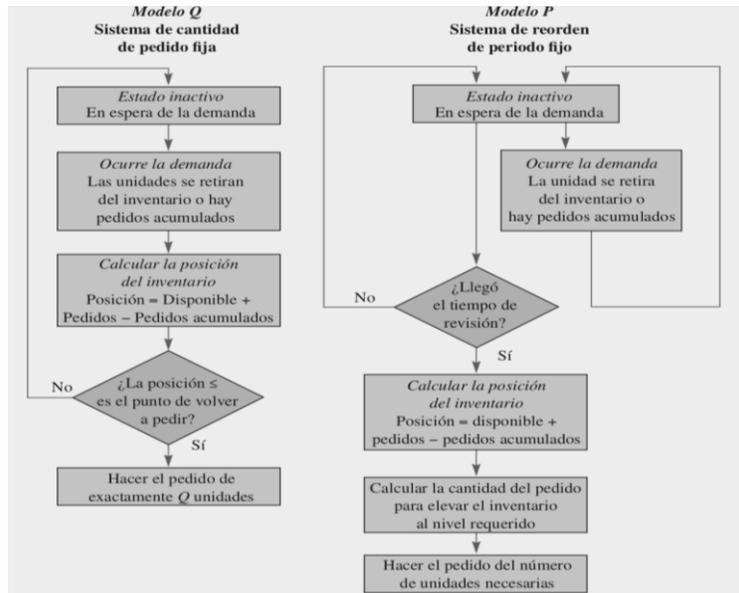
Característica	MODELO Q Modelo de cantidad de pedido fija	MODELO P Modelo de periodo fijo
Cantidad del pedido	Q, constante (siempre se pide la misma cantidad).	q, variable (varía cada vez que se hace un pedido).
Donde hacerlo	R, cuando la posición del inventario baja al nivel de volver a pedir.	T, cuando llega el periodo de revisión.

Característica	MODELO Q Modelo de cantidad de pedido fija	MODELO P Modelo de periodo fijo
Registros	Cada vez que se realiza un retiro o una adición.	Se cuenta en el periodo de revisión.
Tamaño del inventario	Menos que el modelo de periodo fijo.	Más grande que el modelo de cantidad de pedido fija.
Tiempo para mantenerlo	Más alto debido a los registros perpetuos.	
Tipo de pieza	Piezas de precio más alto, críticos o importantes.	

Nota. Existen dos tipos generales de sistemas de inventario de varios periodos: los modelos de cantidad de pedido fijo (también llamado cantidad de pedido económico, EOQ-*economic order quantity* y modelo Q) y modelos de periodo fijo (conocidos también como sistema periódico, sistema de revisión periódica, sistema de intervalo fijo y modelo P). *Tomado Administración de operaciones, producción y cadena de suministros* (pág. 525), por (Chase, 2019), McGraw-Hill

En la industria de la construcción, los inventarios de las piezas a utilizar en los procesos son los de mayor cantidad; el ladrillo es uno de los materiales que más demanda tiene en las obras de edificación de viviendas “Como se ve, el sistema de cantidad de pedido fija se enfoca en las cantidades de pedidos y los puntos en que es necesario volver a pedir. En cuanto al procedimiento, cada vez que se toma una unidad del inventario”. (Aquilano N. , 2018). En la **Figura 13**. Sistemas de inventarios de cantidad de pedido fija y periodo fijo, se ilustra la comparación de los sistemas de inventarios de cantidad de pedido fija y periodo fijo en la manufactura.

Figura 13. *Sistemas de inventarios de cantidad de pedido fija y periodo fijo*



Nota. En el sistema de periodo fijo, se toma la decisión de hacer un pedido después de contar o revisar el inventario. El hecho de hacer un pedido o no depende de la posición del inventario en ese momento. *Tomado Administración de operaciones, producción y cadena de suministros* (pág. 554), por (Chase, 2018), McGraw-Hill

5.4.2.6 Costos de Mantener, Odenar y Preparar.

En las obras de edificación de viviendas los costos de mantener, ordenar y preparar el inventario de los materiales requeridos en los procesos de estructuras, movimiento de tierras, excavaciones simples, cimentación y zapatas son elevados. “Los costos de mantener o llevar inventario son los que se asocian con guardar o “manejar” el inventario en el tiempo. Por lo tanto, los costos de mantener también incluyen obsolescencia y otros costos relacionados con el almacenaje.” (Heizer, 2019) En la **Tabla 7**. Determinación de los costos de mantener el inventario, se ilustra las categorías y el porcentaje del valor del inventario en las obras de edificación.

Tabla 7. *Determinación de los costos de mantener el inventario*

Categoría	Costo (rango) porcentaje del valor del inventario
Costo del edificio (renta o depreciación del edificio, costos de operación, impuestos, seguros)	6% (3 - 10%)
Costo de manejo de materiales (renta o depreciación del equipo, energía, costo de operación)	3% (1 - 3.5%)

Categoría	Costo (rango) porcentaje del valor del inventario
Costo de mano de obra	3% (1 - 5%)
Costos de inversión (costos de préstamos, impuestos y seguros del inventario)	11% (6 - 24%)
Robo, daño y obsolescencia	3% (2 - 5%)
Costos generales por manejo	26%

Nota. Los costos de administrar inventarios en los sectores productivos, se puede presentar por costos generales o por manejo. Los costos de mantener el inventario son los costos asociados con guardar o “llevar” el inventario a través del tiempo. *Tomado de principios de administración de operaciones* (pág. 482), por (Heizer, 2019), Pearson Educación

5.5 Programa Maestro de Producción

“El programa maestro de producción (MPS, *Máster Production Schedule*) especifica que debe hacerse (es decir, el número de productos o artículos) y cuando”. (Solares, 2019) En las obras de edificación el programa debe ser acorde con el plan de producción o construcción de cada vivienda. El plan de producción en las constructoras establece el nivel general para las partidas. En la **Tabla 8.** Partidas para una obra de edificación, se ilustra la determinación de las partidas más relevantes en una construcción.

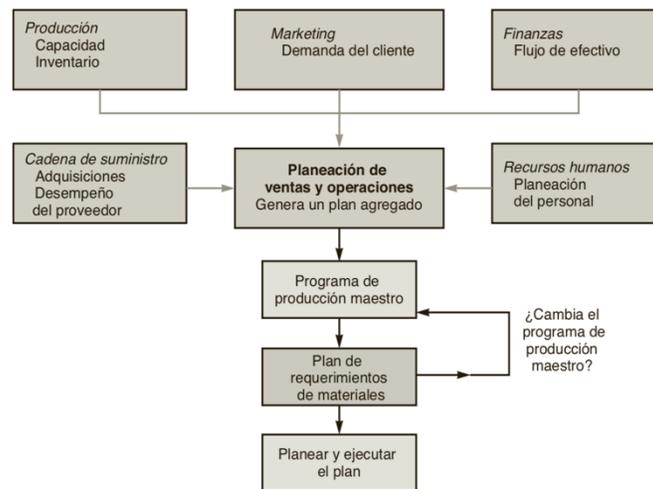
Tabla 8. Partidas para una obra de edificación

PARTIDAS	
	Limpieza de terreno
Movimiento de tierras	Excavación de zanjas
	Concreto simple
	Cimentos corridos mezcla
	Acero
Concreto armado	Encofrado y desencofrado normal en columnas
	Concreto para columnas
	Acero
Vigas	Encofrado y desencofrado normal en columnas
	Concreto para vigas y dinteles

Nota. En cada partida, en una obra de edificación se desglosa varias actividades.

El proceso de planeación en el sector de la construcción debe cumplir todos los requerimientos de los proyectos a ejecutar, para evitar retrasos y reprocesos en las obras sin importar la complejidad de los procesos que se puedan ver afectados por los diferentes factores técnicos, climáticos o por variación económica. En la **Figura 14.** Proceso de planeación en los sectores productivos, se muestra las dependencias donde se desarrolla la planeación del programa maestro de producción en los sectores productivos.

Figura 14. Proceso de planeación en los sectores productivos



Nota. El programa de producción maestro (MPS) especifica qué debe hacerse, es decir, el número de productos o artículos terminados y cuándo. *Tomado de principios de administración de operaciones* (pág. 555), por (Murrieta, 2019), Pearson Educación.

5.5.1 Planeación de Requerimientos de Materiales (MRP)

“Técnica de demanda dependiente que usa listas de materiales, inventario, facturación esperada y programa maestro de producción, con la finalidad de determinar los requerimientos de materiales” (Heizer, 2019, pág. 522) en las obras de edificación de viviendas las empresas cada vez que vayan a iniciar un proyecto de determinada cantidad de viviendas en la fase de planeación deben dejar muy claro la distribución de los materiales a través de un experto, teniendo en cuenta que las operaciones son repetidas.

En el sector de la construcción los modelos MRP proporcionan una estructura muy clara de acuerdo con que los requerimientos de materiales son por demanda dependiente.

La industria de la construcción ha evolucionado hasta constituir la base de planear los recursos empresariales. ERP es un sistema de información que en las constructoras ayuda a identificar y planear los recursos empresariales para la ejecución de las obras justo a tiempo cumpliendo las exigencias de los clientes.

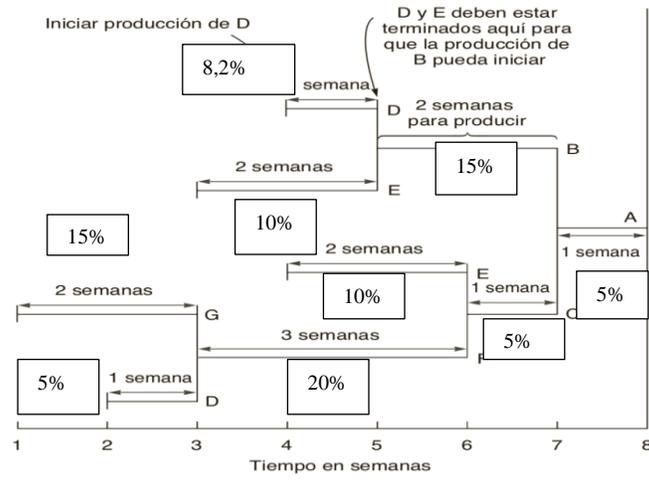
5.5.2 Administración MRP.

El plan de requerimientos de materiales en los sectores productivos no es paralizado debido al flujo que requieren las células de trabajo para cumplir con las metas establecidas. Los sistemas MRP se integran cada vez más con las técnicas justo a tiempo (JIT), en el sector de la construcción los materiales deben ser controlados teniendo en cuenta que las operaciones son repetitivas en las obras de edificación.

5.5.3 Tiempos de Entrega para Componentes.

“Una vez que los administradores de operaciones establecen cuándo se necesitan los productos, deben determinar cuándo adquirirlos. El tiempo requerido para adquirir un artículo (es decir, comprarlo, producirlo o ensamblarlo) se conoce como tiempo de entrega”. (Render, 2019, pág. 558) En la industria de la construcción los tiempos de entrega de cada proceso que integra la obra de edificación, requiere cumplir los tiempos de entrega para cada una de las actividades. Por ejemplo, encofrado y desencofrado, bases de concreto, solados, rampas y sobre cimientos etc. “Para un artículo manufacturado, el tiempo de entrega consiste en la suma de los tiempos necesarios para trasladar, preparar y ensamblar o implementar una corrida para cada componente”. (Render, 2019, pág. 558). En la Figura 15. Estructura escalonada del producto, se muestra el desglose de la estructura para el desarrollo de un producto en el sector de la construcción.

Figura 15. *Estructura escalonada del producto*



Nota. Una precisión del 99% en los registros puede sonar bien, aunque el componente tenga una disponibilidad del 99% y un producto tenga sólo siete componentes, la probabilidad de que un producto se termine es de sólo 0.932. *Tomado de los principios de administración de operaciones* (pág. 559), por (Heizer, 2019), Pearson Educación.

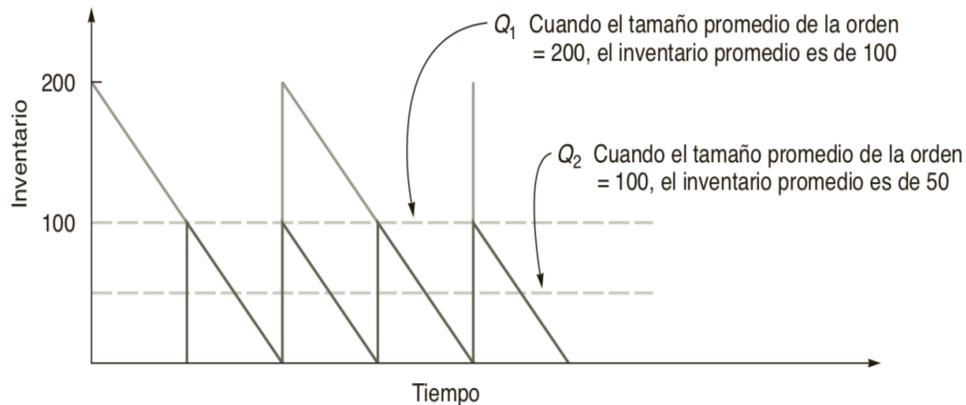
5.5.4 Producción Justo a Tiempo y Producción Esbelta.

“La distribución justo a tiempo JIT reduce otro tipo de desperdicio. El movimiento de material en una fábrica no agrega valor. Por lo tanto, se desean distribuciones flexibles que disminuyan los movimientos de personas y materiales”. (Render, 2019, pág. 631) En las obras de edificación y habilitación urbana las compañías de Estados Unidos han implementado la distribución física para JIT y les ha permitido mejorar continuamente los procesos en las obras de movimiento de tierra, concreto simple, concreto armado, estructuras metálicas y estructuras de madera.

“La distribución justo a tiempo JIT coloca los materiales directamente en el lugar donde se requiere. Por ejemplo, el diseño de una línea de ensamble debe incluir puntos de entrega cercanos a la línea para que el material no tenga que trasladarse más de una vez.” (Render, 2019, pág. 631) No solo las ensambladoras de carros han logrado mejoras en los procesos en con la puesta en marcha de la filosofía justo a tiempo JIT. La industria de la construcción ha implementado la línea de ensamble en las obras de edificación teniendo en cuenta que las operaciones son repetitivas un caso particular es el piso 2” coloreado que requiere cemento, arena gruesa. Piedra chancada de ¾” arena fina etc.

En la **Figura 16**. Costo total de ordenar y el costo total de mantenimiento a través de la distribución física para JIT, se muestra las órdenes del inventario en un proceso productivo donde se especifica el costo total de ordenar y el costo total de mantenimiento a través de la distribución física para JIT.

Figura 16. Costo total de ordenar y el costo total de mantenimiento a través de la distribución física para JIT



Nota. Las órdenes frecuentes reducen el inventario promedio una orden de tamaño más pequeño aumenta la cantidad de órdenes y el costo total de ordenar, pero disminuye el inventario promedio y el costo total de mantenerlo. En este caso cuando el tamaño de la orden es igual a 200 unidades, el tamaño promedio de la orden es 100 unidades por lo tanto el inventario promedio es 50 unidades. *Tomados principios de administración de operaciones* (pág. 633), por (Heizer, 2019), Pearson Educación.

5.5.5 Técnica FEFO en los Sectores Productivos.

El método FEFO es utilizado en la industria del sector de alimentos para distribuir los productos y hacer fluir la cadena de suministro, así evitar pérdidas en el ciclo de vida del proceso de producción. De la misma manera, las empresas de fármacos la emplean para tener una rotación dinámica de las materias primas requeridas en la elaboración de sus productos y evitar pérdidas por stock alto o por falta de rotación de los inventarios. Es de tener en cuenta que un material que no tenga rotación en el inventario en un proceso constructivo podría generar retrasos en la producción de las partidas, incluso baja calidad del producto.

Kaplan (2019) afirma que las empresas con ciclos operativos largos, como las de la rama de la construcción, considera que la gestión de los materiales circulante es igual de importante. Esta clase de empresas necesitan seguir la pista de los materiales adquiridos contra la cantidad de los materiales gastados por cada trabajo terminado hasta la fecha programada para la terminación de las partidas (pág. 83)

En las obras de edificación de vivienda se evidencia desperdicios en la construcción por defectos, demoras, excesos de procesado, exceso de producción, inventarios excesivos y transporte innecesario. En la **Figura 17**. Proyecto edificación de viviendas, se ilustra los desperdicios de materiales en un proyecto de edificación de vivienda en Colombia.

Figura 17. Proyecto edificación de viviendas



Fuente: Obras de edificación de vivienda en la Constructora Marval S. A, 2020

Nota. El desperdicio de materiales en las obras de edificación se genera a raíz de la falta de implementación de un sistema de inventarios mediante técnicas para optimizar los materiales e insumos y materias primas.

Norton (2019) afirma que otras medidas de utilización de los materiales en las obras de edificación se centran en perfeccionar los procedimientos de las partidas, para mejorar la productividad de los proyectos de construcción los directores de operaciones deben disponer los materiales, equipos y mano de obra en las estaciones de trabajo y evitar retrasos en la producción de las partidas. (pág. 84)

5.5.5.1 Requisitos Comunes del FEFO en los Sectores Productivos.

Por otra parte, en las obras de edificación de viviendas no implementan las técnicas FEFO/FIFO, la técnica que es utilizada a nivel mundial por las compañías dedicadas a la construcción de viviendas para eliminar desperdicios en la fase de la construcción es la cultura de las 5 S.

1. Identificación: producto y elementos de *Layout* (plano o trazado).
2. Sistema de información: ERP (*Enterprise Resource Planning*) /SGA (*Software de gestión de bodegas*).

3. Medios: sistemas de almacenaje, *Layout*, transporte y personal.
4. Organización: procedimientos, sincronización de tareas y puestos de trabajo.

5.5.5.2 Ventajas de la Técnica FEFO en la Construcción.

1. Contempla condiciones de almacenamiento para materiales especiales como temperatura humedad y exposición.
2. Contempla caducidad de productos, teniendo en cuenta tiempo de vencimiento.
3. Contempla codificaciones o clasificación de productos para reducir tiempos de búsqueda.
4. Partiendo del aprovechamiento óptimo de los recursos materiales, se establece un orden de consumo de acuerdo a la fecha de caducidad, y condiciones de almacenamiento, como lo es el cemento: que, por las condiciones de humedad y la fecha de vencimiento, se procede con el uso, priorizando el consumo por orden de suministro, para evitar desperdicios por almacenamiento o vencimiento.

5.5.5.3 Desventajas de la Técnica FEFO en la Construcción.

1. No es genérico en las condiciones irregulares de obra, (requiere de espacios estandarizados)
2. Requiere de un software para su control
3. Su principal objetivo son los productos con riesgo de caducidad
4. Tiempos de almacenaje varía de acuerdo con las condiciones de obra (espacio y recorrido)

5.6 *Lean Manufacturing*

El *Lean Manufacturing* es utilizado a nivel mundial por la industria de la construcción para el control de los materiales que son distribuidos en las estaciones de trabajo, en la operación de las obras de edificación de vivienda. La existencia de puentes grúa genera posibilidades de cambio de distribución de los materiales en las partidas de producción de la obra; por ejemplo, cimientos corridos, zapatas, vigas de cimentación etc. “El factor edificio elemento fundamental del *Lean Manufacturing* analiza la superficie útil real del edificio. Este factor tiene en cuenta la forma de la edificación. Por ejemplo, las columnas, la situación de las ventanas de ventilación, zonas de posible ampliación” (Layout M. d., 2020). En general los directores de obra utilizan restricciones acentuadas, una es el puente grúa eso facilita en la producción de las partidas de las estructuras metálicas los avances de las columnas o pilares, vigas, tijerales reticulados, planchas corrugadas galvanizadas y de aluminio.

El sector de la construcción en Colombia ha mejorado continuamente los procesos en las obras de edificación de viviendas a través de la implementación de la 5S. “Es una herramienta de gestión visual fundamental dentro de *Lean Manufacturing* y utilizada habitualmente como punto de partida para introducir la mejora continua en las empresas del sector de la construcción” (Berganzo, 2016). Logrando un orden en los materiales de construcción que se utilizan en las obras de edificación tales como el concreto, unidades de mampostería, tipos de morteros, madera estructural, acero y cemento.

5.6.1. Metodología de la “Cinco Eses” en el Sector de la Construcción

“La metodología “Cinco Eses” fue desarrollada en Japón y cada una de las “S” hace referencia a una acción a realizar para implantar este método: Clasificación, Organización, Limpieza, Estandarizar y Seguir Mejorando”. (Berganzo, 2016) Esta es una de las herramientas más utilizadas por el sector de la construcción en Colombia para optimizar el estado del entorno y facilitar las operaciones en las estaciones de trabajo, aumenta la capacidad para la solución de problemas que se presentan en las obras de edificación de viviendas. Con su implementación la Constructora Marval S.A, ha mejorado la productividad del proceso. En la **Tabla 9**. Filosofía de la 5S, se describen los conceptos, implementados en los sectores productivos por compañías japonesas relacionados con la clasificación, organización, limpieza en las plantas industriales especialmente en los procesos.

Tabla 9. *Filosofía de la 5S*

JAPONES	ESPAÑOL	CONCEPTO	OBJETIVO
SEIRI	Clasificar	Separar lo innecesario	Identificar y clasificar los materiales indispensables para la ejecución del proceso.
SEITON	Ordenar	Situar necesarios	Eliminar tiempos no productivos asociados a la búsqueda de materiales y desplazamientos innecesarios.
SEISO	Limpiar	Suprimir suciedad	Disponer de un estándar adecuado de limpieza y organización, tiene afinidad directamente en la motivación del personal.
SEIKETSU	Estandarizar	Señalizar anomalías	Los operarios son polivalentes y son capaces de detectar pequeños fallos en su puesto.
SHITSUKE	Mantener la Disciplina	Seguir mejorando	Disponer de una disciplina para mantener un puesto de trabajo ordenado y limpio.

Fuente: Construcción del Autor, 2021.

Nota. La filosofía de la 5 S facilita a las constructoras identificar, estandarizar los materiales y mantener la disciplina que genere mejoramiento continuo en los procesos.

5.7 La Filosofía *Lean Construction* (Lc) O “Construcción sin Pérdidas”

“La industria de la construcción es una parte importante para el sistema económico de un país, por tanto, la verificación de los nuevos sistemas de gestión que se implementan en las principales industrias constructoras del mundo y en donde se obtienen excelentes resultados”. (Construction L. , 2014) La filosofía *Lean Construction* (LC) o “construcción sin pérdidas” desde finales del siglo XX incursionó en el sector de la construcción para mejorar continuamente los procesos que integran las fases de los proyectos constructivos que demanda los sectores productivos.

“*Lean Construction* es una filosofía que se orienta hacia la administración de la producción en construcción y su objetivo principal es reducir o eliminar las actividades que no agregan valor al proyecto y optimizar las actividades que sí lo hacen”. (Construction F. L., 2014) *LC* clasifica los residuos de construcción. En la **Tabla 10.** Desperdicios en la construcción, se ilustra las siete categorías que generan desperdicios de materiales e insumos y materias primas en las obras edificación.

Tabla 10. *Desperdicios en la construcción*

Desperdicios en la construcción
Defectos
Demoras
Excesos de procesado
Exceso de producción
Inventarios excesivos
Transporte innecesario
Movimiento no útil de personas

Fuente: *Lean Construction*, 2021

Nota. Los desperdicios en las obras de construcción se presentan por una inadecuada planeación de los proyectos. El objetivo de *LC* es optimizar las transformaciones, minimizando o eliminando los flujos que los materiales deben seguir hacia los lugares de ejecución de los trabajos de obra para obtener más valor en

los productos finales. *Tomado de Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción* (pág. 36), por (Guerra, 2019, pág. 36)

Cuando en las obras de edificación no se tiene un control de los materiales e insumos y materias primas, se presentan desperdicio en general de los materiales requeridos para la construcción de las viviendas. Para evitar el desperdicio los de materiales se requiere una programación de distribución de los recursos y no generar pérdidas en mortero, ladrillo, madera etc. En la **Tabla 11**. Estimado de desperdicio en obras de edificaciones, se describe el porcentaje relacionados con los desperdicios para cada partida en las obras de edificación.

Tabla 11. *Estimado de desperdicio en obras de edificaciones*

Estimado de desperdicio en obras de edificaciones		
Porcentaje del costo total de obra		
Item	Descripción	%
Restos de material	Restos de mortero	5%
	Restos de ladrillo	
	Restos de madera	
	Limpieza	
	Retirada de material	
Espesores adicionales de mortero	Tarrajeo de techos	5%
	Tarrajeo de paredes internas	
	Tarrajeo de paredes externas	
	Contrapisos	

Fuente: *Lean Construction*, 2021

Nota. El modelo tradicional del *Lean Construction* ha dejado resultados positivos en el sector de la construcción principalmente en las obras de edificación y habilitación urbana. La idea básica de producción que plantea la filosofía *LC* que tiene por objetivo, diseñar sistemas de producción para minimizar o eliminar el desperdicio de materiales y la excesiva producción de residuos. Los desperdicios en las obras de construcción se presentan por una inadecuada planeación de los proyectos, el almacenamiento y la mala ubicación puede afectar el producto por el traslado de una estación de trabajo a otra. También, se presentan desperdicios por mal uso del material, como el caso de la preparación excesiva de las mezclas, por desconocimiento del rendimiento de colocación, éste podría presentar pérdidas y aumento de desperdicios. El objetivo de *Lean Construction* es optimizar las transformaciones, minimiza o elimina los flujos de los materiales que deben seguir hacia los lugares de ejecución de los trabajos de las obras para obtener más

valor en los productos finales. *Tomado de Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción* (pág. 36), por (Guerra, 2019)

Adicionalmente, las obras de edificación que no efectúa un control en las dosificaciones, reparaciones y trabajos no computados en el resto de los materiales y proyectos no optimizados pueden presentar sanciones por los requisitos de calidad del producto. En la **Tabla 12**. Estimado de desperdicio en obras de edificaciones, se describe el porcentaje relacionados con los desperdicios para cada partida en las obras de edificación.

Tabla 12. *Estimado de desperdicio en obras de edificaciones*

Estimado de desperdicio en obras de edificaciones		
Porcentaje del costo total de obra		
Ítem	Descripción	%
Dosificaciones no optimizadas	Concreto	2%
	Mortero de tarrajeo de techos	
	Mortero de tarrajeo de paredes	
	Mortero de contrapisos	
Reparaciones y retrabajos no computados en el resto de los materiales	Mortero de revestimientos	2%
	Repintado	
	Retoques	
	Corrección de otros servicios	
Proyectos no optimizados	Arquitectura	6%
	Estructuras	
	Instalaciones sanitarias	
	Instalaciones eléctricas	

Fuente: *Lean Construction*, 2021

Nota. En las estructuras, instalaciones sanitarias e instalaciones eléctricas se presenta 6% en desperdicios lo que afecta financieramente un proyecto, los principios en que se sustenta la filosofía “Lean”, como la mejora de los modelos de ejecución de proyectos constructivos, la maximización del valor para el cliente y reducción al mínimo las pérdidas. *Tomado de Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción* (pág. 36), por (Guerra, 2019)

Finalmente, en las obras de edificación las paradas y operaciones adicionales por la calidad de los materiales genera pérdidas de productividad en los avances ejecutados en las construcciones, y debido a los

atrasos se ocasionan costos, en la **Tabla 13**. Estimado de desperdicio en obras de edificaciones, se describe el porcentaje relacionados con los desperdicios para cada partida en las obras de edificación.

Tabla 13. *Estimado de desperdicio en obras de edificaciones*

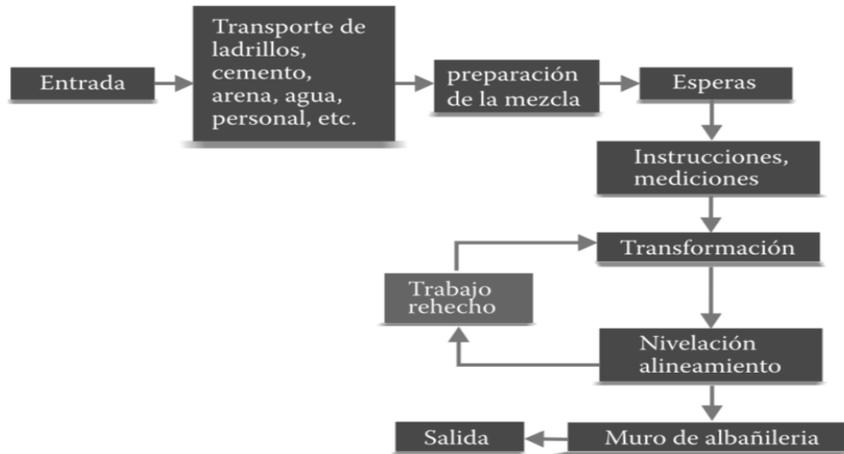
Estimado de desperdicio en obras de edificaciones		
Porcentaje del costo total de obra		
Ítem	Descripción	%
Pérdidas de productividad debidas a problemas de calidad.	Parada y operaciones adicionales por falta de calidad de los materiales y servicios anteriores.	3.5%
Costos debidos a atrasos.	Pérdidas financieras por atrasos de las obras y costos adicionales de administración, equipos y multas.	1.5%
Costos en obras entregadas.	Reparo de patologías ocurridas después de la entrega de obra.	5%

Fuente: *Lean Construction*, 2021

Nota. Los costos en obras entregadas representaron 5% en desperdicio, relacionado con el reparo de patologías ocurridas después de la entrega de obra. La administración de la producción en construcción y su objetivo principal es reducir o eliminar las actividades que no agregan valor al proyecto y optimizar las actividades que sí lo hacen. *Tomado de Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción* (pág. 36), por (Guerra, 2019)

“Ejemplo de un modelo TFV, puesta de ladrillo. Tomado de productividad en la construcción de un condominio aplicando conceptos de la filosofía *Lean Construction*” (Construction F. L., 2014). La filosofía *Lean Construction* se ha implementado a nivel mundial en las obras de edificaciones para administrar y controlar los recursos, las constructoras en Colombia como AMARILO, BOLÍVAR Y MARVAL etc., actualmente utilizan *Lean Construction* junto con las técnicas de las 5S, para administrar correctamente los recursos en la fase de ejecución de los proyectos. En la **Figura 18**. Modelo TFV, se ilustra el modelo construcción de una obra de edificación.

Figura 18. *Modelo TFV*



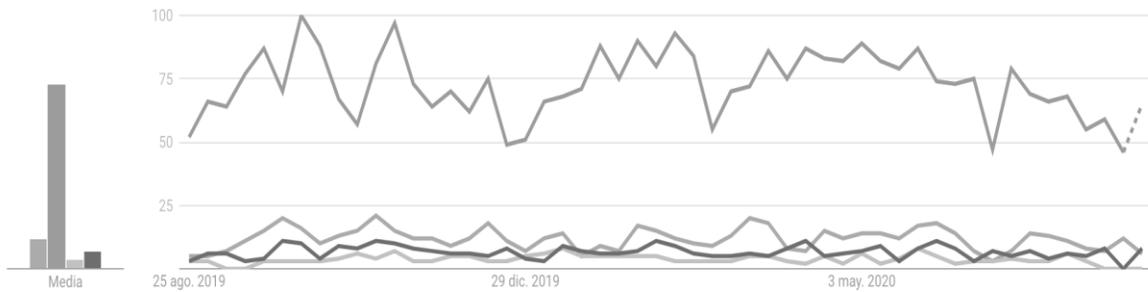
Fuente: *Lean Construction*, 2020

Nota. El modelo TFV es un proceso ágil para la producción de las partidas en las obras edificación de vivienda. En la filosofía *LC* la planificación y el control son procesos complementarios y dinámicos, en donde la planificación define los criterios y crea las estrategias necesarias para alcanzar los objetivos del proyecto. Tomado de *Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción* (pág. 37), por (Guerra, 2019).

Google Trends indica que para el último año la técnica que tuvo mayor tendencia en los sectores productivos es *Layout* por encima de *Lean Construction*, esto demuestra que esta técnica es utilizada no solo para distribución logística en las diferentes industrias, sino que también es utilizada en el sector de la construcción principalmente en las obras de edificación. (*Google Trends*, 2020)

En la Figura 19. Comportamiento de las técnicas de administración de recursos en los últimos dos años, se ilustra el comportamiento de las técnicas de administración de recursos de acuerdo con las estadísticas de *Google Trends*.

Figura 19. Comportamiento de las técnicas de administración de recursos en los últimos dos años



Fuente: *Google Trends*, 2020

Nota. *Google Trends* facilita a las compañías, determinar el impacto positivo y negativo de los modelos de mercado, métodos de investigación, técnicas y herramientas a través del tiempo.

5.8 Análisis Cuantitativo de la Investigación.

Para el desarrollo de la investigación y dar cumplimiento a lo formulado en el planteamiento de la investigación, se realizó un análisis cuantitativo mediante la aplicación del formulario de encuesta. Se realizaron los siguientes pasos para cumplir el rigor académico de la investigación.

1. Se diseñó el formulario con las técnicas identificadas en el objetivo número 1 “Identificar técnicas actuales para la administración de los recursos en la fase construcción de las obras de edificación en la ciudad de Bogotá D.C.
2. El formulario obtuvo una revisión de forma y formulación de tipo de pregunta, por parte de dos profesionales de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, adscritos a la Unidad de Proyectos y un profesional del programa de Administración de Empresas.
3. Revisión por parte de una persona de la Unidad de Proyectos en Metodología de Investigación, una vez recibidas las observaciones, se hizo el respectivo ajuste para dar paso a la aplicación de la encuesta.
4. Se realizó un pilotaje con 12 profesionales en ingeniería civil con experiencia y conocimiento en dirección de obras de edificación, para evaluar el comportamiento de las respuestas y las posibles observaciones de los profesionales encuestados.

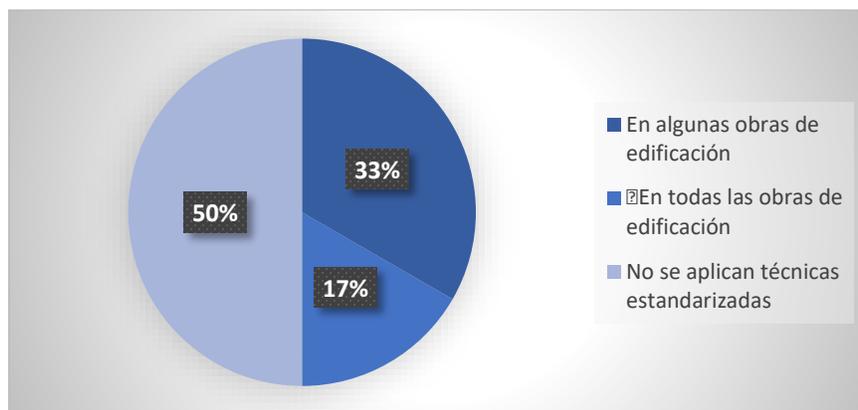
Validados los ítems anteriormente mencionados, se definió al interior del equipo del proyecto, aplicar la encuesta a profesionales de ingeniería civil con experiencia en dirección o residentes de obras de edificación y habilitación urbana o administradores de operaciones.

5.8.1. Análisis del Pilotaje de la Encuesta.

Para el pilotaje, se determinó aplicar la encuesta a 12 ingenieros civiles con conocimiento y experiencia en obras de edificación y habilitación urbana. Luego se realizó el análisis a las preguntas 7 y 10 del formulario aplicado, para determinar el comportamiento de las respuestas y realizar las modificaciones a las preguntas, teniendo en cuenta las observaciones sugeridas por los encuestados. En la **Figura 20**. Técnicas estandarizadas para la distribución de los materiales en la fase de construcción, se muestra el comportamiento de la pregunta número de 7 del formulario de la encuesta relacionada con el pilotaje aplicado a los 12 expertos en obras de edificación y habilitación urbana.

¿En qué medida aplica su organización, técnicas estandarizadas para la distribución de los materiales en la fase de construcción en las obras de edificación? Seleccione una opción.

Figura 20. *Técnicas estandarizadas para la distribución de los materiales en la fase de construcción*

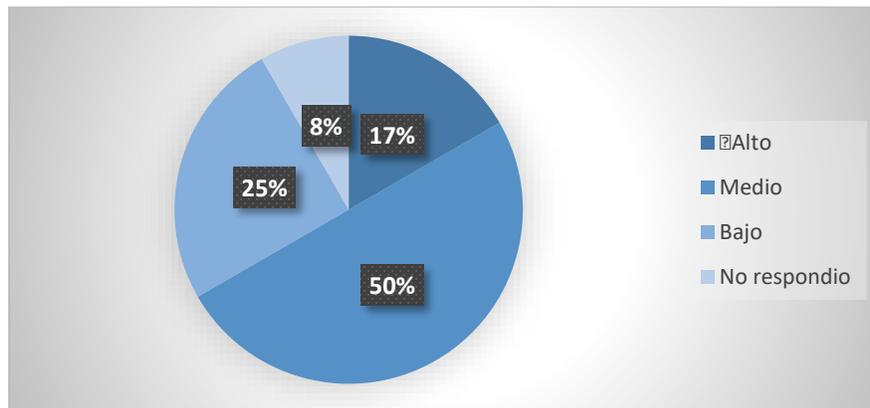


Fuente: Autores, 2021

Nota. El 50 % de los encuestados, que equivale a 6 personas, respondió que no se aplican técnicas estandarizadas para la distribución de los materiales en la fase de construcción en las obras de edificación. El 33% de los encuestados, que equivale a 4 personas, respondió que en algunas obras de edificación aplican técnicas estandarizadas para la distribución de los materiales en la fase de construcción en las obras de edificación.

¿Cómo calificaría el aporte o contribución de las técnicas *Layout* para la administración de recursos en la fase de construcción en las obras de edificación?

Figura 21. Contribución de las técnicas *Layout* para la administración de recursos en la fase de construcción



Fuente: Autores, 2021

Nota. El 50 % de los encuestados, que equivale a 6 personas respondió medio, relacionado con la contribución de las técnicas *Layout* para la administración de recursos en la fase de construcción en las obras de edificación. El 25% de los encuestados, que equivale a 3 personas manifestó bajo, la contribución de las técnicas *Layout* para la administración de recursos en la fase de construcción en las obras de edificación.

5.8.2. Análisis de la Encuesta

Para determinar la muestra de la población a encuestar y dar cumplimiento a lo planteado en la propuesta de investigación, se utiliza el cálculo de poblaciones finitas. Si la población es finita, es decir, se conoce el total de la población y se desea saber cuántos del total se quiere estudiar, la fórmula sería:

$$n = \frac{N * Z^2 * P * Q}{d^2 (N - 1) + Z^2 * P * Q}$$

Donde:

N = Total de la población

Zα= 1.96 al cuadrado (si la seguridad es del 95%)

p = proporción esperada (en este caso 5% = 0.05)

$q = 1 - p$ (en este caso $1 - 0.05 = 0.95$)

d = precisión (en su investigación use un 5%).

Se aplicó la encuesta a estudiantes de los programas de posgrado de Ingeniería Civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito y a ingenieros residentes y directores de obra que laboran en sectores productivos principalmente en las obras de edificación.

Se aprovechó lo adelantado por la dirección de posgrados de la Escuela Colombiana de Ingenieros Julio Garavito, principalmente en los programas de especialización y maestría, que han fortalecido los contenidos curriculares y a través de la oferta académica han logrado captar profesionales para capacitarlos en diferentes programas que se ilustran en la **Tabla 14**. Número de estudiantes de los programas de maestría y especialización de Ingeniería Civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

Tabla 14. *Número de estudiantes de los programas de maestría y especialización de Ingeniería Civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito*

Programas	Cantidad (Q)
Diseño, Construcción y Conservación de Vías	17
Estructuras	44
Ingeniería de Fundaciones	10
Maestría en Ingeniería Civil	242
Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente	17
Saneamiento Ambiental	9
Total, general	339

Fuente: Dirección de posgrados de la Escuela Colombiana de Ingeniería julio Garavito, 2021

Nota. Para el desarrollo de la encuesta se tuvo en cuenta estudiantes de los programas de posgrado de ingeniería civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, de acuerdo con la experiencia en dirección de obras en los sectores productivos principalmente el de la construcción.

Se estudió una población de 53 personas para determinar la muestra y aplicar la encuesta. Se tuvo en cuenta el concepto de profesionales con conocimientos en estadística y profesionales con experiencia en obras de ingeniería civil. Dado que la población de ingenieros civiles en Colombia es amplia, pero todos no ejercen el rol como directores de obras, ni son gerentes de empresas constructoras. Se analizó el pilotaje que se aplicó a los estudiantes de posgrado del programa de Ingeniería Civil de la Escuela Colombiana Ingeniería Julio Garavito y se encontró que 2 de cada 5 estudiantes que ingresan al programa de posgrado

tienen experiencia en proyectos de estructuras o trabajan actualmente en obras de edificación. Para determinar la muestra se tuvo en cuenta los siguientes datos:

Seguridad = 95%; Precisión = 5% proporción esperada = se asume que puede ser próxima al 5% (0.05); si no tuviese ninguna idea de dicha proporción se utilizaría valor $p = 0.5$ (50%) que maximiza el tamaño muestra.

$$n = \frac{53 * 1.96^2 * 0.05 * 0.95}{0.05^2(53 - 1) + 1.96^2 * 0.05 * 0.95} \quad n = 31$$

Según diferentes seguridades el coeficiente de $Z\alpha$ varía, así:

1. Si la seguridad $Z\alpha$ fuese del 90% el coeficiente sería 1.645
2. Si la seguridad $Z\alpha$ fuese del 95% el coeficiente sería 1.96
3. Si la seguridad $Z\alpha$ fuese del 97.5% el coeficiente sería 2.24
4. Si la seguridad $Z\alpha$ fuese del 99% el coeficiente sería 2.576

5.8.3. Resultado de la Encuesta

Se efectuó un análisis estadístico de cada una de las preguntas aplicadas a una población equivalente de 31 profesionales de ingeniería civil, seleccionada de acuerdo con el cálculo utilizado con poblaciones finitas. En el anexo número 1 se muestra el análisis total de preguntas aplicadas a la población que se encuestó.

De la siguiente lista de técnicas para administrar los recursos en la fase de construcción en las obras de edificación de viviendas ¿Cuáles conoce?

En la **Figura 22**. Percepción de la población plan de requerimientos de materiales MRP, se ilustra la cantidad de personas que respondieron de acuerdo plan de requerimientos de materiales MRP.

Tabla 15. *Plan de requerimientos de materiales MRP*

Pregunta 1.		
De la siguiente lista de técnicas para administrar los recursos en la fase de construcción de obras de edificación de viviendas ¿Cuáles conoce? Seleccione según corresponda.		
Plan de requerimientos de materiales MRP		
Si	21	68%
No	8	26%

No Responde	2	6%
Total	31	100%

Fuente: Construcción del autor, 2021

Nota. Como se ilustra en la **Tabla 15.** Plan de requerimientos de materiales MRP, relacionada con el plan de requerimientos de materiales, 21 expertos manifestaron conocer la técnica MRP, lo que indica una percepción positiva de la misma.

Para el caso de la pregunta número 1 de la encuesta, como se ilustra en la figura 6, se realizó el análisis a la percepción de las personas encuestadas.

Figura 22. *Percepción de la población plan de requerimientos de materiales MRP*



Fuente: Construcción del autor, 2021

Nota. El 68 % de la población encuestada afirma conocer la técnica del plan de requerimientos de materiales utilizados para administrar recursos en las obras de edificación de vivienda; 26% de los encuestados no responde la pregunta y 6% afirma no conocer la técnica del MRP.

En la pregunta número 1 de la encuesta, “de la siguiente lista de técnicas para administrar los recursos en la fase de construcción en las obras de edificación de viviendas, cuales conoce.” Se efectuó el análisis de percepción de las personas encuestadas de acuerdo con el concepto *Layout* orientado al proceso como se ilustra en la **Figura 23.** *Layout* orientado al proceso. En la **Tabla 16.** *Layout* orientado al proceso se ilustra la cantidad de personas que respondieron de acuerdo con esta técnica.

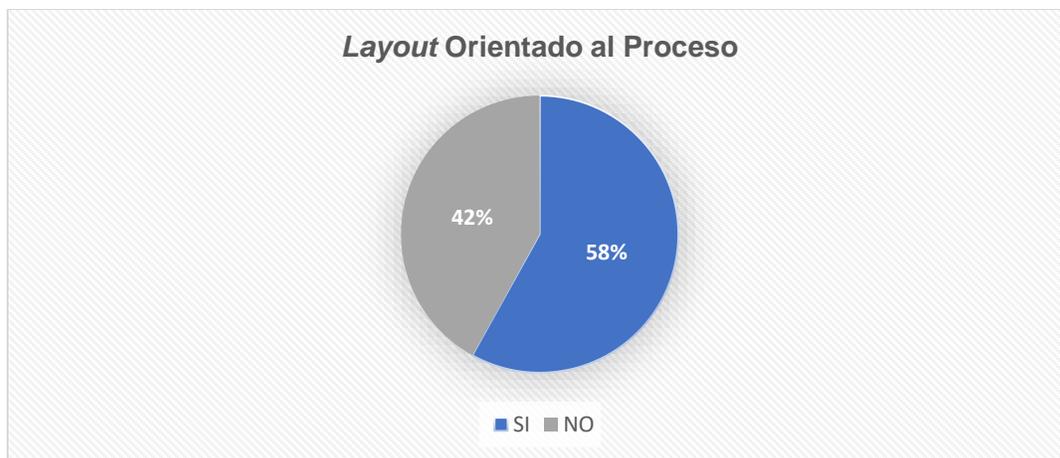
Tabla 16. *Layout orientado al proceso*

Pregunta	1.	
De la siguiente lista de técnicas para administrar los recursos en la fase de construcción de obras de edificación de viviendas ¿Cuáles conoce? Seleccione según corresponda.		
Layout orientado al proceso		
Si	18	58%
No	13	42%
No Responde	0	0%
Total	31	100%

Fuente: Construcción del autor, 2021

Nota. Respecto al *Layout* orientado al proceso, 13 encuestados manifestaron no conocer la técnica para administrar recursos, lo que evidencia una oportunidad para el desarrollo de la guía.

Figura 23. *Layout orientado al proceso*



Fuente: Construcción del autor, 2021

Nota. 58% de la población encuestada afirmó conocer la técnica *Layout* orientado al proceso utilizada en la administración de recursos en las obras de edificación de vivienda y 42% afirma no conocer la técnica, lo que evidencia una oportunidad de mejora con la elaboración de la guía para administrar recursos.

En la pregunta número 1 de la encuesta, ¿de la siguiente lista de técnicas para administrar los recursos en la fase de construcción en las obras de edificación de viviendas conoce? se efectuó el análisis de percepción

a las personas encuestadas de acuerdo con la técnica distribución por proyecto o *Layout* de Posición Fija tal como se ilustra en la **Figura 24.** *Layout* de posición fija

En la Tabla 17. Distribuciones por proyecto o *Layout* de posición fija, se ilustra la cantidad de personas que respondieron de acuerdo con este concepto.

Tabla 17. *Distribuciones por proyecto o Layout de posición fija*

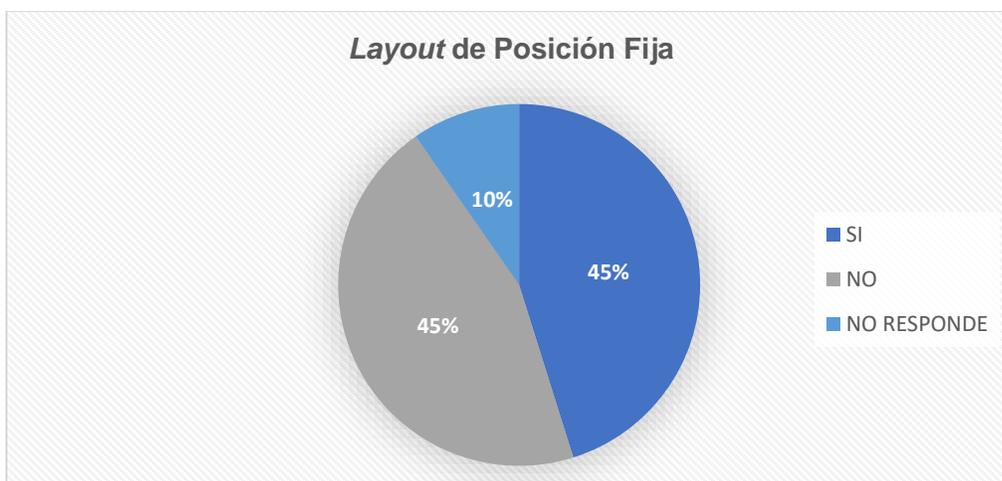
Pregunta 1.
De la siguiente lista de técnicas para administrar los recursos en la fase de construcción de obras de edificación de viviendas ¿cuáles conoce?
seleccione según corresponda.

Distribuciones Por Proyecto o Layout de Posición Fija		
Si	14	45%
No	14	45%
No Responde	3	10%
Total	31	100%

Fuente: Construcción del autor, 2021

Nota. Con respecto a la distribución por proyecto o *Layout* de posición Fija, 14 encuestados manifestaron no conocer la técnica para administrar recursos, lo que evidencia una oportunidad para el desarrollo de la guía.

Figura 24. *Layout* de posición fija



Fuente: Construcción del autor, 2021.

Nota. 45% de la población encuesta afirmó conocer la técnica *Layout* de posición fija utilizada para administrar recursos en las obras de edificación de vivienda, 45% afirmó no conocer la técnica, lo que se evidencia una oportunidad de mejora en el sector de la construcción principalmente en las obras de edificación.

5.9 Cierre del Objetivo 1.

Durante el desarrollo del objetivo número 1, que hace referencia a la Identificación de técnicas para la administración de los recursos en la fase de construcción de las obras de edificación de viviendas, se identificaron algunas técnicas para administrar los recursos en los sectores productivos a nivel nacional e internacional. Se encontraron los diferentes tipos de *Layout*, los cuales se clasifican en *Layout* orientado al proceso o distribución, esta es una técnica aplicada en la manufactura para la distribución de los materiales junto con las células de trabajo en algunos sectores productivos. Por lo tanto, el sector de la construcción, según la investigación, aplica frecuentemente la técnica *Layout* para el manejo y la administración de inventarios a través del método por demanda independiente y dependiente. Estos se explican detalladamente durante el desarrollo del objetivo. Se tiene en cuenta, que la influencia se da por el plan de requerimiento de materiales y es aplicado por las compañías para evitar desperdicios en los procesos que comprende las líneas de ensamble que integran las partidas de las edificaciones y, aunque, las condiciones ambientales y meteorológicas varían, se evidenció, según la investigación, que han sido aplicadas en el sector y es una de las que mejores resultados arroja.

Se identificó que las actividades de construcción implementan el talento humano y su potencial con las máquinas para transformar materiales en obras según los proyectos. Permite que la administración de los

recursos influya en la afectación de los procesos previos de planeación, negociación, pedido, recepción, almacenamiento, administración y control. Esta diversidad de procesos se debe tener en cuenta para el desarrollo y manejo de los recursos. No obstante, los avances de la presente investigación se enfocan en su administración, pero se deben evaluar los procesos que lo anteceden. Las empresas que se vean motivadas en la implementación de esta guía encontrarán técnicas de calidad, relacionadas con la administración de inventarios y optimización de recursos en la fase de administración. Además de la disponibilidad de la infraestructura para la administración de los recursos. Sin embargo, la gran variedad de materiales, la cantidad de información que se genera en los procesos previos y la participación de muchas empresas ajenas a la constructora, hace que la administración de los materiales pueda ser compleja, por lo que es importante comprender el fenómeno y contar con procedimientos sistematizados para su aplicación.

La eficiencia en la administración de los materiales está influida por la meta de tener los insumos en el momento oportuno y se somete a la interacción con fabricantes o comercializadoras de materiales. Por lo que la aplicación de modelos de ingeniería resulta ser menos aleatorio y se controla adecuadamente la administración de los materiales.

Para dar soporte a lo anterior y con base en la experiencia en campo de quienes se desempeñan en estas áreas, se aplicó una encuesta, la cual confirma que se debe detallar y mostrar gran importancia en el manejo de los recursos dentro del desarrollo de las obras, pues de este depende en su gran mayoría el ahorro y el mejoramiento en la rentabilidad de los proyectos.

6. SELECCIONAR TÉCNICAS PARA ADMINISTRAR RECURSOS EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN QUE APLICAN PARA LAS OBRAS DE EDIFICACIÓN EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.

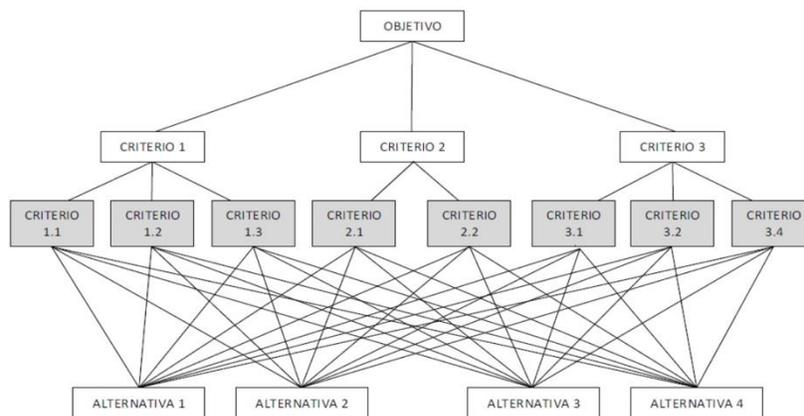
Para el desarrollo del objetivo número 2, que hace referencia a “Seleccionar técnicas para administrar recursos en la fase de construcción que aplican para las obras de edificación en la ciudad de Bogotá D.C.”, se aplicó la herramienta AHP ya que cuenta con las características para resolver el problema planteado al inicio de la investigación. Se contó con las técnicas identificadas para la administración de recursos en la fase de construcción de las obras de edificación de viviendas y habilitación urbana a nivel internacional específicamente en el continente asiático, europeo y americano. Se optó por utilizar la herramienta AHP o análisis multicriterio y definir las técnicas para administrar y controlar los recursos en la fase de construcción de las obras de edificación y dar paso a la elaboración de la guía.

En numerosas ocasiones se contó con muy poca información y se tomó la decisión, teniendo en cuenta aspectos cualitativos que son difíciles de valorar. Para solucionar este tipo de problemas, muy habitual en situaciones reales, el profesor Thomas L. Saaty propuso en la década de los 70 un método denominado *Analytic Hierarchy Process* (AHP), que se ha traducido al español como Proceso Analítico Jerárquico. Este método multiatributo, nacido como respuesta a problemas concretos de toma de decisiones en el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, hoy día se aplica habitualmente a casi todos los ámbitos de la empresa, la economía o la investigación de operaciones, entre otros muchos. (Piqueras, 2018)

De acuerdo con la información que se encontró utilizada por expertos en administración de operaciones y artículos de investigación relacionados con la administración y control de materiales en la web, y luego de analizar las características que tiene cada una de las técnicas identificadas para la administración de recursos en fase de construcción de las obras de edificación y habilitación urbana a nivel internacional, se decidió aplicar la herramienta AHP ya que cuenta con las características para “Seleccionar técnicas para administrar recursos en la fase de construcción que aplican para las obras de edificación en la ciudad de Bogotá D.C.”. “En apretada síntesis, AHP es un método que selecciona alternativas en función de una serie de criterios o variables, normalmente jerarquizados, los cuales suelen entrar en conflicto”. (Piqueras, 2018)

Se tuvo en cuenta el punto de vista de Yoad Pérez, Fabián Ávila y Fernanda González, interesados en desarrollar la guía para la administrar los recursos en la fase de construcción en las obras de edificación de viviendas, se examinó el análisis cuantitativo de las encuestas aplicadas a los 31 expertos y se llegó a la conclusión que la herramienta apropiada para la definir las prácticas de administración y control de los recursos en la fase de construcción es la herramienta AHP. “En esta estructura jerárquica, el objetivo final se encuentra en el nivel más elevado, y los criterios y subcriterios en los niveles inferiores. Para que el método sea eficaz, es fundamental elegir bien los criterios y subcriterios” (Piqueras, 2018), las técnicas deben estar muy bien seleccionadas, ser relevantes y mutuamente excluyentes, independencia entre ellos. Es importante que el número de criterios y subcriterios en cada nivel no sea superior a 7, para evitar excesivas comparaciones. En la **Figura 25**. Estructura jerárquica AHP, se muestra el objetivo y los criterios establecidos para la toma decisiones en los sectores productivos.

Figura 25. Estructura jerárquica AHP



Nota. La estructura jerárquica, se comparan los criterios de cada grupo del mismo nivel jerárquico y la comparación directa por pares de las alternativas respecto a los criterios del nivel inferior. Para ello se utilizan matrices de comparación pareadas usando una Escala Fundamental. *Tomado Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP)* por (Piqueras, 2018).

Yoad Pérez, Fabián Ávila y Fernanda González interesados en desarrollar una guía para administrar recursos en la fase de construcción de las obras de edificación, definieron los criterios que se describirán más adelante en la **Tabla 19**. Opciones establecidas versus los criterios establecidos relacionados con las causas mencionadas en la identificación del problema para dar paso al desarrollo del análisis multicriterio (AHP) y seleccionar las técnicas para la elaboración del objetivo número 3 “Una vez definida la estructura jerárquica, comparan los criterios de cada grupo del mismo nivel jerárquico y la comparación directa por pares de las alternativas respecto a los criterios del nivel inferior.” (Piqueras, 2018) Los criterios que se emplearon para definir las técnicas de administración de recursos en la fase de construcción en las obras de edificación están relacionadas con la administración de los inventarios, distribución de los materiales hacia los centros de trabajo, la planeación, requerimientos de los materiales y justo a tiempo en la entrega de los productos. “Para ello se utilizaron matrices de comparación pareadas usando una escala fundamental. Esta es la clave del método, usar una escala de comparación por pares, puesto que el cerebro humano está especialmente bien diseñado para comparar dos criterios o alternativas.” (Piqueras, 2018).

Es por ello que AHP utiliza una escala fundamental del 1 al 9 que ha sido satisfactoria en comprobaciones empíricas realizadas en situaciones reales muy diversas. En la **Tabla 18**. Escala fundamental AHP para definir las prácticas de administración, se ilustran las técnicas para administrar los recursos.

Tabla 18. Escala fundamental AHP para definir las prácticas de administración

Método AHP para Seleccionar las Técnicas de Administración de Recursos en las Obras de Edificación en Bogotá D.C			
Escala	Escala Numérica	Escala Verbal	Explicación
Igual	1	Igual importancia	Los dos elementos contribuyen igualmente a la propiedad o criterio.
Moderada	3	Moderadamente más importante un elemento que el otro.	El juicio y la experiencia previa favorecen a un elemento frente al otro.
Fuerte	5	Fuertemente más importante un elemento que en otro.	El juicio y la experiencia previa favorecen fuertemente a un elemento frente al otro.
Muy Fuerte	7	Mucho más fuerte la importancia de un elemento que la del otro.	Un elemento domina fuertemente. Su dominación está probada en práctica.
Extrema	9	Importancia extrema de un elemento frente al otro.	Un elemento domina al otro con el mayor orden de magnitud posible.

Nota. Las características principales del método AHP es la escala verbal y numérica que definen como desarrollar el análisis estocástico de la investigación. *Tomado Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP)* por (Piqueras, 2018).

El grupo de investigación utilizó el método AHP o escala Saaty para definir las técnicas de administración de recursos en las obras de edificación, de acuerdo con la identificación de las técnicas que se realizó en el desarrollo del objetivo 1 “Identificar técnicas actuales para la administración de los recursos”

Se determinó una serie de opciones para cada de una de ellas, se establecieron los siguientes criterios: reducción de costos, desperdicio de materiales, entrega justo a tiempo y deficiente control en los inventarios.

En la **Tabla 19.** Opciones establecidas versus los criterios establecidos, se ilustra en las opciones establecidas versus los criterios establecidos por el equipo de investigación.

Tabla 19. Opciones establecidas versus los criterios establecidos

Análisis Multicriterio AHP				
Vs	Reducción del costo	Desperdicio de Materiales	Entrega justo a tiempo	Deficiente control en los inventarios

Análisis Multicriterio AHP				
FEFO – 5S – LAYOUT – JIT	5	6	4	5
EOQ – MRP – LAYOUT- JIT	10	10	6	2
LAYOUT – LEAN				
CONSTRUCTION – MRP – FEFO	8	7	4	4
EOQ – FEFO – 5S – LAYOUT	7	5	6	3

Fuente: Construcción del Autor, 2021

Nota. El análisis Multicriterio AHP se determinó con las técnicas inidentificadas en el objetivo 1 y se tuvo en cuenta causas encontradas en la situación problema de proyecto.

En función de estas características desde la gerencia del proyecto se dieron las siguientes comparaciones entre cada uno de los criterios en cada de una de las alternativas. Para el criterio reducción de costo la opción 1 se considera 5 veces mejor que la opción 4, la opción 2 se considera 5 veces mejor que la opción 1, la opción 2 se considera 3 veces mejor que la opción 3, la opción 2 se considera 9 veces mejor que la opción 4, la opción 3 se considera 3 veces menor que la opción 1, la opción 3 se considera 7 veces mejor que la opción 4. En la **Tabla 20**. Criterio reducción del costo, se ilustra la matriz normalizada para el criterio reducción del costo.

Tabla 20. *Criterio reducción del costo*

Criterio Reducción del Costo									
Vs	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4	Matriz Normalizada				Vector Promedio
Opción 1	1	0,20	0,33	5	0,11	0,12	0,07	0,23	0,13
Opción 2	5	1	3	9	0,54	0,61	0,67	0,41	0,56
Opción 3	3	0,33	1	7	0,33	0,20	0,22	0,32	0,27
Opción 4	0,20	0,11	0,14	1	0,02	0,07	0,03	0,05	0,04
Suma	9,20	1,64	4,48	22,00					1,00

Fuente: Construcción del Autor, 2021

Nota. Se realizó el desarrollo de la matriz relacionado con el criterio reducción del costo para determinar el vector promedio.

En la **Tabla 21**. Desperdicio de materiales, se ilustra el análisis relacionado con el desperdicio de materiales la opción 1 es 5 veces mejor que la opción 4, la opción 2 es 3 veces mejor que la opción 1, la opción 2 es 3 veces que la opción 4, la opción 3 es 7 veces mejor que la opción 1, la opción 3 es 3 veces mejor que la opción 2 y la opción 4 es 9 veces mejor que la opción 3.

Tabla 21. Desperdicio de materiales

Desperdicio de Materiales										
Vs	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4	Matriz Normalizada				Vector Promedio	
Opción 1	1	0,33	0,14	5	0,09	0,07	0,01	0,55	0,18	
Opción 2	3	1	0,33	3	0,27	0,21	0,03	0,33	0,21	
Opción 3	7	3,00	1	0,143	0,63	0,64	0,10	0,02	0,34	
Opción 4	0,2	0,33	9,00	1	0,02	0,07	0,86	0,11	0,26	
Suma	11,20	4,67	10,48	9,14					1,00	

Fuente: Construcción del Autor, 2021

Nota. Se realizó el desarrollo de la matriz relacionado con el criterio Desperdicio de Materiales para determinar el vector promedio.

En la **Tabla 22.** Entrega justo a tiempo, relacionada con la entrega justo a tiempo de acuerdo con lo consultado en la situación problema que hace referencia a la baja calidad en el producto, desviaciones en el presupuesto e incumplimientos de entregas, se realizó el siguiente análisis: la opción 1 es 9 veces mejor que la opción 3, la opción 2 es 3 veces mejor que la opción 1, la opción 2 es 5 veces mejor que la opción 3, la opción 2 es 7 veces mejor que la opción 4, la opción 3 es 9 veces mejor que la opción 2 y la opción 4 es 5 veces mejor que la opción 1.

Tabla 22. Entrega justo a tiempo

Entrega Justo a Tiempo										
Vs	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4	Matriz Normalizada				Vector Promedio	
Opción 1	1	0,33	9	0,2	0,11	0,03	0,59	0,02	0,19	
Opción 2	3	1	5	7	0,33	0,10	0,33	0,84	0,40	
Opción 3	0,2	9,00	1	0,11	0,02	0,86	0,07	0,01	0,24	
Opción 4	5	0,14	0,20	1	0,54	0,01	0,01	0,12	0,17	
Suma	9,20	10,48	15,20	8,31					1,00	

Fuente: Construcción del Auto, 2021

Nota. Se realizó el desarrollo de la matriz relacionado con el criterio entrega justo a tiempo para determinar el vector promedio.

En la **Tabla 23.** Demoras en el inventario, relacionada con la entrega y demoras en el inventario de acuerdo con lo consultado en la situación problema que hace referencia a la baja calidad en el producto,

desviaciones en el presupuesto e incumplimientos de entregas, se realizó el siguiente análisis: la opción 1 es 1 veces mejor que la opción 1, la opción 1 es 7 veces mejor que la opción 3, la opción 1 es 9 veces mejor que la opción 4, la opción 2 es 9 veces mejor que la opción 1, la opción 2 es 5 veces mejor que la opción 4 y la opción 3 es 9 veces mejor que la opción 1.

Tabla 23. Demoras en el inventario

Criterio: Deficiente Control en los Inventarios									
Vs	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4	Matriz Normalizada				Vector Promedio
Opción 1	1	0,11	7	9	0,05	0,08	0,84	0,41	0,35
Opción 2	9	1	0,14	5	0,47	0,75	0,02	0,23	0,37
Opción 3	9	0,11	1	7	0,47	0,08	0,12	0,32	0,25
Opción 4	0,1111	0,11	0,14	1	0,01	0,08	0,02	0,05	0,04
Suma	19,11	1,33	8,29	22,00					1,00

Fuente: Construcción del Autor, 2021

Nota. Se realizó el desarrollo de la matriz relacionado con el criterio demoras en el inventario para determinar el vector promedio.

En la **Tabla 24.** Matriz de comparación por pares, se tuvo en cuenta las causas encontradas en la situación problema, se realizó el siguiente análisis: el criterio 1 es 1 veces mejor que el criterio 1, el criterio 1 es 5 veces mejor que el criterio 4, el criterio 2 es 7 veces mejor que el criterio 1, el criterio 2 es 1 veces mejor que el criterio 2, el criterio 2 es 7 veces mejor que el criterio 3.

Tabla 24. Matriz de comparación por pares

Matriz de Comparación por Pares: Criterios									
Vs	Reducción del costo	Desperdicio de Materiales	Entrega justo a tiempo	Demoras en el inventario	Matriz Normalizada				Vector Promedio
Reducción del costo	1	0,14	0,14	5	0,07	0,02	0,10	0,38	0,14
Desperdicio de Materiales	7	1	0,14	7	0,46	0,11	0,10	0,53	0,30
Entrega justo a tiempo	7	3,00	1	0,2	0,46	0,33	0,70	0,02	0,38

Demoras en el inventario	0,2	5,00	0,14	1	0,01	0,55	0,10	0,08	0,18
Suma	15,20	9,14	1,43	13,20					

Fuente: Construcción del Autor, 2021

Nota. Se realizó una comparación a cada de uno de los criterios establecidos para determinar un vector promedio y posteriormente convertirlo en factor de la matriz de las posiciones establecidas.

Los criterios que se seleccionaron para la definir las técnicas y prácticas para administrar los recursos en la fase de construcción fueron los identificados en las causas de la situación problema y lo consultado en el desarrollo del objetivo número 1. En la **Tabla 25.** Resultado de la matriz opciones establecidas versus los criterios establecidos, se ilustra el resultado del a matriz opciones establecidas versus los criterios establecidos.

Tabla 25. Resultado de la matriz opciones establecidas versus los criterios establecidos

Vs	Reducción del costo (Unidades monetarias)	Desperdicio de Materiales	Entrega justo a tiempo	Deficiente control en los inventarios	Total
Opción 1	0,13	0,18	0,07	0,35	0,16
Opción 2	0,56	0,21	0,46	0,37	0,38
Opción 3	0,27	0,34	0,30	0,25	0,30
Opción 4	0,04	0,26	0,16	0,04	0,15
Ponderación	0,14	0,30	0,38	0,18	

Fuente: Construcción del Autor, 2021

Nota. El método AHP permite realizar un análisis a cada de las opciones con los criterios establecidos; para tomar la decisión se tuvo en cuenta los vectores promedios de cada una de la matriz anteriormente mencionadas.

Para construir la guía para administrar recursos en la fase de construcción, se tuvo en cuenta la opción 2 establecidos en la **Tabla 19.** Opciones establecidas versus los criterios establecidos, donde relaciona las técnicas para la administración de inventarios a través de la demanda independiente y demanda dependiente de los materiales EOQ, el plan de requerimientos de materiales MRP, distribución por posición fija o por proyecto y distribución orientada al proceso *Layout*.

6.1. Cierre del Objetivo 2

Durante el desarrollo del objetivo número 2, que está relacionado con la “selección de las técnicas para administrar recursos en la fase de construcción que se aplican para las obras de edificación en la ciudad de Bogotá D.C.”, y en el desarrollo del trabajo, se aplicó el método AHP o escala Saaty. Este facilitó la realización de una escala de comparaciones por pares, a cada uno de los criterios establecidos para determinar las técnicas idóneas para la administración de recursos en la fase de construcción y cuenta con las características para resolver el problema planteado al inicio de la investigación. De esta forma y con este método, se seleccionaron las técnicas de administración e inventario, plan de requerimiento de materiales, *Layout* por posición fija o de proyecto y *Layout* orientada al proceso.

En la selección de las técnicas base para el desarrollo de la guía, se analizaron varios aspectos durante el avance de la investigación, pero unos de los más relevantes es que, en este tipo de distribuciones, los materiales permanecen inmóviles en el almacenamiento hasta el momento de tener su uso en la construcción. Lo que permite que el daño sea menor en aquellos que son más difíciles de manipular y que generan sobre costos en caso de que sean dañados, por ejemplo, los ladrillos. Así mismo, en el proceso de fabricación, los materiales necesarios, serán manipulados por los trabajadores, que son seleccionados y entrenados para hacer un buen manejo y entrega de los mismos. Otros recursos son los que se llevan al sitio de producción o uso del material. Las distribuciones en planta por posición fija están especializadas en proyectos individuales, en donde los materiales son controlados de diversas formas, pero sobre todo en su manipulación.

La mezcla de estos dos tipos de técnicas permite dar apertura y utilización a una amplia variedad de productos o servicios a la vez, es más eficiente cuando se almacenan productos que tienen diferentes requerimientos, ya que permiten ser estrategias típicas para bajos volúmenes y gran variedad de productos dentro de los almacenamientos, su administración y manejo. Cada material o cada pequeño grupo de materiales tienen una secuencia de operaciones diferente, pues son agrupados según el tipo de disposición. Otra gran ventaja de estas dos técnicas es la flexibilidad en la asignación de equipo y personal. La avería de una máquina, por ejemplo, no implica parar el proceso entero, porque el trabajo puede transferirse a otras máquinas de la sección. El *Layout* es especialmente bueno para la administración de recursos en obras de construcción de vivienda, lo cual permite plasmar dentro del desarrollo de la guía la aplicabilidad y los aspectos que se deben tener en cuenta en el manejo de estos para la adecuada administración de los recursos en las obras de edificación.

7. CONSTRUIR LA GUÍA PARA LA ADMINISTRACIÓN DE RECURSOS EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DE EDIFICACIÓN DE VIVIENDA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C

Para el desarrollo del objetivo número 3 se tuvo en cuenta las técnicas seleccionadas en el objetivo número 2, mediante el proceso analítico jerárquico o método AHP, además se tuvo en cuenta el análisis cuantitativo del trabajo de campo realizado mediante la aplicación de una encuesta a profesionales de ingeniería civil con experiencia en dirección de obras o directores de operaciones del sector de la construcción. En el anexo 2 se encuentra el desarrollo completo del objetivo número 3. A continuación, se da a conocer un resumen de las técnicas utilizadas en los sectores productivos que pueden generar un control en los recursos y productividad en el sector de la construcción principalmente en las obras de edificación.

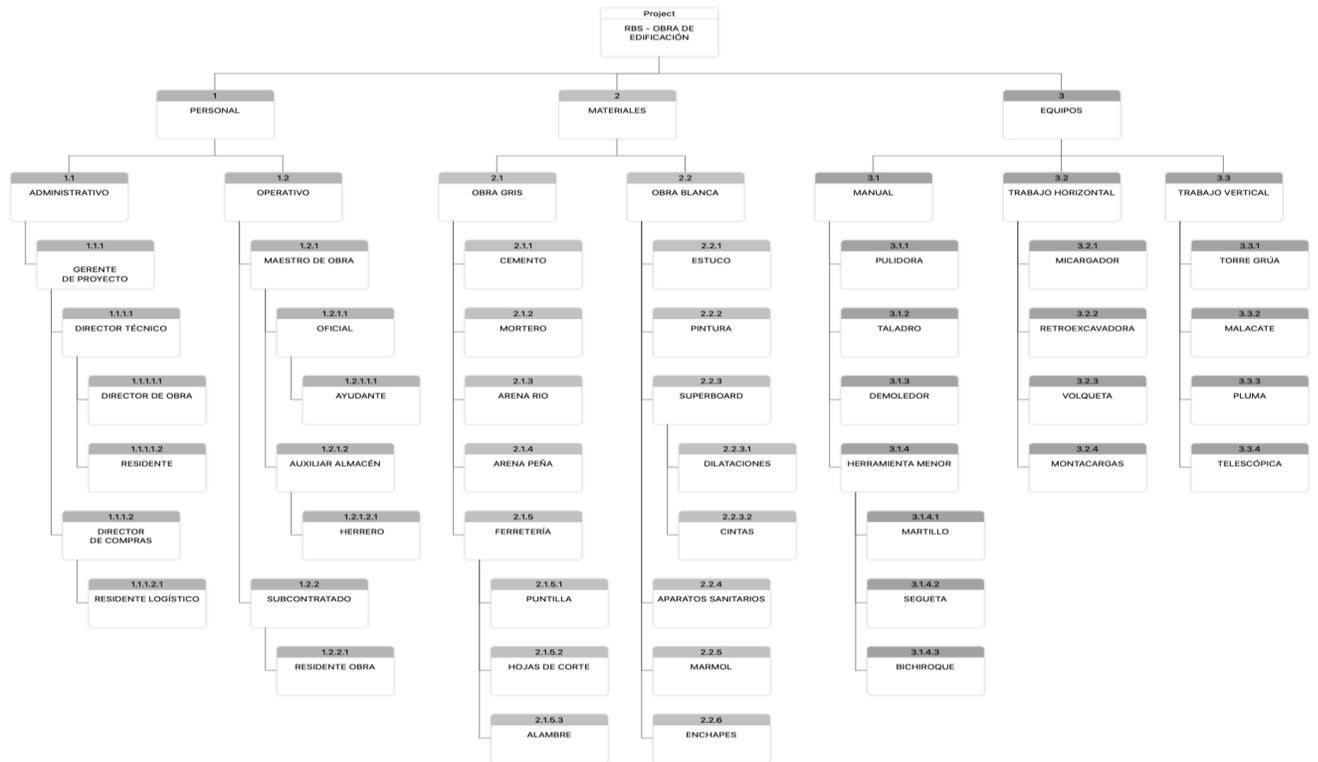
7.1 Estructura de Desglose de Recursos en las Obras de Edificación.

En las obras de edificación o habilitación urbana los recursos fluyen de manera constante debido a las operaciones repetitivas. “La estructura de desglose de recursos es una representación jerárquica de los recursos por categoría y tipo, los ejemplos de categorías de recursos incluyen, entre otros, la mano de obra, los materiales, los equipos y los suministros.” (Institute, 2017, pág. 326)

Los tipos de recursos en las obras de edificación o habilitación urbana pueden incluir el nivel de habilidad, en los procesos de movimientos de tierra, la constructora debe contar con los materiales, personas y equipos para el desarrollo de la limpieza del terreno, excavación de zanjas, concreto simple y cimentos corridos mezcla 1:10 cemento-hormigón 30% piedra.

En la **Figura 26**. Estructura de desglose de recursos en una obra de construcción de vivienda, se ilustra lo relacionado con personal, materiales y equipos en un proyecto de construcción.

Figura 26. *Estructura de desglose de recursos en una obra de construcción de vivienda*

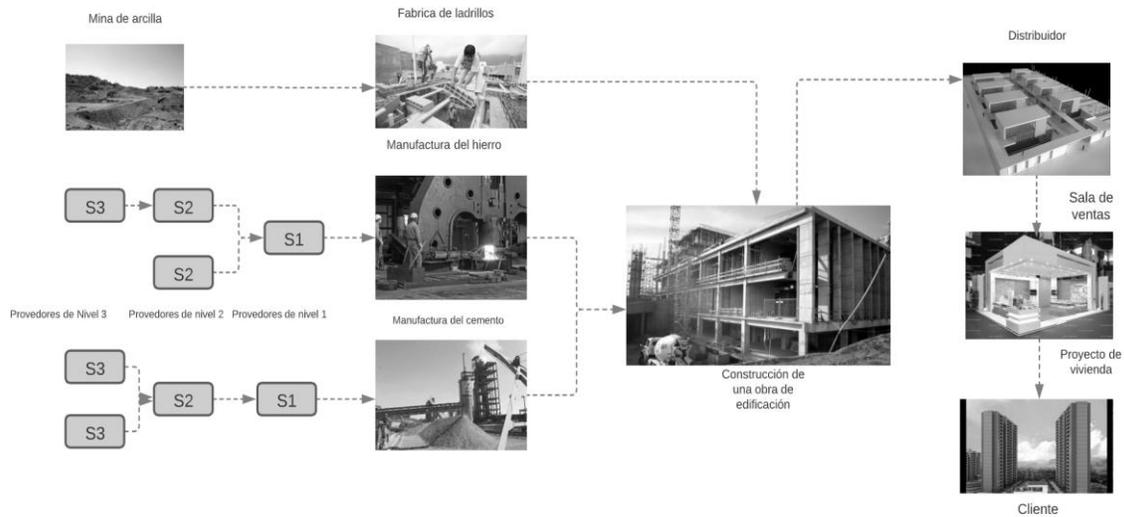


Fuente: construcción del autor,2021

Nota. La estructura de desglose de los recursos en los proyectos de construcción principalmente en las obras de edificación es fundamental, dado a que la gerencia dispone de una herramienta para el control de los recursos a utilizar durante el desarrollo del proyecto, así administrar de una manera efectiva el personal, materiales, insumos, materias primas y equipos que son empleados en las partidas de las construcciones.

El objetivo de la administración del suministro en las obras de edificación debe tener una coordinación de todas las actividades de la cadena suministro, el sector de la construcción facilita incrementar al máximo la ventaja competitiva y los beneficios para el cliente. **Figura 27.** Cadena de suministro en las obras de edificación, la ilustración hace referencia principalmente a la cadena mencionada.

Figura 27. Cadena de suministro en las obras de edificación



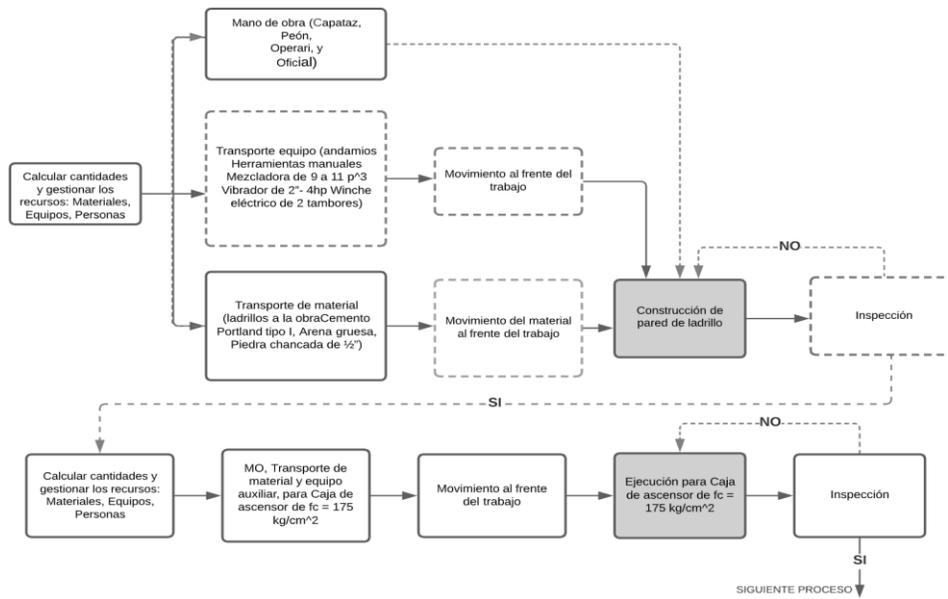
Fuente: Autores, 2021

Nota. En la **Figura 27**. Cadena de suministro en las obras de edificación, en el sector de la construcción principalmente en las obras de edificación, se muestra el proceso logístico que se requiere para la construcción de viviendas, desde la adquisición de los ladrillos, acero, cemento y arena hasta las partidas que integran la producción de las viviendas.

7.2 Programación *Last Planner* de los recursos en Obras de Edificación.

La programación *Last Planner* ha facilitado al sector de la construcción mantener el control de los recursos en las obras de edificación y habilitación urbana. “Desde principios de los años 90, el sistema productivo a nivel global se encuentra inmerso en un cambio, que surgió primero en el sector del automóvil (*Lean Manufacturing*) y más tarde fue adaptándose a otras industrias y sectores”. (Achell, 2018, pág. 9) la aplicación del modelo *Lean Construction* ha generado productividad y competitividad en los sectores productivos, las compañías en Estados Unidos de acuerdo a estudios realizados por las universidades han demostrado que las empresas que aplican esta filosofía de producción obtuvieron altos niveles de rendimiento en cuanto a reducción de costes, incremento de la productividad, cumplimiento de los plazos de entrega y satisfacción del cliente. En la **Figura 28**. Diagrama de flujo a través de la programación *Last Planner* de los recursos en obras de edificación, se ilustra el comportamiento de los materiales y equipos en la producción de las partidas que integra la construcción.

Figura 28. Diagrama de flujo a través de la programación *Last Planner* de los recursos en obras de edificación



Fuente: Autores, 2021.

Nota. La programación *Last Planner* permite a los directores de obra programar los recursos en cada una de las partidas y distribuir los materiales de manera simultánea y así lograr evitar retrasos y desperdicios en las estaciones de trabajo.

7.3 Funciones del Inventario en las Obras de Edificación.

En el desarrollo de la guía se establecieron cuatro funciones que agregan flexibilidad en las operaciones en las obras de edificación, las cuatro funciones que se establecieron para el control de inventarios basadas en la administración de operaciones por Render (2019) son las siguientes:

1. Proporcionar una selección de bienes para la demanda anticipada de los clientes y separar a la empresa de las fluctuaciones en esa demanda. Tales inventarios son típicos de los establecimientos minoristas.
2. Separar varias partes del proceso de producción. Por ejemplo, si los suministros de una empresa fluctúan, quizá sea necesario un inventario adicional para separar los procesos de producción de los proveedores.
3. Tomar ventaja de los descuentos por cantidad, porque las compras en grandes cantidades pueden reducir el costo de los bienes y su entrega.
4. Protegerse contra la inflación y los cambios al alza en los precios.

7.4 Tipos de Inventario en las Obras de Edificación.

En la guía se encuentran los tipos de inventario que pueden ser útiles para el control de los materiales en la fase de construcción en las obras de edificación. Las operaciones de los procesos son repetitivas, por lo tanto, los inventarios de materias primas que son requeridas por los operarios en las estaciones de trabajo rotan de manera constante.

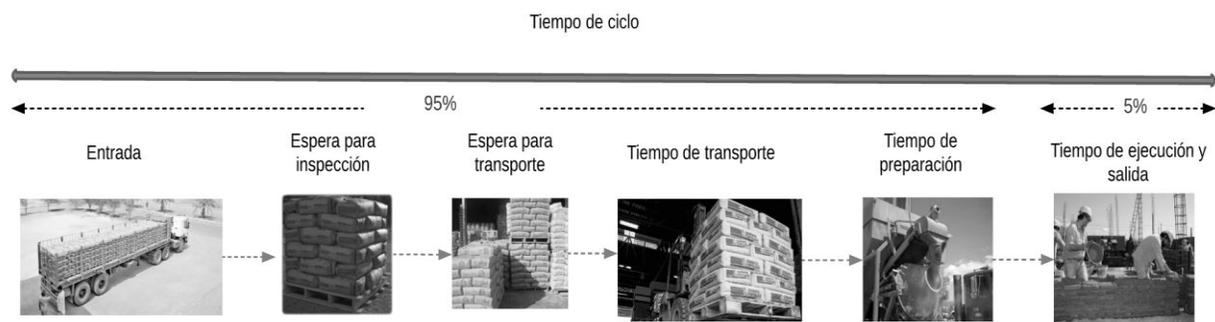
En la guía se habla de cuatro tipos de inventario que son fundamentales para la eliminación de desperdicios, así como mantener y ordenar los materiales que deben ser programados por el plan de requerimientos de materiales MRP para luego ser distribuidos en las estaciones de trabajo.

En las empresas dedicadas a la construcción de obras de edificación debe mantenerse los cuatro siguientes tipos de inventarios, como se describen en el anexo 2.

1. Inventario de materias primas.
2. Inventario de trabajo en proceso.
3. Inventario para mantenimiento, reparación y operaciones.
4. inventario de productos terminados.

En el ciclo de flujo de los materiales en las obras de edificación, la mayor parte del tiempo se emplea en la distribución, el 95% para el ciclo productivo. El encargado de la logística, en las compañías constructoras especialmente las dedicadas a las obras de edificación, debe realizar inspección en el momento de la recepción de los materiales, para iniciar el proceso del control de las cantidades y mantener el asertividad con las órdenes del plan de requerimientos de materiales y lograr que las entregas de los materiales se hagan justo a tiempo en el momento que el plan maestro de producción haga los pedidos para la producción de las partidas. En la **Figura 29**. Ciclo de flujo del cemento para una obra de edificación.

Figura 29. *Ciclo de flujo del cemento para una obra de edificación.*



Nota. El cemento es uno de los materiales que tienen mayor demanda en las obras. El ciclo de flujo para los materiales requeridos en las obras de edificación se puede establecer a través de demanda dependiente y demanda independiente. El proceso logístico de los materiales en un proyecto de construcción emplea el 95% y el tiempo en ejecución y salida solo requiere el 5%.

7.4.1 Administración de Inventarios en las Obras de Edificación.

En las obras de edificación se deben establecer sistemas para el manejo de inventarios. En el desarrollo de la guía para la administración de recursos en la fase de construcción de las obras de edificación se analizan brevemente dos componentes de tales sistemas: (1) cómo se pueden clasificar los artículos del inventario (análisis ABC), y (2) cómo se pueden mantener los registros precisos del inventario.

7.4.2 Análisis ABC de Materiales para una Obra de Edificación.

En el siguiente ejemplo teórico se da conocer la clasificación de los 10 diez materiales utilizados en las obras edificación y que representan mayor importancia en el inventario usando el análisis ABC.

Método: El análisis ABC organiza los artículos con su volumen anual en dinero. En la **Tabla 26.** Análisis ABC de los materiales para una obra de edificación, se ilustran los 10 artículos identificados por número de inventario, sus demandas anuales y costos unitarios.

Tabla 26. Análisis ABC de los materiales para una obra de edificación

Número de artículos en inventario	Nombre de los materiales	Porcentaje del núm. De arts. En inventario	Volumen anual (unidades)	Costo unitario (\$)	Volumen anual Unidades en monetarias	Porcentaje del vol. Anual en Unidades en monetarias	Clase
#10286	Cemento Portland tipo I	20%	20000	17000	340000000	70,9%	A
#11526	Piedra chancada de ½"		10000	600	6000000	1,3%	A
#12760	Fierro corrugado de 5/8"	30%	15000	1200	18000000	3,8%	B
#10867	Alambre negro N.º 16		12000	700	8400000	2%	B

Número de artículos en inventario	Nombre de los materiales	Porcentaje del núm. De arts. En inventario	Volumen anual (unidades)	Costo unitario (\$)	Volumen anual Unidades en monetarias	Porcentaje del vol. Anual en Unidades en monetarias	Clase
#10500	Ladrillo de arcilla hueco 12*30*30		1000	12,5	12500	0%	B
#12572	Ladrillo 29*9*9 cm		15000	600	9000000	2%	C
#14075	Arena fina		5000	10000	50000000	10%	C
#01036	Loseta 20*20 cm	50%	6000	5000	30000000	6% 22%	C
#01307	Loseta 30*30 cm		4000	4000	16000000	3%	C
#10572	Pegamento		200	10000	2000000	0%	C
TOTAL			88200		\$479.412.500		

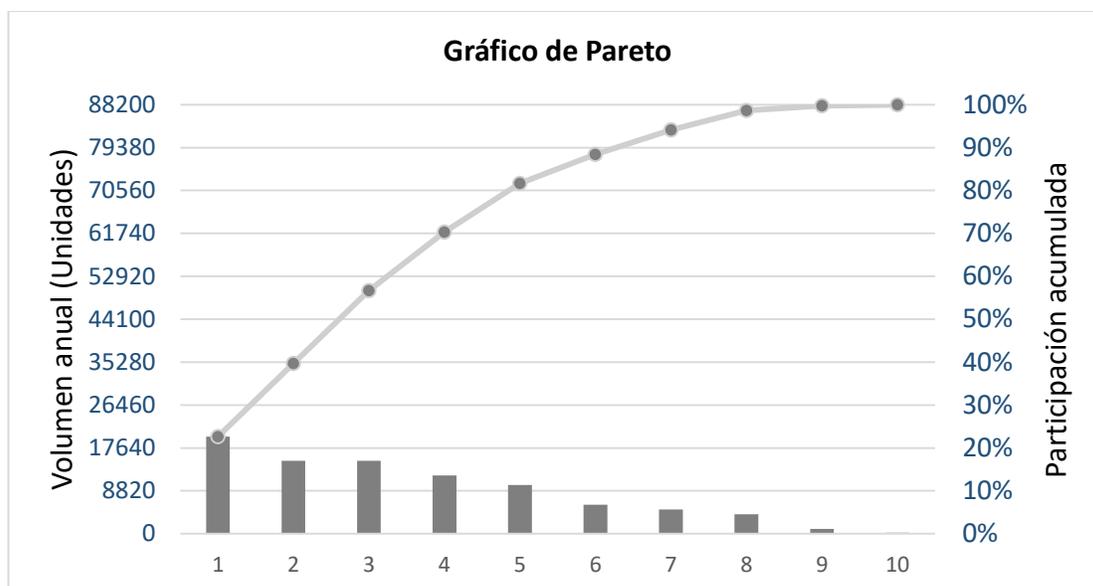
Fuente: Autores, 2021.

Nota. En la **Tabla 26.** Análisis ABC de los materiales para una obra de edificación se ilustra el desglose en las categorías A, B y C no es rígido ni rápido. El objetivo es solo tratar de separar lo “importante” de lo que no lo es.

7.4.2.1 Representación Gráfica del Análisis ABC.

En la **Figura 30.** Análisis ABC para materiales requeridos en una obra de edificación, se representa el análisis ABC, para 10 tipos de materiales requeridos en una obra de edificación.

Figura 30. Análisis ABC para materiales requeridos en una obra de edificación



Fuente: Autores, 2021.

Nota. En la **Figura 30.** Análisis ABC para materiales requeridos en una obra de edificación. Se ilustra el comportamiento de los materiales requeridos en un proyecto constructivo y permite asignar un orden de prioridades. Además, se muestra que el 80% de los problemas del control de los materiales en una compañía constructora son el resultado de sólo un 20% de causas que pueden afectar la clasificación de los materiales.

7.4.3 Conteo Cíclico de los Materiales.

En las obras de edificación y habilitación urbana de acuerdo con lo consultado en la situación problema se encontró que las empresas dedicadas a los proyectos de construcción presentan desperdicios en los materiales, lo que ha generado desviaciones en los presupuestos e incumplimiento en las entregas. Para mejorar la problemática en las obras de edificación se recomienda utilizar el conteo cíclico. “El conteo cíclico usa la clasificación del inventario desarrollada en el análisis ABC. En la **Tabla 27.** Conteo cíclico para determinar el número de artículos de cada clasificación que debe contarse cada día, se ilustra el ejemplo de este tipo de conteo para determinar el número de artículos de cada clasificación que debe contarse diariamente.

Tabla 27. Conteo cíclico para determinar el número de artículos de cada clasificación que debe contarse cada día

Clase de Artículo	Nombre	Cantidad	Política de Conteo Cíclico	Número de Artículos Contados por Día
A	Cemento portland tipo I	10000	Cada mes (20 días de trabajo)	10000/20 500/día

B	Fierro corrugado de 5/8"	12000	Cada trimestre (60 días de trabajo)	$1750/60 = 200/\text{día}$
C	Ladrillo de arcilla hueco 12*30*30	40000	Cada seis meses (120 días de trabajo)	$40000/120 = 3334/\text{día}$
				4034/día

Fuente: Autores, 2021.

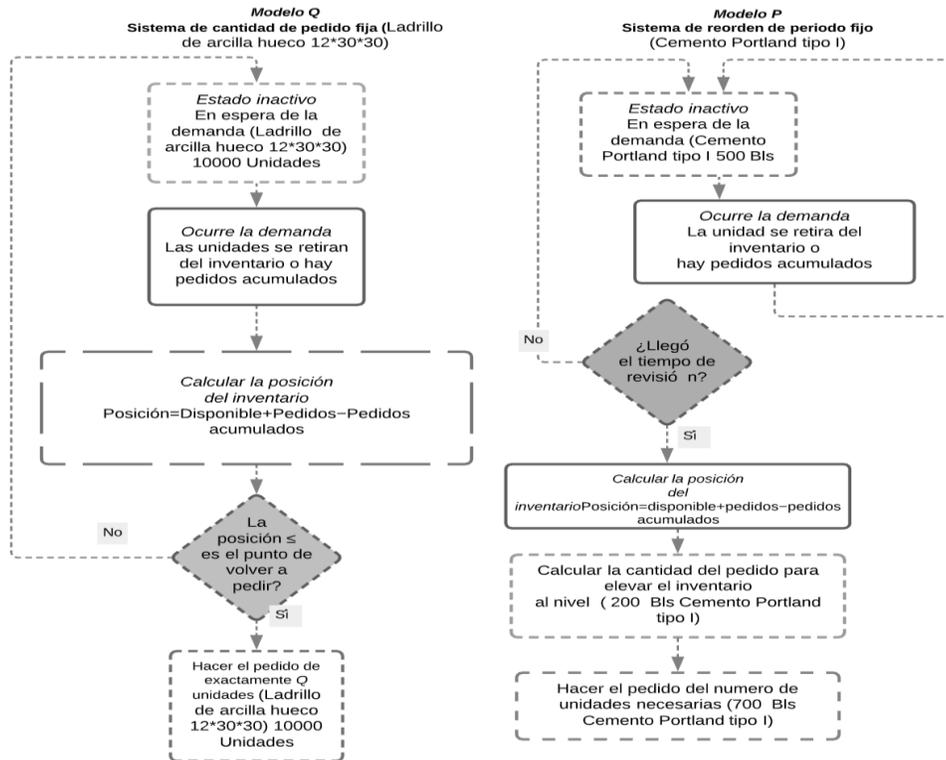
Nota. De acuerdo con el ejemplo anterior se determinó la cantidad de artículos que se pueden contar cada día en una obra de edificación, para este ejemplo se tuvo en cuenta tres clases de materiales que generan mayor demanda en una obra de edificación. El número de artículos que se podrán contar por día es 4034.

7.4.4 Tiempos de Preparación en las Obras de Edificación.

Los tiempos de preparación de las máquinas en las obras de edificación y habitación urbana, tienen un alto nivel de importancia en las operaciones que hacen parte en los procesos de construcción, los directores de obra para el proceso de construcción zapatas de $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$ deben tener preparada la mezcladora de 9 a 11 p³ y el Vibrador de 2 – 4hp para evitar retrasos en el avance de la obra.

En la **Figura 31**. Modelo cantidad de perdido económico y el modelo de la cantidad económica a producir, se ilustra los sistemas de inventarios para su administración en las obras de edificación a través del modelo cantidad de pedido fija o también llamado, en los sectores productivos, cantidad de pedido económico EOQ y el modelo de la cantidad económica a producir, conocido también como sistemas periódicos o sistema de revisión periódica, para el ladrillo de arcilla hueco 12*30*30 y el cemento portland tipo I. el cálculo matemático para esto se desarrolla en el anexo numero 2.

Figura 31. *Modelo cantidad de perdido económico y el modelo de la cantidad económica a producir*



Fuente: Autores, 2021. Adaptado a principios de administración de operaciones

Nota. En la **Modelo** cantidad de perdido económico y el modelo de la cantidad económica a producir, adaptado al sector de la construcción para determinar las cantidades de los materiales empleados en las partidas de las obras de edificación.

7.4.5 Uso de la hoja de cálculo Excel para Resolver la Simulación de los Problemas de Inventario.

En este objetivo presenta una de las representaciones para resolver problemas de inventarios en los sectores productivos con software de computadora para efectos teóricos. Los directores de operaciones o de obra pueden crear las hojas de cálculo de Microsoft Excel.

En la **Tabla 28.** Análisis de EOQ y punto de reorden, se ilustran los datos relacionados con el fierro corrugado de 5/8” para determinar la simulación y realizar el análisis de EOQ y punto de reorden, se tiene en cuenta la demanda estimada de 1500 toneladas de fierro corrugado de 5/8”

Tabla 28. Análisis de EOQ y punto de reorden

Materiales	Unidad	Demanda anual (D)	Costo de pedido (S)	Costo de mantenimiento por unidad por año (H)	Días de funcionamiento al año	Plazo de ejecución (L)	Costo por unidad
Fierro corrugado de 5/8"	Toneladas	15000	\$ 2.500	\$ 1.500	250	5	\$20.000

Fuente: Autores, 2021.

Nota. Los puntos de reorden facilitan a los directores de operaciones o de obra en las constructoras, tomar decisiones referentes a los pedidos de los materiales a utilizar en las células de trabajo.

En la **fierro corrugado** de 5/8"

Tabla 29. Análisis de los Resultados Análisis de EOQ y punto de reorden, se ilustra los resultados al análisis de EOQ y punto de reorden de la simulación realizada mediante la hoja de cálculo de Excel con los datos mencionados en la **Tabla 28.** Análisis de EOQ y punto de reorden referente al fierro corrugado de 5/8"

Tabla 29. Análisis de los Resultados Análisis de EOQ y punto de reorden

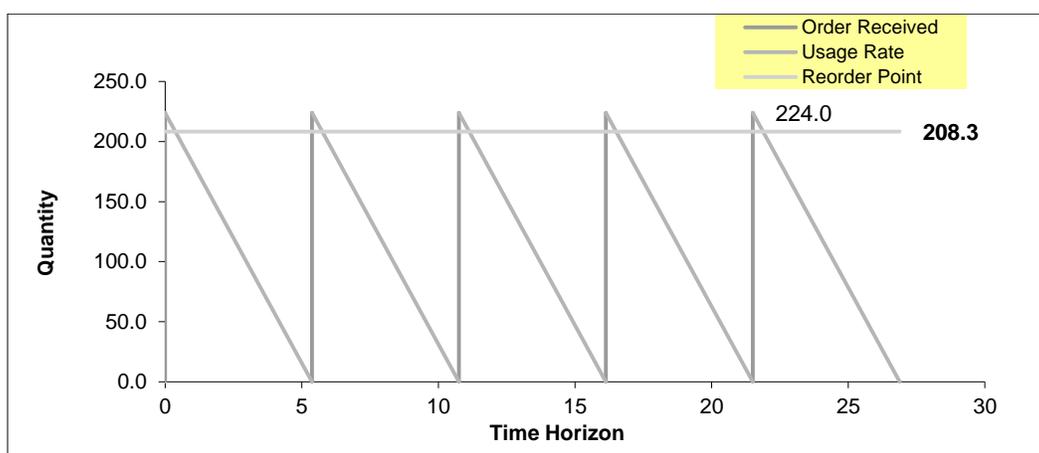
Resultados	
Q ₀	224
Inventario promedio	112,0
Punto de pedido	208,3
Días por ciclo	5,4
Número de ciclos por año	67,0
Costo total anual de mantenimiento y pedidos	\$ 335.411
Coste total	\$ 300.335.411

Fuente: Autores, 2021.

Nota. El software facilita a los gerentes de las constructoras, programar las cantidades de los materiales a utilizar en las células de trabajo para la producción de las partidas de la construcción.

En **Figura 32.** Control y uso del inventario a través del tiempo del fierro corrugado de 5/8", se evidencia el comportamiento de los datos simulados en el software Microsoft Excel y se pudo analizar la cantidad económica a ordenar con respecto a la demanda estimada, además se pudo observar que el inventario promedio del fierro corrugado de 5/8 es inferior a la cantidad económica a ordenar.

Figura 32. Control y uso del inventario a través del tiempo del fierro corrugado de 5/8"



Fuente: Autores, 2021.

Nota. En la **Figura 32.** Control y uso del inventario a través del tiempo del fierro corrugado de 5/8”, se evidencia la cantidad económica a ordenar equivalente a 224 toneladas de fierro corrugado de 5/8, el inventario promedio es de 208 toneladas.

Para determinar la simulación referente al costo total para el modelo básico de la cantidad de orden fija, se tuvo en cuenta la demanda del fierro corrugado de 5/8” durante un año y el costo por pedido al proveedor y se estimó el costo de mantenimiento por cada tonelada fierro corrugado de 5/8” durant el año.

Para determinar el costo de mantenimiento de cada tonelada del fierro corrugado de 5/8” se empleó la estimación paramétrica a través de una regresión lineal. Se utilizó información histórica de costos de mantener materiales en inventario de empresas dedicadas a proyectos de edificación y habilitación urbana en Colombia. La estimación paramétrica es una técnica útil para estimar los costos futuros, estos son modelos simples que son empleados por la gerencia de las compañías constructoras para estimar los costos de construcción por metro cuadrado construido.

El costo de mantenimiento para la tonelada del fierro corrugado de 5/8” se determinó mediante el modelo matemático de regresión lineal, para esto se tuvo en cuenta el costo de mantenimiento de los últimos cinco años, para calcular el costo de mantenimiento actual como se ilustra en la **Tabla 30.** Regresión lineal para determinar costo de mantenimiento de la tonelada fierro corrugado de 5/8”.

Tabla 30. Regresión lineal para determinar costo de mantenimiento del fierro corrugado de 5/8

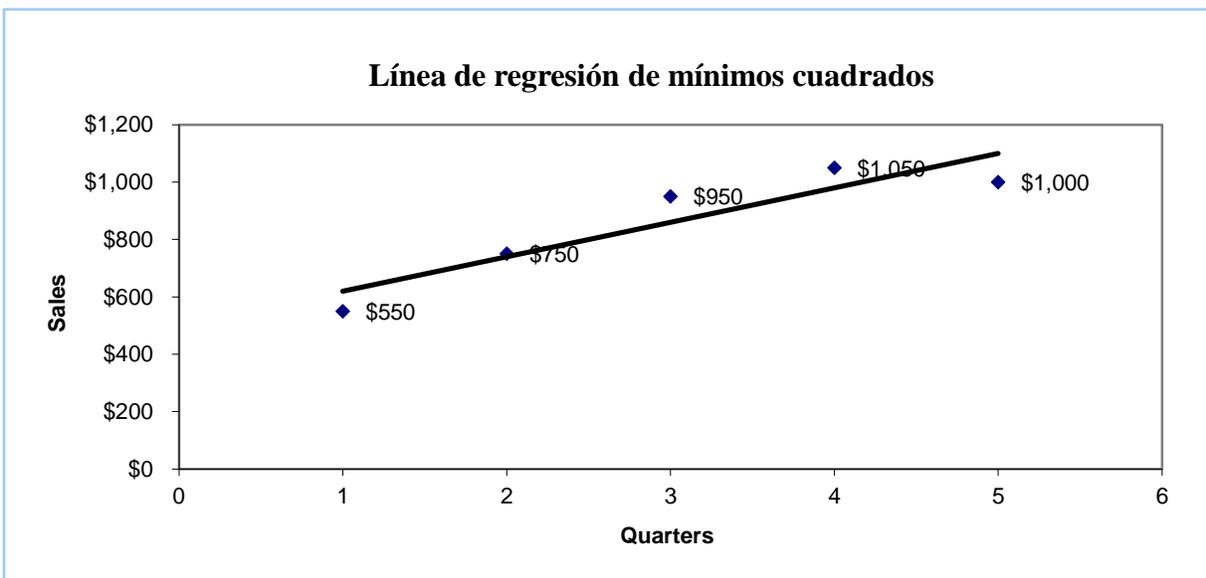
$t(\text{Años})$	$Y(H)$	t^*y	t^2	y^2	\hat{Y}
1	\$550	550	1	302.500	298,2

2	\$750	1.500	4	562.500	538,9
3	\$950	2.850	9	902.500	779,5
4	\$1.050	4.200	16	1.102.500	1.020,2
5	\$1.000	5.000	25	1.000.000	1.260,9
15	4.300	14.100	55	3.870.000	

Fuente: Autores, 2021.

Nota. La hoja de cálculo Excel facilita a los gerentes de las constructoras, estimar los costos de mantenimiento o cantidades de los materiales a utilizar en las células de trabajo para la producción de las partidas de la construcción.

Figura 33. Línea de regresión de mínimos cuadrados



Fuente: Autores, 2021.

Nota. En la **Figura 33.** Línea de regresión de mínimos cuadrados, se ilustra el comportamiento del costo de mantenimiento de los últimos 5 años para el fierro corrugado de 5/8" requerido en las obras de edificación.

La ecuación lineal de mínimos cuadrados para la regresión lineal es:

$$Y = a + b \cdot t$$

Donde

Y = Variable dependiente calculada mediante la ecuación

y = el punto de datos de la variable dependiente real

a = Secante de Y

b = pendiente de la recta

t = Periodo

Tabla 31. Resultados de la simulación mediante de la hoja de cálculo Excel

Resultados			
1,25	= t-bar	240,69	= b
358,33	= Y-bar	57,47	= a
Regresión de la ecuación es $Y = 57,47 + 240,69 * t$			

Fuente: Autores, 2021.

Nota. Los gerentes de las constructoras pueden estimar los costos de mantenimiento o cantidades de los materiales a utilizar en la producción de las partidas de la construcción mediante la hoja de cálculo Excel.

$$Y = 57,47 + 240,69 * 6 \quad Y = \$ 1500$$

Tabla 32. Costo total para el modelo básico de cantidad de orden fija del fierro corrugado de 5/8

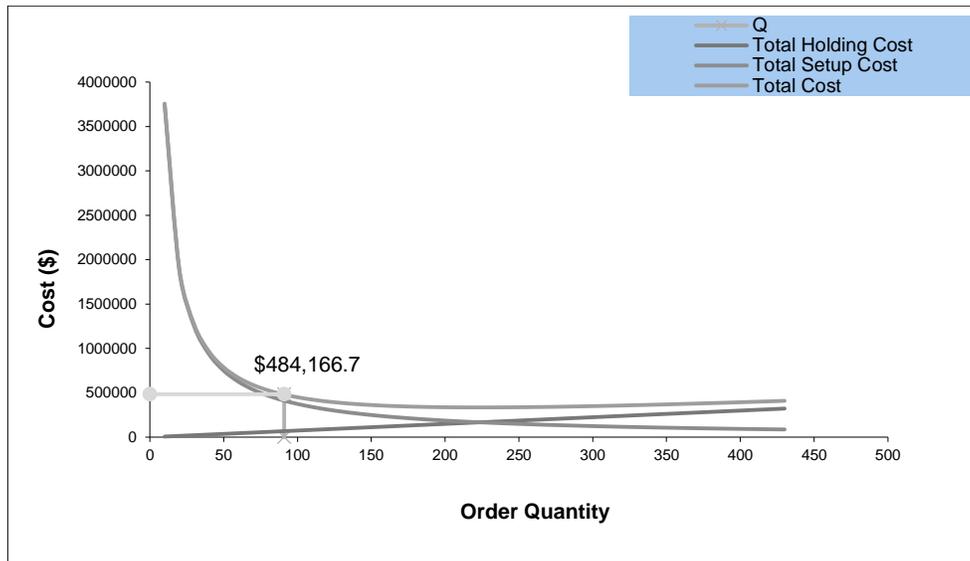
Costo total para el modelo básico de cantidad de orden fija	
Demanda anual (D)	15000
Costo de pedido (S) (S)	\$2.500,00
Costo de mantenimiento por unidad	
por año (H)	\$1.500,00
Q	224

Fuente: Autores, 2021.

Nota. Una de las causas que generan discusión al interior de las obras de edificación o habilitación urbana es el costo relacionado con la administración de inventarios. Para esto se recomienda el costo total para el modelo básico de cantidad de orden fija.

En la **Figura 34.** Costos de la cantidad a ordenar para el fierro corrugado de 5/8", se evidencia el comportamiento de los datos simulados en la hoja de cálculo de Microsoft Excel y se puede analizar el costo total de las 1500 toneladas fierro corrugado de 5/8" estimados por una constructora para la producción de las partidas que integran una obra de edificación.

Figura 34. Costos de la cantidad a ordenar para el fierro corrugado de 5/8"



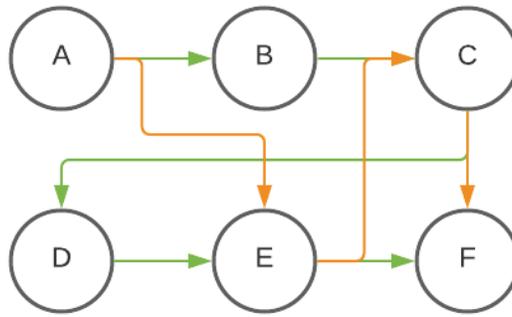
Fuente: Autores, 2021.

Nota. La gráfica, se evidencia la cantidad económica a ordenar equivalente a 224 toneladas de fierro corrugado 5/8, el inventario promedio es de 208 toneladas y el costo es de \$484166 unidades monetarias.

7.4.6 *Layout*

La estrategia de *Layout* consiste en minimizar los costes de traslado y desperdicio, garantizando la facilidad de producción mediante estrategias de almacenamiento. “Cuando se diseña un *Layout* orientado al proceso, la táctica más común es colocar las secciones o centros de trabajo de forma que se minimicen los costes de movimiento de materiales”. (Render, 2018). En la **Figura 35**. *Layout* orientado al proceso en actividades de construcción, se ilustra el comportamiento de la distribución del concreto premezclado hacia las estaciones de trabajo en una obra de edificación.

Figura 35. *Layout orientado al proceso en actividades de construcción*



Fuente: Autores, 2021.

Nota. Los procesos de la aplicación de acabado en estuco identificado con el color (verde), y la aplicación de concreto premezclado (naranja). Actualmente las compañías constructoras a nivel nacional presentan inconvenientes en la distribución de los materiales, el *Layout* orientado al proceso facilita un mejoramiento continuo en las partidas que integran la edificación.

Con el objetivo de optimizar costos, se debe tener en cuenta que el costo va en función de la distancia entre acopios y destinos, en donde se identificó la cantidad de movimientos de materiales de un punto a otro.

$$Costos = \sum_{ij=1}^n (X_{ij}C_{ij})$$

i, j = Puntos destino de traslado (Acopio y zona de trabajo)

X_{ij} = Número de cargas movidas de un punto i a j

C_{ij} = Costo de transporta una carga de un punto i a j

En la **Tabla 33**. Cantidad de movimientos entre puntos de acopio a puntos de producción **Tabla 33**. Cantidad de movimientos entre puntos de acopio a puntos de producción, se ilustra el cálculo de costos relacionados con la distancia, generalmente en las obras de construcción los directores de obras emplean los centros de acopio dentro las construcciones. La recomendación que se sugiere al interior de la guía es emplear el cálculo de costos relacionados con la distancia para reducir los tiempos de entrega de los materiales en cada una de las estaciones de trabajo.

Tabla 33. Cantidad de movimientos entre puntos de acopio a puntos de producción

	Ladrillo	Cemento	Enchape	Estuco	Pintura
Edificio 1	4	3	8	3	3
Edificio 2		3	4	9	7

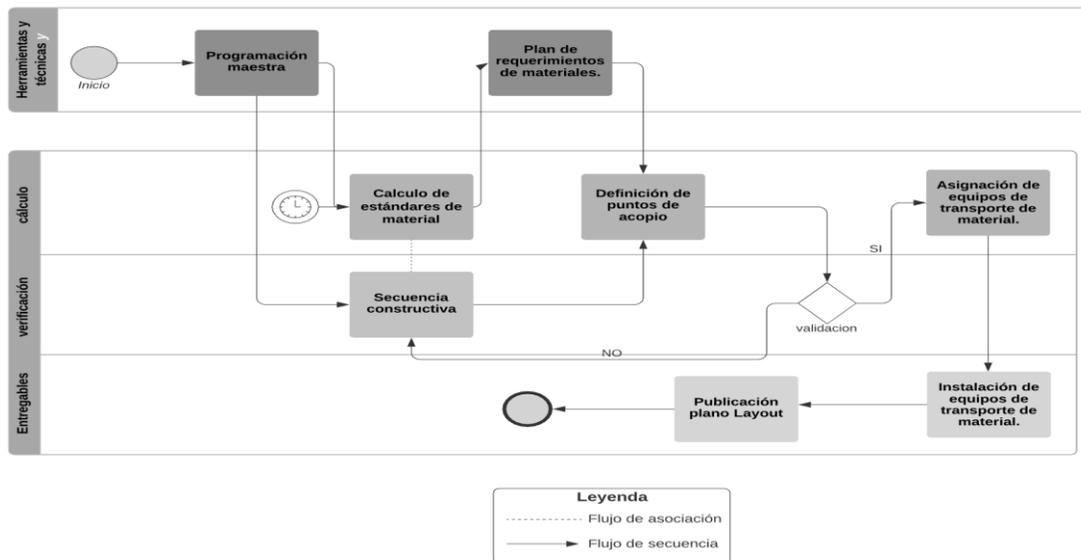
Edificio 3	2	5	8
Edificio 4		6	7
Salón comunal			3

Fuente: Autores, 2021.

Nota. En los proyectos que desarrollan las compañías constructoras, por lo general construyen (n) edificios de manera simultánea y genera movimientos repetitivos a los puntos de acopio donde se preparan o se alistan los materiales.

En la **Figura 36.** *Layout* orientado al proceso para una de obra de edificación, se ilustran los pasos para la creación del análisis y creación de *Layout* orientado al proceso. Para esto, a la gerencia de las compañías constructoras fundamentadas en las obras de edificación se les recomienda disponer de una programación, determinar el cálculo de los estándares de los materiales y disponer de un plan de requerimientos de materiales con el fin de optimizar el proceso en cada una de las partidas de la construcción.

Figura 36. *Layout* orientado al proceso para una de obra de edificación



Fuente: Autores, 2021.

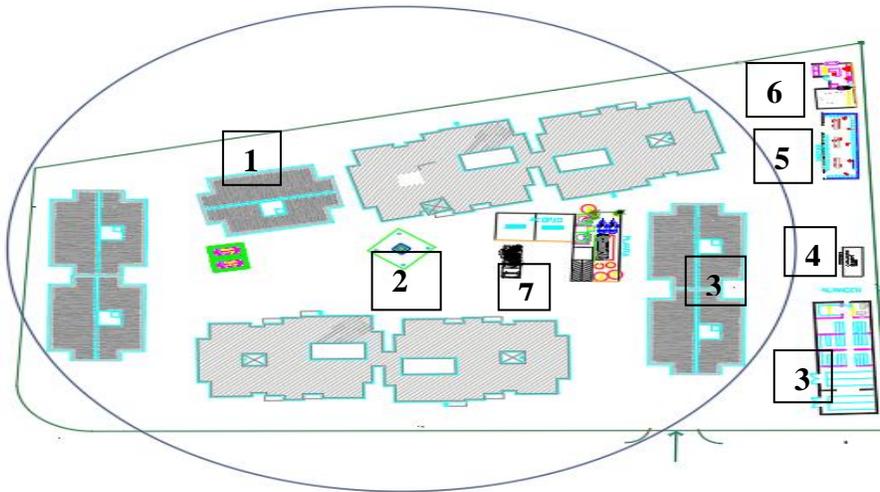
Nota. Una vez que se tenga definido los materiales a utilizar por la programación maestra, es recomendable que exista un cálculo estándar por parte del administrador del inventario y el programador del plan de requerimientos para reducir los tiempos de entrega de los materiales en las células de trabajo.

7.4.7 *Layout de Posición Fija o de Proyecto.*

“El *Layout* de posición fija o de proyecto, se caracteriza por que el proyecto (producto) permanece fijo en un lugar, y los trabajadores y equipos acuden a esa única área de trabajo”. (Render, 2009), permitiendo de esta manera, que las condiciones del producto sean por su peso, fragilidad y el estado del área de trabajo condicionan la producción. En la **Figura 37** *Layout* de posición fija, se ilustran los siguientes los siguientes ítems.

1. Producto
2. Equipos de transporte
3. Almacén
4. Oficina administrativa
5. Vestier de trabajadores
6. Comedores
7. Planta de concreto

Figura 37 *Layout de posición fija*



Fuente: Autores, 2021.

Nota. El *Layout* de posición fija o de proyecto facilita a las compañías constructoras disponer de manera adecuada los recursos para el funcionamiento operacional y evitar retrasos en las partidas de las edificaciones y mejorar continuamente el flujo operacional.

7.5 Cierre del Objetivo Número 3.

Los proyectos de edificación presentan oportunidades de mejora en la fase de construcción en la administración de recursos, lo que genera incrementos en el costo y en el tiempo de hasta un 20% con respecto a la línea base. Por esta razón la guía para administrar recursos en la fase de construcción de las obras de edificación de vivienda presenta un conjunto de técnicas que permite controlar los recursos desde su solicitud hasta su disposición. Con ella se minimizan incrementos para una óptima administración. Por ejemplo, en una etapa del proyecto la elaboración de la estructura en concreto con un presupuesto de \$12.000.000.000 y un desperdicio del 17%, genera un incremento de \$2.040.000.000 con respecto a la línea base de costos. Es así como se presenta la oportunidad de optimización de recursos, marcado por la meta de reducir el porcentaje de desperdicio.

En este orden de ideas, las técnicas de la guía permiten plantear aquellos recursos que generan mayor incidencia con respecto a la línea base del costo, con información aprovechable para negociación con proveedores como el acero de refuerzo para estructuras en concreto, ya que su precio es de variación constante, por lo tanto, aumenta la incertidumbre con respecto a la línea base del costo. El análisis de materiales de gran incidencia permite evaluar acciones anticipadas de negociaciones que reducen los costos de la línea base.

Es importante resaltar que la mayoría de las obras de construcción presentan espacios limitados debido a su secuencia constructiva y a su irregularidad en las superficies, esto genera la necesidad de un plan logístico, para la solicitud, el almacenamiento y el consumo o utilización de los recursos. Por esta razón la guía para administrar recursos en la fase de construcción de las obras de edificación de vivienda presenta técnicas de distribución en planta y de planeación de requerimientos, con base en el análisis del costo de almacenamiento y toda la operación que esta conlleva, para hacer de la administración de los recursos un factor importante para la mitigación de pérdidas.

8 VERIFICAR LA GUÍA LA METODOLÓGICA CON EXPERTOS DEL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN.

El juicio de expertos “es una metodología que permite determinar la validez del instrumento por medio de un panel de jueces o expertos quienes deben analizar como mínimo la coherencia de los ítems con los objetivos, la complejidad y la habilidad cognitiva a evaluar” (Urrutia, 2014) se debe tener en cuenta en la

validación aquello que va a ser medido y determinar quiénes son los expertos que validarán los instrumentos, se comienza de la experiencia y competitividad frente al tema en cuestión.

El punto de partida comienza con la definición del perfil de los expertos, se debe tener varios candidatos no menores a 3. Al definir los criterios para la selección de expertos, se les invita a participar, al mismo se procede a elaborar una matriz de clasificación, donde cada juez determinará el grado de validez de las preguntas.

Al definir la matriz basada en la escala *Likert* se procede a la entrega a cada experto sea físico o por medio digital, para así iniciar el proceso de recolección de respuestas. Al tener el resultado de los expertos se procede con el análisis de datos, donde según los niveles de medición preestablecidos con 5, 7 o 9 elementos configurados previamente, (Hammond, 2020) hace la recomendación de agregarle valores a cada uno de los elementos configurados previamente como se evidencia en la

Tabla 34. Asignación de valor

, al tener los ítems con su respectivo valor y su respectiva respuesta de cada experto, ítems para identificar el nivel de consenso de los expertos frente al instrumento en cuestión.

Tabla 34. *Asignación de valor*

Asignación de valor	
Elementos	Valor
Muy en desacuerdo	1
Algo en desacuerdo	2
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	3
Algo de acuerdo	4
Muy de acuerdo	5

Fuente: Escala de Likert, 2021

En la **Tabla 35.** Datos de los expertos, se ilustra la información de los cinco expertos que se tuvieron en cuenta para la verificación mediante el modelo de *LAW SHE* para la verificación cuantitativa de la validez del contenido.

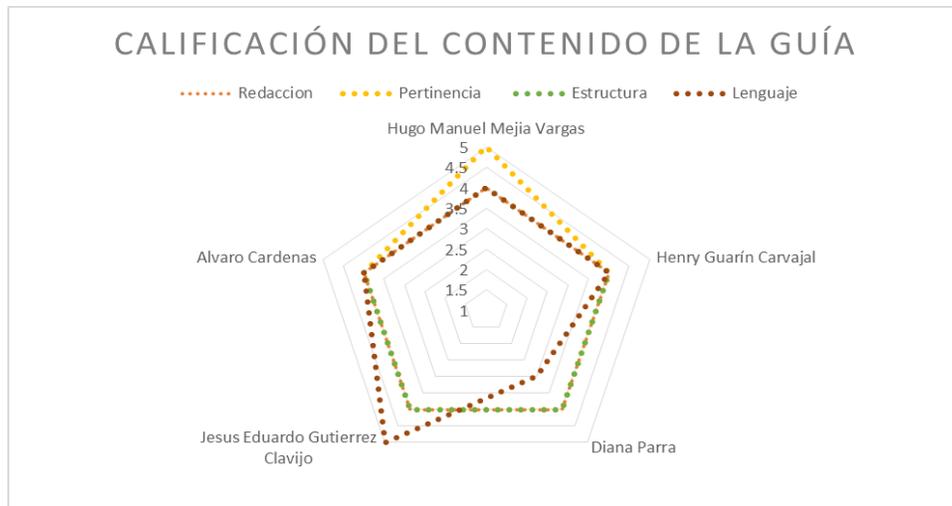
Tabla 35. Datos de los expertos

Experto 1: Hugo Manuel Mejía Vargas	Experto 2: Henry Guarín Carvajal
Ingeniero Civil Años de experiencia: 13 Especialista en Estructuras Profesional Experto Construcción de proyectos de edificación de vivienda Área de ingeniería de constructora MARVAL S.A	Ingeniero Civil Años de experiencia: 18 Especialista en Gerencia de Proyectos Profesional Experto Construcción de proyectos de edificación de vivienda Área de ingeniería de constructora MARVAL S.A
Experto 3: Diana Parra Sánchez	Experto 4: Jesús Eduardo Gutiérrez Clavijo
Ingeniera Civil Años de experiencia: 16 Especialista en Gerencia del Desarrollo Integral de Proyectos de Ingeniería. Profesional Experto Construcción de proyectos de edificación de vivienda Área de ingeniería de constructora AMARILO S.A.S	Ingeniero Civil Años de experiencia: 27 Especialista en Geotecnia Profesional Experto Construcción de proyectos de edificación Interventoría en proyectos de edificación Área de ingeniería de Gutiérrez S.A.S
Experto 5: Álvaro Alberto Cárdenas	
Ingeniero Civil Años de experiencia: 25 Tecnólogo de obras públicas Profesional Experto Supervisión de proyectos de edificación de vivienda Área de ingeniería de unidad de gestión de riesgos y desastres	

Nota. Una de las condiciones que se evaluó al interior del equipo de proyecto es que los expertos, tuvieran como mínimo 10 años de experiencia en sector de la construcción principalmente en las obras de edificación.

En la **Figura 38** Calificación del contenido de la guía se ilustra el comportamiento estadístico de la tendencia de juicio de expertos relacionado con la calificación del contenido de la guía.

Figura 38 Calificación del contenido de la guía

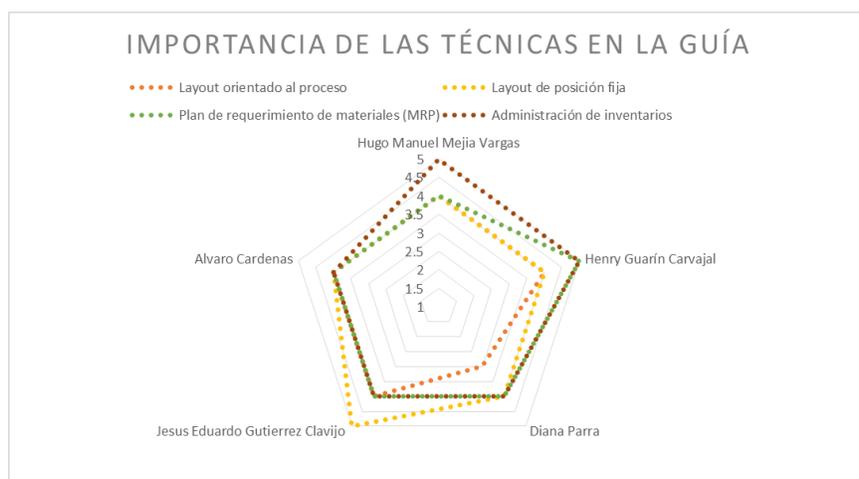


Fuente: Autores, 2021.

Nota. De acuerdo con la información evaluada en el formulario aplicado para juicio de expertos, se determinó que los 5 profesionales con requerimientos específicos para la evaluación de la guía para administrar recursos en la fase de construcción de las obras de edificación de vivienda en la ciudad de Bogotá muestran alto grado de conformidad y se muestran de acuerdo con la redacción, pertinencia, estructura y lenguaje, lo cual facilita la lectura y el entendimiento para el lector. Se evidenció que el punto más bajo es (3), referente a un estado ni de acuerdo ni en desacuerdo manifestado por la ingeniera Diana Parra, y el punto máximo es (5), haciendo referencia a muy de acuerdo.

En la **Figura 39** Importancia de las técnicas en la guía, se ilustra el comportamiento estadístico de la tendencia de juicio de expertos relacionado con la importancia de las técnicas empleadas para la construcción de la guía.

Figura 39 *Importancia de las técnicas en la guía*

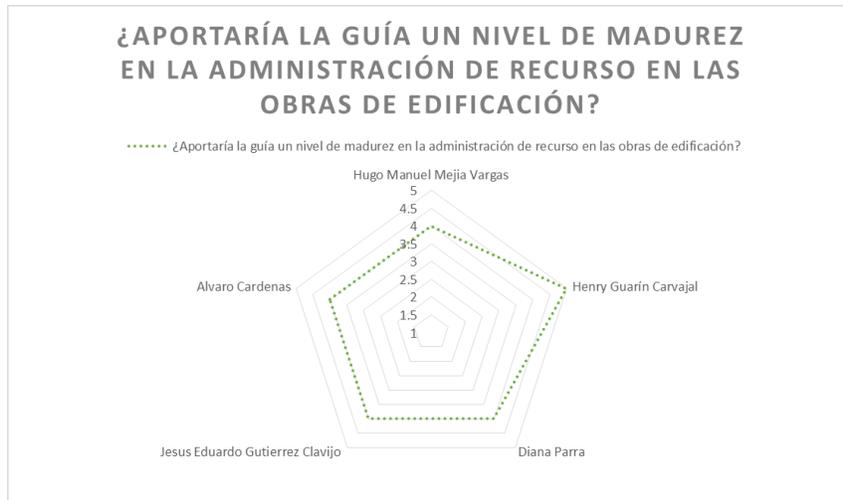


Fuente: Autores, 2021.

Nota. Se verificó el resultado de la evaluación de las técnicas relacionadas en la guía para administrar recursos en la fase de construcción de las obras de edificación de vivienda en la ciudad de Bogotá, se puede determinar que la mayoría, de expertos las califican como importante. Sin embargo, uno de los expertos evalúa como neutral el *Layout* orientado al proceso o de producto, debido a la exigencia logística que éste requiere y con los espacios reducidos que en algunos proyectos se evidencia, sin embargo, no descarta la idea de implementación estandarizando cantidades de recursos.

En la **Figura 40.** Nivel de madurez en la administración de recursos en las obras de edificación, se ilustra el comportamiento estadístico de la tendencia de juicio de expertos relacionado, con el nivel de madurez que aportaría la guía para administrar recursos en la fase de construcción de las obras de edificación.

Figura 40. *Nivel de madurez en la administración de recursos en las obras de edificación*



Fuente: Autores, 2021.

Nota. Se tuvo en cuenta el contenido de la guía para administrar recursos en la fase de construcción de las obras de edificación de vivienda en la ciudad de Bogotá y se plantea la pregunta ¿Aportaría la guía un nivel de madurez en la administración de recurso en las obras de edificación? Cuya respuesta basada en la evaluación de juicio de expertos, un alto nivel de conformidad siendo así una herramienta válida que atiende la oportunidad de mejora.

8.1 Modelo de *LAWSHE* para la Verificación Cuantitativa de la Validez del Contenido

Para determinar la verificación de la guía relacionada con la administración de recursos en la fase de construcción de las obras de edificación, se aplicó un cuestionario a profesionales en ingeniería civil con experiencia mínimo de 10 años en gerencia de proyectos relacionado en obras de edificación y a directores técnicos de obras de edificación, para esto se empleó el modelo de *LAWSHE* para la verificación cuantitativa de la validez del contenido de la guía.

El cuestionario se aplicó a 5 profesionales que hicieron las veces de jueces para evaluar mediante escala Likert los siguientes ítems de la guía.

1. Redacción
2. Pertinencia
3. Estructura
4. Lenguaje

Además, los expertos evaluaron el nivel de importancia de la guía para administrar recursos en la fase de construcción de las obras de edificación relacionada con las siguientes técnicas.

1. *Layout* orientado al proceso
2. *Layout* de posición fija
3. Plan de requerimiento de materiales (MRP)
4. Administración de inventario

Esta expresión es planteada por *Lawshe* con la intención que se puede interpretar como su fuera una correlación, por tomar valores de -1 a +1; de tal modo que CVR es negativa si el acuerdo ocurre en menos de la mitad de los expertos o jueces; CVR es nula si se tiene exactamente la mitad de acuerdos en los expertos y, finalmente, CVR es positiva si hay más de la mitad de acuerdos.

El mínimo aceptable para validar el contenido del producto según LAWSHE es: $CVR^*=0.5823$, se tiene en cuenta las siguientes variables.

N_e = número de jueces o expertos que tienen acuerdo en la categoría “esencial”

N = número total de jueces o expertos

2 = Constante

Razón de validez de contenido de *Lawshe*.

$$CVR = \frac{n_e - N/2}{N/2}$$

El modelo mejorado de *Lawshe*, hecho por Tristán considera la verificación de la verificación de los valores mínimos para CVR, debido a que modelo *Lawshe* no establece que haya acuerdos en general si no solamente en la categoría esencial y corrigiendo el valor mínimo llega a la siguiente expresión.

$$CVR^* = \frac{CVR + 1}{2}$$

Tristán mejora el modelo de *Lawshe*, sobre el punto, en que el modelo en cuestión requiere de un número considerable de expertos, a los cuales en mucho de los casos es imposible reunirlos. Por ejemplo, con menos de 7 expertos el acuerdo debe ser unánime, es decir el modelo *Lawshe* está muy influenciado por el número de expertos. Además, se evidencia que conforme aumenta el número de expertos el modelo es más débil. (Sierra, 2015, pág. 5)

Para fines prácticos se puede decir que CVR^* debe ser proporcional por lo menos a 58% para ser aceptable, este valor es constante e independiente del número de expertos. Por lo tanto, el valor que CVR^* debe de ser superior o igual a 0.5823, lo cual se aplica en el presente trabajo de investigación.

8.1.1 Análisis Estadístico para la Validez de la Guía.

El análisis estadístico para determinar el contenido de validez de la guía de acuerdo a la evaluación por parte de los expertos. En la **Tabla 36**. Contenido de la guía para administrar recursos, se ilustra el análisis para hallar la razón de validez de contenido de la guía para administrar recursos en la fase de construcción de las obras de edificación.

Tabla 36. *Contenido de la guía para administrar recursos*

Ítems	Contenido de la guía para Administrar Recursos					# de Expertos que calificaron (4)	# de Expertos que calificaron (5)	ne	CRV	CRV*
	Experto 1	Experto 2	Experto 3	Experto 4	Experto 5					
1	4	4	4	4	4	5	0	5	1,00	1,00
2	5	4	4	4	4	4	1	5	1,00	1,00
3	4	4	4	4	4	5	0	5	1,00	1,00
4	4	4	3	5	4	3	1	4	0,60	0,80

Fuente: Autores, 2021.

Nota. Para la validez del contenido de la guía, se determinó, al interior del equipo de proyecto, revisar en el formulario que cada uno de los expertos evaluó, entre 4 y 5 cada ítem y calcular el mínimo aceptable de validez de contenido del instrumento en este caso la guía. No se tuvo en cuenta las calificaciones menores o iguales a 3 según lo afirmado por *Lawshe*, experto en verificación cuantitativa de validez de contenido, que solo se tendrán en cuenta las dos últimas calificaciones en una escala de 1 a 5, *CVR** debe ser proporcional por lo menos a 58% para ser aceptable, este valor es constante e independiente del número de expertos.

Se continúa con el análisis de validez para determinar el nivel de importancia de las técnicas, de acuerdo con la evaluación por parte de los expertos. En la **Tabla 37**. Nivel de importancia de las técnicas, se ilustra el análisis para hallar la razón de validez de contenido del nivel de importancia de las técnicas para administrar recursos en la fase de construcción de las obras de edificación.

Tabla 37. Nivel de importancia de las técnicas

Ítems	Nivel de importancia de las técnicas					# de Expertos que calificaron (4)	# de Expertos que calificaron (5)	ne	CRV	CRV*
	Experto 1	Experto 2	Experto 3	Experto 4	Experto 5					
1	4	4	3	4	4	4	0	4	0,60	0,80
2	4	4	4	5	4	4	0	4	0,60	0,80
3	4	5	4	4	4	4	1	5	1,00	1,00
4	5	5	4	4	4	3	2	5	1,00	1,00

Fuente: Autores, 2021.

Nota. Para el nivel de importancia de las técnicas, se determinó, al interior del equipo de proyecto, revisar en el formulario que expertos evaluaron, entre 4 y 5 cada ítem y calcular el mínimo aceptable de validez de contenido del instrumento en este caso la guía.

8.1.2 Conclusiones y Recomendaciones para Futuras Obras de Edificación

La guía para administrar recursos en la fase de construcción de las obras de edificación en la ciudad de Bogotá, es un documento de consulta para directores de operaciones, directores de obra y gerentes de proyectos en las obras de edificación del sector de la construcción; asimismo, para la gerencia estratégica de las compañías constructoras que decidan apostarle al mejoramiento continuo de los procesos.

Se pone a disposición la guía para proporcionar técnicas relacionadas con la administración de inventarios, plan de requerimientos de materiales, *Layout* por posición fija o de proyecto y el *Layout* orientada al proceso, los cuales se han identificado en los sectores productivos. Así mismo, se ha creado con el fin de facilitar el conocimiento en la administración de recursos de las partidas y procesos en los proyectos de edificación que desarrollan las compañías del sector de la construcción en la ciudad de Bogotá D.C., y en el territorio nacional, de este modo se permitirá el mejoramiento continuo en las obras de edificación. Si bien, el sector de la construcción ha sido un impulsor de la economía del país, expertos reconocen que se presentan fallas en la ejecución de los proyectos debido a que en la fase de planeación no se incluyen las mejores técnicas para administrar recursos en el desarrollo de las construcciones.

De acuerdo con el constante crecimiento del sector de la construcción en Colombia, principalmente el de los proyectos de vivienda de interés social y vivienda de interés prioritario, se identificó conforme al análisis cuantitativo realizado mediante una encuesta a profesionales de ingeniería en el sector de la construcción, un 71% de los encuestados consideran muy importante implementar una guía para administrar los recursos en la fase de construcción de los proyectos de vivienda, lo que evidenció el equipo del proyecto, una

oportunidad de desarrollar una guía para evitar las causas encontradas en la identificación del problema en las obras de edificación, relacionadas con el inadecuado manejo del plan de requerimientos de materiales, incorrecta distribución de las células de trabajo, lo que ocasiona un bajo desempeño en la administración de los recursos de materiales y equipos en la etapa de construcción de las obras de edificación .

El establecimiento de la guía permite aplicar conceptos y técnicas que examinen la administración de recursos en la fase de construcción de las obras de edificación, mediante el uso de estándares de la administración de operaciones y gerencia de proyectos, contribuyendo a los objetivos de desarrollo sostenible, promover el crecimiento económico inclusivo y razonable, el trabajo para todos (ODS8), Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación (ODS9) y Revitalizar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible (ODS17).

Se tuvo presente la administración de recursos, para la ejecución de proyectos de vivienda en Colombia y principalmente en la ciudad de Bogotá D.C., el equipo investigador hace la recomendación de considerar una adición de técnicas relacionadas con la administración de inventarios, plan de requerimientos de materiales, *Layout* orientada al proceso y *Layout* por posición fija, dada su relevancia y el mejoramiento continuo que han tenido en los sectores productivos, pues son técnicas positivas en el éxito de los proyectos relacionados con el alcance, tiempo, costo y calidad.

Una vez analizado el proceso de revisión del juicio de expertos mediante el modelo de *LAW SHE* para la verificación cuantitativa de la validez del contenido, se concluye que la guía considera los requisitos establecidos para administrar los recursos en la fase de construcción de las obras de edificación, la cual constituye una herramienta de gran valor para generar productividad por parte de las compañías constructoras dedicadas a las obras de edificación.

Las técnicas señaladas en la guía permiten emplearse en las partidas de las obras de edificación y mantener un control de los materiales que son requeridos por el programa maestro de producción para la construcción de la obra. Así pues, los gerentes de proyecto y de operaciones podrán hacer seguimiento a cada una de las partidas con la finalidad de prever situaciones y toma de decisiones que lleven a un correcto desempeño de las construcciones.

Se recomienda definir desde la etapa de planeación de los proyectos, las técnicas a utilizar en la fase de construcción para administrar los recursos relacionados, materiales e insumos y materias primas que son requeridos para la producción de las edificaciones y, de esta manera, evitar retrasos en los procesos y distribución ineficiente de los materiales en las células de trabajo. Por ejemplo, es necesario que el

encargado del plan de requerimiento de materiales genere alertas a la administración de inventarios y este coordine con el departamento de compras sobre las cantidades de los materiales que son requeridos por las células de trabajo, de lo contrario, el proyecto se puede ver afectado.

La guía permite administrar de una manera indicada los recursos relacionados, materiales e insumos y materias primas que son requeridos para la producción de las edificaciones, evita la baja calidad del producto, desviaciones en el presupuesto e incumplimiento de las entregas.

En respuesta a la pregunta planteada para el desarrollo de la investigación, se identificó, al interior del equipo del proyecto, de acuerdo con el análisis cuantitativo, que en las obras de edificación la alta gerencia no incorpora técnicas relacionadas con la administración de inventarios, plan de requerimientos y las técnicas de *Layout* para el control de los materiales en la fase de construcción de las obras de edificación. La guía resulta aplicable en la ejecución de las obras de edificación, la cual permite comprender un área específica de conocimiento en gerencia, con un elemento fundamental para la administración de las operaciones mediante técnicas identificadas en los sectores productivos. Por lo tanto, la guía permite una adecuada administración de los recursos en las obras de edificación de vivienda en el territorio nacional.

La gerencia de las constructoras del territorio nacional y de la ciudad de Bogotá D.C., podrán emplear esta guía como mecanismo facilitador en la administración de los materiales, insumos y materias primas en la ejecución de las obras de edificación; además, permite establecer un control mediante las técnicas establecidas y evitar mala calidad en el producto, desviaciones en los presupuestos e incumplimientos en las entregas.

La guía fue planteada al interior del equipo investigador, para el desarrollo de las obras de edificación principalmente en la fase de construcción, se recomienda una adaptación que mejore el alcance en los proyectos de edificación y habilitación urbana. Así mismo, puede adaptarse para aplicarla en los proyectos que demande las empresas de los sectores productivos.

Con la investigación, se logra identificar las técnicas empleadas para la administración de recursos y operaciones en los sectores productivos, se realiza un análisis cuantitativo para determinar que técnicas se están aplicando actualmente en el sector de la construcción, luego se aplicó el proceso analítico jerárquico (*Analytics Hierarchy Process AHP*) para seleccionar las técnicas que aplican en el sector de la construcción y dar paso y construir la guía. Por último, verificarla con expertos del sector de la construcción a través del modelo de *LAWSHE* para la verificación cuantitativa de la validez del contenido. Igualmente, el equipo

investigador recomienda a las diferentes empresas, seguir con las investigaciones sobre la administración de recursos y operaciones en las obras de edificación, pues hay mucha información por explorar y aplicar las mejores técnicas en los proyectos que demanda el sector de la construcción.

Bibliografía

- Acosta, C. A. (2018). Metrados. En C. A. Acosta, *Costos y Presupuestos para Edificaciones* (pág. 39). Lima: MACRO EIRL.
- Acosta, C. A. (2018). Materiales o insumos. En C. A. Acosta, *Costos y presupuestos para edificaciones* (pág. 64). Lima: Editorial Macro.
- Acosta, C. A. (2018). Análisis de algunas partidas básicas de Capeco. En C. A. Acosta, *Costos y presupuestos para edificaciones* (pág. 101). Lima: Macro EIRL.
- Achell, J. F. (2018). Introducción a Lean Contruction. *Fundación laboral de la construcción* , 9.
- Aquilano, N. (2019). Administración de operaciones . En N. Aquilano, *Producción y cadena de suministros* (pág. 3). México: Mc Graw Hill.
- Aquilano, N. (2019). Distribución por Proyecto. En N. Aquilano, *Administración de Operaciones* (pág. 183). México, D.F: Mc Graw Hill.
- Aquilano, N. (2019). Centros de trabajo.N. Aquilano, *Administración de operaciones* (pág. 221). México: Mc Graw Hill.
- Aquilano, N. (2019). Formato básicos de la distribución para la producción . En N. Aquilano, *Administracion de operaciones* (pág. 222). México: Mc Graw Hill.
- Aquilano, N. (2018). Definición del inventario. En N. Aquilano, *Administracion de operaciones* (pág. 547). México, D.F: Mc Graw Hill Educación.
- Aquilano, N. (2018). Propósitos del inventario en la fase de construcción de proyectos de vivienda . En N. Aquilano, *Producción y cadena de suministros* (pág. 548). México, D.F: Mc. Graw Hill Educación.
- Aquilano, N. (2018). Comparación de los sistemas de inventario de cantidad de pedido fija y periodo fijo. En N. Aquilano, *Administración de operaciones* (pág. 555). Mexico, D.F: Mc Graw Hill Educación.

Berganzo, J. (07 de Noviembre de 2016). *sistemasoe.com*. Obtenido de Lean Manufacturing: <https://www.sistemasoe.com>

Construction, L. (02 de Marzo de 2014). *Revistas.unilibre.edu.co*. Obtenido de Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual: <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/avances/article/view/298/235>

Construction, F. L. (04 de Marzo de 2014). <https://revistas.unilibre.edu.co/>. Obtenido de Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual: <https://revistas.unilibre.edu.co/>

CAMACOL. (19 de Enero de 2020). *CAMACOL*. Obtenido de CAMACOL: <https://camacol.co>

Jiménez, A. U. (2020). Más de un tercio del país están en déficit habitacional. *Portafolio*, 1. <https://repository.eafit.edu.co>

Chase, R. (2019). Taller de trabajo. En R. Chase, *Producción y cadena de suministros* (pág. 171). México: Mc Graw Hill.

Chase, R. (2019). Planeación sistemática de la distribución. En R. Chase, *Producción y cadena de suministros* (pág. 175). México: Mc Graw Hill.

Chase, R. (2019). Distribución del centro de trabajo. En R. Chase, *Administración de Operaciones* (pág. 183). México: Mc GRAW Hill.

Chase, R. (2019). Demanda independiente y dependiente. En R. Chase, *Administración de operaciones* (pág. 520). México, D.F.: Mc GRAW Hill Educación.

Chase, R. (2019). Sistemas de Inventario de Varios periodos . En R. Chase, *Producción y cadena de suministros* (pág. 524). México, D.F: Mc Graw Hill Educación.

Chase, R. (2019). Diferencias entre cantidad de pedido fija y periodo fijo . En R. Chase, *Administración de operaciones* (pág. 525). México, D.F.: Mc Graw Hill.

Escobar-Pérez, J., & Cuervo-Martínez, Á. (2007). Validez de contenido y juicio de expertos: UNA. *Avances en Medición*, 27-36.

EPM. (1 de Febrero de 2020). *Proyecto Hidroeléctrico Ituango*. Obtenido de EPM: www.epm.com.co

Forero, S. (15 de Mayo de 2019). *Camacol*. Obtenido de El sector debe dar señales de recuperación rápidamente: Camacol: <https://camacol.com>

Galindo, I. P. (2020). Identificación de factores que generan diferencias de tiempo y costos en proyectos de construcción en Colombia. *Ingeniería y Ciencia* , 10.

- Gravina, V., & Hegedus, P. d. (2011). *Evaluación de dos proyectos de desarrollo rural utilizando metodología Q*. Obtenido de SCIELO: <http://www.scielo.edu.co>
- Guerra, J. A. (2019). Estimación de desperdicios en obras de edificación. *Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual*, 36.
- Guerra, J. A. (2019). Ejemplo de un modelo TFV, puesta de ladrillo. Tomado de Productividad en la construcción de un condominio aplicando conceptos de la filosofía Lean Construction. *Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción*, 37.
- Hammond, M. (3 de Diciembre de 2020). *hubspot*. Obtenido de hubspot: <https://blog.hubspot.es/service/escala-likert>
- Heizer, J. (2019). Distribución orientada al proceso. En J. Heizer, *Principios de administración de operaciones* (pág. 366). México: Pearson Educación.
- Heizer, J. (2018). Layout Orientado al Proceso. En J. Heizer, *Dirección de la producción y operaciones* (pág. 441). Madrid: Pearson Educación.
- Heizer, J. (2018). Layout Orientada al Proceso. En J. Heizer, *Dirección de la Producción y Operaciones* (pág. 444). Madrid: Pearson Educación
- Heizer, J. (2018). Células de Trabajo. En J. Heizer, *Dirección de la producción y de operaciones* (pág. 448). Madrid: Pearson Educación.
- Heizer, J. (2018). Células de Trabajo. En J. Heizer, *Dirección de la producción y de operaciones* (pág. 449). Madrid: Pearson Educación.
- Render, B. (2019). Tipos de inventario. En B. Render, *Principios de administración de operaciones* (pág. 477). México: Pearson Educación.
- Heizer, J. (2019). Tipos de inventarios. En J. Heizer, *Principios de administración de operaciones* (pág. 452). México, D.F: Pearson Educación .
- Heizer, J. (2019). Administración de inventarios . En J. Heizer, *Principios de administración de operaciones* (pág. 453). México, D.F: Pearson Educación .
- Heizer, J. (2019). Costos de mantener, ordenar y preparar el inventario. En J. Heizer, *Principios de Administración de operaciones* (pág. 482). México: Pearson Educación.
- Heizer, J. (2019). Modelos de inventario. En J. Heizer, *Principios de administración de operaciones* (pág. 456). Mexico, D.F: Pearson Educación.

- Heizer, J. (2019). Requerimientos del modelo de inventario dependiente. En J. Heizer, *Principios de administración de operaciones* (pág. 522). México, D.F: Pearson Educación.
- Heizer, J. (2019). Estructura escalonada del producto. En J. Heizer, *Principios de Administración de operaciones* (pág. 559). México: Pearson Educación.
- Heizer, J. (2019). Reducción del tamaño de los lotes. En J. Heizer, *Principios de Administración de operaciones* (pág. 633). México: Peason Educación.
- Heizer, J. (2019). Tipos de inventario. En J. Heizer, *Principios de administración de operaciones* (pág. 476). México: Pearson Educación.
- Heizer, J. (2019). Modelo de la cantidad económica a producir. En J. Heizer, *Principios de administración de operaciones* (pág. 489). México D.F: Pearson Educación.
- Heizer, J. (2018). Cross docking. En J. Heizer, *Dirección de la producción y de Operaciones* (pág. 476). México: Pearson Educación.
- Heizer, J. (2019). Importancia de la Administración de Proyectos. En J. Heizer, *Principios de administración de operaciones* (pág. 569). México: Pearson Educación.
- Heizer, J. (2019). Tipos de inventarios. En J. Heizer, *Principios de administración de operaciones* (pág. 452). México, D.F: Pearson Educación .
- Heizer, J. (2019). Modelos de almacenes para demanda independiente. En J. Heizer, *Principios de administración de operaciones* (pág. 457). México, D.F: Pearson Educación.
- Heizer, J. (2019). Programación a corto plazo. En J. Heizer, *Principios de administración de operaciones* (pág. 560). México: Pearson Educación.
- Ingenieros, S. C. (8 de Noviembre de 2019). *Sociedad Colombiana de Ingenieros*. Obtenido de Sociedad Colombiana de Ingenieros: <https://sci.org.co>
- Institute, P. M. (2017). Estructura de desglose de recursos. En P. M. Institute, *La guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK) / Project Management Institute* (pág. 326). Pennsylvania: Project Management Institute.
- Jacobs, R. (2019). Distribución por poryecto. En R. Jacobs, *Administración de operaciones* (pág. 171). México: Mc Graw Hill.
- Jacobs, R. (2019). Análisis de los cuatro formatos de distribución más comunes. En R. Jacobs, *Administración de Operaciones* (pág. 171). México D.F: Mc Graw Hill.
- Jacobs, R. (2018). Demanda independiente y dependiente . En R. Jacobs, *Administración de operaciones* (pág. 549). México, D.F: Mc Graw Hill Educación.

- Jacobs, R. (2019). Modelos de descuento por cantidad . En R. Jacobs, *Producción y cadena de suministros* (pág. 535). México: Mc Graw Hill Educación.
- Jacobs, R. (2019). Modelos de descuento por cantidad. En R. Jacobs, *Producción y cadena de suministros* (pág. 536). México: Mc Graw Hill Educación.
- Lozano, S. (2020). Identificación de factores que generan diferencias de tiempo y costos en proyectos de construcción en Colombia. *Ingeniería y Ciencia* , 15.
- Parra, J. L. (2018). Tipos de Layout. En J. L. Parra, *Decisiones Estratégicas* (pág. 433). Madrid: Pearson Educación .
- Piqueras, V. Y. (27 de Noviembre de 2018). *Etiqueta: Saaty Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP)*. Obtenido de Etiqueta: Saaty Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP): <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/saaty/>
- Kaplan, R. S. (2019). Utilización de los activos . En R. S. Kaplan, *El cuadro de mando integral* (pág. 83). Bogotá D.C: Planeta Colombiana S.A.
- Norton, D. P. (2019). Mejorar la utilización de los activos. En D. P. Norton, *El cuadro de mando integral* (pág. 84). Bogotá D.C: Planeta Colombiana S.A.
- Rezéndiz, D. (2016). Desarrollo sostenible e Ingeniería. En D. Rezéndiz, *El rompecabezas de la Ingeniería* (pág. 161). México: Fondo de cultura Económica.
- Render, B. (2018). Layout de almacenes. En B. Render, *Dirección de la producción* (pág. 439). Madrid: Pearson Educación .
- Render, B. (2018). Layout Orientada al Proceso. En B. Render, *Dirección de la producción y de operaciones* (pág. 441). Madrid: Pearson Educación.
- Render, B. (2018). Layout orientda al Proceso. En B. Render, *Dirección de la producción y operaciones* (pág. 443). Madrid: Pearson Educación.
- Render, B. (2018). Layout orientado al proceso. En B. Render, *Dirección de la producción* (pág. 443). Madrid: Pearson Educación.
- Render, B. (2019). Administración de inventarios. En B. Render, *Principios de administración de operaciones* (pág. 478). México: Pearson Educación.
- Render, B. (2019). Tiempos de entrega para componentes. En B. Render, *Principios de administración de operaciones* (pág. 558). México, D.F: Pearson Educación.

- Render, B. (2018). Layout Repetitivo y Orientado al Producto. En B. Render, *Dirección de la producción y las operaciones* (pág. 453). Madrid: Pearson Educación.
- Render, B. (2019). Modelos de inventario para la demanda independiente. En B. Render, *Principios de administración de operaciones* (pág. 483). México: Pearson Educación.
- Render, B. (2019). La importancia del inventario. En B. Render, *Principios de administración de operaciones* (pág. 476). México: Pearson Educación.
- Render, B. (2019). Tipos de inventario. En B. Render, *Principios de administración de operaciones* (pág. 476). México: Pearson Educación.
- Render, B. (2019). Tipos de inventario. En B. Render, *Principios de administración de operaciones* (pág. 476). México: Pearson Educación .
- Sampieri, R. H. (2014). Proceso cuantitativo. En R. H. Sampieri, *Metodología de la investigación* (pág. 5). México, D.F.: Mc Graw-Hill.
- Sampieri, R. H. (2014). Definiciones de los enfoques cuantitativo y cualitativo, sus similitudes y diferencias. En R. H. Sampieri, *Metodología de la investigación* (pág. 22). México: MC Graw Hill.
- Sierra, L. M. (2015). Análisis de validez de contenido de un instrumento de transferencia de tecnología universidad industria de baja california, México. *Administración de la tecnología*, 5.
- Thomas, L. (5 de Febrero de 2019). *Project Cost Solutions*. Obtenido de Project Cost Solutions: <https://projectcostsolutions.com/what-is-cost-engineeri>
- Urrutia, M. B. (5 de Enero de 2014). *Métodos óptimos para determinar validez de contenido*.
- Universidad de Málaga (UMA). (2005). Metodología Q y autoconcepto. *Escritos de psicología*, 91-96. Obtenido de DIALNET: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2876451>
- Vega, J. P. (2017). Transporte y vivienda tienen los proyectos más atrasados en ejecución de regalías. *La república*, 1.

1. Anexos

Anexo Digita 1. Análisis cuantitativo de la investigación

Anexo Digital 2. Guía para administrar recursos en la fase de construcción en las obras de edificación.

