

**GUÍA PARA ADMINISTRAR RECURSOS EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE
EDIFICACIÓN EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ.**

AUTORES

Fabián David Ávila Cortes

Yoad Ernesto Pérez Becerra

Wendy Fernanda González Leiva

**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO
UNIDAD DE PROYECTOS
MAESTRÍA EN DESARROLLO Y GERENCIA INTEGRAL DE PROYECTOS
BOGOTÁ D.C.
2021**

TABLA DE CONTENIDO.

1. PRESENTACIÓN	5
1.1 Objeto de la Guía.	5
1.1.1 Alcance de la Guía	6
1.1.2 Definiciones y Acrónimos	6
2. ADMINISTRACIÓN DE RECURSOS EN LAS OBRAS DE EDIFICACIÓN.....	12
2.1 Estructura de Desglose de Recursos en las Obras de Edificación.....	13
2.1.1 Dirigir al Equipo en los Proyectos de Edificación.....	16
3. CADENA DE SUMINISTRO EN LAS OBRAS DE EDIFICACIÓN Y HABILITACIÓN URBANA.	17
3.1 La Importancia del Inventario en las Obras de Edificación.	19
3.1.1 Funciones del Inventario en las Obras de Edificación.....	20
3.1.2 Tipos de Inventario en las Obras de Edificación.	20
3.1.2.1 Inventario de Materias Primas.....	21
3.1.2.2 Inventario de Trabajo en Proceso.....	21
3.1.2.3 Inventario para Mantenimiento, Reparación y Operaciones.	21
3.1.2.4 Inventario de Productos Terminados.	21
4. ADMINISTRACIÓN DE INVENTARIOS EN LAS OBRAS DE EDIFICACIÓN.	22
4.1 Análisis ABC en las Obras de Edificación.	23
4.1.1 Análisis ABC de Materiales para una Obra de Edificación.....	24
4.1.1.1 Representación Gráfica del Análisis ABC.....	25
4.1.1.2 Exactitud en los Registros de los Inventarios de Materiales para las Obras de Edificación..	26
4.1.1.3 Conteo Cíclico de los Materiales.	27
4.1.1.4 El Conteo Cíclico en las Obras de Edificación y Habilitación Urbana Genera las Sigüientes Ventajas. 29	29
4.1.1.5 Demanda Independiente Contra Dependiente de los Materiales Utilizados en los Procesos de Construcción de las Obras de Edificación.	29
4.1.1.6 Costos de Mantener, Ordenar y Preparar el Inventario en las Obras de Edificación.	29
4.1.1.7 Costo de Hacer Pedidos en las Obras de Edificación.	31
5. PLANEACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE LOS MATERIALES MRP EN LAS OBRAS EDIFICACIÓN.....	33
5.1. Requerimientos del Modelo de Inventario dependiente para Obras de Edificación.....	34
5.2. Programa de Producción Maestro en las Obras de Edificación.	35
5.3. Listas Estructuradas de Materiales para las Obras de Edificación.....	37
5.3.1. Listas Modulares en Partidas Básicas para Obras de Edificación.	38
5.4. Codificación de los Materiales en las Obras de Edificación.	39
5.4.1. Exactitud en los Registros de Inventario.	39
5.4.2. Órdenes de Compra en los Sectores Productivos.	39
5.4.3. Tiempos de Entrega para Componentes.....	39
5.5. Estructura MRP en las Obras de Edificación.....	41
5.5.1. Árbol de Desglose del Producto de la Construcción de una Vivienda y el Modelo Tiempo Costo. 43	43

6. TIEMPOS DE PREPARACIÓN EN LAS OBRAS DE EDIFICACIÓN.....	47
6.1 Modelos de Inventario para la Demanda Independiente en Obras de Edificación.....	48
6.1.1 Modelo Básico de la Cantidad Económica a Ordenar (EOQ) para Obras de Edificación.....	48
6.1.1.1 Disminución al mínimo de los costos.....	51
6.1.1.2 Puntos de Reorden en los Inventarios de los Sectores Productivos.....	57
6.1.1.3 Uso de la hoja de cálculo de Microsoft Excel para Resolver la Simulación de los Problemas de Inventario.....	60
7. LAYOUT.....	69
7.1 Layout orientada al proceso.....	70
7.1.1 Definiciones.....	70
7.1.2 Cálculo de Costos Relacionados con la Distancia.....	71
7.1.3 Layout de Posición Fija o de Proyecto.....	73
7.1.4 Layout de Célula de Trabajo.....	75
Bibliografía.....	78

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1. Diagrama de flujo para la administración de recursos en las obras de edificación.....	13
Figura 2. Estructura de desglose de recursos en una obra de construcción de vivienda.....	14
Figura 3. Diagrama de flujo de datos en las obras de edificación.....	16
Figura 4. Cadena de suministro en las obras de edificación.....	17
Figura 5. Diagrama de flujo a través de la programación Last Planner de los recursos en obras de edificación.....	18
Figura 6. Ciclo de flujo del cemento para una obra de edificación.....	22
Figura 7. Análisis ABC para materiales requeridos en una obra de edificación.....	25
Figura 8. Proceso de planeación de los materiales para obras de edificación y habilitación urbana.....	35
Figura 9. Estructura escalonada de producto.....	38
Figura 10. Estructura escalonada del producto en los procesos productivos.....	40
Figura 11. Estructura MRP en las obras de edificación.....	41
Figura 12. Árbol de desglose del producto de la construcción de una vivienda.....	43
Figura 13. Diagrama de red de para la construcción de la vivienda.....	45
Figura 14. Modelo cantidad de pedido económico y el modelo de la cantidad económica a producir.....	47
Figura 15. Control y uso del inventario en los sectores productivos a través del tiempo.....	49
Figura 16. Costos como una función de la cantidad a ordenar.....	50
Figura 17. Punto de reorden (ROP) en los sectores productivos.....	58
Figura 18. Control y uso del inventario a través del tiempo del ladrillo de arcilla hueco 12*30*30.....	61
Figura 19. Costos de la cantidad a ordenar del ladrillo de arcilla hueco 12*30*30.....	62
Figura 20. Control y uso del inventario a través del tiempo del para el fierro corrugado de 5/8.....	64
Figura 21. Costos de la cantidad a ordenar para el Fierro corrugado de 5/8.....	65
Figura 22. Línea de regresión de mínimos cuadrados.....	66
Figura 23. Modelo básico de cantidad de orden fija de las 6605 toneladas de cemento para la preparación de un concreto de 4000 PSI.....	68
Figura 24. Costo total para el modelo básico de cantidad de orden fija de las 6605 toneladas de cemento para la preparación de un concreto de 4000 PSI.....	69
Figura 26. Layout orientado al proceso en actividades de construcción.....	70

Figura 27. Diagrama de proceso para el análisis y creación de Layout orientado al proceso.....	72
Figura 28. Layout de posición fija	73
Figura 29. Diagrama de proceso para el análisis y creación de Layout de posición fija	74
Figura 30. Layout de célula de trabajo.....	76
Figura 31. Diagrama de proceso para el análisis y creación de Layout de célula de trabajo	76

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1. Definiciones y acrónimos.	6
Tabla 2. Análisis ABC de los materiales para una obra de edificación	24
Tabla 3. Conteo cíclico para determinar el número de artículos de cada clasificación que debe contarse cada día	28
Tabla 4. Determinación de los costos de mantener el inventario.....	30
Tabla 5. Desperdicios de recursos en las obras de edificación	30
Tabla 6. Preparación y vaciado	32
Tabla 7. El plan agregado es la base para desarrollar el programa de producción maestro en las obras de edificación.....	36
Tabla 8. Programa de producción maestro para la partida de colocación de piso de mármol travertino	37
Tabla 10. Construcción de un plan de requerimientos bruto para una obra de edificación	42
Tabla 11. Actividades y precedentes para la construcción de una vivienda	44
Tabla 12. Ruta crítica.....	45
Tabla 13. Descripción de tiempos y holguras	45
Tabla 14. Costo por actividad acelerado.....	46
Tabla 15. Costo total de la construcción de la vivienda acortado en tres semanas.....	46
Tabla 16. Determinación del tamaño de orden óptimo en una obra de edificación	53
Tabla 17. Determinación del número de órdenes y del tiempo entre órdenes en las obras de edificación	54
Tabla 18. Cálculo del costo combinado de ordenar y mantener el inventario	55
Tabla 19. EOQ es un modelo robusto en las obras de edificación.....	56
Tabla 20. Cálculo de puntos de reorden (ROP) para viviendas con y sin inventario de seguridad.....	59
Tabla 21. Análisis de EOQ y punto de reorden	60
Tabla 22. Análisis de los resultados análisis de EOQ y punto de reorden	60
Tabla 23. Costo total para el modelo básico de cantidad de orden fija del ladrillo de arcilla hueco 12*30*30.	62
Tabla 24. Análisis de EOQ y punto de reorden para el fierro corrugado de 5/8” utilizado en las obras de edificación.....	63
Tabla 25. Análisis de los resultados análisis de EOQ y punto de reorden para el fierro corrugado de 5/8”	63
Tabla 26. Costo total para el modelo básico de cantidad de orden fija para el fierro corrugado de 5/8	64
Tabla 27. Regresión lineal para determinar costo de mantenimiento fierro corrugado de 5/8”,.....	65
Tabla 28. Resultados de la simulación mediante de la hoja de cálculo Excel.....	67
Tabla 29. Análisis de EOQ y punto de reorden de las 6605 toneladas de cemento para la preparación de un concreto de 4000 PSI.....	67
Tabla 30. Resultados simulados en la hoja de cálculo Excel	68
Tabla 31. Costo total para el modelo básico de cantidad de orden fija	69
Tabla 32. Cantidad de movimientos entre puntos de acopio a puntos de producción.....	71

1. PRESENTACIÓN

La guía metodológica va dirigida a los gerentes de compañías de los sectores productivos, gerentes de operaciones y directores de proyectos; está relacionada con las obras de edificación de viviendas y habilitación urbana. Propone unas técnicas que se deben seguir para lograr una efectiva administración de los recursos, emplea una programación de *Layout*, Plan de Requerimientos de Materiales MRP y administración de inventarios EOQ. En el desarrollo se han tenido en cuenta los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK), administración de operaciones y costo de presupuestos para edificaciones; una vez analizados y comparados los contenidos, se obtiene un proceso propio, producto de la extracción de las mejores técnicas.

Como es característico de las guías y más en temas de la administración de recursos, es apropiado mencionar que la presente es adaptable a los diferentes escenarios o contextos de la gerencia de proyectos para la aplicación en el sector de la construcción, fundamentada en las obras de edificación y habilitación urbana del territorio nacional.

1.1 Objeto de la Guía.

La presente guía tiene como objeto establecer las técnicas de administración de recursos, que le permitan a las constructoras adoptar de manera efectiva un enfoque basado en la administración de recursos en los procesos y actividades de la fase de construcción en las obras de edificación.

Esta puede ser utilizada por todas aquellas organizaciones que agremian el sector de la construcción y deseen mejorar la administración de recursos, basada en técnicas que les permitan a las constructoras mejorar el control de los inventarios, la programación del plan de requerimientos de materiales (MRP), distribución del *Layout*, que son requeridos por las células de trabajo para mejorar la administración de los recursos en la fase de construcción de las viviendas.

Para cumplir con este propósito, se ha propuesto elaborar un documento ágil y ejecutivo que facilite al interesado una consulta rápida y adecuado entendimiento sobre las técnicas de administración de recursos.

No se ha propuesto recoger en este documento una metodología particular ni se pretende crear similitud en la administración de recursos, cada organización dedicada a las obras de edificación y habilitación urbana

pueda adaptar las pautas de la presente guía considerando su propia especialidad y estructura, así como la naturaleza de sus procesos y actividades.

1.1.1 Alcance de la Guía

La guía permite dar a conocer las técnicas relacionadas en la administración de recursos en la fase de construcción de las obras de edificación y habilitación urbana, en el marco de la utilización adecuada de la programación del *Layout*, Plan de Requerimientos de Materiales (MRP), administración de los inventarios en las empresas asociadas al gremio de la construcción de obras de edificación en la ciudad de Bogotá D.C., en esta se encuentran ejemplos de cálculos matemáticos, relacionados con el análisis ABC de materiales para una obra de edificación, conteo cíclico de los materiales, programa de producción maestro en las obras de edificación, análisis de precios unitarios, árbol de desglose del producto de la construcción de una vivienda y el modelo tiempo costo, determinación del tamaño de orden óptimo en una obra de edificación, determinación del número de órdenes y del tiempo entre órdenes en las obras de edificación, cálculo del costo combinado de ordenar y mantener el inventario en las obras de edificación y cálculo de puntos de reorden (ROP) para viviendas con y sin inventario de seguridad, además encuentran datos simulados mediante la hoja de cálculo de Microsoft Excel de materiales, por ejemplo, ladrillo de arcilla hueco 12*30*30, fierro corrugado de 5/8” y cemento, que son los insumos más usuales en este tipo de obra.

1.1.2 Definiciones y Acrónimos

Se han realizado definiciones y acrónimos de las palabras más importantes relacionadas con las técnicas para administrar recursos en la fase de construcción de las obras de edificación. La definición de cada concepto se muestra en la **Tabla 1**. Definiciones y acrónimos.

Tabla 1. 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)

Acrónimos y palabras claves	Descripción
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)
Costo de preparación	El costo de preparar una máquina 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)

Acrónimos y palabras claves	Descripción
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)
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)

Acrónimos y palabras claves	Descripción
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)
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)

Acrónimos y palabras claves	Descripción
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)
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)

Acrónimos y palabras claves	Descripción
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)
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)
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)

Acrónimos y palabras claves	Descripción
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. (Murrieta, 2019)

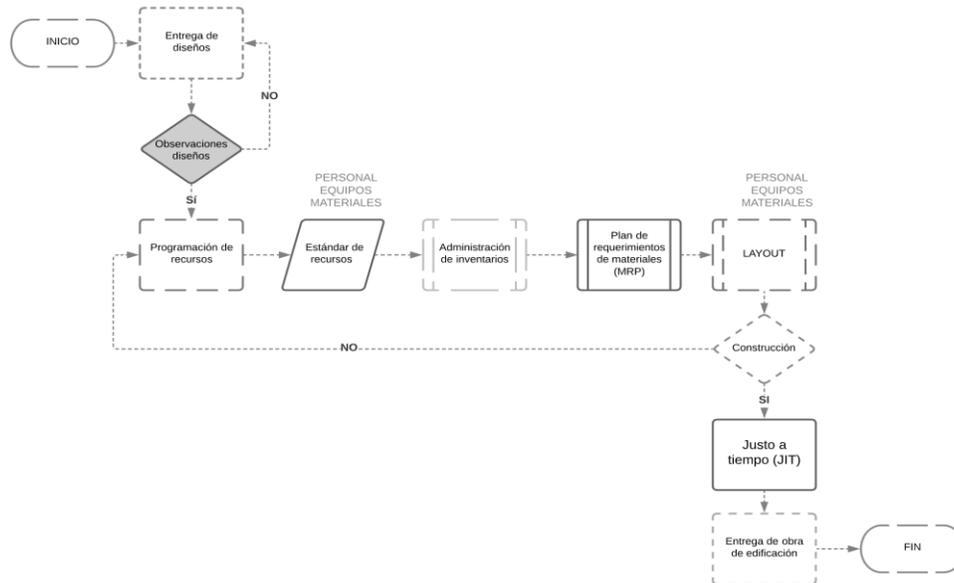
Fuente: Autores, 2021.

2. ADMINISTRACIÓN DE RECURSOS EN LAS OBRAS DE EDIFICACIÓN.

En la **Figura 1.** Diagrama de flujo para la administración de recursos en las obras de edificación, se ilustra la administración de recursos que contempla esta guía relacionada con los materiales, personas y equipos requeridos en la fase de construcción de las obras de edificación, en la guía se encuentra una serie de técnicas que facilitará a los directores de operaciones, directores de obra y gerentes de compañías

dedicadas al sector de la construcción, el uso de herramientas para lograr administrar de manera más estructurada recursos.

Figura 1. Diagrama de flujo para la administración de recursos en las obras de edificación



Fuente: Autores, 2021.

Nota. En estos proyectos, la etapa de construcción empieza con la recepción de los diseños, estos son revisados por el equipo técnico; si no generan observaciones pasa a la programación de los recursos y se continúa con el análisis del estándar de los mismos, los cuales están relacionados con materiales, insumos y materias primas. Estos son controlados a través de una administración de acuerdo a las cantidades que son proyectadas por el plan de requerimientos de materiales para distribuirlas en las estaciones de trabajo para la producción de las partidas.

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

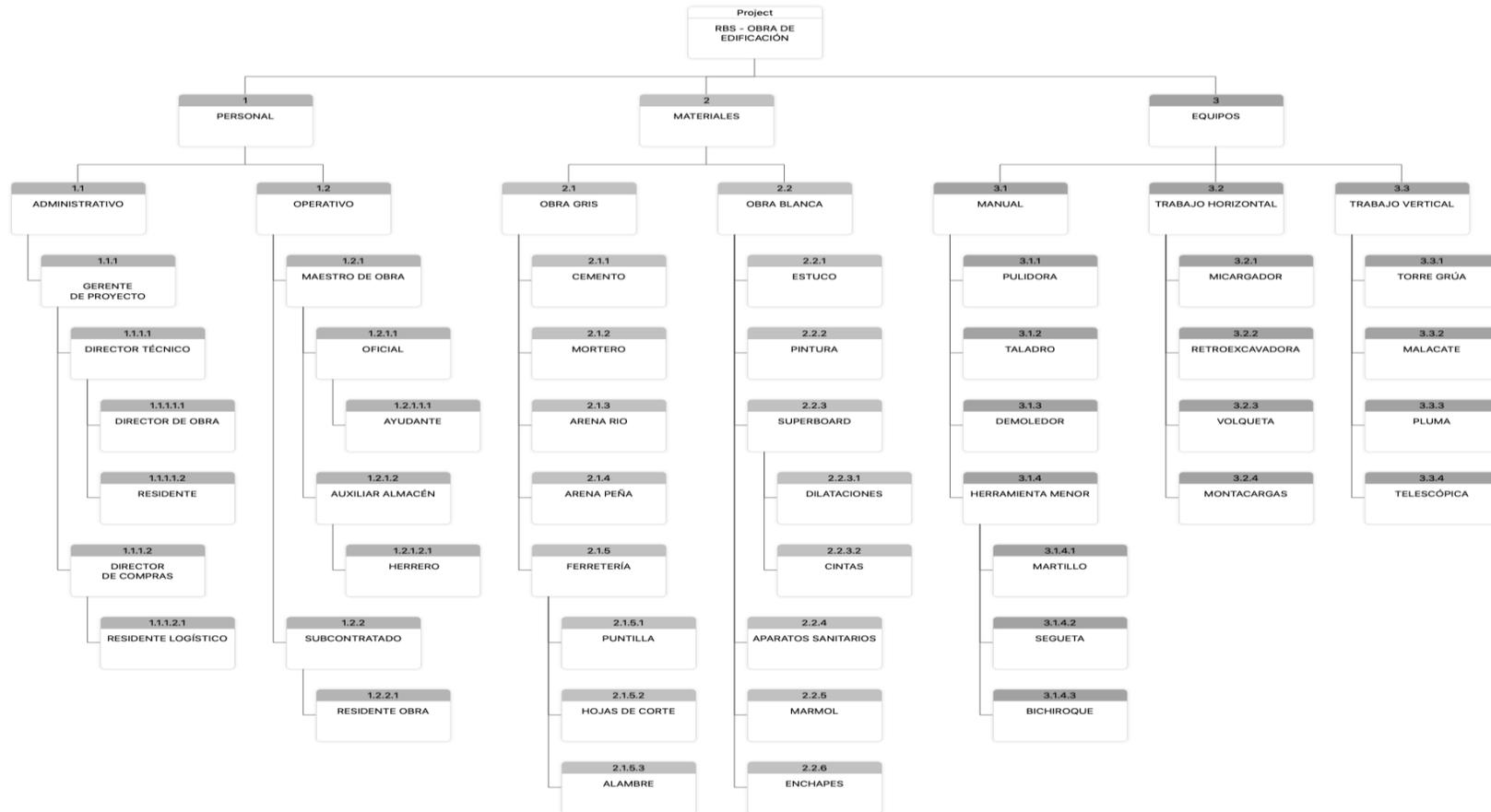
La estructura de desglose de los recursos en los proyectos que demandan los sectores productivos, ayuda a la gerencia de las constructoras a tener un control sobre los recursos utilizados en el desarrollo de los procesos. En las obras de edificación o habilitación urbana los recursos fluyen de manera constante, debido a que las operaciones son 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 la limpieza del terreno, excavación de zanjas, concreto simple y cimientos corridos.

En el proceso de planificación de gestión de los recursos en las obras de edificación se les facilita a los directores de proyectos ejercer un control en la distribución de los materiales en las células de trabajo, “la estructura de desglose de recursos se usa para guiar la categorización para el proyecto. En este proceso, es un documento terminado que se utilizará para adquirir y monitorear los recursos”. (Institute, 2017, pág. 326).

Figura 2. *Estructura de desglose de recursos en una obra de construcción de vivienda*

¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.



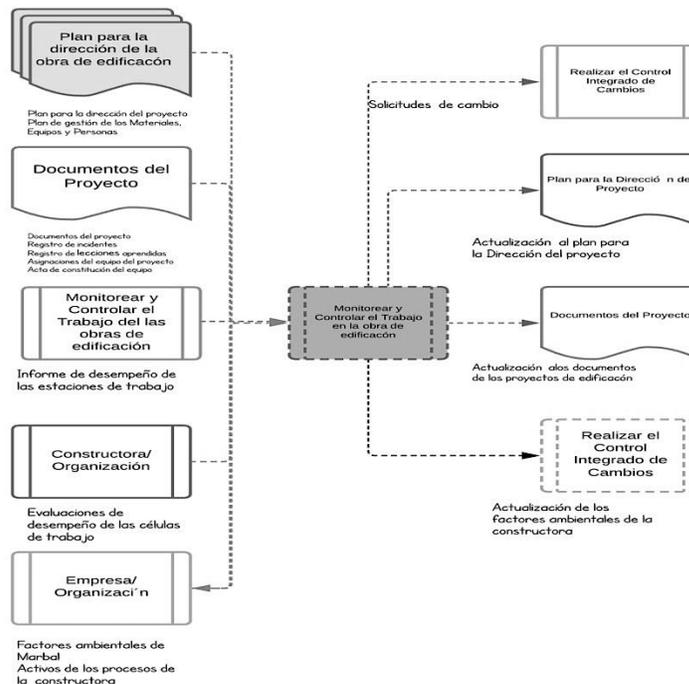
Fuente: Autores, 2021.

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 y administrar de una manera efectiva el personal, materiales, insumos, materias primas y equipos que son empleados en las partidas de las construcciones.

2.1.1 Dirigir al Equipo en los Proyectos de Edificación.

“Dirigir al equipo es el proceso que consiste en hacer seguimiento del desempeño de los miembros del equipo, proporcionar retroalimentación, resolver problemas y gestionar cambios en el equipo a fin de optimizar el desempeño del proyecto” (Institute, 2017, pág. 345). En las obras de edificación y habilitación urbana que desarrollan las compañías dedicadas a la construcción, dirigir los equipos de trabajo en cada proceso que integra la construcción de las viviendas es elemental, ya que influye en el comportamiento de equipo para gestionar los conflictos y resolver los problemas que presenten en las estaciones de trabajo.

Figura 3. Diagrama de flujo de datos en las obras de edificación



Fuente: Autores, 2021. Adaptado del PMBOK.

Nota. En la **Figura 3.** Diagrama de flujo de datos en las obras de edificación, representa el plan para dirección de la obra que se va a construir, este establece el plan para la gestión de los materiales, insumos, materias primas, equipos y personas, además establece los documentos del proyecto y el monitoreo, y control en las estaciones de trabajo en la construcción de las obras.

3. CADENA DE SUMINISTRO EN LAS OBRAS DE EDIFICACIÓN Y HABILITACIÓN URBANA.

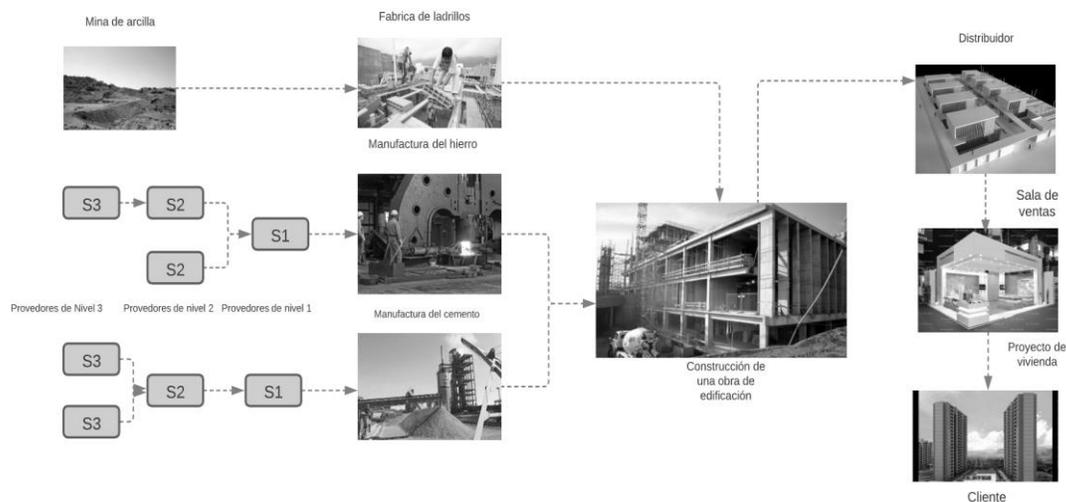
La cadena de suministros en las obras de edificación y habilitación urbana es amplia, debido a la cantidad de materiales que se requieren en la fase de construcción. El departamento o área de compras en las empresas dedicadas a la edificación y habilitación urbana optan por tener convenios para la adquisición de los recursos que son distribuidos en cada una de las estaciones de trabajo. “La mayoría de las empresas gastan una gran parte de sus ingresos monetarios por ventas en la realización de sus compras. Debido a que un porcentaje cada vez mayor de los costos de una organización están determinados por las compras”, (Render, 2019, pág. 432)

Actualmente las relaciones entre las constructoras y los proveedores son más integradas y de largo plazo. Los proveedores de cemento portland tipo I, fierro corrugado de 5/8” y alambre negro n° 16, constantemente realizan esfuerzos para mejorar la innovación, el diseño y la reducción de costos. “Tales esfuerzos, cuando forman parte de una estrategia corporativa, pueden mejorar en gran medida la competitividad de todos los socios. Este enfoque integrado pone un énfasis especial en la administración de las relaciones con los proveedores”. (Render, 2019, pág. 432)

La administración de la cadena suministro en el sector de construcción es dinámica por la constante demanda de los recursos que son requeridos en las obras de edificación, las actividades de la cadena de suministro son dispuestas por la demanda de los materiales en las obras; la cadena de suministros en las obras de edificación inicia con la compra de las materias primas y termina con los clientes satisfechos.

El objetivo de la administración de la cadena de suministro en las obras de edificación debe tener una coordinación de todas las actividades, en el sector de la construcción incrementa al máximo la ventaja competitiva y los beneficios para el cliente.

Figura 4. *Cadena de suministro en las obras de edificación*

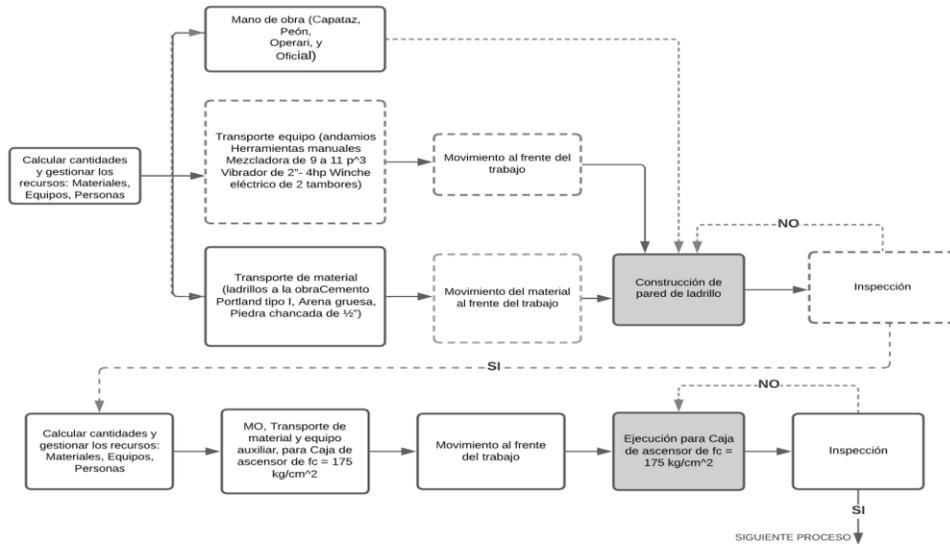


Fuente: Autores, 2021.

Nota. En la **Figura 4.** Cadena de suministro 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.

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.

Figura 5. 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.

3.1 La Importancia del Inventario en las Obras de Edificación.

Las empresas del sector de la construcción los inventarios se rotan de manera constante, de acuerdo con los requerimientos de las células de trabajo, los materiales que tienen mayores requerimientos en las obras de edificación hacen referencia al ladrillo hueco de arcilla $h = 15$ cm para techos aligerados y el acero $f_y = 4200$ kg/cm² para columnas.

Las constructoras de edificación y habilitación urbana deben elegir entre producir los bienes o comprarlos. La decisión que toman los gerentes al pronosticar la demanda de los materiales a utilizar para determinar el inventario necesario y así atender la demanda de materiales en cada una de las estaciones de trabajo debe ser muy acertada.

Chase (2019) argumenta que el inventario son las existencias de una pieza o recurso utilizado en una organización. Un sistema de inventario en una obra de edificación 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. (pág. 518)

Los inventarios en las partidas de las obras de edificación se refieren a las piezas que contribuyen o se vuelven parte de la producción del proyecto. El inventario de materiales en las construcciones casi siempre se clasifica en materia prima, productos terminados, partes componentes, suministros y trabajo en proceso que deben ser controlados por la administración de inventarios y el planeador de materiales.

3.1.1 Funciones del Inventario en las Obras de Edificación.

En esta guía se han determinado cuatro funciones que agregan flexibilidad a las operaciones en las obras de edificación, éstas se han establecido en los proyectos constructivos por Heizer (2019)

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.

3.1.2 Tipos de Inventario en las Obras de Edificación.

En esta 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.

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 se deben mantener los cuatro siguientes tipos de inventarios:

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

3.1.2.1 Inventario de Materias Primas.

El inventario de materias primas en las obras de edificación, después de la adquisición de los materiales. Por ejemplo, cemento portland tipo I, arena gruesa, piedra chancada de ½” etc., en algunos casos no se procesan. “Este inventario se puede usar para desunir, es decir, separar a los proveedores del proceso de producción” (Heizer, 2019, pág. 476). Los proveedores de materiales en las obras de ingeniería de los sectores constructivos cumplen las restricciones de entregar los materiales en las fechas establecidas para evitar retrasos en las actividades.

3.1.2.2 Inventario de Trabajo en Proceso.

El inventario del trabajo en proceso WIP en las obras de edificación, facilita en las estaciones de trabajo al capataz, operario, oficial y el peón reducir el tiempo de ciclo de la rotación de los componentes de los materiales que presentan cambios. “El WIP existe por el tiempo requerido para hacer un producto llamado tiempo del ciclo. Reducir el tiempo del ciclo disminuye el inventario” (Heizer, 2019, pág. 476). Las tareas que integran el proceso de construcción de una obra son de tarea fácil durante la mayor parte del tiempo de los procesos. Un ejemplo es el tiempo de corrida del cemento portland tipo (42.5kg) y la arena gruesa que son trasladados a la mezcladora de concreto 20-35 hp 16 p³, el tiempo de trabajo real o tiempo de corrida es un pequeño segmento del flujo de los materiales en general.

3.1.2.3 Inventario para Mantenimiento, Reparación y Operaciones.

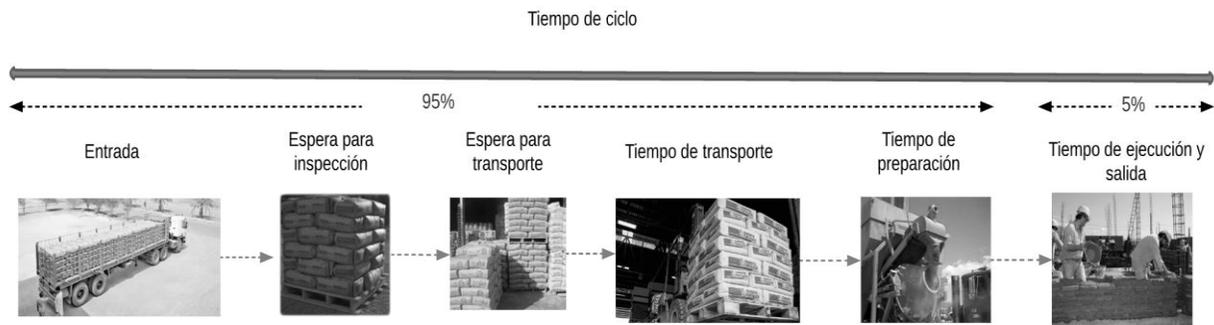
Los MRO son inventarios utilizados en los sectores productivos principalmente en la manufactura. Los gerentes de operaciones junto con el equipo de mantenimiento los dedican a suministros, reparación y operaciones necesarios para mantener productividad en la maquinaria y los procesos. En las obras de edificación y habilitación urbana los MRO están en constante rotación debido a los repuestos que se requiere para el funcionamiento de las máquinas y equipos. “Estos inventarios existen porque no se conocen la necesidad y los tiempos de mantenimiento y reparación de algunos equipos. Aunque la demanda del inventario MRO suele ser una función de los programas de mantenimiento” (Heizer, 2019, pág. 476).

3.1.2.4 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.

El ciclo de flujo de los materiales en las obras de edificación, la mayor parte del tiempo se emplea en la distribución, lo que emplea un 95% del ciclo productivo, el encargado de la logística, en la compañías constructoras especialmente las dedicadas a las obras de edificación, deben realizar inspección en el momento de la recepción de los materiales para iniciar el proceso del control de las cantidades y mantener una comunicación asertiva con las órdenes del plan de requerimientos de materiales y lograr que las entregas de los materiales se haga justo a tiempo en el momento que el plan maestro de producción haga pedidos para la producción de las partidas.

Figura 6. *Ciclo de flujo del cemento para una obra de edificación*



Fuente: Autores, 2021.

Nota. En la **Figura 6.** Ciclo de flujo del cemento para una obra de edificación, se ilustra el flujo del cemento, principalmente en una obra de edificación de un proyecto constructivo, por lo tanto, 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 demanda dependiente y demanda independiente.

4. 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 el llamado análisis ABC, y (2) cómo se pueden mantener los registros precisos del inventario.

4.1 Análisis ABC en las Obras de Edificación.

De acuerdo con lo consultado para el desarrollo del objetivo número 1 de la investigación, se han identificado diferentes técnicas de *Layout* y de administración y control de recursos que emplean las organizaciones dedicadas a la construcción para el desarrollo de las obras de edificación. “El análisis ABC divide el inventario disponible en tres clases según su volumen anual en dinero. El análisis ABC es una aplicación a los inventarios de lo que se conoce como principio de Pareto” (Render, 2019, pág. 477). De acuerdo al principio de Pareto, que facilita a los administradores de operaciones y directores de obras, determinar el control de los inventarios de los materiales que son requeridos en cada proceso de construcción de las obras de edificación, un ejemplo que integra inventarios relacionado con los materiales, equipos y herramientas son las losas aligeradas de $f c = 175 \text{ kg/cm}^2$. En los inventarios de los materiales de las obras de edificación se presentan artículos cruciales y muchos triviales de acuerdo a las cantidades que demanda cada proceso.

“La idea es establecer políticas de inventarios que centren sus recursos en las pocas partes cruciales del inventario y no en las muchas partes triviales. No es real monitorear los artículos baratos con la misma intensidad que los costosos”. (Render, 2019, pág. 477). Una de las causas encontradas en la situación problema es el deficiente control de los inventarios lo que ha generado un bajo desempeño en la administración de los recursos de materiales y equipos en la fase de construcción de las obras de edificación. A continuación, se dan conocer los pasos para determinar el volumen anual en dinero para el análisis ABC basado en los principios de administración de operaciones de (Render, 2019)

1. Se mide la demanda anual de cada artículo del inventario y se multiplica por el costo por unidad.
2. Los artículos de clase A son aquellos que tienen un alto volumen anual en dinero.
3. Aunque estos artículos pueden constituir sólo un 15% de todos los artículos del inventario, representarían entre el 70 y el 80% del uso total en dinero.
4. Los artículos del inventario de clase B tienen un volumen anual en dinero intermedio.

5. Estos artículos representan alrededor del 30% de todo el inventario y entre un 15 y un 25% del valor total.
6. Los artículos de bajo volumen anual en dinero pertenecen a la clase C y pueden representar sólo un 5% de tal volumen, pero casi el 55% de los artículos en inventario.

4.1.1 Análisis ABC de Materiales para una Obra de Edificación.

En el siguiente ejemplo 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.

El análisis ABC organiza los artículos con su volumen anual en dinero. En la **Tabla 2.** 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 2. 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%	6%	B
#10500	Ladrillo de arcilla hueco 12*30*30	50%	1000	12,5	12500	0%	B	
#12572	Ladrillo 29*9*9 cm		15000	600	9000000	2%	C	
#14075	Arena fina	50%	5000	10000	50000000	10%	C	
#01036	Loseta 20*20 cm		6000	5000	30000000	6%	22%	C
#01307	Loseta 30*30 cm		4000	4000	16000000	3%	C	
#10572	Pegamento		200	10000	2000000	0%	C	

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
TOTAL			88200		\$479.412.500		

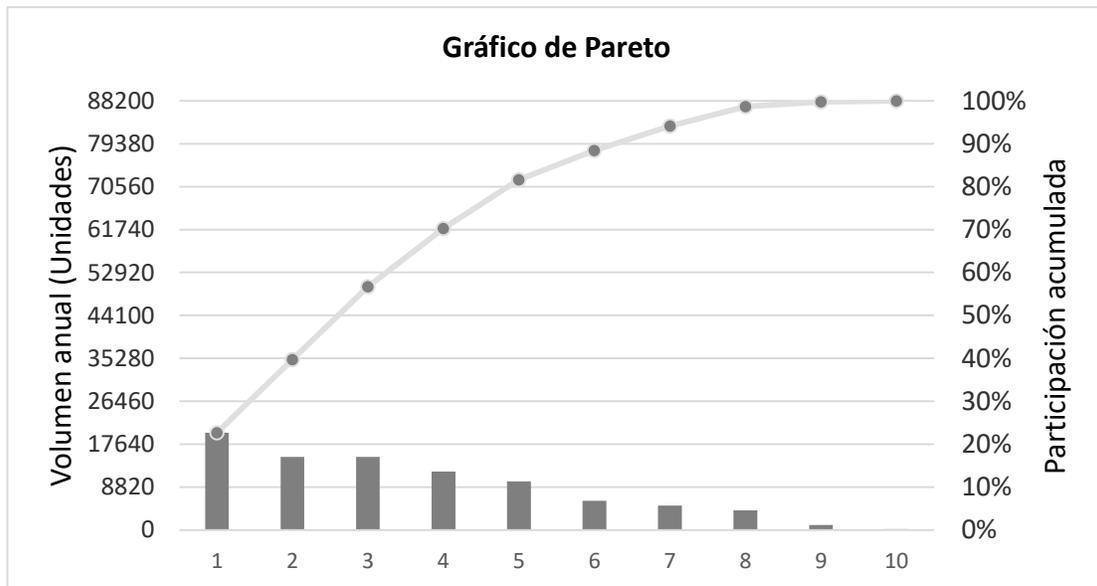
Fuente: Autores, 2021.

Nota. En la **Tabla 2.** 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”.

4.1.1.1 Representación Gráfica del Análisis ABC.

En la Figura 7. Análisis ABC para materiales requeridos en una obra de edificación Representa el análisis ABC, para 10 tipos de materiales requeridos en una obra de edificación.

Figura 7. Análisis ABC para materiales requeridos en una obra de edificación



Fuente: Autores, 2021.

Nota. EL comportamiento de los materiales requeridos en un proyecto constructivo, 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.

El análisis ABC facilita a los directores de logística, operaciones y de obra para determinar los diferentes criterios relacionados con el volumen anual en dinero, además la clasificación de los materiales en las obras de edificación y habilitación urbana. En los procesos de construcción se presentan cambios anticipados de ingeniería, problemas de entrega de materiales, de calidad o el alto costo por unidad, lo que conlleva a la necesidad de cambiar los materiales a una clasificación más robusta y que genera una “ventaja de dividir los artículos del inventario en clases es que permite establecer políticas y controles para cada clase” (Render, 2019, pág. 477).

Las políticas de administración de recursos en los sectores productivos se basan en el análisis ABC e incluyen lo siguiente:

1. Los recursos de compras que se dedican al desarrollo de proveedores deben ser mucho mayores para los artículos A que para los artículos C.
2. Los artículos A, a diferencia de los B y C, deben tener un control físico más estricto; quizá deban colocarse en áreas más seguras y tal vez la exactitud de sus registros en inventario deba verificarse con más frecuencia.
3. El pronóstico de los artículos A merece más cuidado que el de los otros artículos.

Con la implementación de la guía para administración de recursos en la fase de construcción en las obras de edificación y habilitación urbana, genera resultados en el control de los inventarios de los materiales que son distribuidos en los procesos.

4.1.1.2 Exactitud en los Registros de los Inventarios de Materiales para las Obras de Edificación.

El control de registros de los materiales determina y facilita el plan de requerimientos de los mismos, distribuirlos en las estaciones de trabajo conduce a que las operaciones minimicen tiempos en cada actividad. “La exactitud en los registros es un requisito previo de la administración del inventario, la programación de la producción y, en última instancia, las ventas. La exactitud puede mantenerse mediante sistemas periódicos”. (Heizer, 2019, pág. 479). Los proyectos de edificación hacen que los sistemas de

inventarios sean periódicos y requieran verificaciones regulares para determinar la cantidad disponible para cada proceso.

Es fundamental mantener ordenado el sistema de inventario en los sectores productivos. En las obras de edificación y habilitación urbana el inventario facilita al plan de requerimientos, entregar los materiales justo a tiempo en las estaciones de trabajo o células de trabajo, el etiquetado de los materiales y las materias primas ayuda a controlar las existencias de cada artículo y generar las órdenes con exactitud al departamento o área de adquisiciones de la organización.

La guía para la administración de recursos en la fase de construcción de las obras de edificación facilita a los directores de proyectos y operaciones a tomar decisiones significativas sobre los pedidos. Por ejemplo, cemento portland tipo I para el proceso vestiduras de derrames, además la programación y la distribución de los materiales y lograr mejorar el deficiente control en los inventarios como se ha detallado en la situación problema de la investigación.

4.1.1.3 Conteo Cíclico de los Materiales.

Generalmente en las obras de edificación y habilitación urbana la demanda de materiales es constante de acuerdo con las órdenes que genera el plan de requerimientos para el desarrollo de los procesos. “Aunque una organización haya realizado esfuerzos sustanciales para registrar con precisión su inventario, los registros deben verificarse mediante una auditoria continua”. (Heizer, 2019, pág. 479).

Los retrasos en los procesos es una causa detallada en la situación problema de la investigación, para tener un control efectivo de los materiales, es fundamental realizar auditorías de conteos cíclicos y evitar desviaciones en el presupuesto que se dispone para construcción de la obra de edificación, además ayuda a evitar daños en materiales, por ejemplo, ladrillo hueco 29 cm*9cm*9cm que es utilizado para varios procesos dentro de la construcción entre ellos muro ladrillo corriente de canto etc.

El conteo cíclico es una práctica que permite mantener un control efectivo en los inventarios y además una administración financiera de los activos para que la gerencia de las empresas pueda tomar decisiones relacionadas con el capital de trabajo.

En las obras de edificación y habilitación urbana, de acuerdo a lo consultado en la situación problema, se encontró que las empresas dedicadas a los proyectos de construcción presentan desperdicios en los materiales, lo que genera desviación 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. También con los procedimientos del conteo cíclico, se cuentan los artículos, se verifican los registros, y se documentan las imprecisiones de manera periódica” (Kaplan, 2019, pág. 479).

Esta guía permite a las organizaciones, especialmente a las constructoras, rastrear las causas de imprecisiones y tomar acciones correctivas apropiadas para asegurar un control en el sistema de inventario. Ver ejemplo en la Tabla 3 .Conteo cíclico para determinar el número de artículos de cada clasificación que debe contarse cada *día*.

¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. **Tabla 3 .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)	12000/60 = 200/día
C	Ladrillo de arcilla hueco 12*30*30	40000	Cada seis meses (120 días de trabajo)	40000/120 = 333.33/día
				4034/día

Fuente: Autores, 2021.

Nota. De acuerdo con el ejemplo anterior se ha determinado la cantidad de artículos que se pueden registrar cada día en una obra de edificación, para este ejemplo se tiene 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.

Las empresas dedicadas a la construcción de obras de edificación se les facilita aplicar auditorias diarias por que es mucho más eficiente y preciso, además establecen un control efectivo de los inventarios y les permite evitar la realización de un conteo masivo una vez al año.

Otra manera de controlar los inventarios de los materiales particulares utilizados en las obras de edificación y habilitación urbana, es a través del conteo cíclico, este permite seleccionar de manera aleatoria cada vez que se reordena cada uno de los materiales.

4.1.1.4 El Conteo Cíclico en las Obras de Edificación y Habilitación Urbana Genera las Sigüientes Ventajas.

A continuación, se dan conocer las ventajas que se generan a través del conteo cíclico basados en los principios de administración de operaciones para los sectores productivos según (Heizer, 2019)

1. Elimina la detención y la interrupción de la producción necesarias para efectuar el inventario físico anual.
2. Elimina los ajustes anuales del inventario.
3. La precisión del inventario es auditada por personal capacitado.
4. Permite identificar las causas de error y emprender acciones correctivas.
5. Mantiene registros exactos del inventario.

4.1.1.5 Demanda Independiente Contra Dependiente de los Materiales Utilizados en los Procesos de Construcción de las Obras de Edificación.

En los sectores productivos la demanda de los materiales es constante, por lo general en el sector de la construcción actualmente “los modelos para el control de inventarios suponen que la demanda de un artículo es independiente o dependiente de la demanda de otros artículos” (Heizer, 2019, pág. 482). Así mismo, la demanda de materiales para el proceso del piso de concreto de 2” coloreado es independiente del proceso del sardinel de mayólica de 15*15 cm. Sin embargo, la demanda de los materiales para el piso de concreto de 2” coloreado es dependiente de los requerimientos del proceso del piso de concreto de 2” coloreado.

4.1.1.6 Costos de Mantener, Ordenar y Preparar el Inventario en las Obras de Edificación.

En las obras de edificación y habilitación urbana, los costos de mantener y preparar inventarios tienen un alto nivel de importancia, debido a que están expuestos a varios riesgos que pueden ocasionar inestabilidad en los proyectos, retrasos o detenimientos en la ejecución de los procesos que integran las obras. Una de las causas que se ha puntualizado en la situación problema, es el deficiente control de inventarios en las empresas dedicadas a la construcción en Colombia; los gerentes de operaciones y de proyecto de las constructoras deben tener bien definida la administración de inventarios para evitar pérdidas a nivel general en las construcciones.

En la **Tabla 4**. Determinación de los costos de mantener el inventario, se describen los diferentes tipos de costos para determinar y mantener el inventario que los gerentes de proyecto y de operaciones de las empresas de los sectores productivos, especialmente el de la construcción, deben evaluar para mantener y

lograr un control efectivo de los materiales, insumos y materias primas que son requeridos por el plan de requerimiento de materiales MRP.

Tabla 4. *Determinación de los costos de mantener el inventario*

Determinación de los Costos de Mantener el Inventario			
Categoría	Descripción	Costo	Rango como porcentaje del valor del inventario
Costo por manejo de materiales	Renta o depreciación del equipo, energía, costo de operación	3%	(1–3.5%)
Costo por mano de obra	Recepción, almacenamiento, seguridad	3%	(3–5%)
Costo de inversión	Costos de préstamos, impuestos y seguros del inventario	11%	(6–24%)
Robo, daño y obsolescencia	Mucho más en industrias de cambio rápido como las computadoras personales y los teléfonos celulares	3%	(2–5%)
Costos Globales por Manejo		20%	

Fuente: Autores, 2019. Adaptado al libro principios de administración de operaciones.

Un estudio realizado para el año 2020, por la Cámara Colombiana de la Construcción, determinaron que algunas obras de edificación los materiales para cimentación y estructuras generan un 20.95% en desperdicios, seguido por los materiales para mampostería que representa un 9.10% en desperdicios, profesionales del gremio de la construcción concluyeron que estas pérdidas se generan por una inadecuada administración de los recursos en los proyectos constructivos.

Tabla 5. *Desperdicios de recursos en las obras de edificación*

Grupos	Subgrupos	Ponderación
Materiales	Materiales para cimentación y estructuras	20.95%
	Aparatos sanitarios	2.68%
	Materiales para instalaciones hidráulicas y sanitarias	3.48%
	Materiales para instalaciones eléctricas y de gas	5.09%
	Materiales para mampostería	9.10%
	Materiales para cubierta	1.97%
	Materiales para pisos y enchapes	6.79%
	Materiales para carpintería en madera	3.63%
Materiales para carpintería metálica	3.35%	

Grupos	Subgrupos	Ponderación
	Materiales para cerraduras, vidrios, espejos y herrajes	1.22%
	Materiales para pintura	2.71%
	Materiales para obras exteriores	0.72%
	Materiales varios	0.99%
	Instalaciones especiales	3.37%
	Total Materiales	66.05%
Mano de Obra	Maestro	1.16%
	Oficial	15.45%
	Ayudante	11.89%
	Total Mano de Obra	28.50%
Maquinaria y Equipo	Maquinaria y equipos de construcción	4.38%
	Equipo de transporte	1.05%
	Total Maquinaria y Equipo	5.43%

Fuente: Camacol, 2020

Nota. Los desperdicios presentados por manejo o almacenamiento de los recursos se ven reflejados en la **Tabla 5.** Desperdicios de recursos en las obras de edificación, clasificándose en: materiales, mano de obra, maquinaria y equipo. Para el caso de los materiales, los desperdicios son analizados por actividad, debido a su complejidad y los riesgos que se puedan presentar en el proceso, en la mano de obra, se establecen tres perfiles que son analizados en tiempo para llevarlos a costos, al igual que la maquinaria y el equipo, sin embargo, se debe tener en cuenta su impacto en el costo de acuerdo a su valorización.

4.1.1.7 Costo de Hacer Pedidos en las Obras de Edificación.

En las de obras de edificación y habilitación urbana el costo de hacer pedidos esta relacionados con los materiales y es habitual, por lo general en los sectores productivos se manejen el “costo de preparación es el que se refiere a preparar una máquina o un proceso para realizar la manufactura de un producto. El costo de preparación incluye la mano de obra y el tiempo necesarios para limpiar y cambiar herramientas” (Render, 2014, pág. 482). En Tabla 6. Preparación y vaciado, se ilustran los recursos empleados para la producción de la partida vigas de $f c = 175\text{kg}/\text{cm}^3$ 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.

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

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

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

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

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

Tabla 6. 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*.

Generalmente el costo de hacer pedidos en las obras de edificación y habilitación urbana incluye el costo del suministro de los materiales, procesamiento de pedidos, formatos, personal técnico idóneo, esto les facilita a las constructoras minimizar los tiempos en el alistamiento y preparación de los materiales que son requeridos en las estaciones de trabajo. Muchas organizaciones fabrican los pedidos que son utilizados en los procesos que integran la construcción de una obra de edificación, en los muros de sostenimiento de 0.20 cm de espesor $f'c = 210\text{kg/cm}^2$, los directores de obra solicitan la preparación de los materiales con mezcladora de 9 a 11 p³, vibrador, winche, la gasolina y aceite con la finalidad de reducir los costos.

5. PLANEACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE LOS MATERIALES MRP EN LAS OBRAS EDIFICACIÓN.

Muchas compañías de los sectores productivos a nivel mundial han encontrado beneficios trascendentales con la aplicación de la técnica del MRP; esta técnica permite, con el departamento de compras, mantener los procesos en operación. En el sector de la construcción, debido al número de materiales que son utilizados en las obras, el MRP puede llegar a mejorar las operaciones en las estaciones de trabajo y reducir los tiempos de entrega de los materiales que requiere cada actividad.

Empresas del sector de la construcción, incluso las que se consideran pequeñas, han instalado casi universalmente sistemas de planeación de requerimiento de materiales (MRP). La causa es que MRP es un método lógico y fácil de entender para abordar el problema de determinar los componentes y materiales necesarios para producir cada partida. MRP también proporciona un programa para especificar cuándo hay que producir o pedir estos materiales, piezas y componentes. (Jacobs, 2019)

En la presente guía para la administración de recursos en la fase de construcción de las obras de edificación, la técnica del plan de requerimientos de materiales (MRP), genera una mejor utilización del espacio para distribuir los materiales en proceso de construcción de las instalaciones, y la mano de obra aumenta una mayor productividad en las estaciones de trabajo o células de trabajo. En otras palabras, genera ganancia sobre la inversión en la obra de edificación.

El plan de requerimientos de materiales (MRP) mantiene menos inventario en proceso y además libera espacio para otros usos en las estaciones de trabajo. Estratégicamente mejora la administración de los recursos generando beneficios para las compañías.

La demanda de los materiales que son utilizados en las obras de edificación, por ejemplo, Cemento Portland tipo I, arena gruesa, piedra chancada de ¾", arena fina, ladrillo pastelero 24*24 etc. es dependiente

cuando es posible determinar la relación entre ellos. Generalmente los directores de obra deben coordinar con la gerencia la llegada de un pedido o pronosticar la demanda que requiere para la entrega del proceso o el producto final.

Para cualquier partida o proceso en las obras de edificación, todos los materiales son de demanda dependiente. “De manera más general, las técnicas de demanda dependiente deben usarse con cualquier artículo para el cual se pueda establecer un programa” (Chase R. , 2019, pág. 566). Esto con la finalidad de determinar las cantidades a entregar en las estaciones de trabajo y lograr agilizar el avance de las partidas o procesos. En compañías de los sectores productivos a nivel internacional la técnica de demanda dependiente que se utiliza en los procesos de producción se denomina planeación de los requerimientos de materiales (MRP).

5.1. Requerimientos del Modelo de Inventario dependiente para Obras de Edificación.

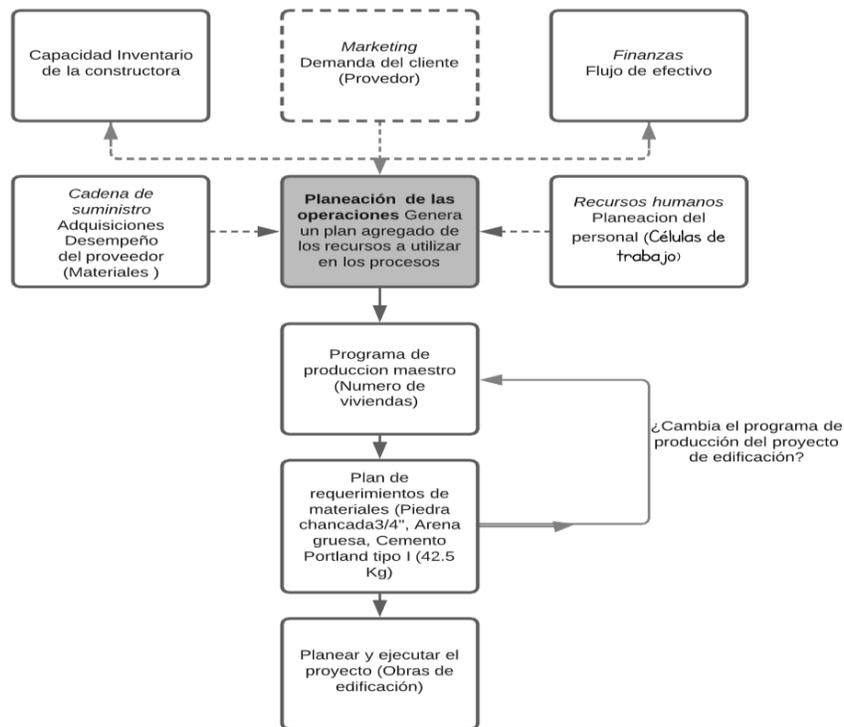
Los requerimientos del modelo de inventario dependiente para obras de edificación, se detallará en la planeación de los requerimientos de los materiales (MRP), una vez elaborado en las obras de edificación, el uso efectivo de los modelos de inventario dependiente de los materiales, por ejemplo, cemento portland tipo I, arena gruesa, piedra chancada de ¾”, arena fina, ladrillo pastelero 24*24 etc., requiere que el director de operaciones o de obra conozca lo siguiente:

1. El programa de producción maestro (qué debe hacerse y cuándo).
2. Las especificaciones técnicas o la lista estructurada de materiales (materiales, materias primas y partes necesarias para la construcción de las partidas o procesos).
3. El inventario disponible (qué hay en existencia, Cemento Portland tipo I, arena gruesa, piedra chancada de ¾”, arena fina, ladrillo pastelero 24*24 etc.)
4. Las órdenes de compra pendientes de los materiales (Cemento Portland tipo I, arena gruesa, piedra chancada de ¾”, arena fina, ladrillo pastelero 24*24 etc.) (lo que está pedido, también se llaman recepciones esperadas).
5. Los tiempos de entrega de los materiales (cuánto tiempo tardan en llegar los distintos materiales a utilizar).

Los modelos de inventario (EOQ) analizados en esta guía admiten que la demanda de los materiales sea independiente de la demanda de otro. Por ejemplo, el modelo EOQ asume que la demanda de los materiales para el proceso del piso de concreto de 2” coloreado es independiente del proceso del sardinel de mayólica

de 15*15 cm. Sin embargo, la demanda de los materiales para el piso de concreto de 2” coloreado es dependiente de los requerimientos del proceso del piso de concreto de 2” coloreado.

Figura 8. *Proceso de planeación de los materiales para obras de edificación y habilitación urbana*



Fuente: Autores, 2021. Adaptado al libro principios de administración de operaciones.

Nota. En la Figura 8. Proceso de planeación de los materiales para obras de edificación y habilitación urbana, para las compañías constructoras se recomienda disponer de la capacidad del inventario de materiales de insumos y materias primas, además tener conocimiento del marketing de los proveedores y controlar el flujo efectivo para la adquisición de los materiales por parte del departamento de finanzas.

5.2. Programa de Producción Maestro en las Obras de Edificación.

Actualmente las compañías dedicadas a la construcción de proyectos de edificación y habilitación urbana emplean el sistema de planificación *LAST PLANNER SYSTEM* para controlar la producción en los

proyectos, esto le ha permitido a la gerencia de las constructoras dividir la programación de la obra en partes más pequeñas, con el propósito de hacerlo más ágil y entendible frente a todos los involucrados del proyecto. La técnica del *LAST PLANNER SYSTEM* se enfoca en un flujo de trabajo continuo y sin interrupciones.

Una de las causas encontradas en la situación problema es que las compañías dedicadas a los proyectos de edificación y habilitación urbana establecen un inadecuado plan de requerimientos de materiales, generalmente presentan retrasos en los procesos. Para mejorar y obtener confianza en los proyectos de construcción es importante tener en cuenta “las principales fortalezas de los programas MRP es su capacidad para determinar con exactitud la factibilidad de un programa dentro de las restricciones de capacidad agregada” (Chase R. B., 2019, pág. 555). Con este proceso de planeación se logran resultados en las obras de edificación y se evitan los retrasos en las entregas de los proyectos.

El programa de producción que se describe en esta guía tiene como objetivo satisfacer la demanda al especificar que materiales alistar y cuando alistarlos. El plan agregado que utilizan las compañías relacionadas con la construcción, lo tienen establecido de acuerdo a familias de productos. Por ejemplo, las viviendas que se producen y se deben entregar en la fecha programada. Además, en las partidas está relacionada con las toneladas de materiales de cemento, piedra chancada de ¾”, arena fina y acero. Una de las principales ventajas del programa maestro de producción es que establece los productos específicos.

En la Tabla 7. El plan agregado es la base para desarrollar el programa de producción maestro en las obras de edificación, se ilustra el plan agregado teórico, que sirve como base para desarrollar el programa maestro de producción relacionado con las obras de edificación.

Tabla 7. *El plan agregado es la base para desarrollar el programa de producción maestro en las obras de edificación*

Meses	Enero				Febrero				Marzo			
Plan agregado (Muestra la cantidad total de Viviendas)	560				660				700			
Semanas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Programa de producción maestro (Muestra el tipo específico y la cantidad de Viviendas que deben producirse)												
Viviendas de VIP	30		30		30		30		50	60		
Viviendas de VIS		100		100		250		250			100	300
Viviendas de VIP			300				100		100		90	

Fuente: Autores, 2021.

Una de las causas encontradas en la situación problema, es el inadecuado manejo del plan de requerimientos de materiales en las compañías constructoras dedicadas a las obras de edificación y habilitación urbana al interior del territorio nacional. Esta guía sugiere establecer un programa de producción maestro para cada una de las partidas que hacen parte de las edificaciones, como se ilustra en la Tabla 8. Programa de producción maestro para la partida de colocación de piso de mármol travertino, en esta se establece el programa de producción maestro teórico.

Tabla 8. Programa de producción maestro para la partida de colocación de piso de mármol travertino

Día		1	2	3	4	5	6	etcétera
Q: Cemento Portland tipo I	Bolsa	0,187		0,23	0,259		0,3	
Q: Cemento Blanco	Bolsa		0,5		0,625		0,78	
Q: Arena fina	m3	0,021	0,021	0,23	0,23		0,021	
Q: Mármol travertino bottino	m2						1,05	

Fuente: Autores, 2021.

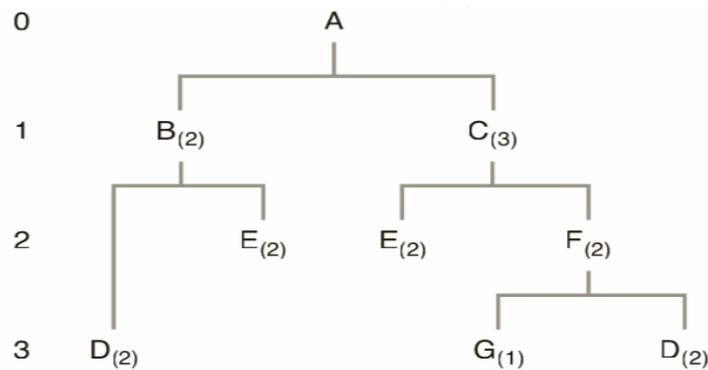
El programa de producción maestro facilita a las compañías de manufactura mover los materiales en las estaciones de trabajo y reducir los tiempos de entrega. Por ejemplo, en el proceso de construcción del piso de mármol travertino tipo boticcino de 2 cm. incluye la fragua; base de 2cm, se realiza con la mezcladora de 9 a 11 p3, vibrador, winche; incluye gasolina y aceite. Para la partida de piso de mármol travertino, en estos procesos de programa fijo, porque tiene una duración de 6 semanas, el plan sugiere adicionar una semana; al completar cada semana, con el fin de mantener el programa fijo. Así el programa de producción maestro facilita en las obras de edificación ya que muestra los requerimientos de los materiales de lo que se debe producir en las partidas y no una estimación.

5.3. Listas Estructuradas de Materiales para las Obras de Edificación.

En las compañías dedicadas a la manufactura se emplean listas estructuradas de los materiales para controlar los avances de los procesos o definir que va en un producto. En las obras de edificación, los materiales manufacturados; por ejemplo, el acero se define mediante una lista, “la lista estructurada de materiales (BOM) es una lista de las cantidades de componentes, ingredientes y materiales requeridos para

hacer un producto (Heizer, 2019, pág. 556). Los materiales utilizados en la partida colocación de piso de mármol que hacen parte de una obra de edificación, ilustrados en la Figura 9. Estructura escalonada de producto, especifica los componentes técnicos y las cantidades por el programa maestro para la construcción de la partida de colocación de piso de mármol.

Figura 9. Estructura escalonada de producto



Fuente: Principios de administración de operaciones, 2019

La lista estructurada de materiales facilita, a los directores de obras, controlar los artículos porque no solo especifican los requerimientos, sino que también son útiles para determinar costos de las partidas que hacen parte de la obra. Una vez definida la lista estructurada de materiales, puede enviarse a producción o al director de obra para que las distribuyan en cada una de las partidas. Por ejemplo, concreto de 27 MPa conformado por una cantidad aproximada de: 0.6m³ arena de río, grava de ½” 0.6m³, cemento portland y 190lts de agua, de acuerdo a los requerimientos de calidad especificados en la Norma Técnica Colombiana (NTC) 174, 3318.

5.3.1. Listas Modulares en Partidas Básicas para Obras de Edificación.

Generalmente en las obras de edificación se ubican varias estaciones de trabajo para el avance de las partidas, las listas estructuradas de materiales pueden organizarse en torno a las partidas. Las partidas no son viviendas terminadas para la venta, sino procesos que hacen parte de la construcción de la edificación de la vivienda. En términos generales, las partidas son componentes importantes de la obra de edificación o de las alternativas del producto, muchos sectores productivos dedicados a la manufactura emplean las listas de materiales para módulos que se conocen como listas modulares. En las obras de edificación las

listas modulares son convenientes por que ayuda a generar una programación de la producción del número de viviendas a construir.

En las obras de edificación, las listas de planeación facilitan enviar los materiales o los artículos a las estaciones de trabajo, donde se avanzan con la producción de las partidas. Por ejemplo, para la partida contrapiso de 25 cm que realiza el preparado con la mezcladora 9 – 11p3 – base de 3 cm – mezcla 1:5; acabado de 1cm, mezcla 1:2, se requiere el cemento, arena fina, regla de madera y herramientas manuales, mezcladora 9 a 11 p³; esta es una lista de planeación específica que el planeador de los materiales debe enviar a cada estación de trabajo. Algunos autores de la administración de operaciones las llaman juego de materiales.

5.4. Codificación de los Materiales en las Obras de Edificación.

La codificación de los materiales es una tarea fundamental en los sectores productivos, la codificación de los artículos facilita a los sistemas MRP mantener un control de los materiales de las órdenes que solicitan al inventario, en las estructuras de materiales la codificación debe ir hasta el nivel más bajo.

5.4.1. Exactitud en los Registros de Inventario.

Como se ha mencionado en el capítulo administración de inventarios de la guía, para que un sistema de MRP funcione dentro los sectores productivos, es necesario una buena administración del inventario donde controlen los artículos por demanda dependiente e independiente, “Si la empresa aún no logra un 99% de exactitud en sus registros, la planeación de los requerimientos de materiales no funcionará” (Heizer, 2019, pág. 558)

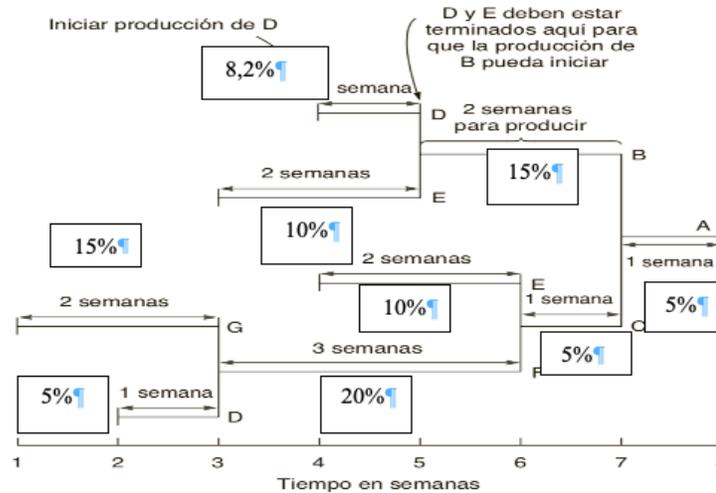
5.4.2. Órdenes de Compra en los Sectores Productivos.

El departamento de compras en los sectores productivos trabaja articuladamente con el MRP y la administración de inventarios, para el debido control de las órdenes de los insumos y materias primas, que son requeridos para el funcionamiento de las operaciones de las compañías en las obras de edificación, para corregir el inadecuado manejo del plan requerimientos de materiales encontrado en la situación problema. Si en los proyectos de edificación existe una información correcta entre el departamento de compras, el gerente de la construcción puede preparar buenos planes de producción y ejecutar de manera efectiva un sistema MRP, para el control de los registros de los pedidos y entregarlos en las fechas programadas.

5.4.3. Tiempos de Entrega para Componentes.

Los tiempos de entrega de los materiales e insumos y materias primas para las partidas en las obras de edificación, son primordiales para evitar retrasos en las estaciones de trabajo, una vez que el director de la construcción establece cuando se necesitan los materiales para la partida ejemplo Contrapiso de 25 cm, el programador de materiales debe determinar cuándo adquirirlos junto con el departamento de compras. En los proyectos de construcción para una partida manufacturada, el tiempo de entrega radica en la suma de los tiempos necesarios de ordenar, alistar, preparar y distribuir los materiales en las estaciones de trabajo para el avance de la construcción. Para un material comprado por ejemplo el cemento, el tiempo de entrega incluye tiempo que transcurre entre el reconocimiento de la necesidad de una orden y el momento en el que el material está disponible para producción de la construcción.

Figura 10. Estructura escalonada del producto en los procesos productivos



Fuente: Principios de administración de operaciones, 2019

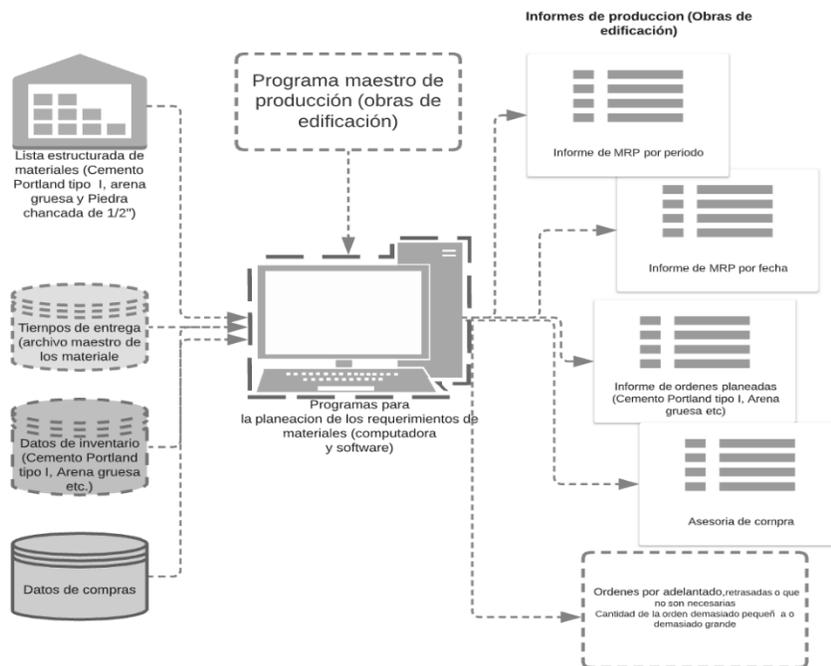
Nota. En la **Figura 10.** Estructura escalonada del producto en los procesos productivos principalmente en las obras de edificación, se tiene en cuenta que las operaciones son repetitivas para cada partida, así que se le asigna una célula de trabajo para el avance. Algunas partidas se trabajan de manera simultánea. Una precisión del 99% en los registros puede sonar bien, pero observe que, 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. Estructura MRP en las Obras de Edificación.

Actualmente las compañías de los sectores constructivos que han empleado los sistemas MRP han generado resultados en los procedimientos, “Aunque la mayoría de los sistemas MRP son computarizados, su procedimiento es directo y puede hacerse en forma manual” (Aquilano, 2019, pág. 559). Los elementos de un sistema de planeación de requerimientos de materiales MRP para proyectos de edificación se muestran en la Figura 11. Estructura MRP en las obras de edificación, este es un programa de producción maestro que ilustra los materiales a utilizar en la construcción de una edificación. Por ejemplo, el cemento, hormigón, madera tornillo y piedra mediana se presentan en una lista estructurada de materiales, donde los registros de compras e inventarios, y los tiempos de entrega para cada material en cada estación de trabajo se avanza con la producción de las partidas.

Figura 11. Estructura MRP en las obras de edificación



Fuente: Autores, 2021. Adaptado al libro principios de administración de operaciones.

Nota. Como podemos observar en la Figura 11. Estructura MRP en las obras de edificación, se empieza con el programa para la planeación de los requerimientos de los materiales, el programador de los materiales debe conocer las existencias que hay en el inventario, generalmente los programadores entregan informe por periodo de los materiales insumos y materias primas que entregan a las estaciones de trabajo para el desarrollo de las partidas.

El plan de requerimientos bruto de materiales en las obras de edificación es un programa, tal como se muestra en la **Tabla 9**. Construcción de un plan de requerimientos bruto para una obra de edificación, combina el programa de producción maestro, indica cuándo debe ordenarse los materiales al almacén o los proveedores si no hay materiales e insumos en el inventario, o cuándo debe iniciar la construcción de las viviendas para satisfacer la demanda del producto terminado en la fecha programada.

Tabla 9. Construcción de un plan de requerimientos bruto para una obra de edificación

ÍTEMS	Plan de requerimientos brutos de materiales para 50 Viviendas (VIS) con las fechas de liberación de la orden								Tiempo de Entrega
	1	2	3	4	5	6	7	8	
A. Fecha en que se requiere								50	1 semana
Fecha de liberación de la orden							50		
B. Fecha en que se requiere							100		2 semana
Fecha de liberación de la orden					100				
C. Fecha en que se requiere							150		1 semana
Fecha de liberación de la orden						150			
D Fecha en que se requiere					200	300			1 semana
Fecha de liberación de la orden			200	300					
E. Fecha en que se requiere						300			1 semana
Fecha de liberación de la orden			300						
F. Fecha en que se requiere			600		200				1 semana
Fecha de liberación de la orden		600		200					
G. Fecha en que se requiere			300						1 semana
Fecha de liberación de la orden	300								

Fuente: Autores, 2021.

Nota. Los requerimientos brutos de materiales utilizados en las partidas de las obras de edificación están relacionados con el concreto, acero arena etc.

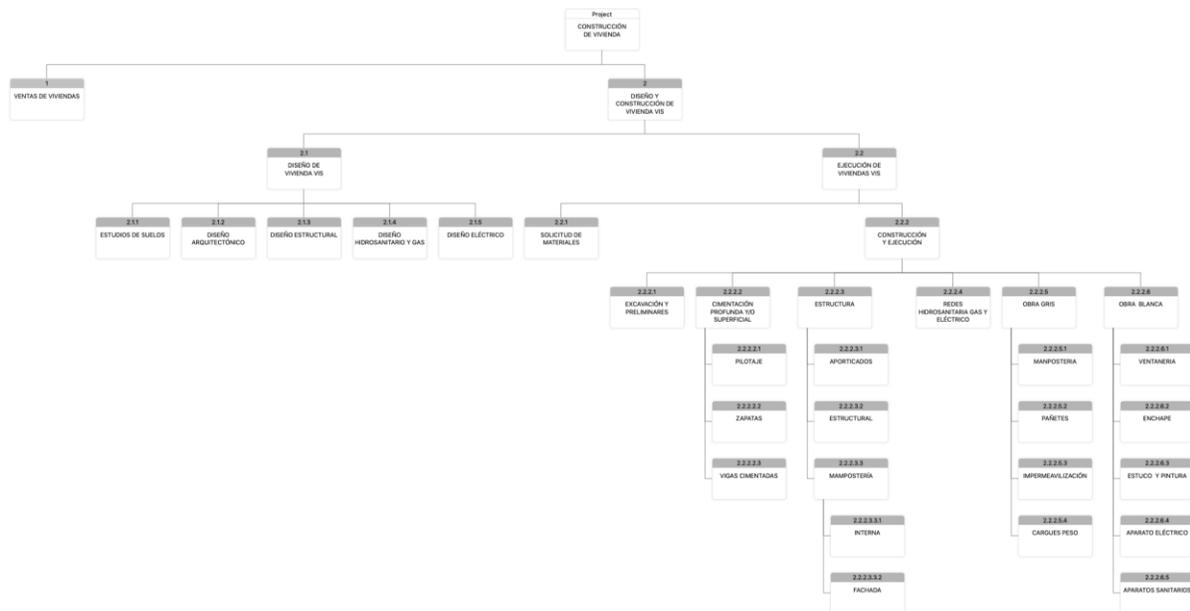
5.5.1. Árbol de Desglose del Producto de la Construcción de una Vivienda y el Modelo Tiempo Costo.

En el proceso de construcción de vivienda se debe tener un diseño previo para su lanzamiento a ventas. Paralelo a las ventas se debe resolver los pendientes y las inquietudes que pueda tener cada diseño como lo son: estudios de suelos, diseño arquitectónico, estructural, hidrosanitario, gas y eléctrico.

Resuelta las inquietudes para inicio de construcción, se procede con la solicitud de materiales contando con el equipo y personal de obra, en la cual se inicia con excavaciones y preliminares. Dependiendo del estudio de suelo se define qué tipo de cimentación se construirá, profunda y/o superficial. Seguido a esto, se ejecuta la estructura en la cual en paralelo se debe instalar redes de gas, hidrosanitaria y eléctricas.

Una vez ejecutado gran porcentaje de estructura, mampostería y las obras que estas integren como pañetes, cargues de piso e impermeabilización, se inicia con obra blanca, como lo son: estuco, pintura, enchape, carpintería, aparatos eléctricos y sanitarios, en la cual, con el análisis de ventas, se dará alistamiento por orden de entrega.

Figura 12. Árbol de desglose del producto de la construcción de una vivienda



Fuente: Autores, 2021.

Nota. En la Figura 12. Árbol de desglose del producto de la construcción de una vivienda, facilita a la gerencia de las compañías constructoras especialmente en las obras de edificación, mantener un control de los recursos establecidos en la fase de planeación.

A continuación, se presentan los requisitos de la precedencia, tiempos de actividad normal y acelerada, así como los costos normales y aceleración de un proyecto una vez aplicado el modelo de tiempo y costo de la construcción relacionada con el ejemplo de la Figura 12. Árbol de desglose del producto de la construcción de una vivienda. Para este ejemplo se tuvo en cuenta 9 actividades.

Tabla 10. *Actividades y precedentes para la construcción de una vivienda*

Nombre	Actividades	Actividades Precedentes	Tiempos Requerido (Semanas)		Costo	
			Normal	Acelerado	Normal	Acelerado
Excavación y preliminares	A		4	2	\$ 10.000	\$ 11.000
Cimentación profunda y/o superficial	B	A	3	2	\$ 6.000	\$ 9.000
Pilotaje	C	A	2	1	\$ 4.000	\$ 6.000
Zapatas	D	B	5	3	\$ 14.000	\$ 18.000
Vigas cimentadas	E	B, C	1	1	\$ 9.000	\$ 9.000
Estructura	F	C	3	2	\$ 7.000	\$ 8.000
Aporticados	G	E, F	4	2	\$ 13.000	\$ 25.000
Estructural	H	D, E	4	1	\$ 11.000	\$ 18.000
Mampostería	I	H, G	6	5	\$ 20.000	\$ 29.000
Costo normal para completar y acelerar					\$ 94.000	\$ 133.000

Fuente: Autores, 2021.

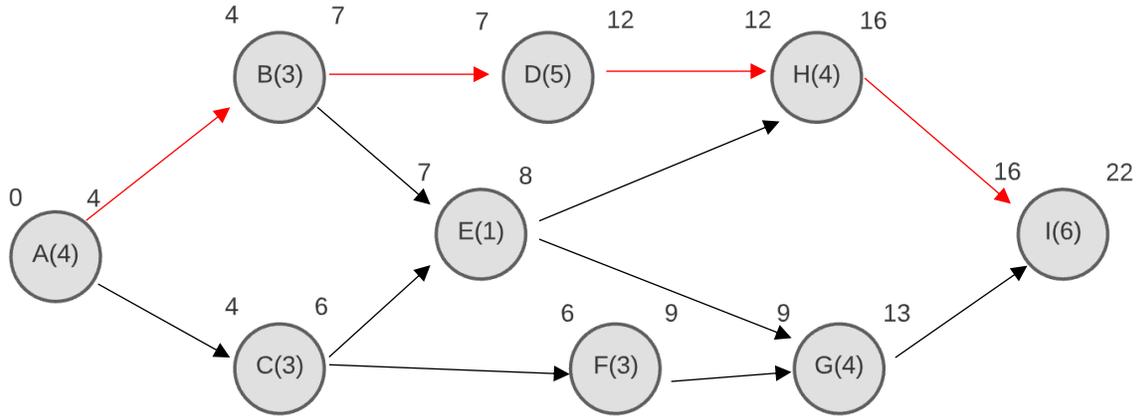
Nota. En la Tabla 10. Actividades y precedentes para la construcción de una vivienda, muestra la actividades precedentes, tiempo y costo normal y acelerado para cada una de las partidas o actividades, además el costo total normal es de \$ 94000y de acelerar es de \$ 133.000

Para la administración de los recursos de la construcción de la vivienda se desarrollaron los siguientes enunciados.

- a. ¿Cuál es la ruta crítica y el tiempo estimado de terminación?
- b. Para acortar el proyecto en tres semanas, ¿Qué actividades deben acortarse y cuál sería el costo final total del proyecto?

Para darle solución al ítem (a) se realizó el diagrama de red

Figura 13. Diagrama de red de para la construcción de la vivienda



Fuente: Autores, 2021.

Tabla 11. Ruta crítica

Ruta	Tiempo
A-B-D-H-I	22 (ruta crítica)
A-B-E-H-I	18
A-B-E-G-I	18
A-C-E-H-I	17
A-C-E-G-I	17
A-C-F-G-I	19

Fuente: Autores, 2021.

Nota. La ruta crítica es A-B-D-H-I y el tiempo de terminación normal es de 22 de semanas

Tabla 12. Descripción de tiempos y holguras

Actividad	Tiempo Normal	Actividades Precedentes	ES	EF	LF	LS	Holgura
-----------	---------------	-------------------------	----	----	----	----	---------

A	4		0	4	4	0	0
B	3	A	4	7	7	4	0
C	2	A	4	6	9	7	3
D	5	B	7	12	12	7	0
E	1	B, C	7	8	12	11	4
F	3	C	6	9	12	9	3
G	4	E,F	9	13	16	12	3
H	4	D,E	12	16	16	12	0
I	6	H,G	16	22	22	16	0

Fuente: Autores, 2021.

Nota. Las actividades que tienen holgura (0) son las siguientes A-B-D-H-I, además hacen parte de la ruta crítica.

Para darle solución al ítem (b) se realizó por actividad acelerado.

Tabla 13. Costo por actividad acelerado

Actividad	Tiempos de actividad		Costos de actividad		Costo / semana	Costo por Actividad	Semanas
	Normal	Aceleración	Normal	Aceleración			
A	4	2	\$10.000	\$11.000	\$500	\$10.000	2
B	3	2	\$6.000	\$9.000	\$3.000	\$6.000	1
C	2	1	\$4.000	\$6.000	\$2.000	\$4.000	1
D	5	3	\$14.000	\$18.000	\$2.000	\$14.000	2
E	1	1	\$9.000	\$9.000	\$ 0	\$9.000	0
F	3	2	\$7.000	\$8.000	\$1.000	\$7.000	1
G	4	2	\$13.000	\$25.000	\$6.000	\$13.000	2
H	4	1	\$11.000	\$18.000	\$2.333	\$11.000	3
I	6	5	\$20.000	\$29.000	\$9.000	\$20.000	1

Fuente: Autores, 2021.

Nota. Para la primera semana la ruta crítica (CP) = A-B-D-H-I. El costo más económico es de la actividad A, en \$500, la ruta crítica se mantiene igual; para la segunda semana la actividad A es todavía más económico en \$ 500 y la ruta crítica se mantiene igual; para la tercera semana ya no se dispone la actividad A, las opciones son las actividades B en \$ 30000, D en \$. 2000, H. en \$ 2333 o I en \$ 9000, se elige D en \$ 2000.

Tabla 14. Costo total de la construcción de la vivienda acertado en tres semanas

Actividad	Costo
-----------	-------

A	\$11.000
B	\$6.000
C	\$4.000
D	\$16.000
E	\$9.000
F	\$7.000
G	\$13.000
H	\$11.000
I	\$20.000
Total	\$97.000

Fuente: Autores, 2021.

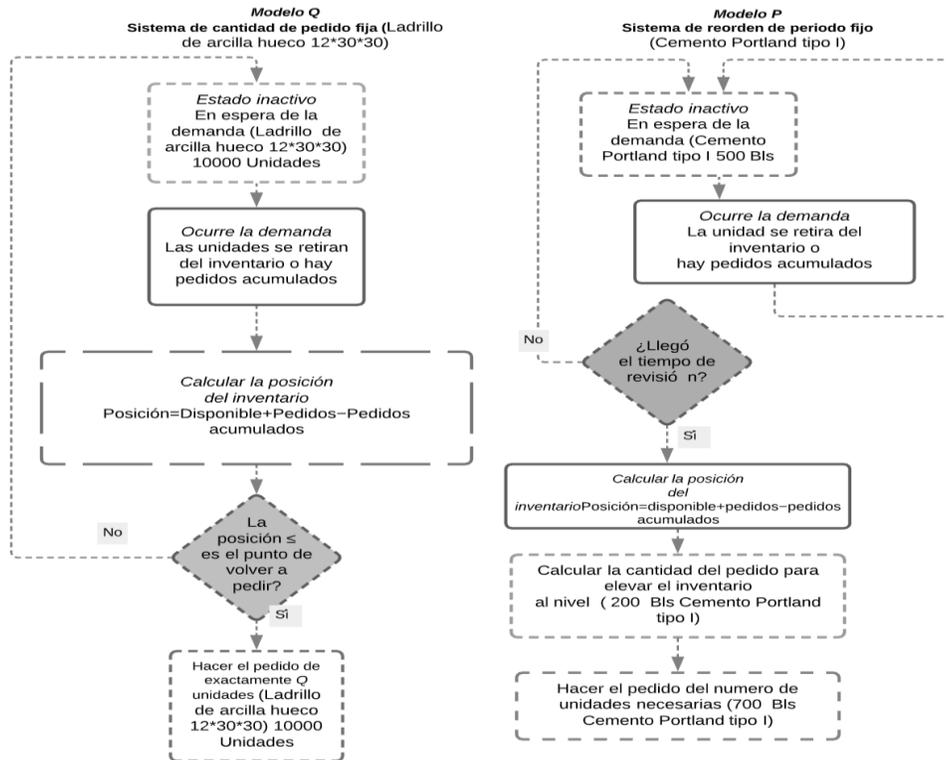
Nota. La actividad A aumentó el costo en un 10% con respecto al costo normal antes de reducir el tiempo de terminación de proyecto en una semana, además la actividad D aumentó el costo en un 12.5%.

6. 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 de 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, de esta manera, evitar retrasos en el avance de la obra. “Por lo general, las preparaciones de maquinaria requieren una gran cantidad de trabajo antes de que la preparación se realice efectivamente en el centro de trabajo” (Acosta, 2018, pág. 74). En el sector de la construcción, el costo de preparación tiene una correlación alta con el tiempo de preparación de las máquinas y los materiales.

En la Figura 14. Modelo cantidad de pedido económico y el modelo de la cantidad económica a producir, se ilustra los sistemas para administrar los inventarios 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 en los sectores productivos como sistemas periódicos o sistema de revisión periódica.

Figura 14. *Modelo cantidad de pedido económico y el modelo de la cantidad económica a producir*



Fuente: Autores, 2021.

Nota. El modelo de cantidad de pedido 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.

6.1 Modelos de Inventario para la Demanda Independiente en Obras de Edificación

Generalmente en las obras de edificación y habilitación urbana los inventarios de los materiales son requeridos en mayores cantidades en las estaciones de trabajo. En esta sección de la guía se presentan cuatro modelos de inventarios, que son utilizados en los diferentes sectores productivos para controlar los materiales en el momento que sea necesario, y cuando ordenar para mejorar los tiempos de entrega de cada proceso que hace parte de la edificación.

6.1.1 Modelo Básico de la Cantidad Económica a Ordenar (EOQ) para Obras de Edificación.

La partida de concreto para anclaje es uno de los procesos que demanda materiales, dado que las operaciones son repetitivas, se requiere tener disponible las cantidades a utilizar en los tiempos

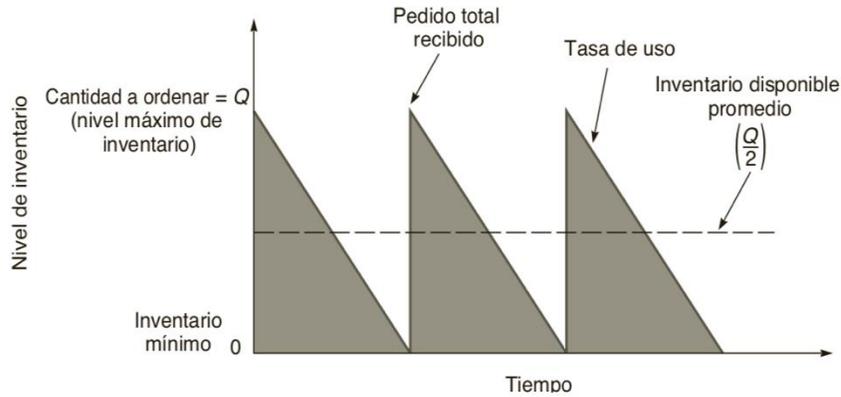
programados, generalmente los directores de obra mantienen informado al líder de mantenimiento que esté inspeccionando la mezcladora de concreto 20 – 35 hp 16 p3, de esta manera evitar cuellos de botella en los procesos.

Esta técnica es utilizada en los sectores productivos y es muy apropiada de usar en el sector de la construcción, principalmente en las obras de edificación y habilitación urbana, se generan varios supuestos con los materiales que se emplean en los procesos:

1. La demanda del cemento portland I tipo (42.5kg) es conocida, demasiado constante e independiente de las decisiones para otros materiales como la piedra chancada 3/4” y la arena gruesa.
2. La recepción de los materiales en el almacén es instantánea y completa. Es decir, el inventario del pedido del cemento portland I tipo (42.5kg) llega en un lote al mismo tiempo.
3. Los descuentos por cantidad de los materiales (Piedra chancada 3/4”, madera tornillo, hormigón, piedra grande etc.) utilizados no son posibles.
4. Los únicos costos variables de los materiales utilizados en proceso de construcción de las obras de edificación son los costos de preparación.

En la Figura 15. Control y uso del inventario en los sectores productivos a través del tiempo, se ilustra el control del inventario a través del tiempo, algunos autores la denominan diente de sierra por el comportamiento que genera. En la presente ilustración, Q representa la cantidad que se ordena. En las obras de edificación se trata de ordenar 600 bolsas de Cemento Portland I tipo (42.5kg), éstas deben llegar al tiempo que se recibe la orden por parte del plan de requerimientos de materiales. Casi siempre el inventario salta de 0 a 600 bolsas de cemento. Por lo general, cuando llega una orden, el nivel de inventario aumenta de 0 a Q unidades de los materiales que son requeridos por las estaciones de trabajo.

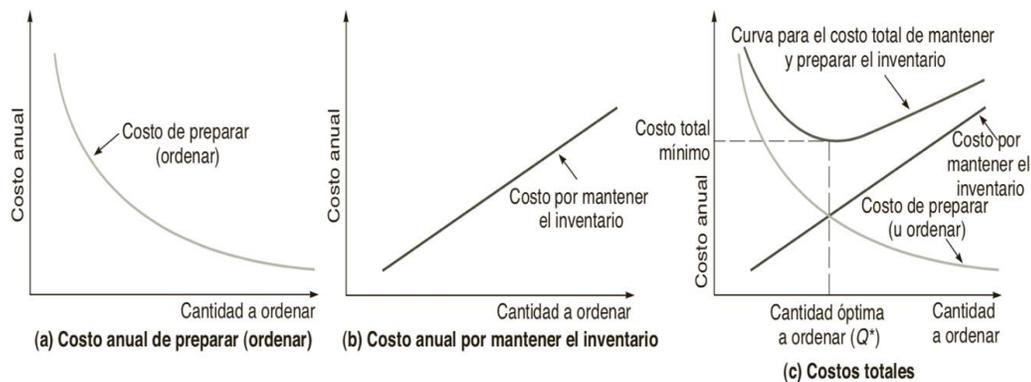
Figura 15. *Control y uso del inventario en los sectores productivos a través del tiempo*



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 (Heizer, 2019), Pearson Educación.

La demanda de los materiales a través del tiempo es constante; el inventario de los materiales utilizados en los procesos de los sectores productivos, principalmente en las obras de edificación, debe disminuir a una tasa constante, de acuerdo con las órdenes del plan de requerimiento de materiales para cubrir las necesidades de las estaciones de trabajo y avanzar con las actividades establecidas en el cronograma.

Figura 16. Costos como una función de la cantidad a ordenar.



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.

6.1.1.1 Disminución al mínimo de los costos.

En los sectores productivos especialmente las compañías dedicadas a la manufactura establecen objetivos para la administración de inventarios, su propósito es disminuir al mínimo los costos totales de los materiales, insumos y materias primas. Los supuestos anteriormente mencionados se relacionan con el modelo básico de la cantidad económica a ordenar (EOQ), para obras de edificación, los costos significativos dentro de los sectores productivos son el costo de preparación u ordenar y el costo de mantener o llevar el inventario.

Generalmente se presentan otros tipos de costos, como el costo del inventario en sí. En los proyectos del sector de la construcción los costos son constantes por el flujo de materiales requeridos por las células de trabajo para producción de las partidas; el objetivo de disminuir al mínimo costo la suma de los costos de preparar y mantener el inventario en las obras de edificación, es también minimizar el costo total.

El modelo EOQ, mencionado en la guía para administrar recursos en la fase de construcción de las obras de edificación, permite a los gerentes de las constructoras especialmente a los directores de obras, mantener y ordenar las cantidades de los materiales que son requeridos por programador. Para la construcción de las edificaciones se emplean las ecuaciones que proveen directamente el valor de Q^* , los pasos necesarios para el control de los materiales e insumos y materias primas en los sectores productivos, especialmente en las obras edificación y habitación urbano se muestran a continuación.

1. Desarrollar una expresión matemática para el costo de preparación o costo por ordenar, de los materiales requeridos por el MRP para la construcción de las obras de edificación.
2. Desarrollar una expresión matemática para el costo de mantener el inventario de los materiales requeridos por el MRP para la construcción de las obras de edificación.
3. Igualar el costo de la preparación (u ordenar) con el costo de mantener el inventario de los materiales requeridos por el MRP para la construcción de las obras de edificación.
4. Resolver las ecuaciones para determinar la cantidad óptima a ordenar de los materiales e insumos y materias primas.

Las variables que se han tenido en cuenta para determinar los costos de ordenar y mantener el inventario de los materiales e insumos y materias primas, y determinar el valor de las cantidades han sido con base (Heizer, 2019)

Q = Número de unidades por orden

Q* = Número óptimo de unidades a ordenar (EOQ)

D = Demanda anual en unidades para el artículo en inventario

S = Costo de ordenar o de preparación para cada orden

H = costo de mantener o llevar el inventario por unidad por año

Costo anual de preparación = (Número de órdenes colocadas por año) * (Costo de preparación u ordenar por orden)

$$= \frac{D}{Q}(S) = \frac{D}{Q}S$$

Costo anual de mantener el inventario = (Nivel de inventario de promedio) * (Costo de mantener por unidad por año)

$$= \frac{\text{Cantidad a ordenar}}{2} (\text{Costo de mantener por unidad por año})$$

$$= \frac{Q}{2}(H) = \frac{Q}{2}H$$

La cantidad óptima a ordenar se encuentra cuando el costo anual de preparación es igual al costo anual de mantener el inventario; a saber:

$$= \frac{D}{Q}S = \frac{Q}{2}H$$

Para despejar Q*, sólo se multiplican en forma cruzada los términos y se despeja Q en el lado izquierdo de la igualdad.

$$2DS = Q^2H$$

$$Q^2 = \frac{2DS}{H}$$

$$Q^* = \sqrt{2DS/H}$$

Con esta ecuación obtenida para la cantidad óptima a ordenar Q^* , es posible que los gerentes de operaciones de las constructoras puedan resolver los problemas de inventarios de los materiales, insumos y materias primas. En la **Tabla 15**. Determinación del tamaño de orden óptimo en una obra de edificación, se ilustra el ejemplo teórico número 1 en el cual se determina el tamaño de orden óptimo para el ladrillo de arcilla hueco 12*30*30 utilizado en las obras de edificación.

Tabla 15. *Determinación del tamaño de orden óptimo en una obra de edificación*

Ejemplo 1. A una compañía dedicada a la construcción de viviendas tipo VIS le gustaría reducir su costo de inventario al determinar el número óptimo del ladrillo de arcilla hueco 12*30*30 que se requiere en cada orden. La demanda anual es de 10000 unidades; el costo de preparar u ordenar es de \$350 por orden, y el costo anual de mantener el inventario por unidad es de \$150.

Para la solución se emplean las variables anteriormente mencionadas y se usan los datos estimados en el ejemplo para calcular el número óptimo de unidades por orden.

$$Q^* = \sqrt{2DS/H}$$

$$Q^* = \sqrt{2(10000)(\$350)/\$150}$$

$$Q^* = \sqrt{2(1000)(\$350)/\$150}$$

$$Q^* = 217 \text{ ladrillos}$$

Reflexión: El director de operaciones de la constructora sabe cuántos ladrillos pedir por orden. La compañía también tiene una base para determinar los costos de ordenar y mantener el inventario para este tipo de material, así como el número de órdenes que serán procesadas por los departamentos de recepción de inventarios.

Fuente: Autores, 2021.

El director de operaciones de las constructoras puede determinar el número esperado de órdenes de ladrillos colocadas durante el año (N) y el tiempo esperado entre órdenes (T) como se ilustra a continuación.

Número esperado de órdenes = $N = \text{Demanda/Cantidad a ordenar} = D/Q^*$

Tiempo esperado entre órdenes = $T = \text{Tiempo de días de trabajo por año}/N$

En la **Tabla 16**. Determinación del número de órdenes y del tiempo entre órdenes en las obras de edificación, se ilustra el ejemplo número 2, retomando la continuidad del ejemplo 1 para determinar el número de órdenes y del tiempo entre órdenes en las obras de edificación, para el ladrillo de arcilla hueco 12*30*30 utilizado en las obras de edificación.

Tabla 16. *Determinación del número de órdenes y del tiempo entre órdenes en las obras de edificación*

Ejemplo 2. Retomando el ejemplo anterior teórico, la compañía dedicada a la construcción, labora 250 días hábiles al año y desea encontrar el número de órdenes de los ladrillos de arcilla hueco 12*30*30 (N) y el tiempo esperado entre órdenes (T) para este periodo. $N = \frac{\text{Demanda}}{\text{cantidad económica a ordenar}}$

$$N = \frac{10000}{217} = 46 \text{ Órdenes al año}$$

$$T = \frac{\text{Número de días de trabajo por año}}{\text{Número esperado de órdenes}}$$

$$N = \frac{250 \text{ días de trabajo por año}}{46 \text{ órdenes}} = 5 \text{ días entre órdenes}$$

Reflexión: Después de aplicar la ecuación, el director de operaciones de la constructora sabe cuánto ladrillo de arcilla hueco 12*30*30 pedir por orden y el tiempo entre órdenes que es de 5 días y 46 órdenes por año.

Fuente: Autores, 2021.

Como se ha mencionado anteriormente, el costo variable anual total de los inventarios en los sectores productivos, es la suma de los costos de preparación y los costos de mantener el inventario en el sector de la construcción, principalmente en las obras de edificación, para llevar un control de los materiales, insumos y materias primas. Es recomendable determinar el costo total de los materiales requeridos en las partidas.

Costo total = Costo de preparación (Ordenar) + Costo de mantener inventario

En términos de las variables del modelo, el costo total CT se determina en la siguiente ecuación:

$$CT = \frac{D}{Q}S + \frac{Q}{2}H$$

En la **Tabla 17**. Cálculo del costo combinado de ordenar y mantener el inventario, se ilustra el ejemplo número 3, en el que se determina el cálculo del costo combinado de ordenar y mantener el inventario para el ladrillo de arcilla hueco 12*30*30 utilizado en las obras de edificación.

Tabla 17. *Cálculo del costo combinado de ordenar y mantener el inventario*

Ejemplo 3. La ecuación anteriormente descrita, facilita a los gerentes de las compañías constructoras especialmente a los directores de obra o de operaciones, determinar el costo total del inventario de materiales, insumos y materias primas que son requeridos en las partidas de las obras de edificación.

$$CT = \frac{D}{Q}S + \frac{Q}{2}H$$

$$CT = \frac{10000}{217}(\$350) + \frac{217}{2}(\$150)$$

$$CT = (46)(\$350) + (108,5)(\$150)$$

$$CT = 16135 + 16275$$

$$CT = 32410 \text{ Unidades monetarias}$$

Reflexión: Los costos anuales de preparar y mantener inventarios ascienden a 32410 unidades monetarias. Las 32410 unidades monetarias no incluyen el costo real del ladrillo de arcilla hueco 12*30*30. En el modelo EOQ, los costos de mantener el inventario siempre son iguales a los costos de preparación.

Fuente: Autores, 2021.

Algunos autores expresan los costos del inventario, que dependen del proceso productivo e incluyen el costo real del material comprado. Si el proceso fuese para la elaboración de los 10000 Ladrillos de arcilla hueco 12*30*30 y el precio de los materiales para la elaboración de cada ladrillo son valores conocidos, y que el costo anual de los materiales debe incluir el costo de la compra, la ecuación es la siguiente.

$$CT = \frac{D}{Q}S + \frac{Q}{2}H + PD$$

En la industria de la manufactura muchas compañías no dependen de una política de pedidos. Las compañías dedicadas a las obras de edificación incurren en un costo anual de los materiales. Por ejemplo, la demanda anual de artículos adquiridos por el costo de cada artículo, con respecto al ladrillo de arcilla hueco 12*30*30, presenta una demanda 10000 unidades y el precio por unidad adquirida es 900 unidades monetarias.

Grandes compañías a nivel mundial emplean los modelos robustos en la administración de inventarios, en estos modelos han encontrado mejoramiento continuo en los procesos “por robusto entendemos que proporciona respuestas satisfactorias incluso con variaciones sustanciales en sus parámetros.” (Murrieta, 2019, pág. 487). Un beneficio del modelo EOQ es que es robusto. Por lo anterior, entendemos que proporciona respuestas satisfactorias incluso con variaciones sustanciales en sus parámetros. Como se puede observar, es difícil determinar con precisión los costos de ordenar y mantener el inventario.

En consecuencia, un modelo robusto resulta ventajoso. El costo total del EOQ cambia poco en las cercanías del mínimo. La curva es poco profunda, esto significa que la variación en los costos de preparación, en los costos de mantener el inventario, en la demanda o incluso en el EOQ crea diferencias muy modestas en el costo total. En el ejemplo número 4 se ilustra la robustez del modelo EOQ.

En la **Tabla 18**. EOQ es un modelo robusto en las obras de edificación, se ilustra el ejemplo número 4, donde se determina el cálculo del EOQ siendo este un modelo robusto en las obras de edificación, para el ladrillo de arcilla hueco 12*30*30 utilizado en las obras de edificación.

Tabla 18. *EOQ es un modelo robusto en las obras de edificación*

<p>Ejemplo 4. Suponiendo que la gerencia de la constructora subestima la demanda total en un 50% (por ejemplo, que la demanda real es 15000 ladrillos de arcilla hueco 12*30*30 en lugar de 10000), pero emplea las misma Q. ¿Cuál sería el cambio sobre el costo anual del inventario en la constructora?</p> <p>Método: para determinar el cambio de los costos anuales, se aplica el EOQ calculado en el primer ejemplo; después se calcula los costos con el EOQ de acuerdo a la demanda 15000 ladrillos de arcilla hueco 12*30*30.</p> <p>Solución: si la demanda del ejemplo anterior es de 15000 ladrillos de arcilla hueco 12*30*30 en lugar de 10000, pero la gerencia de la constructora usa una cantidad a ordenar de $Q = 217$, cuando debería ser $Q = 265$ con una demanda de 15000 ladrillos de arcilla hueco 12*30*30, la suma de los costos de mantener el inventario y ordenar disminuye a 32404,03 unidades monetarias</p> $CT = \frac{D}{Q}S + \frac{Q}{2}H$ $CT = \frac{10000}{217}(\$350) + \frac{217}{2}(\$150)$ $CT = (46)(\$350) + (108,5)(\$150)$ $CT = 16135 + 16275$ $CT = 32404,03 \text{ Unidades monetarias}$
--

No obstante, de haber sabido que en la demanda de 15000 ladrillos de arcilla hueco 12*30*30 con un EOQ de 265 unidades, se habrían gastado 39686,2697 Unidades monetarias, como se muestra a continuación:

$$Q^* = \sqrt{2(15000)(350)/150}$$

$$Q^* = 264.57$$

$$\text{Costo anual} = \frac{15000}{264.57}(\$350) + \frac{264.57}{2}(\$150)$$

$$\text{Costo anual} = 19843,5197 + 19842,75$$

$$\text{Costo anual} = 39686,2697 \text{ Unidades monetarias}$$

Reflexión: El gasto con una demanda de 10000 unidades de ladrillos de arcilla hueco 12*30*30 es de 32404,03 Unidades monetarias, con una estimación de la demanda de solo 8% por debajo de la demanda real, los costos anuales de mantener el inventario y los costos de ordenar son iguales.

Fuente: Autores, 2021.

La fórmula matemática para determinar la cantidad económica a ordenar (Q^*) en los inventarios de los sectores productivos, son utilizadas por algunos gerentes de las compañías, quienes la emplean para determinar el mínimo de la curva del costo total. El procedimiento matemático se realiza mediante el método de la derivada regla cociente, se iguala a cero la derivada del costo total con respecto a Q^* .

El cálculo para encontrar el mínimo costo total en los inventarios se muestra a continuación.

$$CT = \frac{D}{Q}S + \frac{Q}{2}H + PD$$

$$\text{Son } \frac{D(CT)}{dQ} = \frac{-DS}{Q^2} + \frac{H}{2} + 0 = 0$$

$$Q^* = \sqrt{2DS/H}$$

El modelo EOQ generalmente es robusto, los errores que ocasiona son mínimos y evita los costos elevados; este atributo del modelo EOQ resulta muy conveniente para las compañías dedicadas al sector de la construcción, debido a la capacidad de pronosticar los materiales requeridos en las partidas de las construcciones, el costo de ordenar y el costo de mantener el inventario es limitada.

6.1.1.2 Puntos de Reorden en los Inventarios de los Sectores Productivos.

Generalmente en las obras de edificación, emplean los pronósticos de los proyectos anteriores para el desarrollo de las partidas en las construcciones, con el modelo EOQ pueden los directores de obras decidir cuánto ordenar. Una de las preguntas que ocasionan en los sectores productivos especialmente en el sector de la construcción, es cuando ordenar los materiales requeridos en las obras de edificación.

La fórmula para determinar el punto de reorden (ROP) es la siguiente:

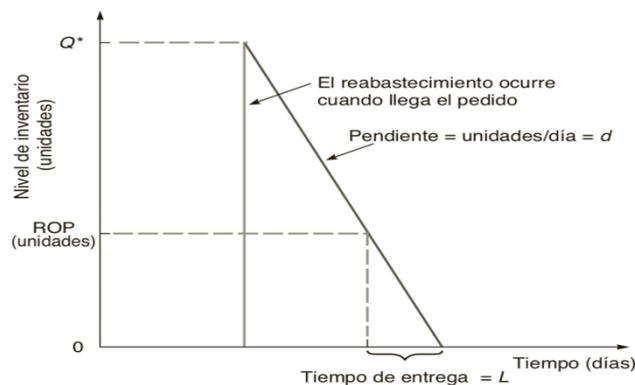
$$\text{ROP} = (\text{Demanda por día}) * (\text{Tiempo de entrega de nueva orden en días}) = d * L$$

La ecuación que utilizan las compañías para determinar el ROP es un factor que “supone la demanda durante el tiempo de entrega y el tiempo de entrega en sí son constantes. Cuando no es así, es necesario agregar inventario adicional, a menudo llamado inventario de seguridad. (Murrieta, 2019, pág. 488). Algunas compañías emplean el punto de reorden con seguridad. En el sector de la construcción principalmente en las obras de edificación y habilitación urbana se presentan problemas de retrasos en las partidas y estos son ocasionados por no disponer inventarios de seguridad de los materiales.

$$\text{ROP} = \text{Demanda esperada durante el tiempo de entrega} + \text{Inventario de seguridad}$$

Las compañías dedicadas a las obras de edificación y habilitación urbana generan una demanda por día, d , teniendo en cuenta que los materiales presentan una demanda constante; la alta dirección de las grandes compañías recomienda dividir la demanda anual, D , de los materiales insumos y materias primas entre el número de días de trabajo al año.

Figura 17. Punto de reorden (ROP) en los sectores productivos



Fuente: Principios de administración de operaciones

$$d = \frac{D}{\text{Número de días hábiles en un año}}$$

Nota. En la Figura 17. Punto de reorden (ROP) en los sectores productivos, se refleja el punto de reorden para artículos y materiales en las compañías dedicadas a la manufactura, en el sector de la construcción se puede adaptar con el inventario de las viviendas terminadas. Q* es la cantidad óptima a ordenar, y el tiempo de entrega representa el tiempo que transcurre entre hacer el pedido y recibirlo. Tomado de Principios de Administración de operaciones (pág. 488), por (Heizer, 2019), Pearson Educación.

En la **Tabla 19**. Cálculo de puntos de reorden (ROP) para viviendas con y sin inventario de seguridad, se ilustra el ejemplo número 5, donde se determina el cálculo de puntos de reorden (ROP) para viviendas con y sin inventario de seguridad. Para este ejemplo se tuvo en cuenta una estimación de demanda de viviendas terminadas por una constructora y estimó los días laborables al año.

Tabla 19. *Cálculo de puntos de reorden (ROP) para viviendas con y sin inventario de seguridad*

<p>Ejemplo teórico 5. Una constructora tiene una demanda (D) de 5000 viviendas al año. La compañía constructora opera 250 días hábiles al año. En promedio, la entrega de una orden toma 30 días de trabajo, pero esta ha tardado en llegar hasta cuatro días. El distribuidor quiere calcular el punto de reorden sin un inventario de seguridad y después con un inventario de seguridad.</p> <p>Método: se calcula la demanda diaria para determinar el ROP. Luego se calcula el ROP con inventario de seguridad.</p> <p>Solución:</p> $d = \frac{D}{\text{Número de días hábiles en un año}}$ $d = \frac{5000}{250} = 20 \text{ viviendas}$ <p>ROP = Punto de reorden = d * L = 20 unidades por día * 4 días = 80 Viviendas</p> <p>El ROP con inventario de seguridad añade un día de demanda (20 unidades) al ROP (para llegar 80 viviendas)</p> <p>Reflexión: cuando el inventario de las viviendas caiga a 80 viviendas, el gerente de la constructora debe hacer un pedido. Si el gerente agrega el inventario de seguridad para un posible retraso de un día en la entrega, el ROP es de 100 viviendas (80+20).</p>

Fuente: Autores, 2021.

En las compañías constructoras la demanda de viviendas no es contante, en la variabilidad de la cadena de suministro de la construcción, el inventario de seguridad que dispone la alta gerencia en ocasiones es crítico.

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

A continuación, se presenta tres ejemplos simulados en la hoja de cálculo de Microsoft Excel relacionados con materiales, por ejemplo, ladrillo de arcilla hueco 12*30*30, fierro corrugado de 5/8" y cemento que son utilizados en el sector de la construcción principalmente en las obras de edificación, y así analizar el comportamiento de los resultados y las gráficas.

En la **Tabla 20.** Análisis de EOQ y punto de reorden, se ilustra los datos relacionados con el ladrillo de arcilla hueco 12*30*30 para determinar la simulación y realizar el análisis de EOQ y punto de reorden, se tiene en cuenta la demanda estimada de 10000 ladrillo de arcilla hueco 12*30*30.

Tabla 20. Análisis de EOQ y punto de reorden

EOQ y punto de reorden	
Demanda anual (D)	10000
Costo de pedido (S)	\$350,00
Costo de mantenimiento por unidad por año (H)	\$150,00
Días de funcionamiento al año	250
Plazo de ejecución (L)	5
Costo por unidad	\$650,00

Fuente: Autores, 2021.

En la **Tabla 21.** Análisis de los resultados análisis de EOQ y punto de reorden, se ilustra los resultados del análisis de EOQ y punto de reorden de la simulación realizada mediante la hoja de cálculo de Microsoft Excel, con los datos mencionados en la Tabla 11 referente al ladrillo de arcilla hueco 12*30*30

Tabla 21. Análisis de los resultados análisis de EOQ y punto de reorden

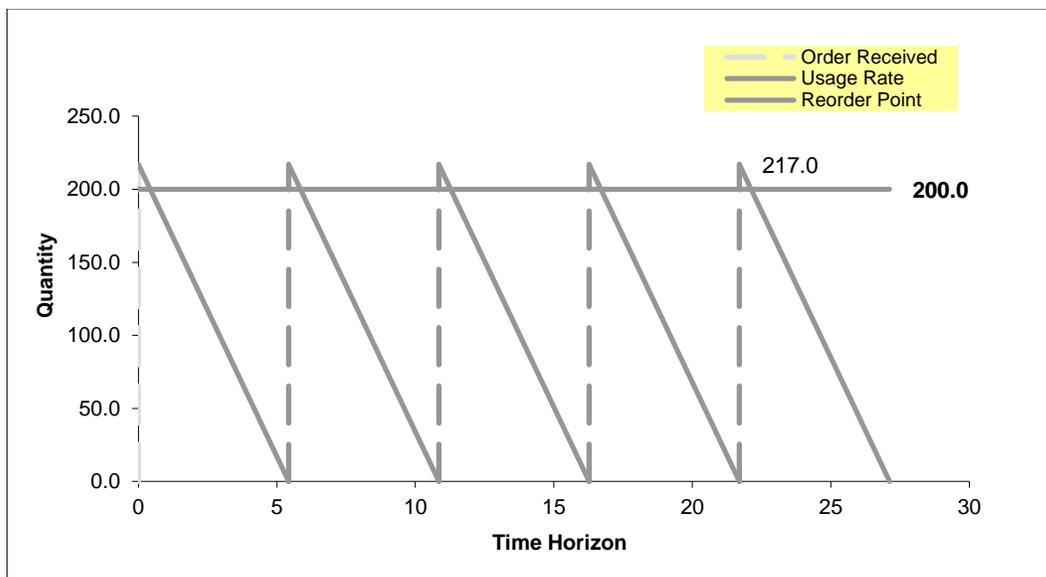
Resultados	
Q ₀	217
Inventario promedio	108,5
Punto de pedido	200,0
Días por ciclo	5,4
Número de ciclos por año	46,1
Costo total anual de mantenimiento y pedidos	\$ 32.404,03

Coste total	\$6.532.404,03
--------------------	-----------------------

Fuente: Autores, 2021.

En la Figura 18. Control y uso del inventario a través del tiempo del ladrillo de arcilla hueco 12*30*30, se evidencia, el comportamiento de los datos simulados mediante la hoja de cálculo de Microsoft Excel y se puede analizar la cantidad económica a ordenar, con respecto a la demanda estimada. Además, se puede observar que el inventario promedio del ladrillo de arcilla hueco 12*30*30 es inferior a la cantidad económica a ordenar.

Figura 18. Control y uso del inventario a través del tiempo del ladrillo de arcilla hueco 12*30*30



Fuente: Autores, 2021.

Nota. En la Figura 18. Control y uso del inventario a través del tiempo del ladrillo de arcilla hueco 12*30*30, se muestra el comportamiento de la gráfica, se evidencia la cantidad económica a ordenar equivalente a 217 ladrillos de arcilla hueco 12*30*30, el inventario promedio es de 108 y el punto de reorden como se ilustra en la figura es de 138 ladrillos.

En la **Tabla 22.** Costo total para el modelo básico de cantidad de orden fija del ladrillo de arcilla hueco 12*30*30, se ilustra los datos relacionados con el ladrillo de arcilla hueco 12*30*30 para determinar la simulación referente al costo total para el modelo básico de cantidad de orden fija, para esta simulación se tuvo en cuenta la demanda anual de los ladrillos y el costo por pedido al proveedor, y se estimó el costo de mantenimiento por cada ladrillo durante el año.

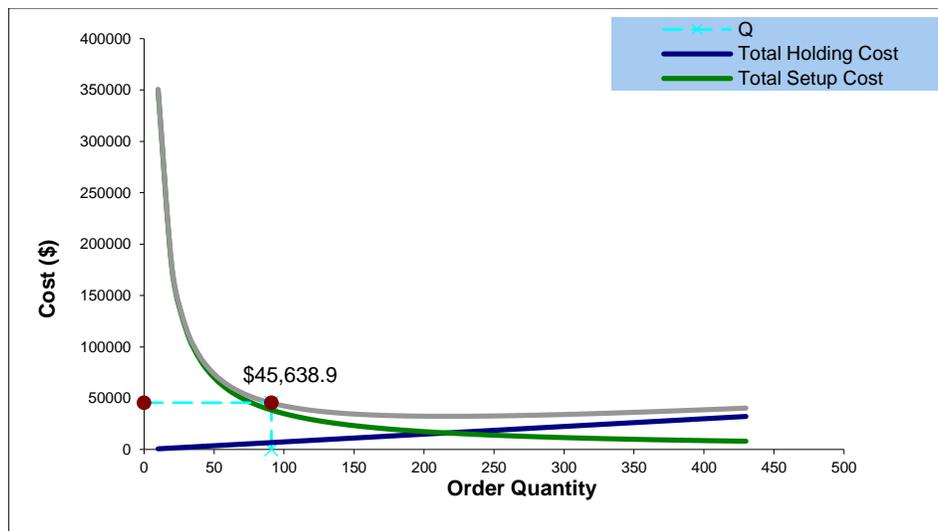
Tabla 22. Costo total para el modelo básico de cantidad de orden fija del ladrillo de arcilla hueco 12*30*30

Costo total para el modelo básico de cantidad de orden fija	
Demanda anual (D)	10000
Costo por pedido (S)	\$350,00
Costo de mantenimiento por unidad por año (H)	\$150,00
Q	217

Fuente: Autores, 2021.

En la Figura 19. Costos de la cantidad a ordenar del ladrillo de arcilla hueco 12*30*30, se evidencia el comportamiento de los datos simulados en el software Microsoft Excel y se puede analizar el costo total de los 10000 ladrillos de arcilla hueco 12*30*30 estimados por una constructora para la producción de las partidas que integran una obra de edificación.

Figura 19. Costos de la cantidad a ordenar del ladrillo de arcilla hueco 12*30*30



Fuente: Autores, 2021.

Nota. En el comportamiento de la gráfica, se evidencia que el costo total corresponde a 45.638 unidades monetarias, para una demanda de 10000 ladrillos con un costo estimado por ladrillo de 800 unidades monetarias.

El análisis EOQ y punto de reorden se puede aplicar para el control de los materiales insumos y materias primas en los proyectos de edificación y habitación urbana, que constantemente encuentra demanda en el mercado, materiales como el ladrillo, cemento, arena gruesa, piedra chancada de ½”, fierro corrugado de 5/8”, cemento etc., la gerencia de las constructoras deben establecer un control efectivo a los inventarios para evitar retrasos en cada una de las partidas de la construcción.

Tabla 23. *Análisis de EOQ y punto de reorden para el fierro corrugado de 5/8” utilizado en las obras de edificación*

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. En la Tabla 23. Análisis de EOQ y punto de reorden para el fierro corrugado de 5/8” utilizado en las obras de edificación, se muestra los datos requeridos para un proyecto de construcción.

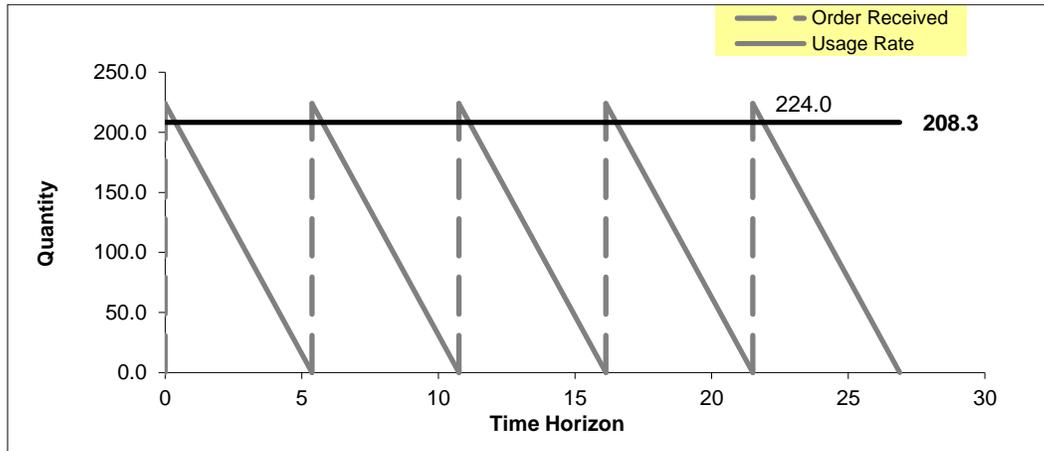
Tabla 24. *Análisis de los resultados análisis de EOQ y punto de reorden para el fierro corrugado de 5/8”*

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. En la Tabla 24. Análisis de los resultados análisis de EOQ y punto de reorden 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 la cantidad económica a ordenar, con respecto a la demanda estimada. Además, se puede observar que el inventario promedio del fierro corrugado de 5/8 es inferior a la cantidad económica a ordenar.

Figura 20. Control y uso del inventario a través del tiempo del para el fierro corrugado de 5/8



Fuente: Autores, 2021

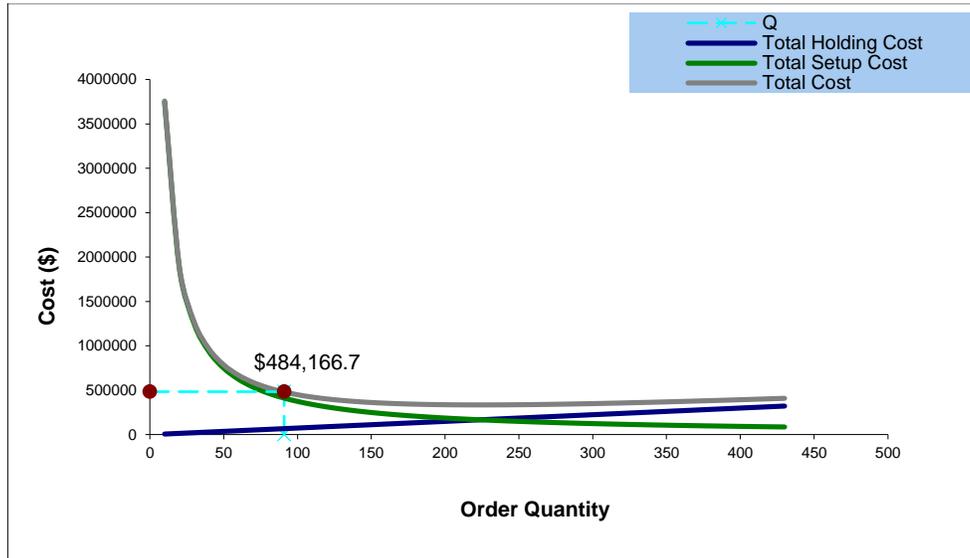
Nota. La gráfica evidencia la cantidad económica a ordenar equivalente a 224 toneladas para el fierro corrugado de 5/8”, el inventario promedio es de 112 y el punto de reorden como se ilustra en la figura es de 208 bolsas de Cemento.

Tabla 25. Costo total para el modelo básico de cantidad de orden fija para el fierro corrugado de 5/8

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

Fuente: Autores, 2021.

Figura 21. Costos de la cantidad a ordenar para el Fierro corrugado de 5/8



Fuente: Autores, 2021.

Nota. Una de las causas que genera 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.

Para determinar el costo de mantenimiento para el 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 el 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 se utilizó la técnica de regresión lineal, como se ilustra en la tabla.

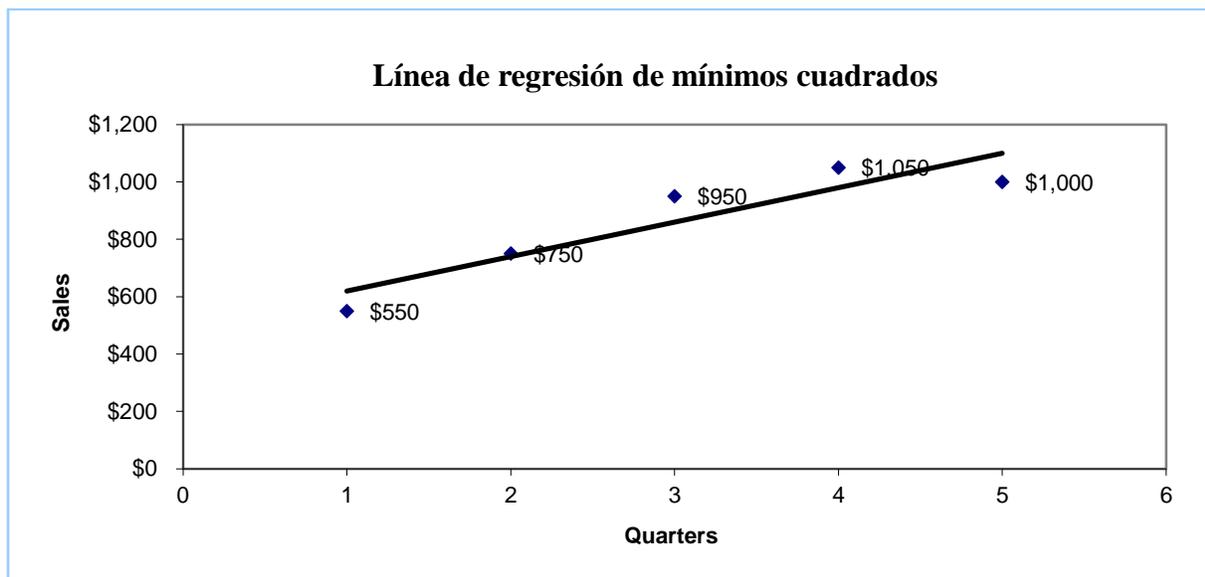
Tabla 26. Regresión lineal para determinar costo de mantenimiento fierro corrugado de 5/8”,

$t(\text{Años})$	$Y(H)$	$t \cdot y$	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	

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 22. Línea de regresión de mínimos cuadrados



Nota. En la Figura 22. Línea de regresión de mínimos cuadrados, se ilustra el comportamiento del costo de mantenimiento en 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 27. 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 $Y = 57,47 + 240,69 * t$			

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.

$$Y = 57,47 + 240,69 * 6 \quad Y = \$ 1.500$$

Una compañía dedicada a la construcción de viviendas tipo VIS le gustaría reducir su costo de inventario al determinar el número óptimo que se requiere en cada orden. La demanda anual es de 6605 toneladas de cemento para la preparación de un concreto de 4000 PSI, compuesto por 0,320 toneladas de cemento portland tipo 3 por cada metro cúbico de concreto; el costo de preparar u ordenar es de \$506620 por tonelada, el costo anual de mantener el inventario por unidad es de \$ 33000 y el costo por tonelada es \$850.000,00.

Tabla 28. Análisis de EOQ y punto de reorden de las 6605 toneladas de cemento para la preparación de un concreto de 4000 PSI

Análisis de EOQ y punto de reorden de las 6605 toneladas de cemento	
Demanda anual (D)	6605
Costo de pedido (S)	\$506.620,00
Costo de mantenimiento por unidad por año (H)	\$33.000,00
Días de funcionamiento al año	250
Plazo de ejecución (L)	5
Costo por unidad (C)	\$850.000,00

Fuente: Autores, 2021

Nota. Para este caso se tuvo en cuenta una demanda anual de 6605 toneladas de cemento, para la preparación de un concreto de 4000 PSI, los días de funcionamiento de la constructora al año es de 250 y los costos se estimaron de acuerdo a datos de la Cámara Colombiana de la Construcción.

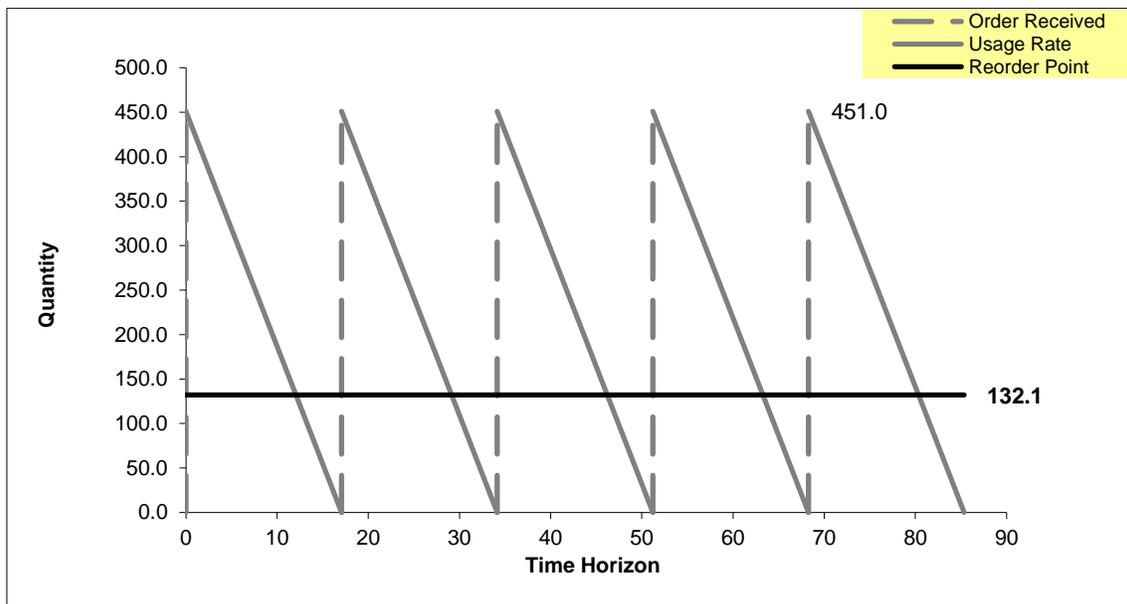
Tabla 29. Resultados simulados en la hoja de cálculo Excel

Resultados	
Q ₀	451
Inventario promedio	225,5
Punto de reorden	90,5
Días por ciclo	24,9
Número de ciclos por año	14,6
Costo total anual de mantener y ordenar	\$ 14.861.067,85
Costo total	5.629.111.067,85

Fuente: Autores, 2021

Nota. El comportamiento de los datos simulados en la hoja de cálculo de Microsoft Excel y se puede analizar la cantidad económica a ordenar, con respecto a la demanda estimada. Además, se puede observar que el inventario promedio de las toneladas de cemento es inferior a la cantidad económica a ordenar.

Figura 23. Modelo básico de cantidad de orden fija de las 6605 toneladas de cemento para la preparación de un concreto de 4000 PSI



Fuente: Autores, 2021

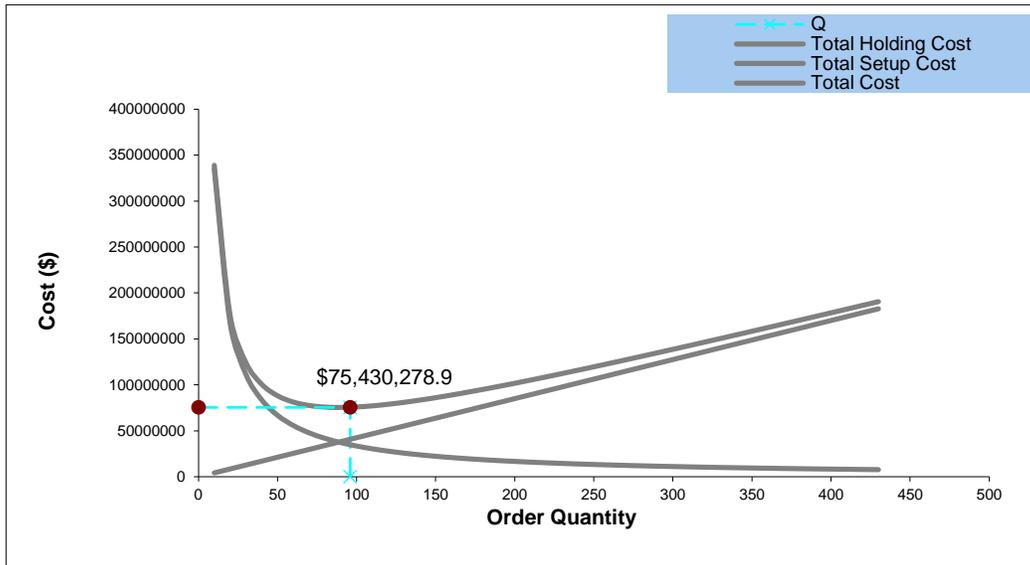
Nota. la cantidad económica a ordenar equivalente a 451 toneladas de cemento, el inventario promedio es de 132 toneladas de cemento para la preparación de un concreto de 4000 PSI.

Tabla 30. Costo total para el modelo básico de cantidad de orden fija

Costo total para el modelo básico de cantidad de orden fija	
Demanda anual (D)	6605
Costo por pedido (S)	\$506.620,00
Costo de mantenimiento por unidad por año (H)	\$850.000,00

Fuente: Autores, 2021

Figura 24. Costo total para el modelo básico de cantidad de orden fija de las 6605 toneladas de cemento para la preparación de un concreto de 4000 PSI



Fuente: Autores, 2021

Nota. Con el comportamiento de la gráfica, se evidencia que el costo total corresponde a 75.430.278 unidades monetarias, para una demanda de 6605 toneladas de cemento, para la preparación de un concreto de 4000 PSI, con un costo de mantenimiento por unidad por año de 850.000 unidades monetarias.

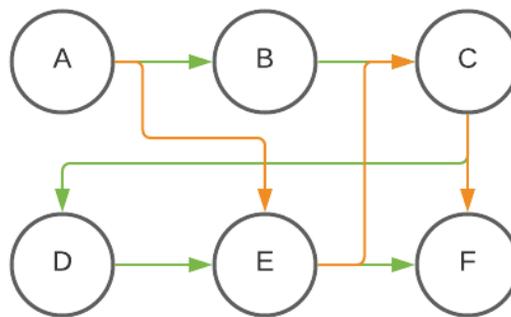
7. LAYOUT

Es 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 (Norton, 2019). Se integra los siguientes tipos de *Layout*, según los requerimientos del proyecto.

7.1 *Layout* orientada al proceso.

Esta 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” (Parra, 2018, pág. 443). Figura 25. *Layout* orientado al proceso en actividades de construcción, se ilustra el comportamiento del *Layout* orientado al proceso en actividades de construcción fundamentadas en las obras de edificación.

Figura 25. *Layout* orientado al proceso en actividades de construcción



Fuente: Autores, 2021.

Nota. En la figura podemos observar 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.

7.1.1 Definiciones.

- A. Entrada
- B. Almacenamiento
- C. Ensayos
- D. Producción
- E. Aplicación
- F. Verificación

7.1.2 Cálculo de Costos Relacionados con la Distancia

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 identificará 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 31**. 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 31. Cantidad de movimientos entre puntos de acopio a puntos de producción

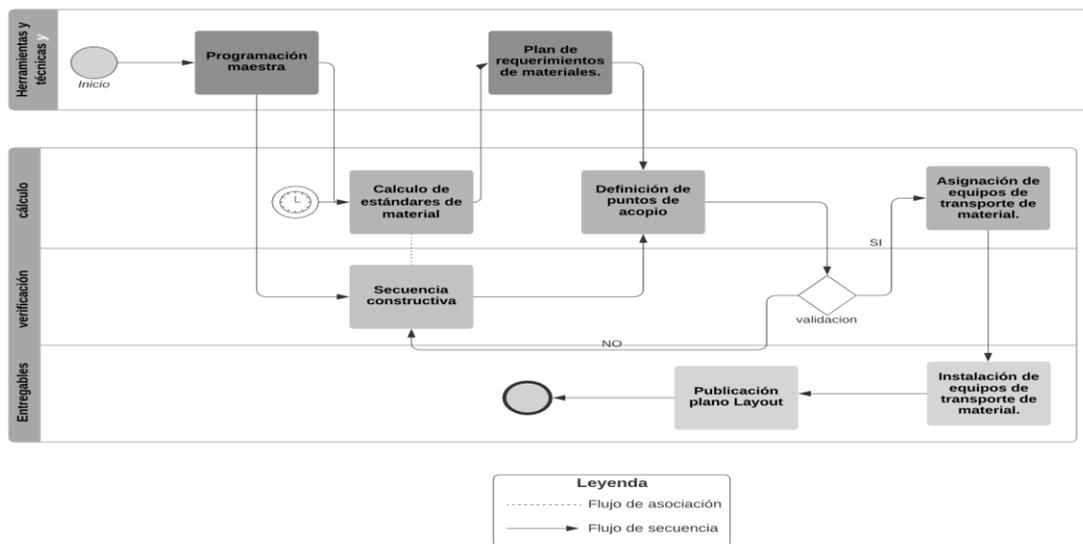
	Ladrillo	Cemento	Enchape	Estuco	Pintura
Edificio 1	4	3	8	3	3
Edificio 2		3	4	9	7
Edificio 3			2	5	8
Edificio 4				6	7
Salón comunal					3

Fuente: Autores, 2021.

Una vez identificada la cantidad de movimientos entre puntos, se debe multiplicar por los costos de transporte de acuerdo a los tiempos dedicados por insumos, con el objetivo de calcular los costos de transporte y generar ajustes en las zonas de acopio para reducir los tiempos de traslados.

En la Figura 26. Diagrama de proceso para el análisis y creación de Layout orientado al proceso, se ilustran los pasos para la creación del análisis y creación de *Layout* orientado al proceso. Para esto, 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 26. Diagrama de proceso para el análisis y creación de *Layout* orientado al proceso



Fuente: Autores, 2021.

Nota. Una vez se tenga definida la programación maestra del proyecto de construcción de vivienda, se debe definir la secuencia constructiva de acuerdo a esta, en el caso de que se contemple más de una edificación de vivienda, o en su defecto actividades propias de un proyecto de construcción, como: cimentación, estructura, acabados, urbanismo, entre otras. Paralelo a la verificación y definición de la secuencia constructiva, se debe calcular los estándares de insumos, materiales, con el objetivo de verificar zonas de acopio y así generar un plan de requerimiento de materiales.

Al definir la secuencia constructiva y las zonas de acopio, verificamos la viabilidad con programación; en caso de ser positivo y se tiene en cuenta el plan de requerimientos, se debe asignar los equipos de

transporte de material a las zonas de trabajo para facilitar el control de material y reducir tiempos de traslados, en el caso de ser negativo se debe verificar la secuencia constructiva con las zonas de acopio.

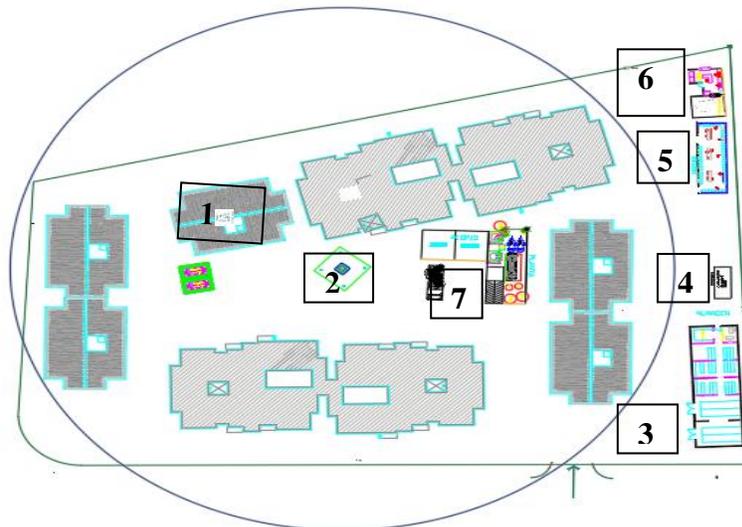
Una vez validada la asignación de equipos de transporte, se inicia con la instalación de estos. Al terminar las asignaciones, es importante la publicación de *Layout* impreso en zonas visibles, con el objetivo de no interrumpir la asignación de acopios y de rutas de distribución.

7.1.3 *Layout* de Posición Fija o de Proyecto.

“El *Layout* de posición fija o de proyecto, se caracteriza por que el proyecto o producto permanece fijo en las estaciones de trabajo, y los trabajadores y equipos acuden a esa única área de trabajo”. Permite 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 27. *Layout* de posición fija, se mencionan en 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 27. *Layout* de posición fija

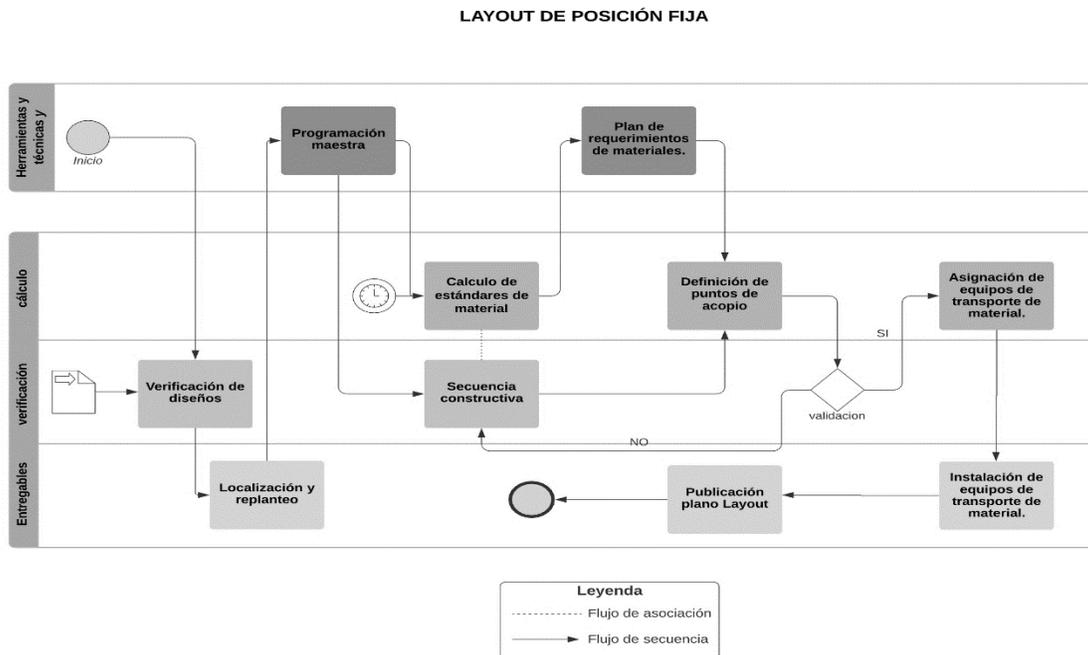


Fuente: Autores, 2021.

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.

En el área de construcción, se tiene como producto la elaboración de edificaciones para este caso de estudio. Las edificaciones están compuestas por cimientos, que son diseñados bajo variables del terreno, garantizando la estabilidad de la estructura, dependiendo de la dimensión de la edificación se generan varios cálculos que garantiza la resistencia de ésta. Por lo anterior, las edificaciones en concreto reforzado se vuelven edificaciones de posición fija, condiciones que exige el tipo de *Layout* en mención, en Figura 28. Diagrama de proceso para el análisis y creación de *Layout* de posición fija, se ilustra el comportamiento del proceso para el análisis y creación de *Layout* de posición fija en proyectos constructivos especialmente en las obras de edificación.

Figura 28. Diagrama de proceso para el análisis y creación de *Layout* de posición fija



Fuente: Autores, 2021.

Nota. Una vez se tenga definido el alcance y los diseños del proyecto de construcción de vivienda, se deben verificar brevemente los diseños. Seguido a esto, realizar localización y replanteo, con el objetivo de verificar áreas a construir y zonas para ocupación provisional durante la construcción.

Paralelo a la localización y replanteo, debe estar definida la programación maestra del proyecto de construcción de vivienda. Se continúa con la definición la secuencia constructiva de acuerdo con ésta, en el caso de que se contemple más de una edificación de vivienda o en su defecto actividades propias de un proyecto de construcción, como lo son: cimentación, estructura, acabados, urbanismo, entre otras. Paralelo a la verificación y definición de la secuencia constructiva, se calculan los estándares de insumos y materiales, con el objetivo de verificar zonas de acopio y así generar un plan de requerimiento de materiales.

Al definir la secuencia constructiva y las zonas de acopio, verificamos la viabilidad con programación. En caso de ser positivo y con el plan de requerimientos, se debe asignar los equipos de transporte de material a las zonas de trabajo para facilitar el control de material y reducir tiempos de traslados. En el caso de ser negativo, se debe verificar la secuencia constructiva con las zonas de acopio.

Una vez se valide la asignación de equipos de transporte, se inicia con la instalación de estos. Al terminar las asignaciones, es importante la publicación de *Layout* impreso en zonas visibles, con el objetivo de no interrumpir la asignación de acopios y de rutas de distribución.

7.1.4 *Layout* de Célula de Trabajo

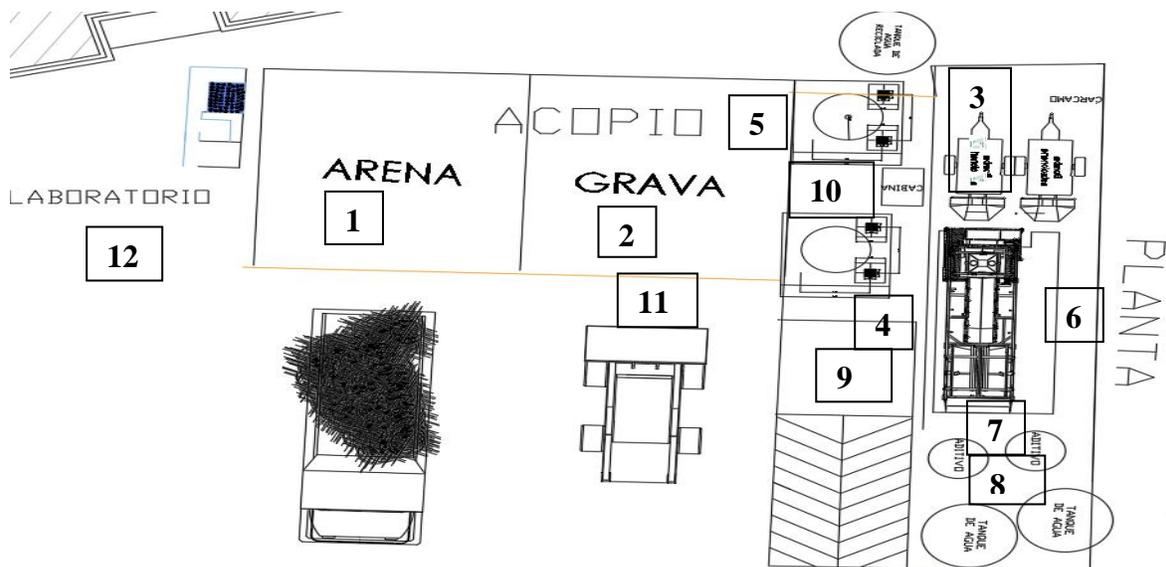
En las obras de edificación de vivienda se evidencia el trabajo paralelo en diferentes zonas del proyecto, la distancia entre ellos y un punto de acopio determinado. Por lo anterior, se genera la necesidad de facilitar la entrega de insumos junto al área de trabajo o facilitar equipos de transporte, en caso de que el espacio no sea suficiente para generar puntos de acopio y trabajo en unos espacios como se ilustra en la **Figura 29**.
Layout de célula de trabajo

Se toma como ejemplo la Figura 27. *Layout* de posición fija, donde se encuentra una planta de concreto, que a su vez suministra concreto a los frentes de estructura, pero también se genera una demanda de trabajo para la producción de éste.

1. Acopio de arena
2. Acopio de Grava
3. Bombas transportadoras de concreto
4. Cabina de mando y control de producción

5. Agua reciclada
6. Planta de producción de concreto
7. Adictivos
8. Agua potable
9. Plataforma de descarga de materiales primarios (Arena y Grava)
10. Cemento (Silo)
11. Equipo de cargue y descargue de materiales primarios (Arena y Grava)
12. Laboratorio de muestras

Figura 29. *Layout de célula de trabajo*

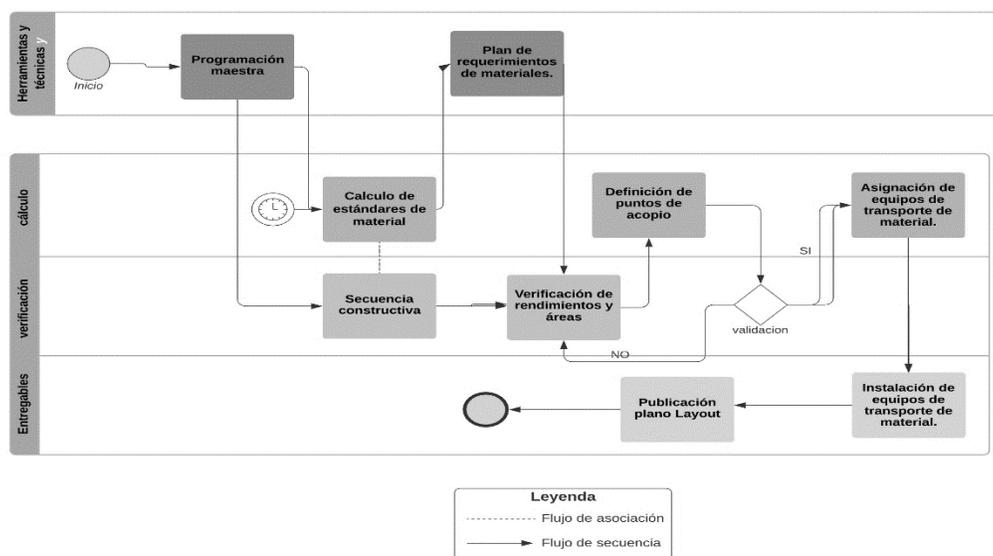


Fuente: Autores, 2021.

Una vez se tenga definida la programación maestra del proyecto de construcción de vivienda, se debe definir la secuencia constructiva, en el caso de que se contemple más de una edificación de vivienda, o en su defecto actividades propias de un proyecto de construcción, como lo son: cimentación, estructura, acabados, urbanismo, entre otras. Paralelo a la verificación y definición de la secuencia constructiva, se debe calcular los estándares de insumos (materiales), con el objetivo de verificar área de acopio y tiempos de suministro para elaborar un plan de requerimiento de materiales.

Figura 30. *Diagrama de proceso para el análisis y creación de Layout de célula de trabajo*

LAYOUT CELULA DE TRABAJO



Fuente: Autores, 2021

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

Al definir la secuencia constructiva, se verifican los rendimientos en las zonas de trabajo y las áreas disponibles de acopio en la misma zona. Seguido a esto, se calculan los puntos de acopio para optimizar los rendimientos de producción reduciendo tiempos de transporte de material.

Una vez realizados los cálculos, se verifica la viabilidad con programación; en caso de ser positivo, se debe asignar los equipos de transporte para el suministro de material en los puntos de acopio ubicados junto a las zonas de trabajo para facilitar el control de material y reducir tiempos de traslados, en el caso de ser negativo, se debe verificar el rendimiento del frente de trabajo y las áreas disponibles para acopio de materiales.

Una vez validada la asignación de equipos de transporte, se inicia con la instalación de estos.

Al terminar las asignaciones, es importante la publicación de *Layout* impreso en zonas visibles, con el objetivo de no interrumpir la asignación de acopios y de rutas de distribución.

Bibliografía

- 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.
- Acosta, C. A. (2018). Ingreso de los recursos de mano de obra . En C. A. Acosta, *Costos y presupuestos para edificaciones* (pág. 74). Lima: Macro.
- Achell, J. F. (2018). Introducción a Lean Contruction. *Fundación laboral de la construcción* , 9.
- Chase, R. B. (2019). Como entender la administración de inventarios . En R. B. Chase, *Producción y cadena de suministros* (pág. 518). México: Mc Graw Hill.
- Chase, R. B. (2019). Programa maestro de producción. En R. B. Chase, *Administración de operaciones* (pág. 560). México: Mc Graw Hill.
- Chase, R. (2019). Demanda dependiente. En R. Chase, *Producción y cadena de sumistros* (pág. 566). México: Mc Graw Hill.
- Chase, R. B. (2019). Programa maestro de producción. En R. B. Chase, *Producción y cadena de suministros* (pág. 561). México: Mc Graw Hill Educación.
- Heizer, J. (2019). Programa de producción maestro. En J. Heizer, *Principios de administración de operaciones* (pág. 555). México: Pearson Educación.
- Heizer, J. (2019). Listas estructuradas de materiales. En J. Heizer, *Principios de administración de operaciones* (pág. 556). México: 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). Listas de planeación y listas fantasma. En J. Heizer, *Principios administración de operaciones* (pág. 558). México: Pearson Educación.
- Heizer, J. (2019). Exactitud en los registros de inventario. En J. Heizer, *Principios de administración de operaciones* (pág. 558). México: Pearson Educación.
- Heizer, J. (2019). La importancia del inventario. En J. Heizer, *Principios de administración de operaciones* (pág. 476). México: Pearson Educación.
- Heizer, J. (2019). Administración de inventarios. En J. Heizer, *Principios de administración de operaciones* (pág. 478). México: Pearson Educación.
- Heizer, J. (2019). Exactitud en los registros. En J. Heizer, *Principios de administración de operaciones* (pág. 479). México: Pearson Educación.
- Heizer, J. (2019). Conteo cíclico. En J. Heizer, *Principios de administración de operaciones* (pág. 480). México: Pearson Educación.

- Heizer, J. (2019). Costos de mantener, ordenar y preparar el inventario. En J. Heizer, *Principios de administración de operaciones* (pág. 483). México: Pearson Educación.
- Heizer, J. (2019). Modelos de inventario para la demanda independiente. En J. Heizer, *Principios de administración de operaciones* (pág. 483). México: Pearson Educación.
- Heizer, J. (2019). Puntos de reorden. En J. Heizer, *Principios de Administración de operaciones* (pág. 488). México: Pearson Educación.
- Heizer, J. (2019). Modelo de la cantidad económica a producir. En J. Heizer, *Principios de administración de operaciones* (pág. 489). México: Pearson Educación.
- Heizer, J. (2019). Disminución al mínimo de los costos. En J. Heizer, *Principios de admimistración de operaciones* (pág. 485). México: Pearson Educación.
- Heizer, J. (2019). La importancia del inventario. En J. Heizer, *Principios de administración de operaciones* (pág. 476). México: Pearson Educación.
- Heizer, J. (2019). Modelo básico de la cantidad económica a ordenar (EOQ). En J. Heizer, *Principios de Administración de operaciones* (pág. 483). México: Pearson Educación.
- Heizer, J. (2019). Modelos de inventario para la demanda independiente. En J. Heizer, *Principios de administración de operaciones* (pág. 483). México: Pearson Educación.
- 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.
- Institute, P. M. (2017). Dirigir al equipo. En P. M. Institute, *La guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK) / Project Management Institute* (pág. 345). Pennsylvania: Project Management Institute.
- Jacobs, F. R. (2019). La planificación de requerimiento de materiales . En F. R. Jacobs, *Administración de operaciones* (pág. 560). México: Mc Graw Hill Educación.
- Jacobs, F. R. (2019). La planificación de requerimiento de materiales . En F. R. Jacobs, *Administración de operaciones* (pág. 560). México: Mc Graw Hill Educación.
- Kaplan, R. S. (2019). Conteo cíclico. En R. S. Kaplan, *El cuadro de mando integral* (pág. 342). Planeta: Pearson Educación.
- Render, B. (2019). La importancia estratégica de la cadena de suministro. En B. Render, *Principios de administración de operaciones* (pág. 432). México: Pearson Educación.

Render, B. (2019). Demanda dependiente. En B. Render, *Principios de administración de operaciones* (pág. 554). México: Pearson Educación.

Render, B. (2019). Listas modulares. En B. Render, *Principio de administración de operaciones* (pág. 557). México: Pearson Educación.

Norton, D. (11 de Agosto de 2019). El proceso operativo. En D. Norton, *El cuadro de mando integral* (pág. 137). Bogotá: Planeta. Obtenido de *Cómo diseñar un buen layout*: <http://www.packaging.enfasis.com/notas/10034-como-disenar-unbuen-layout>

Anexos.

Anexo 1. Análisis ABC de materiales para una obra de Edificación.

Anexo 2. Precedencia, tiempos y costos de actividad normal y acelerados para la construcción de una vivienda.

Anexo 3. Análisis de EOQ y punto de reorden para el ladrillo de arcilla hueco 12*30*30.

Anexo 4. Costos de la cantidad a ordenar del ladrillo de arcilla hueco 12*30*30.

Anexo 5. Análisis de EOQ y punto de reorden para el fierro corrugado de 5/8".

Anexo 6. Costo total para el modelo básico de cantidad de orden fija para el fierro corrugado de 5/8.

Anexo 7. Análisis de EOQ y punto de reorden, toneladas de cemento para la preparación de un concreto de 4000 PSI.

Anexo 8. Costo total para el modelo básico de cantidad de orden fija, toneladas de cemento para la preparación de un concreto.