



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA**

**DISEÑO DE PROCESO DE UNA PLANTA DE  
PRODUCCIÓN DE VIVIENDAS PREFABRICADA  
DESMONTABLE.**

**TESIS**

Que para obtener el título de  
**INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTA**

Xochitlpilli López Guadarrama

**DIRECTOR DE TESIS**

MBT. Carlos Díaz Gómez



Ciudad de México, Noviembre 2017



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES "ZARAGOZA"

DIRECCIÓN

**JEFE DE LA UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN  
ESCOLAR  
PRESENTE.**

Comunico a usted que al alumno(a) **López Guadarrama Xochitlpilli** con número de cuenta **09365600-1** de la carrera **Ingeniería Química**, se le ha fijado el día **24** del mes de **Noviembre de 2017** a las **09:00 horas** para presentar su examen profesional, que tendrá lugar en la sala de exámenes profesionales del Campus II de esta Facultad, con el siguiente jurado:

PRESIDENTE	I.Q. EDUARDO VÁZQUEZ ZAMORA
VOCAL	✗ I.Q. CARLOS DÍAZ GÓMEZ
SECRETARIO	I.Q. DOMINGA ORTIZ BAUTISTA
SUPLENTE	I.Q. ÁNGEL GÓMEZ GONZÁLEZ
SUPLENTE	I.Q. BLAS MALDONADO SÁNCHEZ

El título de la tesis que se presenta es: "Diseño de proceso de una planta de producción de viviendas prefabricada desmontable".

Opción de Titulación: Convencional

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
México, D. F. a 18 de Octubre de 2017.

**DR. VÍCTOR MANUEL MENDOZA NUÑEZ**  
DIRECTOR

FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES  
ZARAGOZA  
DIRECCIÓN

Vo.Bo.   
I.Q. DOMINGA ORTIZ BAUTISTA  
JEFA DE LA CARRERA DE I.Q.

RECIBÍ:  
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES  
Y DE GRADO

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mi gran familia por el apoyo, amor y la confianza que siempre me brindan, no puedo citar a cada uno de ellos, ya que son muchos y todos de gran valía para mí. Los amo a todos.

Agradezco a todos los profesores de la Facultad de estudios Superiores Zaragoza que me formaron como profesionista.

Agradezco a la Universidad Politécnica del Estado de Morelos que no solo me permite desarrollarme como profesionista, me ha brindado un gran apoyo para lograr culminar mi carrera.

## **DEDICATORIA**

De dicó esté documento a:

A mi amado esposo por su apoyo y trabajo en el documento.

A mis hermosos hijos por su gran apoyo y comprensión, gracias al cual tengo el tiempo para desarrollarme de forma profesional.

A mis queridas hermanas (Zoery, Donaji, Laura y Almendra) que son un gran ejemplo de vida y tenacidad.

A mis amados padres que siempre están conmigo.

A mis suegros que son mis segundos padres.

## ÍNDICE GENERAL

pág.

	<b>Resumen</b>	1
<b>1</b>	<b>Introducción</b>	3
<b>2</b>	<b>Justificación</b>	6
<b>3</b>	<b>Hipótesis</b>	6
<b>4</b>	<b>Objetivos</b>	7
4.1	Objetivo general	8
4.2	Objetivos particulares	8
<b>5</b>	<b>Metodología</b>	
5.1	Búsqueda de herramientas para los diversos requerimientos gráficos y esquemáticos	12
5.2	Instalación de la planta de fabricación de bloques	12
5.2.1	Creación de diagramas de flujo para la instalación de la planta de fabricación de bloques	13
5.2.2	Lista de actividades para la instalación de la planta de fabricación de bloques	13
5.2.3	Determinación del tiempo de las actividades para la instalación de la planta de fabricación de bloques	14
5.2.4	Creación de malla PERT para la instalación de la planta de fabricación	15
5.2.5	Obtención de la holgura para la instalación de la planta de fabricación	17
5.3	Fabricación de bloques	18
5.3.1	Creación de diagramas de flujo para la fabricación de bloques	19
5.3.2	Lista de actividades para la fabricación de bloques	19
5.3.3	Determinación del tiempo estimado para la fabricación de bloques	20
5.3.4	Creación de malla PERT para la fabricación de bloques	21
5.3.5	Obtención de la holgura para la fabricación de bloques	21
5.4	Colocación de los bloques para la creación de los departamentos.	23
5.4.1	Creación de diagramas de flujo para la colocación de los bloques	23
5.4.2	Listas de actividades para colocación de los bloques.	24
5.4.3	Determinación del tiempo de las actividades para colocación de los bloques	25
5.4.4	Creación de malla PERT para la colocación de los bloques	25
5.4.5	Obtención de la holgura para la colocación de los bloques	27
5.5.	Desinstalación de la planta de fabricación de bloques	28
5.5.1	Creación de diagrama de flujo para la desinstalación de la planta de fabricación.	28
5.5.2	Lista de actividades para la desinstalación de la planta de fabricación.	29
5.5.3	Determinación del tiempo de las actividades de la desinstalación de la planta de fabricación	30

## ÍNDICE GENERAL

pág.

5.5.4	Creación de malla PERT para la desinstalación de la planta de fabricación	31
5.5.5	Obtención de la holgura para la colocación de los bloques	31
<b>6</b>	<b>Marco teórico</b>	<b>33</b>
6.1	Diagramas	33
6.1.1	Diagramas de flujo	34
6.1.1.1	Información que debe contener	35
6.1.1.2	Reglas para estructurar un diagrama de flujo	36
6.1.1.3	Tipo de nomenclatura para diagramas de flujo proceso.	37
6.2	Cálculo de tiempos estimado por actividad	40
6.2.1	Desviación	42
6.3	Cálculo de holgura	44
6.4	Malla PERT	46
6.4.1	Diseño de malla PERT	47
6.4.2.	Determinación de ruta crítica	49
6.5	Cemento	51
6.5.1	Descripción de los componentes y clasificación del cemento	52
6.5.2	Usos del cemento	58
6.5.3	Aditivos en el cemento	59
6.6	Prefabricados	63
<b>7</b>	<b>Antecedentes</b>	<b>70</b>
7.1	Herramientas matemáticas en la industria	70
7.2	Tiempo de construcción óptimo	71
<b>8</b>	<b>Resultados y discusión</b>	<b>72</b>
8.1	Instalación del taller de habilitados.	72
8.2	Fabricación del descanso de las escaleras	79
8.3	Colocación del descanso de la escalera	88
8.4	Desinstalación del taller de habilitados	96
8.5	Proceso completo de construcción de vivienda	102
<b>9</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>114</b>
<b>10</b>	<b>Bibliografía</b>	<b>116</b>
	<b>Anexo 1</b>	
	<b>Anexo 2</b>	

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>	
<b>Figura 1</b>	Diagrama de flujo del proceso de producción del cemento (formas de construcción, 2015)	6
<b>Figura 2.</b>	Diagrama de proceso	10
<b>Figura 3.</b>	Simbología para diagramas de proceso	11
<b>Figura 4.</b>	Diagramas de flujo	11
<b>Figura 5.</b>	Diagramas de almacén	11
<b>Figura 6.</b>	Diagrama de terminador	12
<b>Figura 7.</b>	Gráfica de función Beta.	15
<b>Figura 8.</b>	Distribución normal.	15
<b>Figura 9.</b>	Nodo con el número de actividad	19
<b>Figura 10.</b>	Fecha de dirección de actividad, unión de nodos	21
<b>Figura 11.</b>	Flecha de dirección de actividad ficticia	21
<b>Figura 12</b>	Fragmento de malla PERT que muestra la ruta crítica en color verde.	22
<b>Figura 13</b>	Choza o tipi americanos	36
<b>Figura 14</b>	Vivienda con caliza y piedra	37
<b>Figura 15</b>	Casa prefabricada de madera sin armar.	38
<b>Figura 16</b>	Casa prefabricada de madera armada.	39
<b>Figura 17</b>	Polipanel.	39
<b>Figura 18</b>	Construcción con paneles de plástico	40
<b>Figura 19</b>	Transporte y colocación de estructuras prefabricadas para la construcción. (cosol).	41
<b>Figura 20</b>	bloques omega	41
<b>Figura 21</b>	Metodología.	47
<b>Figura 22</b>	Nodo de inicio	53
<b>Figura 23</b>	Malla PERT parcial para la colocación de un taller	53
<b>Figura 24</b>	Diagrama de flujo sencillo para la construcción de un bloque	56
<b>Figura 25</b>	Diagrama de flujo sencillo para la colocación de bloques	61
<b>Figura 26</b>	Malla PERT básica para la colocación de bloques	63
<b>Figura 27</b>	Diagrama básico de flujo para la desinstalación de un taller x	65
<b>Figura 28</b>	Diagrama básica para la desinstalación de un taller	66
<b>Figura 29</b>	Tamaño propuesto del taller de habilitados	70
<b>Figura 30</b>	Diagrama de flujo para la instalación del taller de habilitados	70
<b>Figura 31</b>	Malla PERT con ruta crítica para la colocación del taller de habilitados	74
<b>Figura 32</b>	Malla PERT con ruta crítica para la colocación del taller de habilitados con ruta crítica	75



<b>Figura 33</b>	Diagrama de flujo para la fabricación de descanso	76
<b>Figura 34</b>	Malla PERT propuesta para la fabricación del descanso.	82
<b>Figura 35</b>	Malla PERT con ruta crítica para la fabricación de cimientos.	83
<b>Figura 36</b>	Diagrama de flujo para la colocación de un bloque	86
<b>Figura 37</b>	Malla PERT para la colocación del cimiento 1 con ruta crítica	92
<b>Figura 38</b>	Diagrama de flujo para la desinstalación del taller de habilitados	93
<b>Figura 39</b>	Malla PERT con ruta crítica para la desinstalación del taller de habilitados	96
<b>Figura 40</b>	Malla PERT con ruta crítica para la desinstalación de un almacén sin techo y sin muros.	97
<b>Figura 41</b>	Malla PERT con ruta crítica para la desinstalación de un almacén con techo y sin muros.	98
<b>Figura 42</b>	Malla PERT con ruta crítica para todo el proceso.	102
<b>Figura 43</b>	Diagrama de planta de producción de bloques.	109

## ÍNDICE DE FÓRMULAS

		<b>Pág</b>
<b>Fórmula (1)</b>	Tiempo esperado	14
<b>Fórmula (2)</b>	Desviación	15
<b>Fórmula (3)</b>	Varianza	15
<b>Fórmula (4)</b>	Probabilidad según distribución normal	16
<b>Fórmula (5)</b>	Holgura	18
<b>Fórmula (6)</b>	Sumatoria de tiempos estimados	106

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Símbolos y breve descripción de estos (M. Ing. Norma, 2013)	10
<b>Tabla 2</b> Cálculo de holgura	17
<b>Tabla 3.</b> Ruta crítica para una malla PERT	22
<b>Tabla 4.</b> Tabla de los compuestos con su fórmula química y abreviatura (IECA, 2015).	29
<b>Tabla 5.</b> Porcentajes de óxido en peso de los diferentes compuestos con respecto al rango que compone al cemento Portlan. (IECA 2015).	29
<b>Tabla 6.</b> Compuestos en porcentaje de con respecto a las abreviaturas de la tabla 4	30
<b>Tabla 7</b> Tiempo esperado por actividad para la instalación de un taller de habilitados.	71
<b>Tabla 8.</b> Cálculo de tiempo estimado para la instalación de un taller de habilitados.	71
<b>Tabla 9</b> Actividad con clave para la instalación de un taller de habilitados.	72
<b>Tabla 10</b> Tabla de holgura para la instalación de un taller de habilitados.	73
<b>Tabla 11</b> Tiempos esperado por actividad para la fabricación del descanso	77
<b>Tabla 12</b> Cálculo de tiempo estimado para la fabricación del descanso.	78
<b>Tabla 13</b> Actividad con clave para la fabricación del descanso.	80
<b>Tabla 14</b> Tabla de holgura para la fabricación del descanso.	81
<b>Tabla 15</b> Tiempo y holgura para la fabricación del descanso.	84
<b>Tabla 16</b> Tiempo esperado por actividad para la colocación del cimiento	87
<b>Tabla 17</b> Tabla de holgura para la colocación de bloques	88
<b>Tabla 18</b> Actividad con clave para la colocación del cimiento 1	89
<b>Tabla 19</b> Cálculo de tiempo estimado para la desinstalación del taller de habilitados	89
<b>Tabla 20</b> Cálculo de tiempo para la desinstalación del taller de habilitados	94
<b>Tabla 21</b> Actividad con clave para la desinstalación del taller de habilitados	88
<b>Tabla 22</b> Tabla de holgura para la desinstalación del taller de habilitados	95
<b>Tabla 23</b> Tabla de holgura de todo el proceso (con las tablas mostradas en el documento)	99
<b>Tabla 25</b> Tabla de tiempo máximo, mínimo, estimado y varianza de todo el proceso (de las tablas mostradas en el documento)	103
<b>Tabla 26</b> Cronograma de actividades en base a malla PERT de todo el proceso	107
<b>Tabla 27</b> Tabla de actividades del personal por área	108

## RESUMEN

Este documento es el resultado de la necesidad de vivienda económica que existe en México, la empresa PLAD (empresa constructora) observa que la construcción por bloques en México es un área de oportunidad ya que solo existen algunas empresas dedicadas a ésta forma de construcción en México las cuales su principal línea es la construcción de naves industriales. Surgiendo la idea de la construcción de departamentos pequeños y económicos usando este método.

La empresa PLAD realiza un acuerdo con la UPEMOR para obtener de forma eficiente el complejo de departamentos, requiriendo que estos se realicen de forma sustentable y en el menor tiempo posible, para lo cual se realizaron mallas PERT del proceso completo.

El cual consta de la instalación y desinstalación de una planta móvil, la fabricación de bloques y la instalación de estos para armar el edificio.

Ya que se trata de una idea nueva y de patente se mostrara la malla PERT sin la clave de los nodos.

Para lograr que el tiempo de fabricación de los bloques se redujera se hicieron las siguientes recomendaciones:

1. El fraguado de los moldes era de 8 días por lo que se recomendó un aditivo acelerante sin cloro ya que la fabricación de los bloques requieren para su estructura de malla termo-soldada, de anclaje y de izaje con esto se redujo el tiempo de espera a 2 días.
2. El corte y el armado de forma casi artesanal requería de mayor tiempo por parte del armador que media y cortaba la pieza según sus necesidades, por lo que se recomendó hacer uso de medidas preestablecidas para los cortes, con lo cual se redujo el tiempo, además el armador deberá tener todo el material en tiempo en el lugar de trabajo reduciendo el tiempo en un 25%.

La empresa PLAD para la generación de los bloques determino que la planta de producción deberá estar en el sitio de uso, siendo ésta parte de la innovación, con esto el

transporte se reduce y por tanto los gastos, generándose una planta de producción móvil. Para disminuir el tiempo de colocación de planta se recomendó lo siguiente

1. La tubería de servicios (agua potable) para la planta deberán estar cortados y ser ensamblables para su instalación y desinstalación, además de no tener pérdida de este material.

Para lograr ver la reducción en tiempo sin la necesidad de modificar directamente la actividad en la planta provisional. Se generaron Mallas PERT para cada una de las piezas requeridas en el proceso, además se generó una hoja de cálculo para su modificación en las tablas de tiempo estimado y que se observe en la holgura y en la malla PERT. Generando datos directamente de tiempo estimado, tiempo más probable de entrega y % de probabilidad de entrega en tiempo, en éste también se puede realizar cambios en la cantidad de personal y el porcentaje de eficiencia que presenta.

Una vez que se realizaron todos los cambios en el tiempo se obtiene que el proceso tiene la posibilidad de un 84% de ser entregado en dos meses que incluye montaje de la planta, construcción de bloques, armado del edificio y desinstalación de planta.

No se puede mostrar un plano de producción por dos razones una de ellas es la confidencialidad del proyecto, la otra que depende de las características del terreno y el espacio de que se tenga en el lugar de producción. Sin embargo es posible hacer un bosquejo de la planta de fabricación como un ideal ya que se tiene el conocimiento de que requiere de varios almacenes, talleres y los servicios principales y su distribución en un área determinada.

# 1. INTRODUCCIÓN

La construcción ha sufrido varios cambios de acuerdo a la época, las primeras viviendas solo protegían de los elementos como agua, frío, calor y los depredadores, (cumpliendo con esta función las cuevas o árboles), actualmente la vivienda debe tener ciertas características para ser considerada digna y adecuada según la declaración de la Organización de las Naciones Unidas ONU de los derechos humanos en el artículo 25 apartado 1 del folleto informativo No. 21 (rev1)(abril 2010), en la cual se dice que debe tener acceso al transporte y contar con todos los servicios.

En México, a diferencia de otros países, la construcción de una vivienda rara vez es planeada, regularmente la construcción se realiza de acuerdo a las necesidades y posibilidades del momento, con lo cual los servicios se obtienen con el tiempo (algunos son asentamientos irregulares). Por esto el mexicano no cuenta en su mayoría con una vivienda digna y decorosa, según Francisco Pardo (2013).

El precio de una vivienda depende del tamaño, materiales y ubicación de la construcción, sin embargo es posible tener un estimado el cual varía entre \$ 3,300 y \$ 4, 800 por metro cuadrado, esto sin permisos y supervisión. El costo del permiso de construcción en Cuernavaca es de 45 pesos por metro cuadrado según tramites de Morelos; Para una construcción de 65 m<sup>2</sup> se tendría que el gasto generando sería de aproximadamente 312,000.00 pesos, para una casa con terminados en yeso, ventanas de aluminio blanco, con loseta de primera en el piso y en el baño.

La industria de la construcción aumenta a la par de la población, lo cual implica nuevos retos para éste sector productivo, ésta actividad se concentraba básicamente en la construcción de grandes estructuras como lo son edificios para oficinas y naves industriales que albergaban la industria; En el periodo del presidente Adolfo López Mateos generaron casas para los trabajadores de Tizapán y Magdalena Contreras (mxcity, 2016) y la industria observó la construcción de viviendas como parte de una rama económicamente viable. Con el nuevo concepto de la unidad habitacional se amplía la construcción (Pardo Francisco, 2013) (DOF, 2013), generándose con esto nuevos retos, ya que esta estructura debe estar constituidas con parques, escuelas, bibliotecas, agua, luz,

drenaje, servicios de recolección de basura, salud y accesibilidad. Siendo estos los puntos básicos para generar una casa habitación digna y decorosa a la que se refiere el artículo 4° de la constitución Mexicana (Excélsior, 2014).

La existencia de empresas dedicadas a la construcción de viviendas permite la compra de una casa terminada en la cual la familia solo deberá introducir sus muebles para habitarla. El costo de estas casas no varía mucho entre sí; van desde 550 a 750 mil pesos, dependiendo directamente de la ubicación el incremento. El precio y el tamaño para un departamento disminuye siendo de 250 hasta 300 mil pesos de 50.00 m<sup>2</sup>, este tipo de construcción tiene la desventaja de ya no tener crecimiento y regularmente los muros y techos son compartidos, sin embargo el precios es más atractivo y si la familia es pequeña es una buena opción, estos precios son calculados para un pago en efectivo y para el consumidor final, para las constructoras tienen un costo menor, al reducir los precios de cemento, grava, arena, estructura (metal) al ser cotizados y adquiridos en precios de mayoreo, a los trabajadores se les paga por jornada laboral, todo lo anterior reduce el costo de la vivienda para poder tener una ganancia de un 20% o más, dependiendo el lugar y la venta de la vivienda según Bruce Webb (2008)

Proveer de todos los servicios y construir las viviendas tiene el reto de los costos y gastos los cuales deberán ser bajos para ser un negocio rentable y lucrativo, además de ser eficiente en los tiempos de producción para ser competitivo.

Actualmente existen varias empresas que se dedican a esta actividad. Una variante reciente en México es la creación de casas por medio de prefabricados, los cuales pueden ser desde muros, escaleras o vigas para techos o terminados, el 32.7 % de la industria de éste sector se dedica al montaje de estructuras de concreto prefabricado (INEGI 2013.)

Sin embargo la mayoría de las empresas de éste sector realizan la construcción del prefabricado en una nave especial de armado y son transportadas al sitio de su uso.

La ventaja de hacer los bloques de forma repetitiva hace que el proceso se puedan simplificar y modificar para ser más eficientes, el proceso que se muestra en ésta tesis fue modificado para disminuir el tiempo de producción por medio de técnicas de evaluación y revisión de proyectos (PERT), lo cual proporciona una ruta crítica, el tiempo de producción más probable y la probabilidad de generar el proceso en un tiempo

determinado, por medio de la generación de un diagrama de flujo, lista de actividades pasos a paso del proceso y los tiempos que requiere cada actividad.

El precio y el tiempo de construcción de la vivienda podrían ser reducidos por los costos a través de la modificación de los procesos, el costo de esta vivienda varía mucho ya que dependerá de la cantidad de departamentos requeridos, la localización y el tiempo de producción establecido.



## 2. JUSTIFICACIÓN

La vivienda es una necesidad humana, que deberá cumplir con ciertas características para ser considerada adecuada. Por lo tanto la industria de la construcción tiene el reto de la entrega de casas en el menor tiempo posible, para poder obtener una mayor ganancia al incrementar la cantidad de casas en un tiempo mínimo. La construcción de viviendas prefabricada tienen la posibilidad de disminuir tiempo de producción y por tanto costos, para lograrlo es necesario conocer detalladamente el ensamblaje de cada una de las partes del edificio, la modificación de los pasos generó que redujera el tiempo de entrega en todo el proyecto. Los cambios propuestos pueden o no provocar un beneficio por lo que hacerlo en planta en tiempo real, generaría atrasos y la incertidumbre de la entrega en tiempo del proyecto, entonces para evitarlo es necesario ver el proceso en su conjunto se utilizando la malla PERT como método de análisis que permite observar sobre cuales actividades se debe disminuir el tiempo y en cuáles no, además de cuantificar el tiempo total de la construcción de cada bloque, para obtener un tiempo final de construcción de un módulo completo, éste método también permite obtener el tiempo más probable de la entrega del producto, disminuyendo la incertidumbre de entrega a tiempo.

La disminución de tiempos de entrega y menor tiempo de producción disminuye el costo del producto en este caso departamentos para vivienda, logrando que la vivienda sea accesible a su compra para familias de bajos recursos o para viviendas de personas que han sufrido un desastre natural, ya sea por un periodo corto o definitivo, ya que pueden usarse como alberges o viviendas.

Otra característica que tiene esta construcción es la posibilidad de ser ensamblada en un tiempo mínimo y ser desensamblada para ser transportada a cualquier otro sitio en el caso de ser utilizados como alberges.

### **3. HIPÓTESIS**

A partir del cálculo de tiempos esperados de cada una de las actividades que implican la construcción de una edificación, es posible determinar la ruta crítica para el rediseño de una planta de producción de viviendas prefabricadas y determinar el tiempo más probable de entrega.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL:**

Rediseñar el proceso técnico de una planta de producción de viviendas prefabricadas aplicando un método matemático.

### **4.2 OBJETIVOS PARTICULARES:**

Generar los diagramas de flujo por proceso unitario para conocer los pasos que la conforman

Realizar una estimación de tiempos para la creación de la malla PERT

Proponer mallas PERT para las etapas del proceso a partir de los diagramas de flujo.

Identificar la ruta crítica del cada proceso unitario.

Unificar los procesos unitarios en un proceso total.

Identificar la ruta crítica del proceso total para determinar las actividades que restringen el tiempo.

Modificar el proceso tomando en cuenta las recomendaciones para reducir el tiempo.

Obtener el tiempo óptimo del proceso total por medio de la malla PERT.

## 5. METODOLOGÍA PARA OBTENCIÓN DE RESULTADOS.

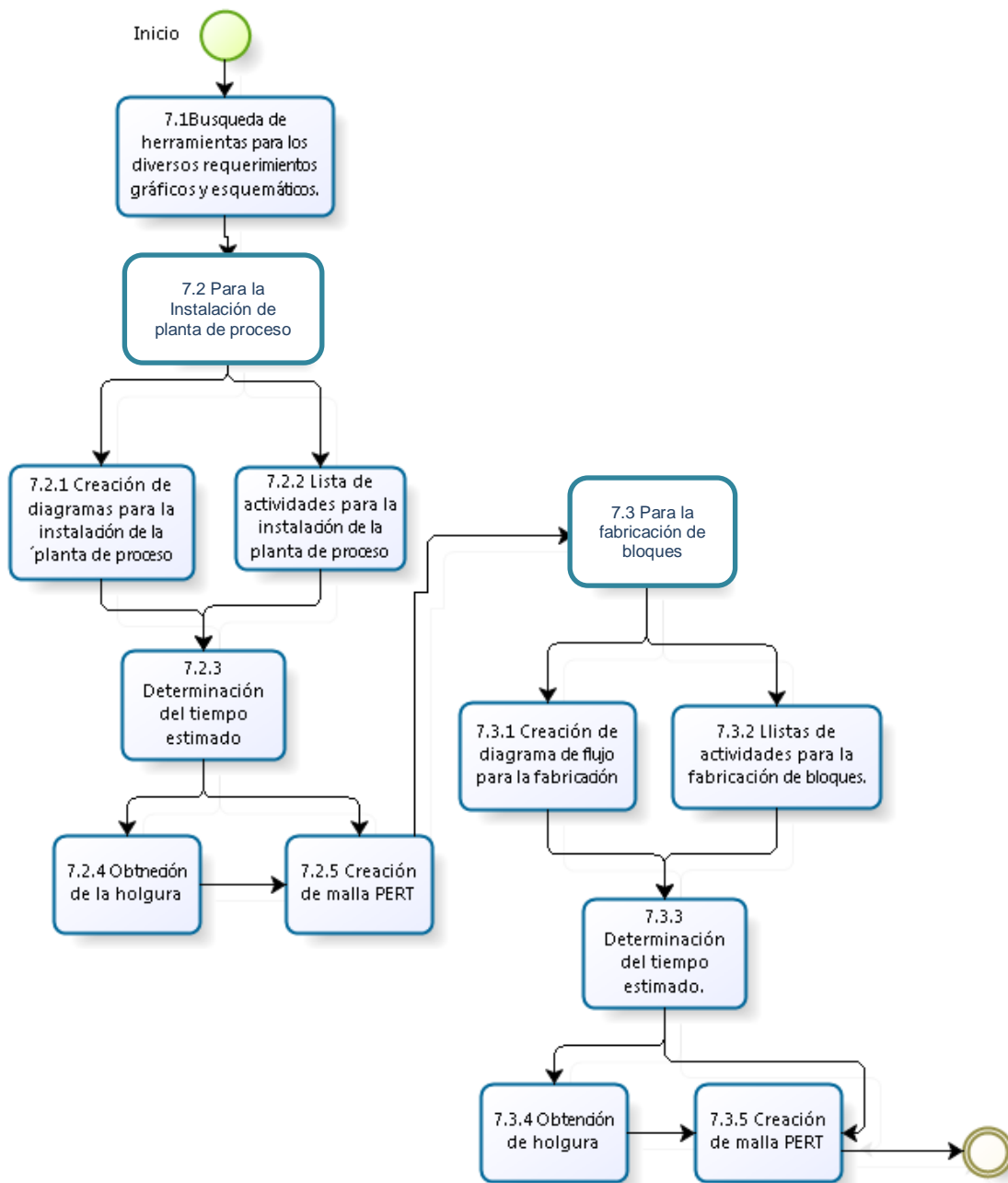
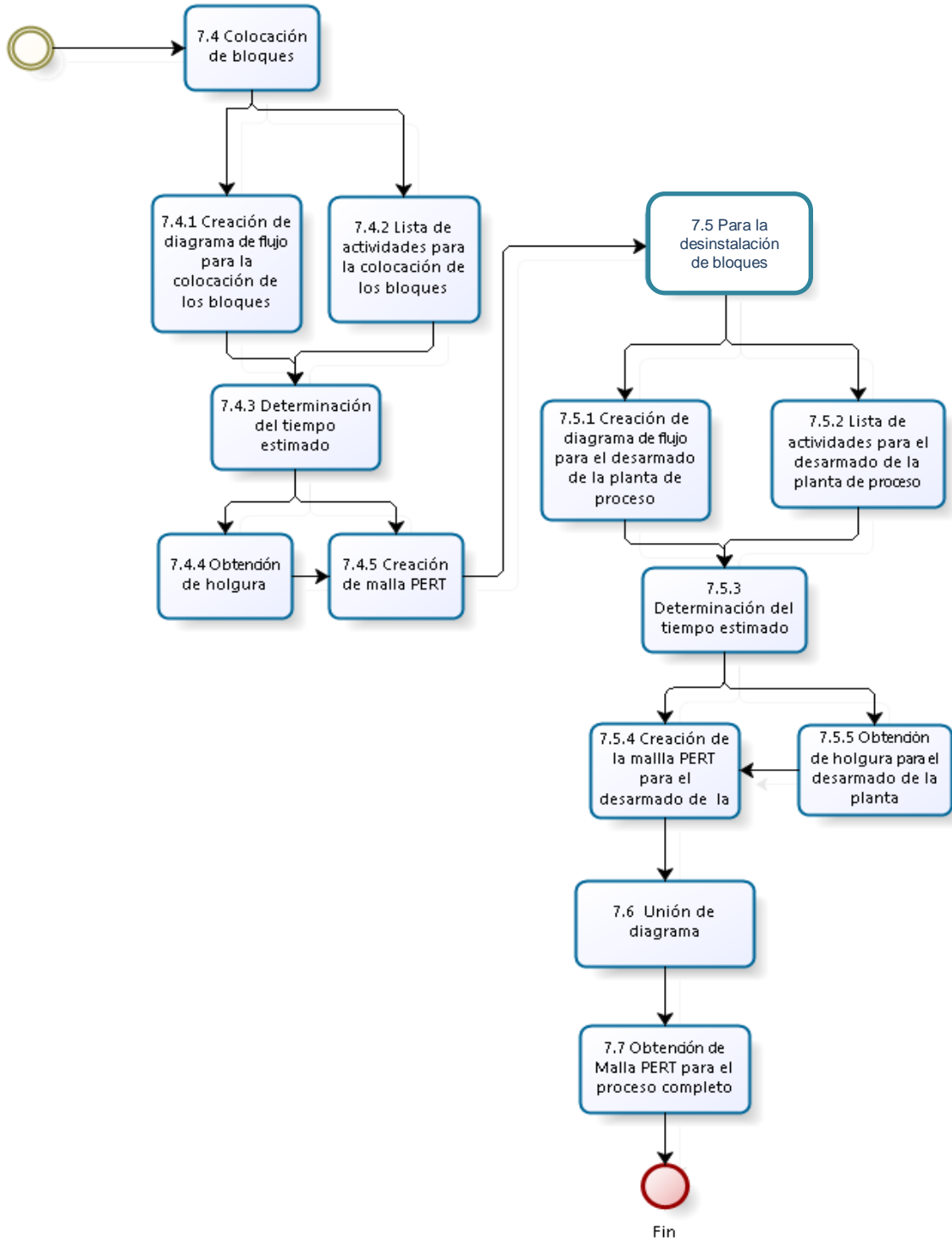


Figura 1 Metodología .parte 1



**Figura 1** Metodología .parte 2

## **5.1. BUSQUEDA DE HERRAMIENTAS PARA LOS DIVERSOS REQUERIMIENTOS GRÁFICOS Y ESQUEMÁTICOS.**

La empresa PLAD proporciono un esquema, que sirvió de base para hacer diagramas de flujo detallados. Se buscó de forma bibliográfica la forma más adecuada para observar lo mejor posible cada uno de los procesos unitarios y en las normas de construcción no se encontró restringido el uso del lenguaje, por lo se utilizó el lenguaje de flujo para programación ya que se apegó mejor a las necesidades del proyecto. Se usó un lenguaje de computadoras con un programa llamado bizagi Modeler versión 3.0.0.015; que sirve para hacer de forma electrónica diagramas de flujo para programación, construcción de aplicaciones de proceso y simulación de procesos; es un programa gratuito, sencillo en su uso y compatible con cualquier sistema.

## **5.2. PARA LA INSTALACIÓN DE LA PLANTA DE FABRICACIÓN DE BLOQUES**

### **5.2.1 CREACIÓN DE DIAGRAMAS DE FLUJO PARA LA INSTALACIÓN DE LA PLANTA DE FABRICACIÓN DE BLOQUES.**

Para la realización de estos diagramas fue necesario conocer las características de los bloques y sus necesidades, para cubrirlas, con este fin se realizó en primera instancia el diagrama de flujo de los bloques a realizar y se determinó una forma ideal de acomodo de los bloques, para el mejor manejo de estos y de sus materias primas obteniendo que se

requieren de aproximadamente seis almacenes de materiales y un almacén general; estos tienen diferentes características cada uno, dado que se trata de una empresa de construcción los elementos a almacenar son muy variados en tamaño y condiciones necesarias un ejemplo de esto es el almacén de pétreos que es solo un área determinada sin muros, techo o servicios, otro ejemplo es el almacén de cemento que deberá tener un firme y una tarima que eleve el material más de 20 cm del suelo, deberá estar protegido con muros y techo del intemperie, no tiene necesidad de servicios. También se requiere de talleres los cuales deberán estar equipados con energía eléctrica para herramientas eléctricas como cortadoras, taladros y revolvedoras entre otros. El almacén de los prefabricados y el proceso se realizará en áreas abiertas para su mejor manejo, ya que se requiere de grúas para la movilización de éstas. Por último el área de oficinas que requiere de una construcción con todos los servicios, con muros, techos puertas y ventanas al igual que la caseta del vigilante. Una vez que se tienen todos estos datos es posible hacer un diagrama de flujo básico para la instalación de la planta.

### **5.2.2.- LISTAS DE ACTIVIDADES PARA LA INSTALACIÓN DE LA PLANTA DE FABRICACIÓN DE BLOQUES.**

Una vez realizado el diagrama de flujo es posible hacer una lista de actividades requeridas para la instalación de la planta, regresando de forma continua al diagrama de flujo mejorándose de forma conjunta adicionado pasos o eliminando algunos irrelevantes o innecesarios, hasta obtener un diagrama y una lista lo más detallada posible de cada uno de los almacenes, talleres y otras áreas de producción.

Para la realización de las listas hay que conocer el tipo de cada construcción por hacer, un ejemplo de cómo hacer la lista de actividades es la siguiente. En principio hay que

conocer las necesidades de dicho taller, suponiendo que deberá tener energía eléctrica y un banco de trabajo, techado entonces se inicia con una lista básica.

1. Techado
2. Instalación eléctrica
3. Banco de trabajo

Una vez que se tiene un listado básico se especifica cada parte, por ejemplo el techado

Para poder colocar los postes se requiere de un socavón en el cual se deberá colocar el poste posteriormente saber cuántos postes se colocan por metro, las través de la construcción deberán ser colocadas después de los pilotes y posteriormente una base para la lámina y la colocación de éstas

Quedando una lista más detallada como la siguiente

1. Para el techado
2. Realizar un socavón de x cm de profundidad
3. Colocación de postes
4. Tapar el socavón con el poste para sujetarlo
5. Colocación de través
6. Realización de cama para la lámina
7. Colocar lamina

Tan detallada como se requiera.



### **5.2.3.- DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE LAS ACTIVIDADES PARA LA INSTALACIÓN DE LA PLANTA DE FABRICACIÓN DE BLOQUES.**

La mayoría de las instalaciones son construidas de forma provisional por lo que las más elaboradas son las que requieren muros y techos, para las cuales se tomó el tiempo de colocación de postes de madera y el tiempo que requiere ser cubierta con lamina de metal corrugado una cara, así es posible determinar el tiempo de construcción y la cantidad de personas que se requieren.

Retomando la lista anterior se observa

Para el techado

1. Realizar un socavón de x cm de profundidad 14 a 18 min para cada uno
2. Colocación de postes 4 a 9 minutos dependiendo de la lejanía de los postes y la cantidad de personas
3. Tapar el socavón con el poste para sujetarlo 4 a 5 minutos
4. Colocación de través 8 a 10 minutos dependiendo de la herramienta y la lejanía del material
5. Realización de cama para la lámina 30 a 60 minutos dependiendo de la herramienta y la cantidad de personas.
6. Colocar lámina de techado 60 a 180 minutos depende de la herramienta y la cantidad de personas.

La cantidad de personas que laboran provoca la reducción del tiempo en el proyecto, pero aumenta el costo. Con los datos generados se podría obtener el tiempo máximo, el tiempo mínimo y el tiempo estimado.

## 5.2.4.- CREACIÓN DE MALLA PERT PARA LA INSTALACIÓN DE LA PLANTA DE FABRICACIÓN.

Con la lista de actividades es posible realizar la malla PERT del proceso de instalación realizando ajustes tanto a la malla, al tiempo de proceso por actividad siguiendo un orden lógico al acontecimiento de las actividades.

Un ejemplo de la creación de malla, se coloca un círculo de inicio de actividad (nodo) y la flecha que indica la dirección del proceso.

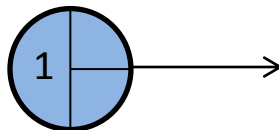


Figura 2 Nodo de inicio

Es posible una vez que se realizaron los socavones hacer el sembrado de más de un poste y ya colocados clavar las través es una actividad que se puede hacer casi a la par del fin del sembrado con lo cual la malla se podría observar de la siguiente manera

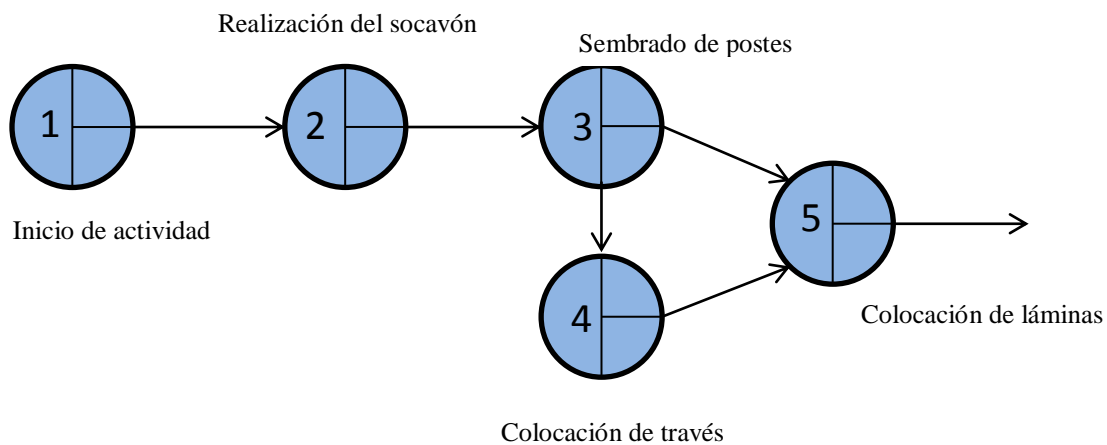


Figura 3 Malla PERT parcial para la colocación de un taller.

Ésta malla solo sería una parte de la línea mayor de la construcción de proceso total de la generación de la planta de producción. A ésta malla le falta detalle por lo que se tendría que regresar al listado y hacer las modificaciones pertinentes para iniciar con la colocación de tiempos sobre las flechas.

### **5.2.5.- OBTENCIÓN DE LA HOLGURA PARA LA INSTALACIÓN DE LA PLANTA DE FABRICACIÓN.**

Una vez obtenido el tiempo estimado es posible hacer el cálculo de la holgura siguiendo la malla PERT y apoyándose con el diagrama de flujo de proceso en este punto en más de una ocasión es necesario modificar listas y tiempo, según lo requiera el proceso visto de forma completa. Con este paso se observan los puntos críticos del proceso y se pueden atacar. En este punto se puede determinar el tiempo más probable de entrega de la instalación de la planta.

Generando tablas que contienen los siguientes datos

Clave	Actividad anterior	Tiempo mínimo	Tiempo esperado	Tiempo máximo	Tiempo estimado	Primera fecha	Última fecha	Holgura
-------	--------------------	---------------	-----------------	---------------	-----------------	---------------	--------------	---------

En donde es muy importante entender que actividades son anteriores a cada una, ya que la determinación de los tiempos iniciales y finales tanto de la primera fecha y la última fecha dependen de éste conocimiento del proceso, para hacer esto más rápido es posible usar las tablas de actividades y los diagramas de flujo; una vez que se tienen los tiempos se calcula la holgura con la fórmula 1

$$H = t_{ff} - t_{if} \qquad \text{Fórmula (1)}$$

En donde:

H= holgura, es la resta de tiempos.

$t_{ff}$  se refiere al tiempo final final que requiere una actividad para ser realizada.

$t_{if}$  es el tiempo inicial final que requiere una actividad para ser realizada.

## **5.3. PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES**

### **5.3.1 CREACIÓN DE DIAGRAMAS DE FLUJO PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES.**

Para la realización de los diagramas de flujo fue necesario ir a observar el pilotaje del proceso de producción que se realizó en la planta temporal, en está fue posible determinar la secuencia de pasos que se llevan a cabo de cada uno de los subprocesos que conforman la producción de muros, entre pisos, cimientos y techos (bloques) y el proceso que realiza el acomodo de los bloques para la generación del edificio de forma experimental. Para realizar ésta actividad se hace una serie de pasos con la finalidad de crear un diagrama de flujo con base en una lista de actividades.

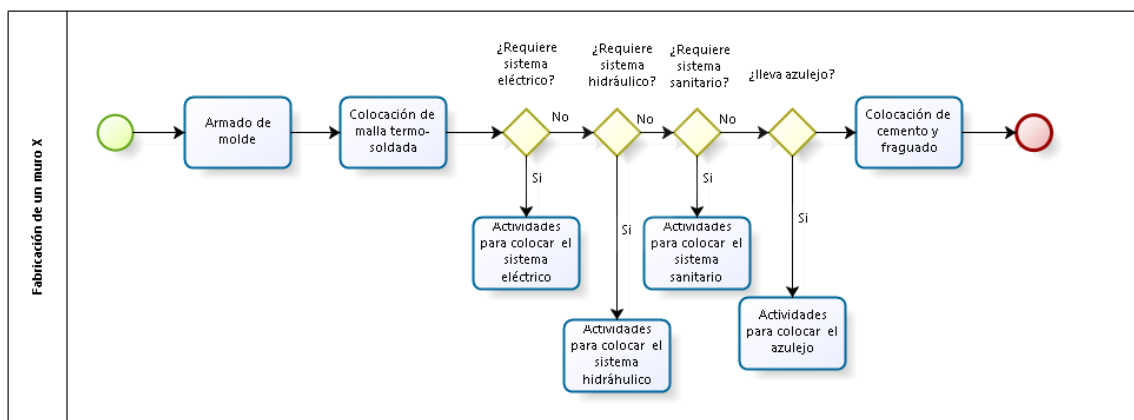
1. Lista gruesa de actividades a realizar
2. Colocar en bloques las actividades siguiendo el orden, esto es, no se puede fraguar si no está dentro del molde el sistema eléctrico y no se puede colocar el sistema eléctrico, si no tiene la malla electro-soldada.
3. Colocar materiales, herramientas, servicios que se requieren en los diferentes niveles del diagrama.

Un ejemplo de esto sería:

1. Armar el molde.
2. Colocar la malla termo-soldada

3. Colocar sistema hidráulico
4. Colocar sistema eléctrico
5. Colocar sistema sanitario
6. Colocar azulejo.

No todos los bloques requieren de los sistemas enlistados, para esto se maneja en el diagrama de flujo el símbolo de opción. De lo anterior se tendría el siguiente diagrama.



**Figura 4** Diagrama de flujo sencillo para la construcción de un muro X

En el diagrama se observa que las actividades van una después de la otra y que se requieren una serie de pasos para cumplir con la condicionante esto poco a poco genera un diagrama específico, completo y tan complejo como la especificación de cada punto que se realice.

### **5.3.2.- LISTAS DE ACTIVIDADES PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES.**

Una vez que se realizaron todos los diagramas de flujo para cada uno de los procesos unitarios, el siguiente paso fue hacer una lista descriptiva de todas las actividades por subproceso o para cada uno de los diagramas de flujo de procesos. Esta actividad permite entender el proceso y fue necesario volver a los diagramas de forma repetida, rehaciendo varias ocasiones cada uno de los diagramas de flujo según se avanzaba. Dada la naturaleza de confidencialidad del proyecto en el cual se basa éste trabajo se manejó solo la fabricación de un bloque como ejemplo.

### **5.3.3.- DETERMINACIÓN DEL TIEMPO ESTIMADO PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES.**

Para obtener el tiempo estimado fue necesario cronometrar los tiempos que se requerían en cada una de las actividades de los procesos unitarios, para tener una muestra representativa se cronometraron en 6 ocasiones cada actividad.

Para calcular el tiempo estimado se requiere de tiempos mínimos, máximos y los esperados, los cuales se obtuvieron de los valores cronometrados. Los tiempos límite como el mínimo y el máximo se obtuvieron al observar los valores generados, los valores que se encuentran en rango se promediaron para obtener así el tiempo esperado. Con el fin de obtener tres valores únicamente de acuerdo a la bibliografía.

No fue necesario tomar el tiempo para cada uno de los procesos ya que el proceso es repetitivo. En el caso específico del pegado de junta con silicón el tiempo estimado y el tiempo esperado son iguales, por las características de esta pieza.

### **5.3.4 CREACIÓN DE MALLA PERT PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES.**

Esta actividad requiere de los tiempos estimados obtenidos con anterioridad junto con la lista de actividades, a partir de esto se realiza un acomodo de las actividades siguiendo un orden lógico con base en los diagramas de flujo, una vez obtenido el diagrama se colocan los valores de tiempo determinados para cada uno de los subprocesos, posteriormente se unen generando la malla del proceso completo.

Una vez colocados los tiempos en el diagrama se realizó la suma de tiempos para obtener un acumulado en el diagrama, posteriormente se realiza la resta de los tiempos para generar la ruta crítica, que se determina con la resta de los tiempos dentro del nodo.

Esta ruta indica cuales son las actividades en las cuales no deben existir retrasos.

### **5.3.5 OBTENCIÓN DE LA HOLGURA PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES.**

Para el cálculo de la holgura fue necesario retomar los valores de tiempo estimado para cada uno de los pasos que requiere el proceso

Generando tablas que contienen los siguientes datos

<b>Clave</b>	<b>Actividad Anterior</b>	<b>Tiempo mínimo</b>	<b>Tiempo esperado</b>	<b>Tiempo máximo</b>	<b>Tiempo estimado</b>	<b>Primera fecha</b>	<b>Última fecha</b>	<b>Holgura</b>
--------------	---------------------------	----------------------	------------------------	----------------------	------------------------	----------------------	---------------------	----------------

En donde hay que reconocer que actividades son anteriores y posteriores, ya que la, determinación de los tiempos iniciales y finales tanto de la primera fecha y la última fecha dependen de éste, para hacer esto más sencillo es necesario usar las tablas de actividades y los diagramas de flujo de forma repetida; una vez que se tienen los tiempos se calcula la holgura con la fórmula 1

$$H = t_{ff} - t_{if} \qquad \text{Fórmula (1)}$$

En donde:

H= holgura, es la resta de tiempos.

$t_{ff}$  se refiere al tiempo final final que requiere una actividad para ser realizada.

$t_{if}$  es el tiempo inicial final que requiere una actividad para ser realizada.

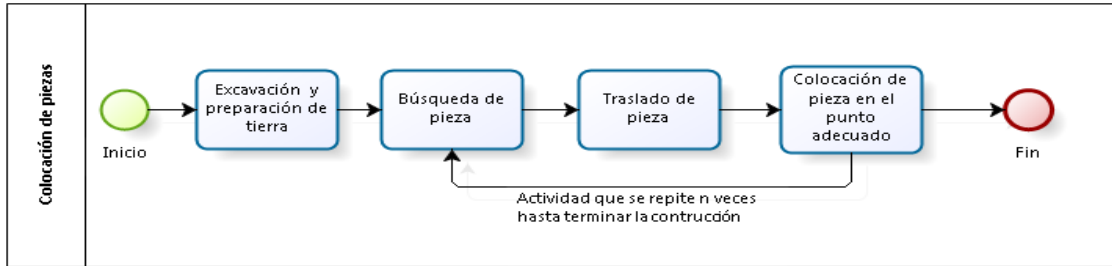
Una vez identificados los valores de la holgura igual a cero se determina la varianza, la desviación estándar y el tiempo de la ruta crítica con el fin de obtener el porcentaje de probabilidad de entrega a tiempo del producto y el edificio terminado en cualquier tiempo propuesto.



## **5.4. COLOCACIÓN DE LOS BLOQUES PARA LA CREACIÓN DEL LOS DEPARTAMENTOS.**

### **5.4.1 CREACIÓN DE DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA COLOCACIÓN DE LOS BLOQUES.**

La colocación de los bloques requiere de por lo menos dos grúas las cuales irán colocando cada uno de los bloques requeridos en el punto adecuado para ir formando el edificio completo; esto requiere una excavación inicial para la colocación de los bloques que serán los cimientos, por lo que el proceso inicia en la excavación y adecuación de ésta. Para posteriormente ir colocando todos los bloques según las especificaciones de los planos, esta actividad requiere de tiempo, coordinación y persistencia por parte de los conductores de la grúa, los asistentes y el ingeniero encargado. Esta actividad se mejora si el acomodo de las piezas se realizó de forma ordena y bien catalogada. Una vez que se tiene la idea principal de ¿cómo se realiza la colocación? es posible hacer de forma inicial un diagrama de flujo, el cual ira cambiando según se agreguen o eliminen puntos de la lista de actividades. De lo anterior se tendría de forma inicial un diagrama como el que se muestra a continuación en la figura 5



**Figura 5** Diagrama de flujo sencillo para la colocación de bloques

Éste diagrama muestra a groso modo las actividades a realizar sin embargo entre la búsqueda y el traslado se encuentra la actividad de colocar los adaptadores correspondientes a la pieza a mover, la colocación y aseguramiento de la grúa y todo el trabajo requerido para la colocación de la pieza en posición, éste diagrama se va mejorando conforme se conoce el proceso.

## **5.4.2.- LISTAS DE ACTIVIDADES PARA COLOCACIÓN DE LOS BLOQUES.**

El proceso en estos puntos es repetitivo ya que una vez terminado el diagrama de flujo se realiza un listado de las actividades lo más detallada posible para la obtención de la cimentación del edificio.

Con base al diagrama de flujo de la figura 5 la lista con más detalle sería la siguiente

Determinación de la localización y orientación del edificio

Excavación para los cimientos y acondicionamiento del área

Búsqueda de la pieza

Acondicionamiento de la pieza

Colocación de los puntos de izaje de acuerdo a las características de la pieza

Traslado de la grúa para izar la pieza

Acomodo de la grúa para izar la pieza

Traslado de la grúa para colocación de la pieza

Acomodo de la grúa para la colocación de la pieza

Colocación de la pieza en el punto adecuado y con el nivel requerido

Una vez que la grúa termina la actividad de colocación deberá iniciar en el traslado para otra pieza.

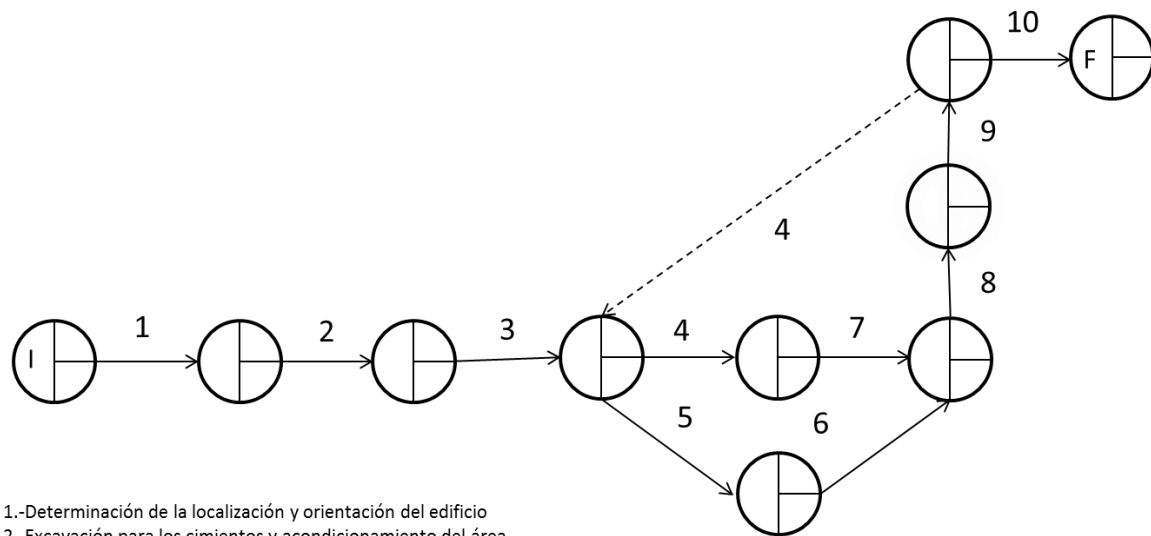
### **5.4.3.- DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE LAS ACTIVIDADES PARA COLOCACIÓN DE LOS BLOQUES.**

Se obtiene el tiempo de colocación de las piezas midiendo el tiempo de colocación de una pieza en diferentes puntos y niveles obteniendo tiempo mínimos, tiempo estimado o más probable y tiempos máximos, con los cuales es posible calcular el tiempo esperado del proceso de colocación de piezas, con esta actividad es posible calcular el tiempo estimado por medio de la fórmula 2 y ya es posible realizar la malla PERT.

### **5.4.4.- CREACIÓN DE MALLA PERT PARA LA COLOCACIÓN DE LOS BLOQUES.**

En conjunto con el diagrama de flujo, el listado de actividades y el tiempo estimado es posible dar forma a la malla PERT siguiendo los pasos de forma ordenada y lógica, colocando el tiempo estimado en cada uno de los nodos para la obtención de la ruta

crítica y el tiempo más probable y la probabilidad de la entrega de esta actividad. En esta representación gráfica es posible determinar los puntos de riesgo para ser mejorados.



- 1.-Determinación de la localización y orientación del edificio
- 2.-Excavación para los cimientos y acondicionamiento del área
- 3.-Búsqueda de la pieza
- 4.-Traslado de la grúa para izar la pieza
- 5.-Acondicionamiento de la pieza
- 6.-Colocación de los puntos de izaje de acuerdo a las características de la pieza
- 7.-Acomodo de la grúa para izar la pieza
- 8.-Traslado de la grúa para colocación de la pieza
- 9.-Acomodo de la grúa para la colocación de la pieza
- 10.-Colocación de la pieza en el punto adecuado y con el nivel requerido

**Figura 6** Malla PERT básica para la colocación de bloques

La figura 6 es una representación inicial del diagrama en el cual todavía no se colocan los tiempos y no se ha realizado la determinación de la ruta crítica. Estos datos se colocaran una vez que la tabla de actividades éste terminada y que los tiempos se encuentren calculados

### **5.4.5.- OBTENCIÓN DE LA HOLGURA PARA LA COLOCACIÓN DE LOS BLOQUES.**

Una vez obtenido el tiempo estimado es posible hacer el cálculo de la holgura observando de forma continua la malla PERT y el diagrama de flujo de proceso, es importante hacer modificaciones en las listas para obtener listas y tiempos acordes a las actividades realizadas. Con este paso se observan los puntos críticos del proceso y se pueden atacar.

Para el cálculo de la holgura se requieren los valores de tiempo estimado para cada una de las actividades que requiere el subproceso

Generando una tabla que deberá contener los siguientes datos

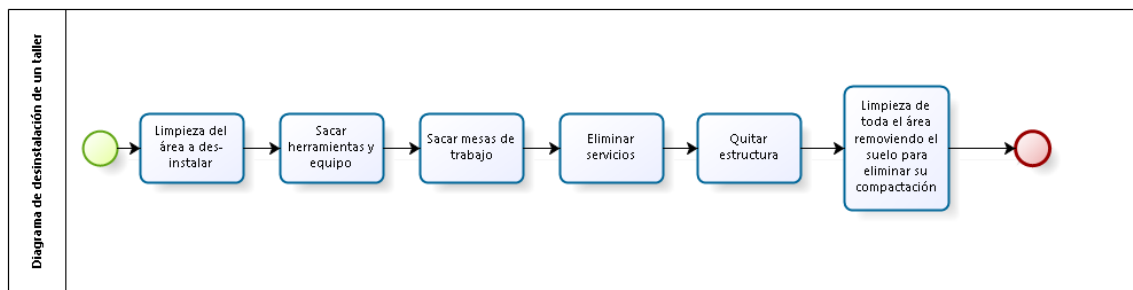
<b>Clave</b>	<b>Actividad Anterior</b>	<b>Tiempo mínimo</b>	<b>Tiempo esperado</b>	<b>Tiempo máximo</b>	<b>Tiempo estimado</b>	<b>Primera fecha</b>	<b>Última fecha</b>	<b>Holgura</b>
--------------	---------------------------	----------------------	------------------------	----------------------	------------------------	----------------------	---------------------	----------------

En donde hay que reconocer que actividades son anteriores y posteriores, ya que la determinación de los tiempos iniciales y finales tanto de la primera fecha y la última fecha dependen de éste, para hacer esto más sencillo es necesario usar las tablas de actividades y los diagramas. Una vez determinada la ruta crítica y la holgura es posible determinar el tiempo más probable de entrega de la instalación de la planta a través de un modelo estadístico.

## 5.5. DESINSTALACIÓN DE LA PLANTA DE FABRICACIÓN DE BLOQUES

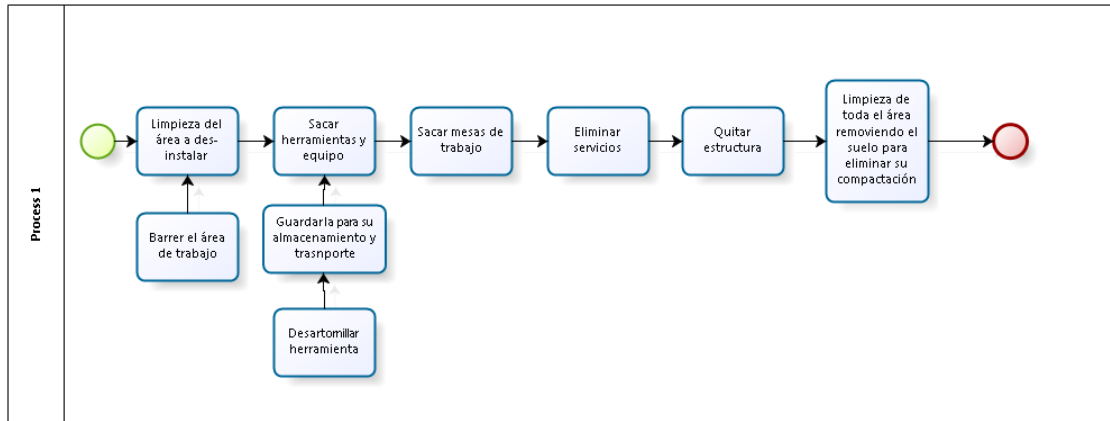
### 5.5.1 CREACIÓN DE DIAGRAMAS DE FLUJO PARA LA DESINSTALACIÓN DE LA PLANTA DE FABRICACIÓN.

Una vez que es terminado el último boque es posible iniciar la desinstalación de la planta para lo cual es necesario eliminar los sistemas de servicios en los puntos que se tenían, posteriormente eliminar techo, construcciones y al final remover la tierra del lugar, con el fin de que el área quede limpia de escombros, eliminando hasta la compactación realizada. Ya que es una planta ideal la desinstalación se determinó por medio de una secuencia lógica de desmonte con tiempos de instalación, por tener en cuenta que es material que puede ser reusado y deberá ser tratado con cuidado, de no ser así sería posible simplemente meter una máquina para limpiar el área con lo cual el tiempo se reduciría de días a horas, pero generaría residuos de manejo especial.



**Figura 7** Diagrama básico de flujo para la des-instalación de un taller cualquiera

Puede observarse que el diagrama es básico realizando la lista podrá ser más completo teniendo un diagrama como el que se muestra en la figura 8



**Figura 8** Malla PERT básica para la des-instalación de un taller

Este diagrama tiene más detalle, sin embargo le hace falta anexar los pasos que se requiere para la eliminación de los servicios con los que contaba para su funcionamiento, esta actividad tiende a ser interminable por la cantidad de detalle que se le puede colocar, para fines prácticos es necesario engrosar en algunos casos las actividades, ya que quitar tornillería o la explicación del embalaje de los equipos sería irrelevante para la actividad inicial, siempre que estos no consuman un tiempo acumulado mayor y entonces sean relevantes.

### **5.5.2.- LISTAS DE ACTIVIDADES PARA LA DESINSTALACIÓN DE LA PLANTA DE FABRICACIÓN.**

Las actividades deberán seguir al diagrama de flujo, con forme se van realizando la lista el diagrama de flujo puede ser modificado con el fin de agregar actividades faltantes para mejorar en lo posible el proceso. Una lista básica de ésta actividad es la siguiente

- 1.- Limpieza del área a des-instalar
- 2.- Sacar herramientas y equipo

- 3.- Sacar mesas de trabajo
- 4.- Eliminar servicios (luz, agua, drenaje)
- 5.-Quitar estructura
- 6.- Limpieza de toda el área y remover el suelo para eliminar su compactación

Al igual que en punto anterior esta lista puede ser tan detalla ¿cómo se requiera?, pero sin olvidar la importancia de los datos y de lo relevantes que pueden ser en el proceso

### **5.5.3.- DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE LAS ACTIVIDADES LA DESINSTALACIÓN DE LA PLANTA DE FABRICACIÓN.**

Para la desinstalación de la planta se tomó el tiempo de instalación de cada uno de los talleres y almacenes construidos. Se toman esos datos por no tener los datos reales de tiempo, ya que la planta nunca fue desinstalada en el tiempo que duró el proyecto.

De lo cual se genera la siguiente lista

1. Limpieza del taller
2. Sacar las herramientas del taller
3. Quitar las mesas de trabajo
4. Eliminar los servicios (eléctrico, drenaje, agua)
5. Eliminar techado
6. Eliminar postes
7. Empaquetar
8. Limpieza del área



#### **5.5.4.- CREACIÓN DE MALLA PERT PARA LA DESINSTALACIÓN DE LA PLANTA DE FABRICACIÓN.**

Terminada la lista se puede realizar una malla PERT básica, la cual solo presentara la línea de trabajo del proceso de desinstalación, pero una vez que se tienen los tiempos en conjunto con las listas y el diagrama de flujo se inicia la colocación de estos sobre las líneas y nodos de acuerdo al diagrama básico generando, a partir de este momento es posible establecer la ruta crítica de la malla y el tiempo de término del sub-proceso.

#### **5.5.5.- OBTENCIÓN DE LA HOLGURA PARA LA DESINSTALACIÓN DE LA PLANTA.**

Una vez terminado el diagrama de flujo y las listas con los tiempos estimados es posible calcular la holgura por medio de la fórmula 1 generando una tabla con los siguientes datos:

Tiempo mínimo, tiempo máximo, tiempo esperado o más probable y tiempo estimado siendo este último el requerido para iniciar el cálculo de tiempo de la primera fecha y última fecha de la sustracción de estas dos, si es igual a cero entonces se dice que el punto no tiene holgura obteniendo una tabla como se muestra a continuación.

<b>Clave</b>	<b>Actividad Anterior</b>	<b>Tiempo mínimo</b>	<b>Tiempo esperado</b>	<b>Tiempo máximo</b>	<b>Tiempo estimado</b>	<b>Primera fecha</b>	<b>Última fecha</b>	<b>Holgura</b>
--------------	---------------------------	----------------------	------------------------	----------------------	------------------------	----------------------	---------------------	----------------

El llenado de esta tabla nos permite observar que el tiempo en puntos determinados debe cumplirse o todo el proceso se verá comprometido, además de obtener la probabilidad de éxito de entrega en tiempo por medio de los valores como la media, la varianza y el cálculo de la probabilidad.

# 6. MARCO TEÓRICO

## 6.1. DIAGRAMAS.

Los diagramas son representaciones gráficas que permiten observar de forma sencilla cualquier procedimiento, existen diversos tipos de diagramas los cuales dependerán de su uso y el contexto para el que es usado; para describir de forma gráfica un proceso se pueden usar dibujos que representan los sub-procesos, dirección, insumos, sub-producto, producto terminado, maquinaria equipo, entre otros.

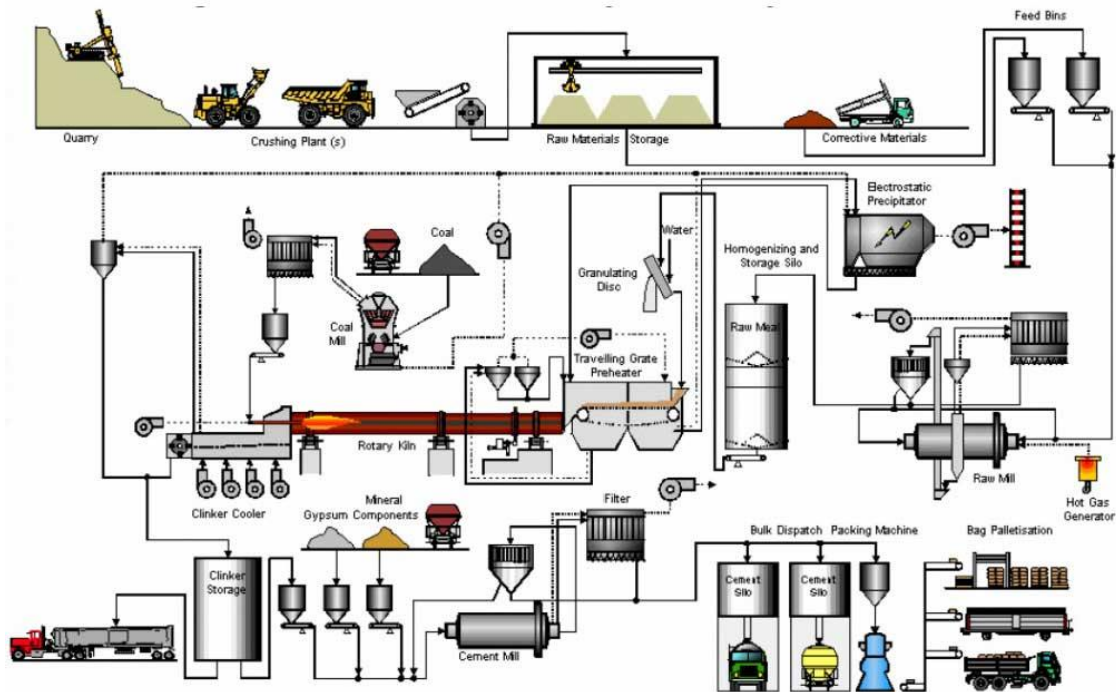


Figura 9. Diagrama de flujo del proceso de producción del cemento. Fuente: Formas de construcción, 2015.

También pueden observarse los pasos y algunos datos del proceso, otra forma de hacer representaciones graficas es usando diferentes tipos de connotación, una de las más usadas es el diagrama de flujo, muy popular para la programación, pero que puede ser

usado para describir procesos ya que permite la introducción de una mayor cantidad de datos (ADA consultores 2003).

## 6.1.1 DIAGRAMA DE FLUJO

El diagrama de flujo es una representación gráfica de los diferentes acontecimientos que se producen durante una serie de acciones u operaciones y que deberá contener o mostrar de forma sencilla la información, también pueden referirse a las operaciones e inspecciones, siempre que contengan los datos requeridos y sería entonces un diagrama de operaciones.

Éste tiene particular utilidad ya que muestra los trabajos realizados sobre un conjunto de piezas o componentes que constituyen un montaje, grupo o producto.

Los diagramas de procesos pueden representarse sobre hojas, principalmente cuando se trata de describir acontecimientos que atañen a más piezas. También es utilizado como instrumento para analizar los costos ocultos y permite reducir tiempos muertos y de almacenamiento. Un ejemplo de estos diagramas se muestra a continuación.

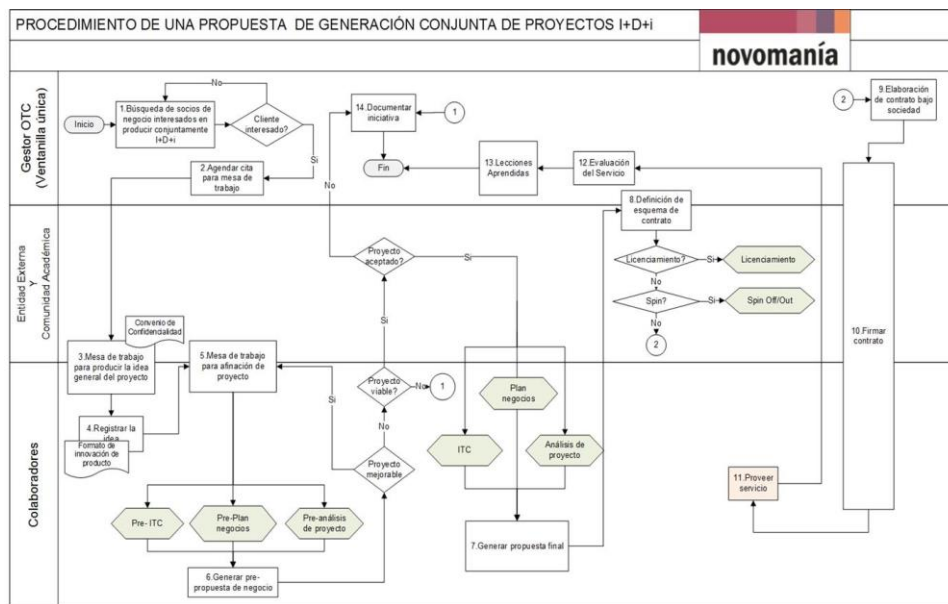


Figura 10. Diagramas de flujo fuente: novomanía.

Tienen varios objetivos ya sea para la visualización del proceso o del flujo, en los cuales se muestran las unidades administrativas (procedimiento general) o los puestos que intervienen (procedimiento detallado) para cada operación descrita, y puede indicar además, el equipo que se utilice en cada caso (Jairo Villa, 2015).

Por su parte el Diagrama de Flujo de Proceso (DFP) es una representación esquemática del proceso, sus condiciones de operación normal y su control básico. Este también indica los efluentes (líquidos, gases o sólidos) emanados del proceso y su disposición, además incluye el balance de masa e información para el diseño y especificación de equipos, también sirve de guía para desarrollar el Diagrama de Tubería e Instrumentación. No existe una simbología convencional totalmente aceptada, que satisfaga todas las necesidades. En función de los lineamientos con que cuente cada organización, ésta deberá definir los símbolos que va a utilizar para el desarrollo de sus métodos y procedimientos, lo importante es que cada organización estandarice sus propios criterios y lo identifique de forma clara, con el fin de que cualquiera pueda entender el diagrama.

### **6.1.1.1 INFORMACIÓN QUE DEBE CONTENER**

De acuerdo con Iván Vera (2013) la información mínima que debe contener los Diagramas de flujo de proceso (DFP) se en lista a continuación:

- a. Las características de las corrientes de alimentación, intermedias, retroalimentación y productos acabados se resumen en una tabla ubicada en la zona inferior del plano.
- b. La tabla contiene parte de los datos de proceso generados tales como:
  - Número de la corriente
  - Descripción de la corriente (ej. crudo de alimentación)
  - Flujo másico y/o flujo volumétrico

- Temperatura de operación
- Presión de operación
- Densidad o gravedad específica
- Viscosidad absoluta
- Estado físico.

Los datos de la tabla pueden variar de acuerdo al tipo de proceso. Es facultad del Ingeniero de Proceso, previa aprobación del Gerente del Proyecto, añadir o eliminar datos con el fin de manejar la información más relevante para el proceso que se diseñó. Los componentes de las corrientes y otras propiedades generalmente se presentaran en el documento “balance de masa y energía” y en el “sumario de propiedades de las corrientes”. (Leonardo 2014).

### **6.1.1.2 REGLAS DE ESTRUCTURACIÓN**

Marisol Galeano Duque (2014) con otros autores concuerdan en que una de las formas de estructuración debe manejar los siguientes pasos mínimos.

1. El sentido de un diagrama de flujo generalmente es de arriba hacia abajo.
2. En un símbolo solo puede entrar una flecha de flujo si varias líneas se dirigen al mismo símbolo, se deben unir en una sola flecha.
3. Las líneas de flujo no deben cruzarse, para evitar los cruces se utilizan los conectores.
4. De un símbolo, solo puede tener una línea de flujo.
5. El símbolo terminal, debe encontrarse dentro de la página.
6. Conector fuera de página solo pueden estar conectados al diagrama por una sola flecha, ya que por su naturaleza es imposible que tenga una entrada y una salida.
7. Los émbolos de decisión tendrán siempre una sola flecha de entrada y dos o tres flechas de salida según la cantidad de alternativas que se presentan.
8. Un diagrama de flujo debe estar completamente cerrado, teniendo una continuidad de principio a fin, no pueden quedar flechas sin conectar o símbolos sin conexión.

### 6.1.1.3 TIPO DE NOMENCLATURA PARA DIAGRAMAS DE FLUJO.

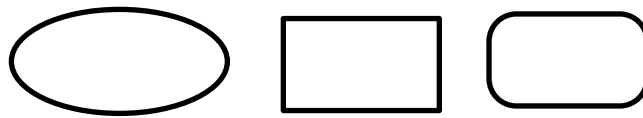
Es una práctica común hacer diagramas y alguna de la simbología utilizada que se puede observar en la tabla 1, como los símbolos y una pequeña descripción de cada uno de ellos.

**Tabla 1.** Símbolos y breve descripción de estos. Fuente: M. Ing. Norma, 2013

SÍMBOLO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
	OPERACIÓN	Indica las principales fases del proceso. Agrega, modifica, montaje, etc.
	INSPECCIÓN	Verifica la calidad y cantidad. En general no agrega valor.
	TRANSPORTE	Indica el movimiento de materiales. Traslado de un lugar a otro.
	ESPERA	Indica demora entre dos operaciones o abandono momentáneo.
	ALMACENAMIENTO	Indica depósito de un objeto bajo vigilancia en un almacén.
	COMBINADA	Indica varias actividades simultáneas.

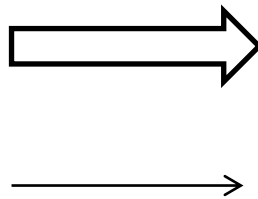
En la tabla anterior no se encuentran todos los símbolos que pueden estar presentes en un diagrama, a continuación se mencionan otros.

1. **PROCESO:** El primer componente de diagrama de flujo de datos se conoce como proceso. El proceso muestra una parte del sistema que transforman Entradas y Salidas. Algunos analistas prefieren usar un óvalo o un rectángulo con esquinas redondeadas, otros prefieren usar un rectángulo. Las diferencias entre estas tres formas son simplemente cosméticas. Es importante usar la misma forma de la manera consistente para representar todas las funciones de un sistema.



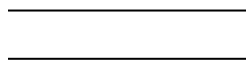
**Figura 10.** Diagramas de flujo

2. **FLUJO:** Este se representa gráficamente por medio de una flecha que entra y sale de proceso, el flujo se usa para describir el movimiento, materia prima, servicios auxiliares, subproductos o residuos. Los flujos también muestran la dirección: una cabeza de flecha en cualquier extremo del flujo indica si los datos (o el material) se está moviendo hacia adentro o hacia afuera. En los diagramas de flujo para procesos indican la dirección de los subproductos y con él se puede seguir el proceso de cada insumo observando el diagrama.



**Figura 11.** Diagramas de dirección

3. **ALMACÉN:** Se utiliza para modelar una colección de paquetes de datos en reposo. Se denota por dos líneas paralelas, de modo característico el nombre que se utiliza para identificar los paquetes que entran y salen del almacén por medios de flujo.



**Figura 12.** Diagramas de almacén



4. **TERMINADOR:** Se representa como un rectángulo, son figuras que se colocan al final, extremo del sistema o diagrama, no es posible que el analista o diseñador cambien el contenido de un de un terminador. (Galeano, 2014).



**Figura 13.** Diagrama de terminador

No existe una simbología totalmente aceptada que satisfaga todas las necesidades de la diagramación. Existen algunas asociaciones que generan esta simbología de acuerdo a sus necesidades, algunas de ellas son las que a continuación se mencionan.

- ISO 10628: Diagramas de flujo para plantas de proceso - Reglas Generales
- ANSI Y32.11: Símbolos gráficos para diagramas de flujo de procesos
- SAA COMO 1109: Símbolos gráficos para diagramas de flujo de procesos para la industria alimentaria.
- DIN 2420 Y 28004
- ASTM: American Society of Testing Materials F1000
- ASME: American Society of Mechanical Engineers
- MIL-STD: U.S. Military Standars
- PDVSA L-TP 1.1 PREPARACION DE DIAGRAMAS DE PROCESO

Los símbolos más usados son los propuestos por ASME, sin embargo ISO tienen una mayor cantidad de símbolos lo que hacen sea más completo. (Tangient, 2015).

Los diagramas representados con cualquiera de los lenguajes antes mencionados, nos permiten obtener de forma gráfica la línea de actividades que se deberán realizar para obtener un resultado determinado.

Sin embargo para conocer el tiempo de cada actividad y si ésta puede o no esperar más del tiempo determinado, fue creado *el diagrama o malla Técnicas de Revisión y Evaluación de Programas (PERT) que es una representación gráfica de las relaciones entre las tareas de un proyecto que permite calcular los tiempos del proyecto de forma sencilla.* (A. Collante Díaz, 1989 y Gabriel Baca Urbiana, 1995). El diagrama de flujo del proceso es una herramienta que permite generar la malla PERT, es una herramienta que tiene como objetivo complementar, con el fin de conocer los diferentes ramales y el proceso de forma rápida.

Para hacer una representación de malla PERT se requiere además de un diagrama de flujo, un listado de cada uno de los pasos requeridos del proceso y el tiempo que requiere cada actividad.

## **6.2 CÁLCULO DE TIEMPOS ESTIMADO POR ACTIVIDAD.**

El tiempo que requiere cualquier actividad siempre puede ser mejorado, si se tiene en cuenta que la tarea realizada o a realizar es un conjunto de pasos que lleva a una meta, por lo que es necesario no perder de vista el inicio y el objetivo de dicha tarea sea esta cualquiera, posteriormente es necesario hacer un listado de los pasos que permiten realizar de forma eficiente la actividad y hacer un análisis de los pasos seguidos.

Los tiempos para la realización de cada una de las actividades pueden ser tomada en situ, la probabilidad y la estadística son herramientas muy útiles cuando se trata de trabajar varios datos, para la obtención de los tiempos estimados se requiere primero de tiempos máximos, esperados y mínimos de cada una de las actividades. (Collante, 1989)

**Tiempo mínimo:** es el tiempo menor que requiere una actividad, esta deberá ser tomada observando principalmente, que la actividad fue sin contratiempos ni atrasos, se puede

decir que fue el mejor tiempo de la actividad realizada, este tiempo es conocido también como el tiempo ideal.

**Tiempo máximo:** El tiempo Máximo es el tiempo mayor que requiere cualquier actividad para llevarse a cabo, en donde deben tomarse en cuenta todos los retrasos posibles de la actividad, también es conocido como el tiempo pesimista, en éste tiempo es necesario tomar en cuenta la falta de material, el atraso, pérdida, no es el material correcto, que fue cortado incorrectamente o no sirve.

**Tiempo esperado:** El tiempo esperado es durante el cual la actividad fue realizada sin atrasos, es la tarea que se realiza de forma natural, es conocido también como el tiempo más probable.

**Tiempo estimado:** Esta evaluación maneja tiempos probabilísticos que se determinan por medio de un consejo o por el cálculo de tiempos esperados, usando la siguiente fórmula.

$$t_e = \frac{t_a + 4t_m + t_b}{6} \quad \text{Fórmula (2)}$$

En donde

$t_e$  tiempo estimado

$t_m$  tiempo más probable

$t_b$  tiempo mínimos

$t_a$  tiempo máximos

Ésta fórmula se apega mejor a las necesidades de la malla PERT, de acuerdo con los diseñadores del diagrama. (Jairo, 2013)

## 6.2.1 DESVIACIÓN ESTÁNDAR

La malla PERT está diseñada para determinar los mejores tiempos en una tarea determinada y la desviación estándar proporciona datos para entender cuál es la cantidad de tiempo que se espera tardará un proyecto en finalizar, obtenidas de la más alta probabilidad, “La definición de desviación estándar dice que es una de las medidas de dispersión que es indicativa de como los valores individuales pueden diferir de la media.” (Marques, 1990). Lo cual quiere decir: que la desviación estándar es un valor numérico que indica que tanto se encuentra fuera de lo normal con respecto a otro valor, por lo que se puede determinar que tanto se puede alejar dicho valor.

La fórmula que es usada para el cálculo de la desviación estándar es la siguiente:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{Fórmula (3)}$$

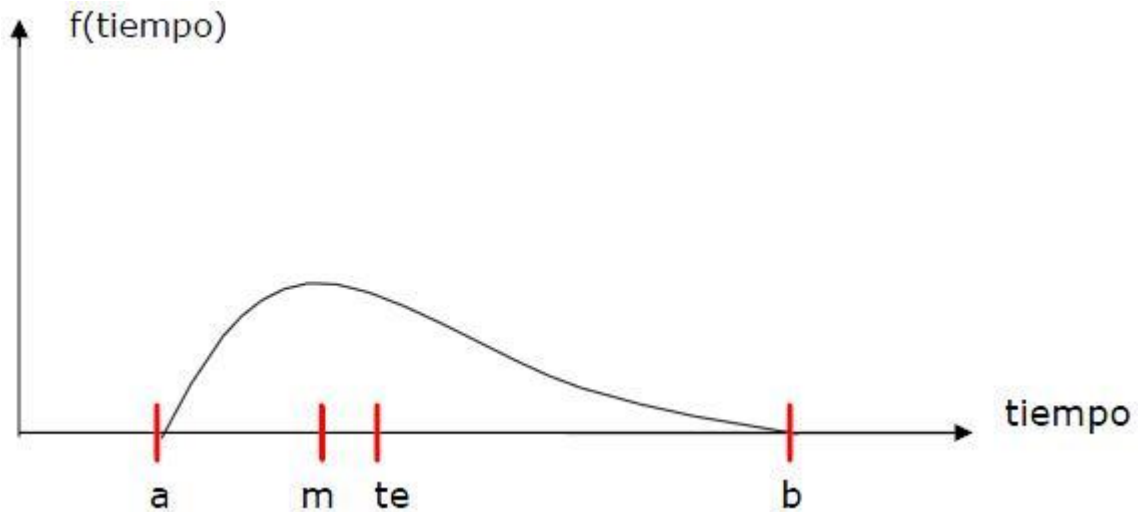
Donde  $n$  es el tamaño de la muestra y  $\bar{x}$  es la media aritmética de la muestra. La desviación estándar es la raíz cuadrada de la varianza; “la varianza (que es el cuadrado de la desviación estándar:  $\sigma^2$ ) se define de la siguiente manera: Es la media de las diferencias con la media elevadas al cuadrado” (Marques, 1990). La fórmula que la identifica es la siguiente:

$$\sigma^2 = \frac{t_b - t_a}{6} \quad \text{Fórmula (4)}$$

En donde  $t_b$  tiempo máximo  
 $t_a$  tiempo mínimo

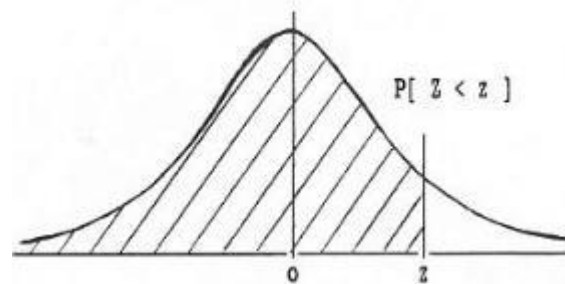
La malla PERT permite manejar la incertidumbre en el tiempo de término de las actividades. El tiempo (aleatorio) que requiere cada actividad está asociado a una función probabilística beta, que ha demostrado ser la que mejor modela la distribución del tiempo de duración de una actividad. A continuación se presenta un gráfico que muestra la

función de densidad de probabilidad para la función beta, la cual tiene una asimetría positiva. (PERT)



**Figura 14.** Grafica de función Beta.

Con esta información se puede obtener la probabilidad de completar el proyecto en un tiempo determinado, básicamente se determinan el porcentaje del área acumulada en una distribución normal para determinado valor de Z.



**Figura 15.** Distribución normal.

$$P \left[ Z \leq \left( \frac{T_d - T_{tp}}{\sigma} \right) \right] = \% \quad \text{Fórmula (5)}$$

P es la probabilidad de un suceso en porcentaje.

Z es la media aritmética de un evento determinado

Td es el tiempo determinado en el cual se espera suceda un evento determinado

Ttp es el tiempo total del proceso

$\sigma$  es la desviación estándar

En conclusión, la probabilidad de completar el proyecto en un tiempo determinado o menos es de un porcentaje obtenido de la fórmula 5

### 6.3. CÁLCULO PARA HOLGURA

De acuerdo con Gido y Clements (2012) para el cálculo de la ruta crítica es necesario además del uso del tiempo esperado hacer una tabla de tiempos iniciales y finales tanto al principio de cada actividad como al final de cada actividad quedando una tabla con los siguientes datos.

**Tabla 2.** Cálculo de holgura.

Código de la actividad	Actividad anterior	Tiempo esperado	Holgura	Tiempo Inicial		Tiempo Final	
				inicial	final	Inicial	final

En donde los tiempos dependen de la actividad anterior cuando hablamos de tiempo inicial y cuando hablamos de tiempo final la actividad que se encuentra después de la actividad, toda esta actividad permite calcular la holgura que es el gradiente de tiempo que retrasa una actividad.

Cuando es negativa indica una falta de actividad en todo el proyecto ya que no requerirá más tiempo para dicha actividad. Una holgura positiva representa la cantidad máxima de tiempo que las actividades de una ruta particular pueden retrasarse, sin poner en peligro la finalización del proyecto o proceso en el tiempo predicho.

Cuando la holgura es igual a cero indica que la actividad no debe atrasarse ya que prologa todas las actividades siguientes, por lo que se puede ver como la ruta crítica todos los pasos en los que la holgura es igual a cero. (Gido y Clemente, 2012)

La fórmula que permite realizar el cálculo de la holgura es la siguiente:

$$H = t_{ff} - t_{if} \quad \text{Fórmula (1)}$$

En donde:

H= holgura, es la resta de tiempos.

$t_{ff}$  se refiere al tiempo final final que requiere una actividad para ser realizada.

$t_{if}$  es el tiempo inicial final que requiere una actividad para ser realizada.

La holgura y la ruta crítica son semejantes ya que las dos muestran los puntos de un proceso por el cual el retraso en tiempo genera que los productos no se obtengan en un tiempo determinado, no hay que confundir que son lo mismo la ruta crítica determina la línea en la cual no deberá existir retraso para cumplir con el tiempo determinado y la holgura nos permite observar en cuales puntos se tiene un tiempo que permite un retraso de la actividad. Existen varias técnicas para localizar estos puntos, pero la malla PERT permite visualizar todo el proceso de forma gráfica.

## 6.4. MALLA PERT

La malla PERT se utilizaba en la programación de proyectos, fue desarrollado por la Armada de los Estados Unidos de América en 1958 para la planeación del proyecto Polaris. Se ha comentado en la literatura científica que este caso con la presencia de cerca de 3000 contratistas, el empleo de la malla PERT adelantó 2 años la fecha de terminación de la construcción de un submarino nuclear de alta potencia, pero hoy en día, la malla PERT se aplica de manera extensa tanto en el Gobierno como en la Industria. El Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América, la NASA y otras agencias gubernamentales, exigen a las compañías trabajar con esta herramienta en proyectos especiales. (Collante, 1989)

La malla PERT permite, observar cada una de las actividades y el tiempo que requiere cada una para posteriormente hacer la ruta crítica de cada proceso.

La malla o Diagrama PERT es una de tantas representaciones gráficas de las líneas de proceso, sin embargo en éste tipo de diagramas es posible ver los tiempos necesarios para cada actividad, su costo o la persona que se encarga de dicha tarea y en su momento determinar ¿cuál? Es la línea en la cual no deberán existir retrasos y determinar con esto las actividades críticas, además de observar los tiempos para mejorar la calendarización, de ser necesario y de revisar el avance una vez que el proyecto se realiza. Es una de las muchas herramientas de la Administración para tener una mejor eficiencia y eficacia a la hora de elaborar los procesos adecuados para determinadas estrategias o eventos que se tiene pensado hacer en un futuro. Por lo tanto es una herramienta que permite planificar y controlar el desarrollo de un proyecto o proceso.

Para Bilbao y Bejarano (2013) existen tres principios para dibujar la malla PERT:

1° Principio de sucesión progresiva se nombran a los vértices o nodos según los números naturales de manera que el número se asigna cuando se nombran todas las aristas que van a pasar por ellas. Se representa por medio de un círculo o un cuadro de los cuales salen flechas de una dirección llamadas aristas que determinan la acción.

2° Principio de unicidad del estado inicial y final. No existen más de un inicio y un final.



3° Principio de designación univoca no existen aristas con nodos de origen y de destino iguales.

### **6.4.1. DISEÑO DE LA MALLA PERT**

La malla PERT es útil cuando las actividades pueden ser realizadas en paralelo en lugar de secuencia el analista de sistemas puede beneficiarse de la malla PERT aplicándolo a los proyectos de sistemas a una escala más pequeña, especialmente cuando algunos miembros del equipo pueden estar trabajando en determinadas actividades al mismo tiempo que los compañeros pueden estar trabajando en otras. (Domínguez Díaz, 2016)

Se pueden comparar una gráfica de GANTT simple con una malla PERT. Las actividades, expresadas como barras en la gráfica de GANTT, son representadas por flechas en la malla PERT. La longitud de las flechas no tiene relación directa con la duración de las actividades. Los círculos de la malla PERT son llamados eventos, y pueden ser identificados con números, letras o cualquier otra forma arbitraria de información. Los nodos circulares están presentes para:

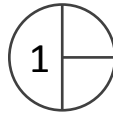
- (1) Reconocer que una actividad está terminada
- (2) Indicar cuales actividades necesitan ser terminadas antes de que pueda comenzar una nueva actividad (precedencia)

En realidad una actividad C no puede ser iniciada sino hasta que esté terminada la actividad A. La precedencia no es indicada en ninguna forma de la gráfica de GANTT, por lo que no es posible decir si la actividad C esta calendarizada para iniciarse en el día 5 por alguna razón particular o por coincidencia. Un proyecto tiene un inicio, una parte media y un final, siendo el inicio el evento 1 y el final el evento n. Para encontrar la longitud del proyecto se deben identificar cada ruta desde su principio a su final y se calcula la longitud de cada ruta. La actividad que presenta un valor numérico al hacer la sustracción de los tiempos final final y el final inicio que se encuentra en algunas rutas no críticas y es llamado tiempo de holgura. (Domínguez Díaz, 2016)

Para la generación de una malla PERT se requiere identificar entre muchos otros datos de acuerdo con Lagos (2004) los siguientes puntos:

**Evento:** Que es la actividad a realizar o actividades a realizar para la obtención de un producto y se observa en el interior del nodo y será numerado de forma arbitraria.

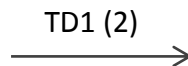
Ejemplo:



**Figura 16.** Nodo con el número de actividad

**Actividad:** Es el tiempo requerido para el evento mencionado anteriormente y se escribe en la parte superior de la flecha o aristas de dirección, junto con la clave que la identifica, el tiempo se coloca dentro del paréntesis.

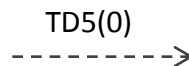
Ejemplo:



**Figura 17.** Flecha de dirección de actividad, unión de nodos

**Actividad ficticia:** Es un tiempo igual a cero, para no modificar los tiempos y se coloca con flechas discontinuas y es usado solo para marcar eventos que no existen.

Ejemplo:



**Figura 18.** Flecha de dirección de actividad ficticia

## 6.4.2 DETERMINACIÓN DE LA RUTA CRÍTICA

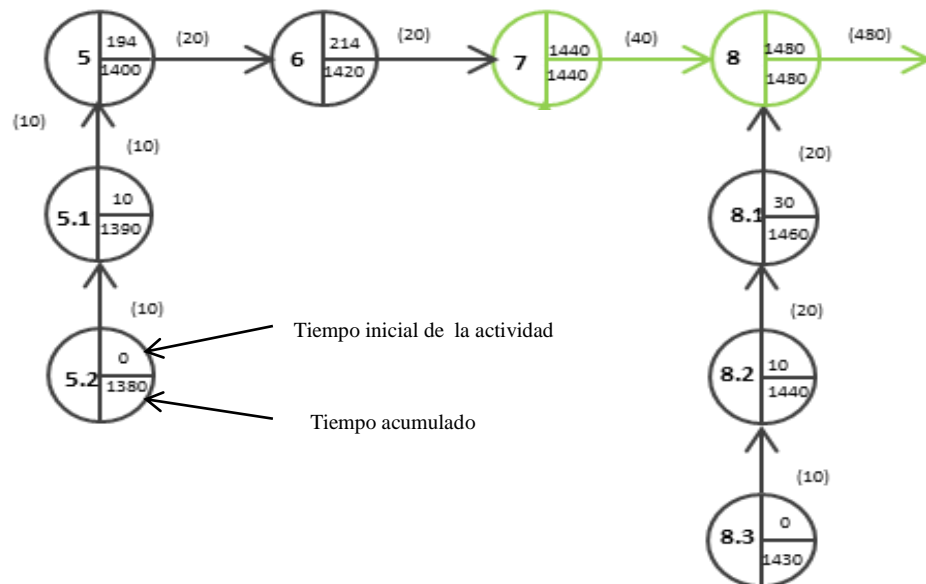
Lagos (2004) y Villa (2015) hablan de la RUTA CRÍTICA y dicen que muestra las actividades que deben realizarse para que el proyecto entero termine a tiempo. Es muy importante optimizar los recursos, evitar tiempos muertos de personas y equipos.

Para determinar la ruta crítica existen varias técnicas una es la holgura en la cual se identifica por medio de los puntos en donde la resta de los tiempos finales diferentes a cero.

En la malla PERT la ruta crítica se obtiene con la sustracción del tiempo acumulado inicial y el tiempo acumulado final por evento; con un resultado igual a cero, esta es la línea más larga del proyecto.

Una vez realizada la malla con los tiempos de cada actividad se realiza la resta de los valores de cada nodo.

Ejemplo:



**Figura 19.** Fragmento de malla PERT que muestra la ruta crítica en color verde.

En el nodo 5.2 se tiene un valor de cero que indica el inicio de la actividad y de 1,380 que indica la resta del tiempo acumulado final; la resta de estos dos valores no es cero por lo tanto no es parte de la ruta crítica, al igual que los nodos 5.1, 5, 6, 8.1, 8.2 y 8.3, en los cuales la diferencia no es igual a cero.

En la tabla 3 se representan los valores de la resta de cada nodo para observar si es o no parte de la ruta crítica.

**Tabla 3.** Ruta crítica para una malla PERT.

<b>Nodo</b>	<b>Tiempo acumulado inicial de actividad</b>	<b>Tiempo acumulado final de actividad</b>	<b>Resta de los tiempos</b>	<b>Ruta crítica</b>
5.2	0	1380	$0-1380=1380$	No
5.1	10	1390	$10-1390=1380$	No
5.0	194	1400	$194-1400=1206$	No
6	214	1420	$214-1420=1206$	No
7	1440	1440	$1440-1440=0$	Si
7.1	0	0	$0-0=0$	Si
8	1480	1480	$1480-1480=0$	Si
8.1	30	1460	$30-1460=1430$	No
8.2	10	1440	$10-1440=1430$	No
8.3	0	1430	$0-1430=1430$	No

Los nodos en los cuales se observa un valor de cero en la sustracción del tiempo acumulado inicial de la actividad y el tiempo acumulado final de la actividad están marcados de color verde, que identifican la ruta crítica.

Actualmente la malla PERT se usa en muchas actividades y proyectos; de los cuales la industria de la construcción no es la excepción. Uno de los materiales que son un punto crítico para esta rama es el cemento y los aditivos que se les colocan a estos para disminuir los tiempos de producción.

## 6.5. CEMENTO

El cemento es una mezcla de caliza que se obtiene de la calcinación de arcilla y minerales de hierro (1,450°C). El producto del proceso de calcinación es el clinker principal ingrediente del cemento que se muele finamente con yeso y otros aditivos químicos.

“El cemento es un material inorgánico finamente molido que mezclado con agua, forma una pasta que endurece por medio de reacciones y procesos de hidratación y que, una vez endurecido conserva su resistencia y estabilidad incluso bajo el agua.” (IECA, 2015)

El endurecimiento del cemento se debe principalmente a la hidratación de los silicatos de calcio, aunque también pueden participar en el proceso otros compuestos químicos, como los aluminatos, los óxidos de calcio y los dióxidos de silicio

Los cementos están compuestos de diferentes materiales que adecuadamente dosificadas mediante un proceso de producción controlado, le proporcionan las cualidades físicas, químicas y de resistencias.

Existen, desde el punto de vista de composición normalizada, dos tipos de componentes:

*Componente principal:* Material inorgánico, especialmente seleccionado, usado en proporción superior al 5% en masa respecto de la suma de todos los componentes principales y minoritarios.

*Componente minoritario:* Cualquier componente principal, usado en proporción inferior al 5% en masa respecto de la suma de todos los componentes principales y minoritarios.

Por tratarse de una mezcla el cemento depende de las proporciones de sus componentes para la obtención de sus características.

## 6.5.1 DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES Y CLASIFICACION DEL CEMENTO.

Algunos de los productos de la mezcla que compone al cemento se describen a continuación al igual que su porcentaje y contenido.

### **Caliza (L)**

*Especificaciones:*  $\text{CaCO}_3 \geq 75\%$  en masa.

Contenido de arcilla  $< 1.20$  g/100 g.

Contenido de carbono orgánico total  $\leq 50\%$  en masa.

### **Caliza (LL)**

*Especificaciones:*  $\text{CaCO}_3 \geq 75\%$  en masa.

Contenido de arcilla  $< 1.20$  g/100 g.

Contenido de carbono orgánico total  $\leq 20\%$  en masa.

### **Cenizas volátiles calcáreas (W)**

Las cenizas volátiles se obtienen por precipitación electrostática o mecánica de partículas pulverulentas arrastradas por los flujos gaseosos de hornos alimentados con carbón pulverizado. La ceniza volátil calcárea es un polvo fino que tiene propiedades hidráulicas y/o puzolánicas.

Composición:  $\text{SiO}_2$  reactivo,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y otros compuestos.

*Especificaciones:* Ca O reactivo > 10% en masa si el contenido está entre el 10% y el 15% las cenizas volátiles calcáreas con más del 15% tendrán una resistencia a compresión de al menos 10 Mpa a 28 días SiO<sub>2</sub> reactivo ≥ 25%. Expansión estabilidad ≤ 10 mm

Pérdida por calcinación ≤ 5% en masa si está entre el 5% y 7% en masa con respecto a la suma de todos los componentes. (Pueden también aceptarse, con la condición de que las exigencias particulares de durabilidad, y principalmente en lo que concierne a la resistencia al hielo, y la compatibilidad con los aditivos, sean cumplidas conforme a las normas o reglamentos en vigor para hormigones o morteros en los lugares de utilización)

### **Cenizas volátiles síliceas (V)**

Las cenizas volátiles se obtienen por precipitación electrostática o mecánica de partículas pulverulentas arrastradas por los flujos gaseosos de hornos alimentados con carbón pulverizado. La ceniza volátil sílicea es un polvo fino de partículas esféricas que tiene propiedades puzolánicas.

Composición química: SiO<sub>2</sub> reactivo, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y otros compuestos.

*Especificaciones:* (SiO<sub>2</sub>) reactivo ≥ 25% CaO reactivo < 10% en masa  
CaO libre < 1% en masa si el contenido es superior al 1% pero inferior al 2.5% es también aceptable con la condición de que el requisito de la expansión (estabilidad) no sobrepase los 10 mm

Pérdida por calcinación < 5% en masa si el contenido está entre el 5% y 7% en masa con respecto a la suma de todos los componentes pueden también aceptarse, con la misma condición de las cenizas volantes calcáreas.

### **Clínker (K)**

El clínker de cemento portland es un material hidráulico que se obtiene por síntesis de una mezcla específica con precisión de materias primas (crudo, pasta o harina).

Composición química: Ca O, Si O<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub> O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub> O<sub>3</sub> y otros compuestos.

*Especificaciones:*  $(\text{Ca O}) / (\text{SiO}_2) \geq 2$

$\text{Mg O} \leq 5\%$

$3\text{Ca O} \cdot \text{Si O}_2 + 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \geq 2/3$

### **Clínker Aluminato de Calcio**

El clínker de cemento de aluminato de calcio es un material hidráulico que se obtiene por fusión o síntesis de una mezcla homogénea de materiales aluminosos y calcáreos conteniendo elementos, normalmente expresados en forma de óxidos, siendo los principales los óxidos de aluminio, calcio y hierro (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), y pequeñas cantidades de óxidos de otros elementos (SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, S=, SO<sub>3</sub>, Cl-, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, etc.). El componente mineralógico fundamental es el aluminato mono cálcico (CaO Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

### **Escoria granulada de horno alto (S)**

La escoria granulada de horno alto se obtiene por enfriamiento rápido de una escoria fundida de composición adecuada, obtenida por la fusión del mineral de hierro en un horno alto.

Composición química: CaO, SiO<sub>2</sub>, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y otros compuestos.

*Especificaciones:* Fase vítrea  $\geq 2/3$

$\text{CaO} + \text{MgO} + \text{SiO}_2 \geq 2/3$

$(\text{CaO} + \text{MgO}) / (\text{SiO}_2) > 1,0$



### **Esquistos calcinados (T)**

El esquisto calcinado, particularmente el bituminoso, se produce en un horno especial a temperaturas de aproximadamente 800°C y finamente molido presenta propiedades hidráulicas pronunciadas, como las del cemento Portland, así como propiedades puzolánicas.

Composición: SiO<sub>2</sub>, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y otros compuestos.

*Especificaciones:* Resistencia a compresión a 28 días  $\geq 25$  MPa

La expansión estabilidad  $\leq 10$  mm

**NOTA:** Si el contenido en sulfato del esquisto calcinado excede el límite superior permitido para el contenido de sulfato en el cemento, esto debe tenerse en cuenta por el fabricante del cemento reduciendo convenientemente los constituyentes que contienen sulfato de calcio.

### **Puzolana natural (P)**

Las puzolanas naturales son normalmente materiales de origen volcánico o rocas sedimentarias de composición silíceo o silico-aluminosa o combinación de ambas, que finamente molidos y en presencia de agua reaccionan para formar compuestos de silicato de calcio y aluminato de calcio capaces de desarrollar resistencia.

Composición química: SiO<sub>2</sub> reactivo, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO y otros compuestos.

*Especificaciones:* SiO<sub>2</sub> reactiva  $> 25\%$

### **Puzolana natural calcinada (Q)**

Las puzolanas naturales calcinadas son materiales de origen volcánico, arcillas, pizarras o rocas sedimentarias activadas por tratamiento térmico.

Composición química:  $\text{SiO}_2$  reactivo,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  y otros compuestos.

*Especificaciones:*  $\text{SiO}_2$  reactiva > 25%

### **Humo de Sílice (D)**

El humo de Sílice se origina por la reducción de cuarzo de elevada pureza con carbón en hornos de arco eléctrico, para la producción de silicio y aleaciones de ferrosilicio, y consiste en partículas esféricas muy finas.

*Especificaciones:*  $\text{SiO}_2$  amorfo  $\geq 85\%$

Pérdida por calcinación  $\leq 4\%$  en masa

Superficie específica BET  $\geq 15 \text{ m}^2/\text{g}$ .

La combinación de los componentes hacen una mezcla única y con diferentes características físicas, hidráulicas y mecánicas, una de las mezclas comerciales más comunes es la conocida como cemento Portland el cual está constituido por silicatos y aluminatos de calcio, estos compuestos se forman por la asociación química de diferentes óxidos tales como el óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ), que se representa químicamente en forma abreviada por la letra C, la sílica ( $\text{Si O}_2$ ) que se representa por S, la alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) que se representa por A y el óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) representado por F. Los compuestos principales resultado del proceso de fusión química en el horno son cuatro, sus nombres, formulas químicas abreviadas y abreviaciones comunes se citan en la tabla 4.

**Tabla 4.** Tabla de los compuestos con su fórmula química y abreviatura (IECA, 2015).

Compuesto	Fórmula química	Abreviatura
Silicato tricálcico	3CaO · SiO <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> S
Silicato dicálcico	2CaO · SiO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> S
Aluminato tricálcico	3CaO Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> A
Alumino ferrito tetracálcico	4Ca Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>4</sub> AF

Adicionalmente se forman compuestos secundarios como MgO, SO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O y otros. Los dos últimos óxidos, el de potasio y el de sodio se conocen como los álcalis del cemento, normalmente estos compuestos se restringen en un 0.6% por peso en forma combinada, esta restricción obedece a que arriba de este porcentaje y bajo condiciones ambientales favorables, los álcalis reaccionan en forma expansiva con algunos agregados de origen volcánico, provocando la desintegración del concreto. Para producir un cemento Portland se espera que la presencia de los diferentes óxidos se encuentre dentro de los rangos indicados por la tabla 5

**Tabla 5.** Porcentajes de óxido en peso de los diferentes compuestos con respecto al rango que compone al cemento Portlan. (IECA 2015).

% de Óxidos (peso)	Rango
CaO	60-67
SiO <sub>2</sub>	17-25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3-8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5-6.0
Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	0.2-1.3
MgO	0.1-4.0
Cal libre	0-2
SO <sub>3</sub>	1-3

Como se puede observar, los óxidos de calcio y de sílice son los más abundantes en los cementos, su variación en porcentaje, al igual que la de los demás óxidos está regida por las proporciones de los ingredientes en bruto alimentados al proceso de producción, pequeñas variaciones en los porcentajes de óxidos arrojan variaciones muy importantes

en los compuestos principales del cemento. Las variaciones en porcentaje de los compuestos principales definen los diferentes tipos de cemento que se conocen.

Algunos de los tipos de cemento Portland convencionales usados en las obras de ingeniería civil según los porcentajes de sus compuestos se muestran en la tabla 6.

**Tabla 6.** Compuestos en porcentaje de con respecto a las abreviaturas de la tabla 4.

Tipo de cemento	Compuesto en porcentaje			
	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>2</sub> AF
Normal	50	24	11	8
Moderado	42	33	5	13
Resistencia Rápida	60	13	9	8
Bajo Calor	26	50	5	12
Resistente a sulfatos	40	40	4	9

Por las características de manejo, durabilidad, resistencia y flexibilidad, estas mezclas realizadas son las más populares en el mercado independientemente de que empresa lo fabrique.

## 6.5.2 USOS DEL CEMENTO

El cemento es el material de construcción más utilizado en el mundo. Aporta propiedades útiles y deseables, tales como resistencia a la compresión (el material de construcción con la mayor resistencia por costo unitario), durabilidad y estética para una diversidad de aplicaciones de construcción. Algunas de las propiedades de los productos basados en cemento son:

**Hidráulicas** La reacción de la hidratación entre el cemento y el agua es única: el material fragua y luego se endurece. La naturaleza hidráulica de la reacción permite que el cemento hidratado se endurezca aún bajo el agua.

**Estéticas** Antes de fraguar y endurecerse, el cemento hidratado presenta un comportamiento plástico. Por lo tanto, se puede vaciar en moldes de diferentes formas y figuras para generar arquitecturas estéticamente interesantes, que serían difíciles de lograr con otros materiales de construcción.

**Durabilidad** Cuando se usa correctamente (por ejemplo, con buenas prácticas de diseño de mezclas de concreto) el cemento puede formar estructuras con una vida de servicio larga que soporte los cambios climáticos extremos y agresiones de agentes químicos.

**Acústicas** Utilizadas con un diseño adecuado, los materiales basados en cemento pueden servir para un excelente aislamiento acústico.

### **6.5.3 ADITIVOS EN EL CEMENTO**

Las características del cemento dependen de la mezcla que lo conforma, para la venta comercial del producto, se utiliza de forma general la mezcla portland y si una empresa cualquiera requiere de una condición diferente, ya sea secado, durabilidad o resistencia mecánica generalmente se usan productos llamados aditivos, los aditivos son sustancias químicas que pueden ser naturales o manufacturadas.

La popularización de los concretos, provocó que la industria química y de la construcción buscara alguna forma de modificar las propiedades de la mezcla y que estas cumplan con las necesidades de los procesos de construcción y de edificación. En 1870 se identificaron compuestos que aceleran la hidratación y otros que la retardan, algunos de los aditivos existentes actualmente se mencionan a continuación

## **Plastificantes**

Tienen la función de hacer que la mezcla de cemento se vuelva más líquida, por lo tanto disminuye la cantidad de agua, ya que provoca que las partículas se repelan entre sí por lo que exista menos resistencia al flujo del conjunto (menos fricción), además de la eliminación de floculo que mejora la distribución de agua y de aumentar la resistencia en estado endurecido, aunado a que al disminuir la cantidad de agua y cemento también disminuye el costo sin afectar la calidad de la mezcla.

## **Plastificados retardantes**

Son productos que sirven cuando debe enviar la mezcla a un lugar lejano y las condiciones de temperatura principalmente son muy altas, no se usa de forma muy común actualmente a este tipo de aditivos también se les coloca estabilizadores que hacen que la mezcla sea manejable sin aumentar mucho el tiempo de fraguado manteniendo las características de fluido y manipulación requerida.

## **Súper plastificantes**

Son productos muy parecidos a los plastificantes pero estos se usan cuando la capacidad de los plastificantes ha llegado a su máximo, son usados cuando se requiere de alta resistencia y alto contenido de mezcla; al principio se usaron compuestos de naftenos, melaninas y vinilos. Estas moléculas orgánicas e inorgánicas basan su funcionamiento en la dispersión de la siguiente forma

- a. La repulsión electrostática entre las partículas.
- b. Lubricación de la película existente entre las partículas de cemento.
- c. Dispersión de las partículas de cemento (liberando el agua atrapada entre los floculos del cemento).
- d. Inhibición del cemento.
- e. Cambio de morfología de los productos de hidratación
- f. Inducción de impedancia estérica previniendo el contacto entre partículas.

Un producto de nueva generación son los policarboxilatos, que son de una estructura química más compleja, pero su eficiencia es superior además de que no depende de las

fuerzas eléctricas. Este tipo de moléculas tienen una estructura tan compleja que vista en forma tridimensional asemeja a una oruga, con una cadena principal (estructura de cadena vertebral) de la cual salen otras cadenas muy largas y complejas haciendo una gran estructura. La cadena principal o columna vertebral es absorbida por las partículas de cemento con lo cual mejora su interacción con agua. Esto es, la química de la columna vertebral (número, tipo de grupos aniónicos y la longitud de cadena) puede dar o conferir un poder plastificante mayor o menor según se requiera o en su defecto puede aumentar o disminuir su manejabilidad. El desempeño de un polímero como dispersante del cemento, depende de controlar la absorción, la cantidad de moléculas absorbidas, el espesor de la capa de polímeros y el grado de cobertura de la superficie.

Es muy importante no perder de vista que los productos químicos pueden ser manejables siempre que no se olviden las interacciones y en este caso no es la excepción para estos aditivos los cementos con alto contenido de  $C_3A$ , provoca que los policarboxilatos se plastifiquen menos y su manejo en prefabricados se complique (la mezcla se hace espesa), para los cementos de bajo contenido de  $C_3A$ , los policarboxilatos plastifican menos pero son más manejables durante el premezclado (la mezcla se hace líquida).

### **Acelerantes**

La velocidad de la reacción entre el clinker con el agua, es denominada como la tasa de hidratación y esta puede ser alterada o modificada agregando algunas sustancias químicas las cuales se denominan acelerantes con dos propósitos principales.

1. Disminuir el tiempo de fraguado.
2. Incrementar la resistencia temprana.

Un aditivo acelerante de fraguado es aquel que disminuye el tiempo de transición de la mezcla de estado plástico a estado rígido.

La norma NMXC-255-ONNCCE-2005 basada en la ASTM C494 clasifica los aditivos por tipo de aditivo químico, a continuación solo se hablara de tipo C y E que aumentan el tiempo de hidratación de la mezcla con lo cual disminuye el tiempo de fraguado, los otros tipos de aditivos químicos no son relevantes para este trabajo, ya que se refieren a otro tipo de característica agregada al cemento, ya sea dureza o resistencia a diferentes climas.

Tipo C acelerante para concreto.

Tipo E reductor de agua y acelerante para concreto.

Las bases químicas de los acelerantes C y E son variados, las cuales pueden ser tanto sales orgánicas como inorgánicas entre las que se encuentran.

Hidróxidos	Cloruros, Bromuros, Fluoruros	Nitratos, Nitrilos
Carbonatos	Tiocianatos	Sulfatos
Tiosulfatos	Percloratos	Silicatos
Aluminatos	Ácidos carboxílicos	Alcanolaminados

De forma comercial se dividen en dos grupos los clorados (con ion cloro) y los no clorados (no incluyen ion cloro), Los aditivos que contienen el ion cloro son más eficientes, sin embargo la características químicas del cloro implican corrosión en las estructuras de armado, por lo que se han tenido que regular a través de Normas para su uso. De los productos más usados con base en cloruro se encuentra el cloruro de calcio, cloruro de sodio y cloruro de aluminio, este aditivo disminuye a la mitad del tiempo en el cual el concreto alcanza la misma resistencia mecánica con un 3% de la dosis de acelerante.

Los acelerantes sin cloro están basados en nitrilos ( $\text{NO}_2$ ), nitratos ( $\text{NO}_3$ ) o tiocianatos y no tienen problemas con la corrosión del acero.

Los ácidos de tiocianato de calcio o sodio, deben ser adicionados con cierto cuidado y siguiendo las condiciones de fabricantes para evitar la corrosión, tiene un efecto reducido sobre el tiempo de fraguado pero da un impacto evidente sobre el perfil de endurecimiento.

### **Incorporadores de aire**

Los incorporadores de aire como su nombre lo indican es un producto que adicionará pequeñas (microscópicas) burbujas de aire durante la mezcla, estas burbujas mejoran la resistencia a los daños que pueden ocasionar el congelamiento y o el deshielo.



## **Impermeabilizantes**

La permeabilidad como la absorción capilar depende, sobre todo, del tamaño de los poros mientras que la difusión depende principalmente de la interconexión de la red porosa (Olliver J.P. 1992). Para disminuir la capacidad de permeabilidad se debe entonces reducirse la porosidad, los aditivos impermeabilizantes dependen de la penetración de agua bajo presión (disminuye el coeficiente de permeabilidad de Darcy) o impidiendo el transporte de líquidos al interior del material por capilaridad o difusión.

Existen dos formas de reducir esta característica una es repeler el agua y sellar internamente la estructura de vacíos, sin embargo esto puede disminuir la resistencia estos productos son jabones, butilestereatos, algunos aceites minerales y emulsiones asfálticas.

Otras sustancias que pueden proporcionar esta cualidad al cemento son sus propios componentes con una variación de porcentajes (cenizas volátiles, pulzolanas y la microsíllice, pero su uso es restringido, ya que también se pueden ver comprometidas otras características)

Esta mezcla llamada cemento se generó para con las características que permite ser usado en la construcción tanto de naves para la producción de todos los productos que se encuentran en el mercado como para las viviendas de los trabajadores de estas. En pocas palabras para todo tipo de edificación. La construcción en sus diferentes rubros de uso, busca la forma de mejorarla ya sea por el tiempo o por los materiales usados, pero siempre trata de generar una mejor y más barata forma de construcción, para una mayor ganancia

## **6.6 PREFABRICADOS**

Los prefabricados parecen ser un tema moderno, sin embargo esta actividad en la cual se permite hacer una construcción de forma rápida y eficiente no es nada moderna, recordando un poco la historia la creación de viviendas ésta determinada primitivamente

por los recursos encontrados en el sitio de asentamiento entre los cuales se encuentran madera, piedras y mezcla de tierra del lugar con agua, sábila y la choza que no solo cumplía con dar refugio además era móvil, un ejemplo se muestra la figura 20.



**Figura 20** choza o Tipi americano. Fuente Dreamstime.com

Para las civilizaciones que tenían asentamientos más grandes y permanecían en estos por tiempos prolongados, la mezcla básica de caliza con ceniza volcánica permitía una amalgama adecuada para la construcción de edificaciones, más resistentes y más duraderas como se muestra en la figura 21



**Figura 21.** Viviendas con caliza y piedra. Fuente: Dreamstime.com

El tabique es un prefabricado muy utilizado para la construcción, que al unirse con la mezcla de cemento genera una vivienda sólida, posteriormente con el auge de los metales las varillas dan una estructura más eficiente que soporta una gran cantidad de peso dando resistencia y cierta flexibilidad a la construcción, con lo cual se generan grandes edificaciones.

La existencia de fábricas y la economía centralizada en las grandes ciudades también genera la necesidad de vivienda, dando un nuevo reto a los arquitectos e ingenieros civiles teniendo que producir casas en un tiempo mínimo con un bajo costo. Así es como surge la prefabricación, un proceso industrial de producción de elementos o partes de una construcción en una fábrica para después instalar o montar.

Tiene ventajas este tipo de construcción algunas de ellas son:

- 1.- La construcción se convertiría en una actividad que puede realizarse en serie.
- 2.- No se requiere de mano de obra especializada.
- 3.- Entrega de la vivienda en menor tiempo.
- 4.- Ahorro de materiales utilizados en obra.
- 5.-Reducción de los residuos de la construcción.
- 6.- Los prefabricados se construirían con materiales de la misma calidad.
- 7.-En algunos casos, la vivienda podría ser totalmente desmontada para reubicarla.
- 8.-Casas o viviendas económicas
- 9.-Permite modificar y observar los tiempo de cada una de las actividades generando más control en todo el proceso. (ARQHYS 2012)

La tecnología se aplica también en la construcción al generar nuevos materiales de construcción, los cuales serán más eficientes, menos pesados y sin la necesidad de requerir a un experto en herramientas y construcción para realizar la obra.

Los materiales para los prefabricados van evolucionando siendo anteriormente hechos por medio de cemento y arena, metal o madera.

La clásica casa de madera que puede ser también prefabricada y construida de forma sencilla al colocar una viga sobre otra hasta formar la o las habitaciones pertinentes.



**Figura 22** Casa prefabricada de madera sin armar. Fuente: blog de arquitectura de casas

Como se muestra en la figura 23 una vez colocadas todas las piezas se observa una casa lista para ser habitada.



**Figura 23** Casa prefabricada de madera armada Fuente: blog de arquitectura de casas

Posteriormente con la creación de nuevos materiales provoca la evolución de los prefabricados. Se podría hacer un listado interminable de materiales ya que estos son tan

diversos como la imaginación, sin embargo este tipo construcción no deja de ser muy parecida a la tradicional.

Actualmente los prefabricados no solo son vigas, tabiques o estructuras de soporte; también son muros o techos completos.

Existe una gran diversidad de materiales prefabricados que se pueden encontrar en el mercado un ejemplo es el polipanel unión de metal y espuma de poliuretano



**Figura 24** Polipanel. Fuente: Polipanel

Permite hacer construcciones ligeras siendo un material que no requiere de mano de obra calificada para su uso, sin embargo el costo de construcción no es competitivo.

Plásticos; con una base de cemento se enclavan varillas y se acoplan paneles de plástico generando varios diseños, siempre que se encuentren en la limitante de su tamaño.



**Figura 25** Construcción con paneles de plástico. Fuente ICF ECO-Block.

El sistema ICF ECO-Block se compone de dos tipos de plástico: poliestireno expandido (EPS) y plástico de alta densidad. Cada bloque tiene dos paneles laterales y mide 1,219 mm de largo por 406 mm de alto por 64 mm de espesor. Estos paneles laterales son de combustión lenta EPS. (Vilssa 2013)

Las estructuras son mucho más ostentosas requiriendo ser también más grandes, la necesidad de ser más rápida y eficiente genera ideas de bloques más grandes generalmente hechas de cemento u hormigón con un material que de resistencia y flexibilidad a la estructura. Un ejemplo es la empresa **COSOL**, la cual genera grandes estructuras que son ensamblables dando como resultado departamentos, escuelas, oficinas de forma sencilla y en un tiempo mínimo de entrega.



**FIGURA 26** transporte y colocación de estructuras prefabricadas para la construcción. Fuente COSOL

La estructura se transporta en tráiler y se coloca por medio de una grúa en la posición requerida para la generación de los cuartos, al final solo se realiza el terminado de la construcción.

La necesidad de disminuir los costos para una casa pequeña y dada la geografía del país la llegada de estos bloques lo hace complicado por lo que se regresa a la idea de ensamble de pequeños bloques que se acoplan de forma tal que no requiere una gran cantidad de cemento para unirlos solo se colocan varillas y se coloca un poco de cemento en puntos estratégicos para dar resistencia a la estructura.



**Figura 27** Bloques omega. Block ARMO, Fuente: Armados omega S.A.

Este tipo de estructuras permite ahorro en material, el costo de ésta es competitivo a la construcción tradicional y permite hacer la vivienda en horas sin requerir personal especializado para su armado.

## **7. ANTECEDENTES**

### **7.1 HERRAMIENTAS MATEMÁTICAS EN LA INDUSTRIA**

El uso de las herramienta matemáticas en la industria inicia en el año 1950 con el planteamiento del problema del ejército norteamericano para la creación de un submarino realizado en el menor tiempo posible, con esto se crea la técnica de programación, evaluación y revisión (PERT) a la par DUPONT genera el método de ruta crítica (CPM). Actualmente existen más de una herramienta matemática que permite a la industria mejorar sus materiales y recursos tanto económicos como humanos. En la ingeniería industrial menciona la maestra Silvia Melbi Gaona Jimenez (2015), profesora de tiempo completo de la carrera de ingeniería Industrial en su artículo las matemáticas en acción en la ingeniería industrial que el uso de métodos matemáticos permiten mejorar los tiempo de producción así como mejorar distribución de plantas industriales, diseño de logística, de manejo de materiales, calendarizaciones, por mencionar algunas. El doctor José Humberto Loría Arcila (2000) con especialidad en ingeniería civil en su escrito programación de obras con la técnica de la línea de balance, recomienda el uso de éstas herramientas matemáticas, con el fin de mejorar los tiempo de producción de un proceso de construcción. En el 2012 la UPEMOR inicia en conjunto con la empresa constructora planificadora desarrolladora PLAD S.A. de C.V. el proyecto de desarrollo y validación del prototipo innovador de viviendas prefabricadas desmontables basado en la patente 283076; este proyecto estuvo a cargo de la M.I. Valeria Davila Solano y del M.B.T. Carlos Díaz Gómez; el cual constó de cuatro etapas, Etapa I 2012, Etapa II 2013, Etapa III 2014, Etapa IV 2015.



Este método PERT no es muy utilizado por la industria de la construcción por la gran cantidad de datos que maneja, sin embargo es una opción que permite ver los puntos críticos del proceso sin la necesidad de tener en marcha el proceso y obtener la probabilidad de entrega en un tiempo o periodo de tiempo determinado.

## **7.2 TIEMPO DE CONSTRUCCIÓN ÓPTIMO.**

La existencia de empresas como **construye hogar** dedicadas a la construcción de viviendas maneja el armado de una casa de dos pisos en hormigón en 8 días, sin tomar en cuenta la nivelación del piso y sus dimensiones; la creación de edificaciones con prefabricados se encuentra en varios rubros. En Cuautla se construyó la escuela primaria Gregorio Torres Quintero en aproximadamente 71 días con una infraestructura de dos edificios de tres plantas, aula de cómputo, dos módulos de sanitarios, dos direcciones, dos cooperativas y una cancha de usos múltiples. Dicha construcción realizada por COSOL (construction solutions).

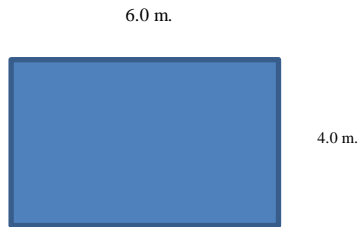
## **8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Se realizaron todos los diagramas de flujo, dejando ver en cada uno los pasos a seguir para la realización de la instalación de la planta, la creación de los diferentes bloques, armado del edificio y desinstalación de la planta. Una vez terminados cada uno de las mallas PERT fue necesario unir todas y se generó una malla PERT general del proceso, esta actividad permitió conocer el proceso de forma detallada además de ser uno de los entregables solicitados por la empresa contratante.

Una de las características de este trabajo de tesis es su carácter confidencial por lo que solo se presentara la instalación de un taller, la fabricación de una pieza del proceso (el descanso que será representativa de todas las demás), la colocación del descanso y la desinstalación del taller de habilitados y con el fin de que se observe mejor el proceso completo se realizara la malla PERT con todos los componentes antes mencionados.

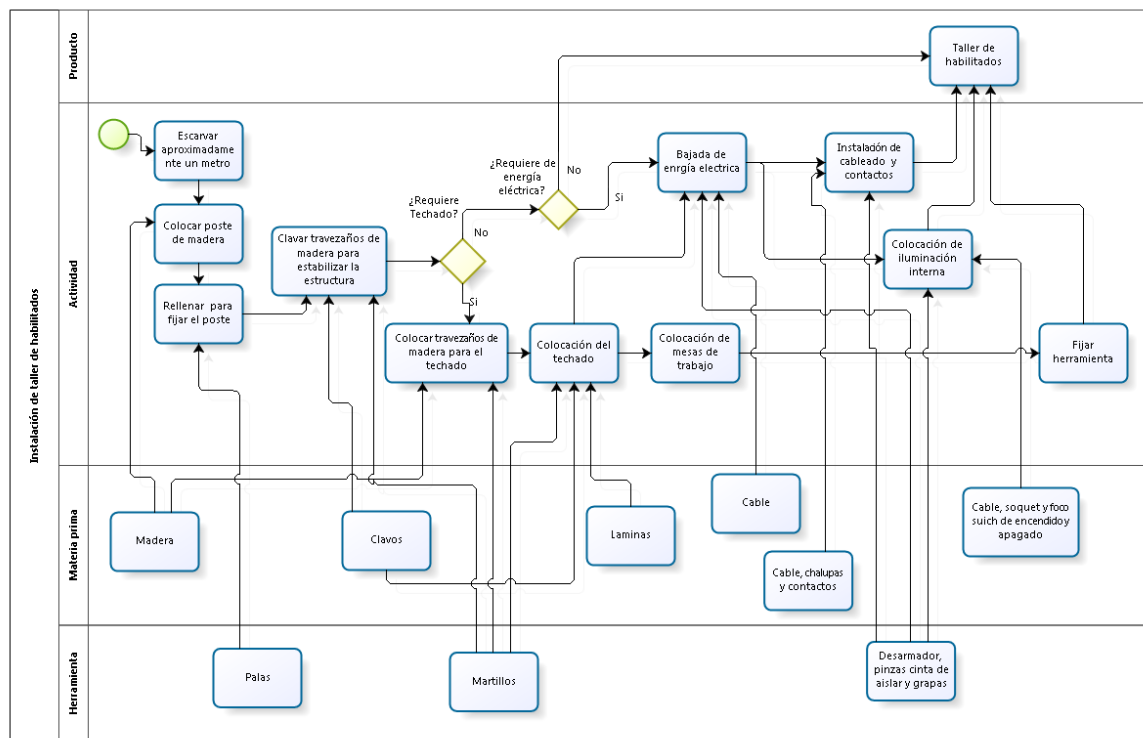
### **8.1 INSTALACIÓN DEL TALLER DE HABILITADO**

Existen tres talleres de habilitado en los cuales se hace corte y dimensionamiento de los diferentes materiales como varillas, lamina de acero, ángulo y malla termo formada los cuales deberán ser cortados y doblados con las dimensiones determinadas para el molde para el cual serán requeridos. Éste taller deberá contar con energía eléctrica y luz en el interior. Deberá contar con techo, pero no requiere de muros, contiene en la parte interna mesa de trabajo de 3 metros por 0.90 m de ancho y un metro de altura y una cortadora de disco fija a la mesa, cizallas, cortadoras de cuchilla, tubo para doblado y herramienta menor como martillos, pinzas y amarradores. Con un tamaño propuesto de 6 X 4 metros.



**Figura 28** Tamaño propuesto del taller de habilitados.

Para cargar la estructura del techo se colocaran 16 postes en total y el laminado para el techo la instalación de energía se realizará a través de cableado provisional generando el siguiente diagrama de flujo.



**Figura 29** Diagrama de flujo para la instalación del taller de habilitados

Con los datos y el diagrama es posible hacer un listado con el cual se obtendrán los tiempos mínimo, máximo y más probable. Obteniéndose la tabla 7 en la cual se reflejan los datos más representativos de cada actividad.

**Tabla 7** Tiempos esperados por actividad para la instalación de un taller de habilitados.

ACTIVIDAD	T1 (MIN)	T2 (MIN)	T3 (MIN)	T4 (MIN)	T5 (MIN)	T6 (MIN)	Promedio de tiempo
Ubicación	90	120	91	89	75	90	90
Compactación del área	422	410	470	434	410	461	432
Colocación de postes de soporte	327	330	399	324	344	400	350
Colocación de travesaños	640	449	525	506	440	320	480
Soporte de techado	200	220	240	238	245	237	235
Colocar techumbre	210	209	200	218	300	203	210
Instalación eléctrica	18	21	15	30	25	16	20
Bajada para conexión de aparatos eléctricos	10	8	13	15	8	10	10
Bajada para iluminación	12	15	9	11	8	8	10
Instalación de mesas de trabajo	60	51	47	40	49	45	48
Colocación de herramientas eléctricas fijas	145	120	149	148	150	138	145

Se identifican los tiempos mínimos y los máximos en color azul y verde respectivamente, con el resto de los valores se realiza el cálculo del tiempo esperado para poder obtener el tiempo estimado con la fórmula 2 con lo cual obtenemos la tabla 8 que se muestra a continuación.

**Tabla 8** Cálculo de tiempo para la instalación de un taller de habilitados.

Actividad	Tiempo determinado (min)	Tiempo Mínimo (min)	Tiempo Máximo (min)	Tiempo estimado (min)
Ubicación	90	75	120	93
Compactación del área	432	410	470	432
Colocación de postes de soporte	350	324	400	354
Colocación de travesaños	480	320	640	480
Soporte de techado	235	200	240	230

**Tabla 8** Cálculo de tiempo para la instalación de un taller de habilitados (continuación).

Actividad	Tiempo determinado (min)	Tiempo Mínimo (min)	Tiempo Máximo (min)	Tiempo estimado (min)
Colocar techumbre	210	200	300	223
Instalación eléctrica	20	15	30	21
Bajada para conexión de aparatos eléctricos	10	8	15	11
Bajada para iluminación	10	8	15	11
Instalación de mesas de trabajo	48	40	60	49
Colocación de herramientas eléctricas fijas	145	120	150	142

Una vez que se tiene el tiempo estimado es posible realizar la tabla que determina la holgura para lo cual se requiere de identificar las actividades por clave para hacer una tabla más sencilla obteniendo la tabla 9. Con el fin de acotar las actividades y no hondar demasiado en detalles en los cuales se podría perder el objetivo se supone que los materiales para la construcción ya tienen el tamaño adecuado y se encuentran en el lugar de uso, al igual los equipos.

**Tabla 9** Actividad con clave para la instalación del taller de habilitados

Clave	Actividad
THA 4	Ubicación
THA 5	Compactación del área
THA 6	Colocación de postes de soporte
THA 7	Colocación de travesaños
THA 8	Soporte de techado
THA 9	Colocar techumbre
THA 10	Instalación eléctrica

**Tabla 9** Actividad con clave para la instalación del taller de habilitados (continuación)

Clave	Actividad
THA 10.1	Bajada para conexión de aparatos eléctricos
THA 10.2	Bajada para iluminación
THA 11	Instalación de mesas de trabajo
THA 12	Colocación de herramientas eléctricas fijas

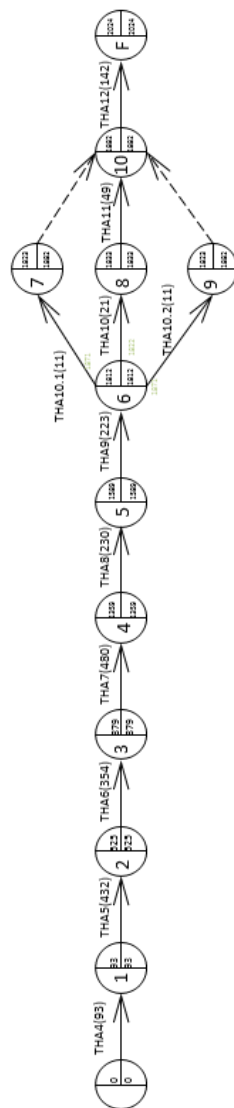
Una vez realizado este paso es posible obtener la holgura por medio de la relación entre actividades que se encuentran antes y después de la actividad, con éste dato se obtienen el tiempo final inicial y final final con los cuales al sustituir en la fórmula 5 se obtiene el tiempo que de un retraso de permitido sin poner en riesgo el producto final, con lo cual se generó la tabla 10.

**Tabla 10** Tabla de holgura para la instalación de un taller de habilitados

CLAVE	ACTIVIDAD ANTERIOR	TIEMPO ESTIMADO (min)	PRIMERA FECHA		ÚLTIMA FECHA		HOLGURA
			TIEMPO ACUMULADO DE INICIO (min)	TIEMPO ACUMULADO FINAL (min)	TIEMPO ACUMULADO DE INICIO (min)	TIEMPO ACUMULADO FINAL (min)	
THA 4		93	0	93	0	93	0
THA 5	THA4	432	93	525	93	525	0
THA 6	THA5	354	525	879	525	879	0
THA 7	THA6	480	879	1359	879	1359	0
THA 8	THA7	230	1359	1589	1359	1589	0
THA 9	THA8	223	1589	1812	1589	1812	0
THA 10	THA9	21	1812	1833	1812	1833	0
THA 10.1	THA10	11	1833	1844	1871	1882	38
THA 10.2	THA10	11	1833	1844	1871	1882	38
THA 11	THA10	49	1833	1882	1882	1882	0
THA 12	THA11	142	1882	2024	1882	2024	0

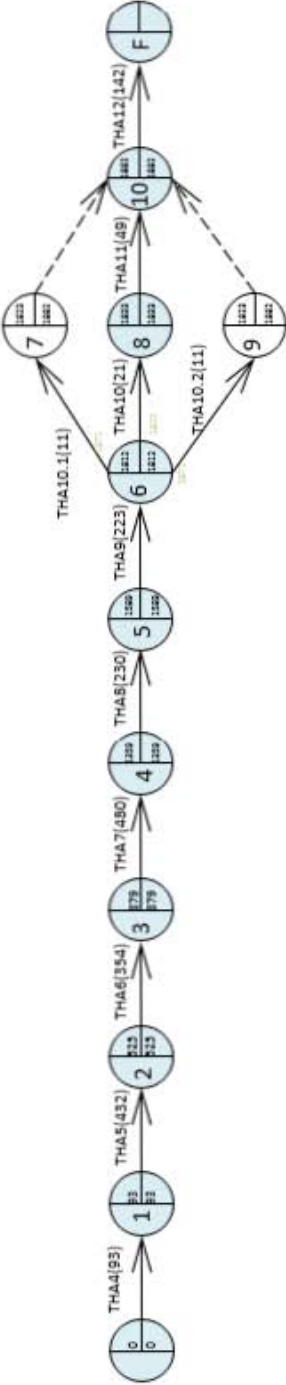
Esta tabla muestra que solo en dos puntos del proceso existe holgura, los cuales se refieren a las bajadas de energía eléctrica que se requiere para los equipos y para el sistema de iluminación del taller, esto indica que estas actividades puede presentar un retraso de 38 minutos para poder hacer una entrega en tiempo de todo el proceso.

Este proceso tiene la característica de ser casi lineal, ya que requiere que una actividad se realice para poder inicial la siguiente lo cual se observa mejor en la malla PERT, por lo que la línea principal concuerda con la ruta crítica.



**Figura 30** Malla PERT con ruta crítica para colocación del taller de habilitados

Una vez que se obtiene la malla se realiza la determinación de la ruta crítica y se calcula el tiempo acumulado, el cual para esta actividad es de 1.4 días. En la figura 33 se observan los nodos por los cuales pasa la ruta crítica de color azul.

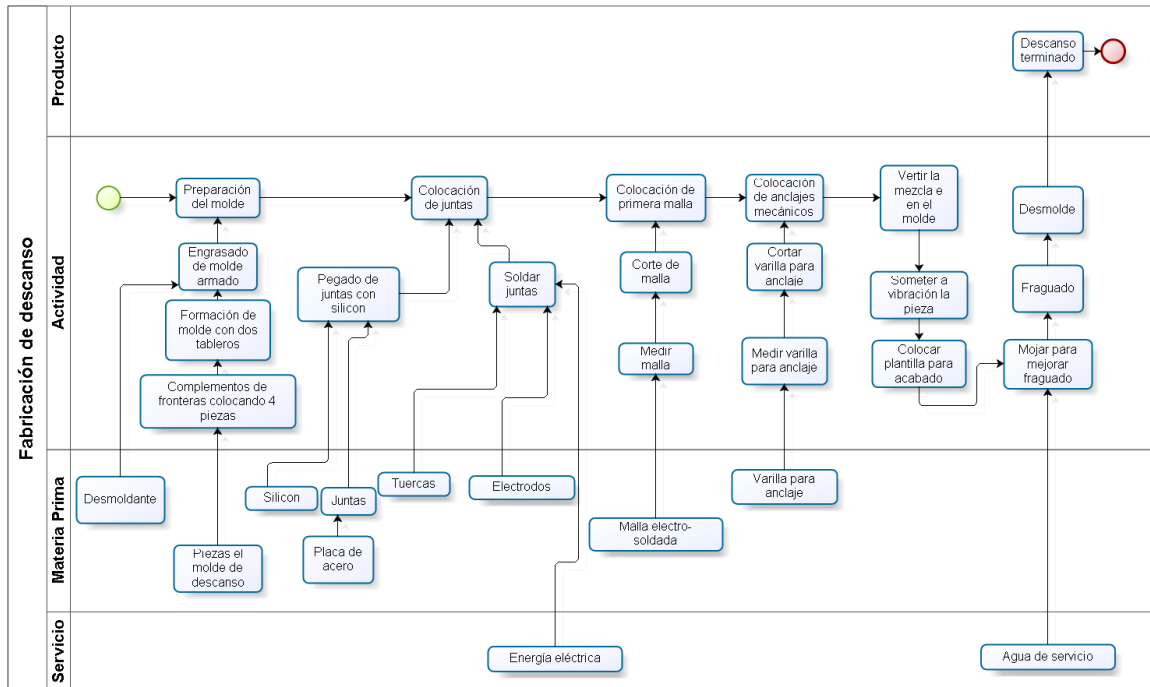


**Figura 31** Malla PERT con ruta crítica para colocación del taller de habilitados con ruta crítica



## 8.2 FABRICACIÓN DEL DESCANSO DE LAS ESCALERAS.

A continuación se muestra un el diagrama de flujo para la realización del descanso de las escaleras:



**Figura 31** Diagrama de flujo para la fabricación de descanso.

El diagrama de flujo de la fabricación del descanso es uno de los diagramas más simple que se realizaron. De los diagramas más complicados y complejos fueron los muros.

Una vez que se tiene parte del proceso es posible listar los pasos y tomar los tiempos que requiere cada una de las actividades generándose la tabla 11, en la cual se observan los tiempos cronometrados de dichas actividades.

**Tabla 11** Tiempos esperado por actividad para la fabricación del descanso de la escaleras

ACTIVIDAD	T1 (MIN)	T2 (MIN)	T3 (MIN)	T4 (MIN)	T5 (MIN)	T6 (MIN)	Promedio de tiempo
Colocación de molde con tablero y fronteras	43	45	39	38	39	39	40
Formación de moldes	23	15	21	20	19	20	20
Colocación de desmoldante	9	11	10	15	9	8	10
Colocar juntas	20	26	24	30	25	25	25
Pegar juntas con silicón							1440
Soldar juntas	23	35	23	21	30	20	24
Colocar malla termosoldada	24	29	19	18	19	19	20
Cortar malla termosoldada	18	22	23	20	19	18	20
Medir malla termosoldada	23	21	19	20	15	19	20
Colocación de anclajes mecánicos	30	29	27	30	30	35	30
Cortar varilla para anclaje	25	20	24	30	26	26	25
Medir varilla para anclaje	20	21	21	20	25	15	21
Verter mezcla	8	13	9	10	11	11	10
Colocar segunda malla	24	29	19	18	19	19	20
Cortar malla termosoldada	18	22	23	20	19	18	20
Medir malla termosoldada	23	21	19	20	15	19	20
Verter mezcla	8	13	9	10	11	11	10
Colocación de plantillas para acabado	11	11	14	9	9	8	10
Vibrador	12	14	8	9	9	9	10
Acabado cara superior	11	11	14	9	9	8	10
Mojar	11	15	12	8	6	8	10
Fraguado	12960	11520	14400	14400	21600	14400	14040
Izado	40	38	38	33	32	30	35
Desmolde	55	41	35	54	54	50	50

No se tomaron los tiempos de pegado de juntas con silicón, ya que los operadores mencionaron que debe ser de 24 horas, si es menor no se adhiere de forma correcta y cuando es mayor tiende a despegarse, este tiempo deberá ser corroborado por la zona en la cual se colocara la planta de producción, para éste trabajo de tesis por el calor de la zona el tiempo queda fijo en 24 hr.

El tiempo máximo y mínimo se toman directamente de los obtenidos e identificados en verde y azul respectivamente.

Para el tiempo esperado no se tomaron en cuenta (se descartan los valores máximos y mínimos), y se promedian los valores restantes que se observan en la tabla 11.

Con los datos anteriormente mostrados y la fórmula 2 se obtiene el tiempo estimado que según los creadores de malla PERT, se denomina también como el tiempo más probable. Obteniendo la tabla 12.

**Tabla 12.** Cálculo de tiempo estimado para la fabricación del descanso de las escaleras.

ACTIVIDAD	TIEMPO MÍNIMO (MIN)	TIEMPO ESPERADO (MIN)	TIEMPO MÁXIMO (MIN)	TIEMPO ESTIMADO (MIN)
Colocación de molde con tablero y fronteras	38	40	45	41
Formación de moldes	20	20	23	21
Colocación de desmoldante	8	10	15	11
Colocar juntas	20	25	30	25
Pegar juntas con silicón	1440	1440	1440	1440
Soldar juntas	20	24	35	25
Colocar malla termosoldada	18	20	29	21
Cortar malla termosoldada	18	20	23	20
Medir malla termosoldada	15	20	23	20
Colocación de anclajes mecánicos	27	30	35	30
Cortar varilla para anclaje	20	25	30	25
Medir varilla para anclaje	15	21	25	21
Verter mezcla	8	10	13	10
Colocar segunda malla	18	20	29	21
Cortar malla termosoldada	18	20	23	20
Medir malla termosoldada	15	20	23	20
Verter mezcla	8	10	13	10
Colocación de plantillas para acabado	8	10	14	10
Vibrador	8	10	14	10
Acabado caras superior	8	10	14	10
Mojar	6	10	15	10

**Tabla 12.** Cálculo de tiempo estimado para la fabricación del descanso de las escaleras (continuación).

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>TIEMPO MÍNIMO (MIN)</b>	<b>TIEMPO ESPERADO (MIN)</b>	<b>TIEMPO MÁXIMO (MIN)</b>	<b>TIEMPO ESTIMADO (MIN)</b>
Fraguado	11520	14040	21600	14880
Izado	30	35	40	35
Desmolde	35	50	55	48

El tiempo total de la fabricación del descanso por este medio haciendo la suma de los tiempos estimados y la cantidad de piezas elaboradas es de 11.59 días, sin tomar en cuenta la ruta crítica solo el tiempo acumulado.

Para la obtención de la holgura además del tiempo estimado es necesario no perder de vista el diagrama de flujo ya que mostrará las actividades anteriores y posteriores de cada actividad, que son muy importantes para determinar la holgura. Se identifica cada actividad por una clave generándose la tabla 13.

**Tabla 13** Actividad con clave para la fabricación del descanso.

CLAVE	ACTIVIDAD
FD1	Colocación de molde con tablero y fronteras
FD2	Formación de moldes
FD3	colocación de desmoldante
FD4	Colocar juntas
FD4.1	pegar juntas con silicon
FD5	soldar juntas
FD6	colocar malla termosoldada
FD6.1	cortar malla termosoldada
FD6.2	medir malla termosoldada
FD7	colocación de anclajes mecánicos
FD7.1	cortar varilla para anclaje
FD7.2	medir varilla para anclaje
FD9.1	verter mezcla
FD11	colocar segunda malla
FD11.1	cortar malla termosoldada
FD11.2	medir malla termosoldada
FD13	verter mezcla
FD14	colocación de plantillas para acabado
FD15	vibrador
FD16	acabado caras superior
FD17	mojar
FD18	fraguado
FD19	izado
FD20	desmolde

Una vez colocadas las claves es posible hacer la tabla 14 de holgura quedando.

**Tabla 14** Tabla de holgura para la fabricación del descanso de las escaleras.

CLAVE	PESEDE	TIEMPO ESTIMADO (min)	PRIMERA FECHA		ULTIMA FECHA		HOLGURA
			TIEMPO ACUMULADO DE INICIO (min)	TIEMPO ACUMULADO DE FINAL (min)	TIEMPO ACUMULADO DE INICIO (min)	TIEMPO ACUMULADO DE FINAL (min)	
FD1	FD3	40	1519	1559	1519	1559	0
FD2		20	0	20	0	20	0
FD3	FD5	10	1509	1519	1509	1519	0
FD4	FD2	25	20	45	20	45	0
FD4.1	FD4	1440	45	1485	45	1485	0
FD5	FD4.1	24	1485	1509	1485	1509	0
FD6	FD6.1	20	50	70	1539	1559	1489
FD6.1	FD6.2	20	30	50	1539	1559	1509
FD6.2	FD2	10	20	30	1529	1539	1509
FD7	FD7.1	30	1605	1635	1605	1635	0
FD7.1	FD7.2	25	1580	1605	1580	1605	0
FD7.2	FD1	21	1559	1580	1559	1580	0
FD9.1	DF7	10	1635	1645	1635	1645	0
FD11	DF9.1, FD11.1	20	1645	1665	1645	1665	0
FD11.1	FD11.2	25	1615	1640	1620	1645	5
FD11.2	FD7.1	10	1605	1615	1610	1620	5
FD13	FD14	10	1675	1685	1675	1685	0
FD14	FD11,FD9.1	10	1665	1675	1665	1675	0
FD15	FD13	10	1685	1695	1685	1695	0
FD16	FD15	10	1695	1705	1695	1705	0
FD17	FD16	10	1705	1715	1705	1715	0
FD18	FD17	4320	1715	6035	1715	6035	0
FD19	FD18	35	6035	6070	6035	6070	0
FD20	FD19	50	6070	6120	6070	6120	0

En la tabla 14 en la columna de holgura se observan los valores diferentes de cero en las actividades como:

En la colocación de malla termosoldada, primera malla que serán las actividades en las cuales el proceso podrá tener retrasos sin afectar el proceso total con un tiempo de un día.

En la colocación de la segunda malla el tiempo de holgura disminuye drásticamente a 5 minutos.

La malla PERT propuesta es la se observa en la figura 32

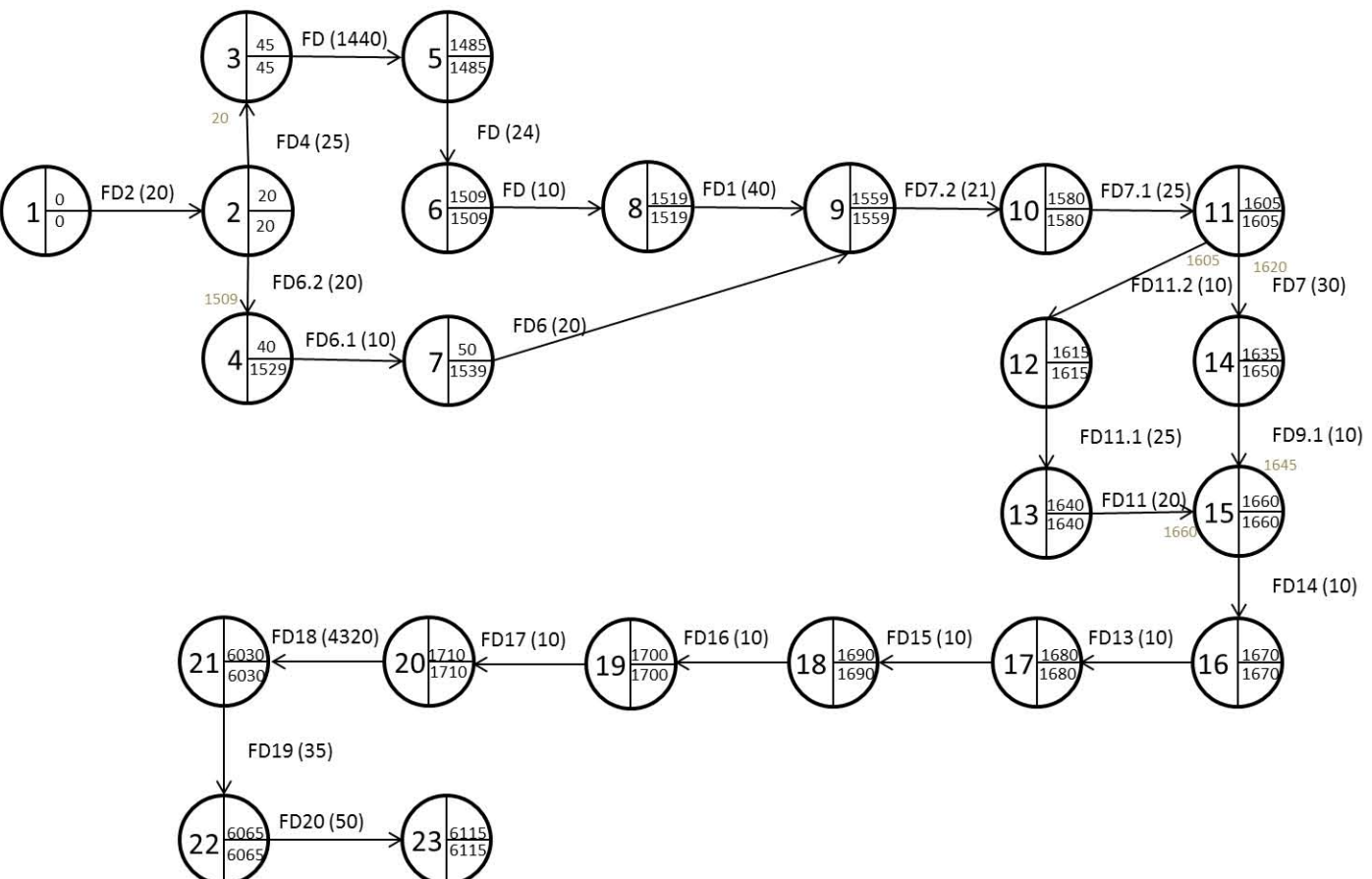


Figura 32 Malla PERT propuesta para la fabricación del descanso de las escaleras.

Una vez que se tiene esta malla se debe trazar la ruta crítica, haciendo una sustracción entre los tiempos de cada nodo, en los que sean igual a cero se identifica con color azul quedando como se muestra en la figura 33.

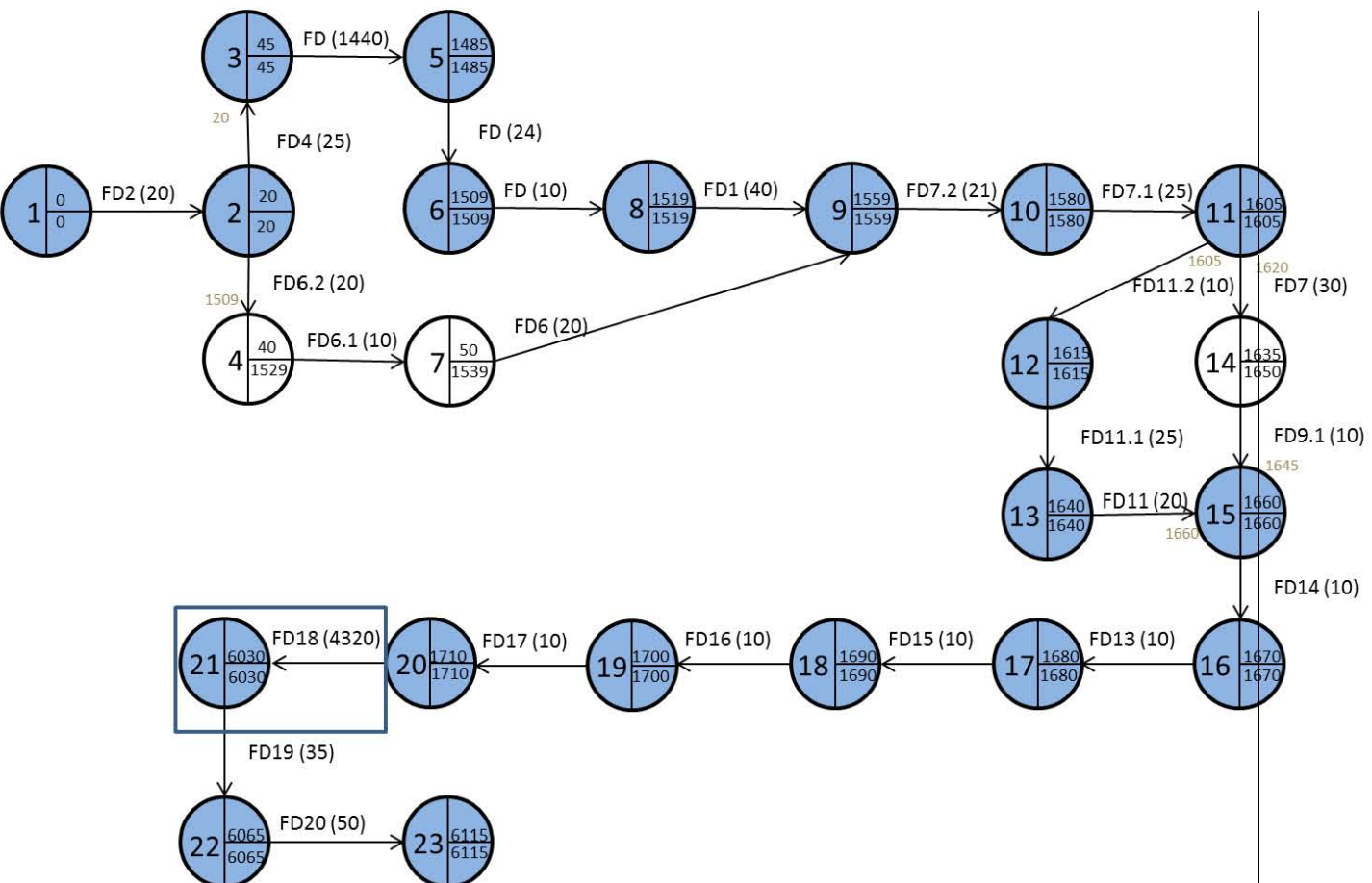


Figura 33 Malla PERT con ruta crítica para la fabricación de descanso



La ruta crítica permite observar que durante el proceso que el punto crucial es el tiempo de fraguado (en marcado en azul en la figura 33) ya que hay que esperar de 8 a 10 días a que el cemento alcance la resistencia necesaria para ser desmoldado esto implica más tiempo de producción, por lo que se recomendó colocar un acelerante libre de cloro ya que la estructura del descanso contiene malla, los anclajes, las juntas y el molde pueden sufrir daños por éste. La corrida para la holgura y la malla PERT con acelerante es la siguiente:

**Tabla 15** Tiempo y holgura para la fabricación del descanso con acelerante.

CLAVE	ACTIVIDAD ANTERIOR	TIEMPO ESTIMADO (min)	PRIMERA FECHA		ULTIMA FECHA		HOLGURA
			TIEMPO ACUMULADO DE INICIO (min)	TIEMPO ACUMULADO DE FINAL (min)	TIEMPO ACUMULADO DE INICIO (min)	TIEMPO ACUMULADO DE FINAL (min)	
FD1	FD3	40	1519	1559	1519	1559	0
FD2		20	0	20	0	20	0
FD3	FD5	10	1509	1519	1509	1519	0
FD4	FD2	25	20	45	20	45	0
FD4.1	FD4	1440	45	1485	45	1485	0
FD5	FD4.1	24	1485	1509	1485	1509	0
FD6	FD6.1	20	35	55	1539	1559	1504
FD6.1	FD6.2	10	25	35	1549	1559	1524
FD6.2	FD2	5	20	25	1544	1549	1524
FD7	FD7.1	30	1584	1614	1584	1614	0
FD7.1	FD7.2	15	1569	1584	1569	1584	0
FD7.2	FD1	10	1559	1569	1559	1569	0
FD9.1	DF7	10	1614	1624	1614	1624	0
FD11	DF9.1, FD11.1	20	1624	1644	1624	1644	0
FD11.1	FD11.2	25	1594	1619	1599	1624	5
FD11.2	FD7.1	10	1584	1594	1589	1599	5
FD13	FD14	10	1654	1664	1654	1664	0
FD14	FD11,FD9.1	10	1644	1654	1644	1654	0
FD15	FD13	10	1664	1674	1664	1674	0
FD16	FD15	10	1674	1684	1674	1684	0
FD17	FD16	10	1684	1694	1684	1694	0
FD18	FD17	4320	1694	6014	1694	6014	0
FD19	FD18	35	6014	6049	6014	6049	0
FD20	FD19	50	6049	6099	6049	6099	0

La colocación del acelerante disminuye el tiempo de fraguado de 8 a 3 días con lo cual el tiempo de proceso se reduce en un 38 %

Los cortes se realizan de forma unitaria según se requieran, se realizó la adaptación de que los cortes que requiere el proceso no sean realizados por el armador y estén en el lugar de uso con esto se redujo el tiempo sin embargo como este tiempo es mínimo por corte al tomarlo en los tiempos totales la reducción no es observable .

La producción de los bloques pasa de 10 días y 9 horas a 4 días y 7 horas logando una reducción del 40 % del tiempo.

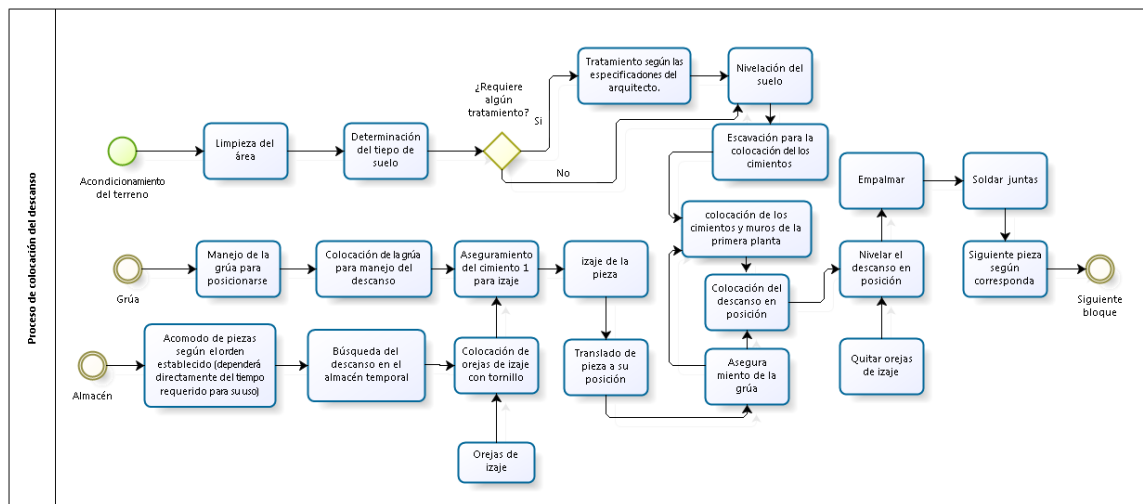
Tomando en cuenta que se requieren 8 descansos para un edificio y que hay 8 moldes de esta pieza el tiempo de construcción serán únicamente de 4.2 días.

Además el acelerante colocado también disminuye la cantidad de agua y cemento con lo cual el proceso tiene ahorro de agua, de materiales y de recursos humanos, en consecuencia de recursos económicos.

### **8.3 COLOCACIÓN DEL DESCANSO DE LA ESCALERA**

Una vez que se inicia con el manejo de los bloques estos deben estar en reposo 24 hr para un mejor fraguado y evitar que con el movimiento la pieza pudiera fracturarse o generar grietas que con el tiempo debilitarían la estructura en su conjunto, las piezas deberán estar un tiempo determinado en almacén, posteriormente con una grúa se pondrán en el sitio determinado para su posición de acuerdo a su tipo ésta actividad es repetitiva para cada pieza, nivel del edificio y edificio terminado; con la observación de la colocación de un

conjunto de piezas se puede ejemplificar el proceso, para la colocación de los diferentes bloques no es necesario hacer un diagrama para cada uno de ellos con ejemplificar a uno de ellos es suficiente para generar un diagrama de flujo que permita la observación de todo el proceso. Ya que esta actividad requiere de una gran cantidad de datos el diagrama de flujo es más extenso por lo que se colocara en un anexo (anexo1) para su mejor observación.



**Figura 34.** Diagrama de flujo para la colocación de un bloque

Ésta actividad se realizará de forma repetitiva hasta colocar todos los bloques que conforman el edificio, con éste diagrama de flujo es posible hacer un listado de las actividades que conforman ésta actividad y tomar el tiempo en el sitio de dichas actividades con lo cual se generó la tabla 16

**Tabla 16** Tiempo esperado por actividad para la colocación del descanso.

ACTIVIDAD	T1 (min)	T2 (min)	T3 (min)	T4 (min)	T5 (min)	T6 (min)	Promedio de tiempo
Limpieza del área	34	35	36	60	49	43	40
Emparejar el área	360	325	345	240	338	350	340
Acondicionamiento de suelo	5000	5040	4280	3050	2880	4950	4320
Excavación	1440	18900	25920	22530	22100	23010	21635
Manejo de la grúa para colocar la pieza en su posición	12	12	20	10	30	18	19
Aseguramiento de la grúa	12	8	8	9	10	13	10
Búsqueda de la pieza en almacén temporal	13	20	12	15	18	10	15
Aseguramiento de la pieza de izaje	19	21	25	15	18	23	20
Colocación de orejas de izaje con tornillo	28	25	20	30	35	23	27
Izaje del bloque	14	10	16	20	13	20	16
Movilidad de la grúa	12	25	20	10	9	18	15
Traslado del cimientto a su posición	30	45	60	40	39	49	43
Colocar pieza en posición	35	29	30	25	20	33	29
Nivelar pieza en posición	48	45	30	40	49	60	46
Quitar orejas de izaje	25	30	40	22	20	31	27
Empalmar	9	20	10	15	13	5	12
Soldar juntas	10	15	11	35	14	18	15

En la tabla anterior se observan los valores mínimos en verde y valores máximos en azul y con el resto de los valores se obtiene el valor de tiempo más probable o tiempo esperado. Con estos valores es posible calcular el tiempo estimado generando la tabla 17.

**Tabla 17** Cálculo de tiempo estimado para la colocación del descanso.

ACTIVIDAD	TIEMPO ESPERADO (MIN)	TIEMPO MÍNIMO (MIN)	TIEMPO MÁXIMO (MIN)	TIEMPO ESTIMADO (MIN)
Limpieza del área	40	34	60	42
Emparejar el área	340	240	360	327
acondicionamiento de suelo	4320	2880	5040	4200
Excavación	21635	1440	25920	18983
Manejo de la grúa para colocar la pieza en su posición	19	10	30	19
Aseguramiento de la grúa	10	8	13	10
Búsqueda de la pieza en almacén temporal	20	15	25	20
Aseguramiento de la pieza de izaje	15	10	20	15
Colocación de orejas de izaje con tornillo	27	20	35	27
Izaje del bloque	16	10	20	16
Movilidad de la grúa	15	9	25	16
Traslado del cimientto a su posición	43	30	60	44
colocar pieza en posición	29	20	35	29
Nivelar pieza en posición	46	30	60	46
Quitar orejas de izaje	27	20	40	28
Empalmar	12	5	20	12
Soldar juntas	15	10	35	18

Una vez obtenida la tabla anterior se le asigna una clave a cada actividad para facilitar el manejo de información en la malla y en las futuras tablas generándose la tabla 18

Además la colocación de una clave por actividad reduce el espacio y hace que la actividad siguiente se observe de manera adecuada por lo que se coloca una clave alfa numérica, simbólica o cualquier otra, siempre que se encuentre bien identificada ya sea dentro de la malla o en una hoja adjunta.

**Tabla 18** Actividad con clave para la colocación del descanso

CLAVE	ACTIVIDAD
CB1	Limpieza del área
CB2	Emparejar el área
CB3	acondicionamiento de suelo
CB4	Excavación
CB5	Manejo de la grúa para colocar la pieza en su posición
CB6	aseguramiento de la grúa
CB7	Aseguramiento de la pieza de izaje
CB8	Búsqueda de la pieza en almacén temporal
CB9	Colocación de orejas de izaje con tornillo
CB10	Izaje del bloque
CB11	Movilidad de la grúa
CB12	Traslado del cimientto a su posición
CB13	colocar pieza en posición
CB14	Nivelar pieza en posición
CB15	Quitar orejas de izaje
CB16	Empalmar
CB17	Soldar juntas

Una vez que se generó la clave para cada una de las actividades se realizó la tabla que permite observar las actividades de holgura igual a cero, para lo cual se obtuvo la tabla 19

**Tabla 19** Tabla de holgura para la colocación del descanso.

CLAVE	ACTIVIDAD ANTERIOR	TIEMPO ESTIMADO (MIN)	PRIMERA FECHA		ÚLTIMA FECHA		HOLGURA
			TIEMPO ACUMULADO DE INICIO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO FINAL (MIN)	TIEMPO ACUMULADO DE INICIO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO FINAL (MIN)	
CB1		42	0	42	10	52	10
CB2	CB3	327	4200	4527	4252	4579	52

**Tabla 19** Tabla de holgura para la colocación de un bloque (continuación).

CLAVE	ACTIVIDAD ANTERIOR	TIEMPO ESTIMADO (MIN)	PRIMERA FECHA		ÚLTIMA FECHA		HOLGURA
			TIEMPO ACUMULADO DE INICIO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO FINAL (MIN)	TIEMPO ACUMULADO DE INICIO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO FINAL (MIN)	
CB3	CB1	4200	42	4242	52	4252	10
CB4	CB2	18983	4527	23510	4579	23562	52
CB5	CB4	19	23510	23529	23562	23581	52
CB6	CB5	10	23529	23540	23581	23592	52
CB7	CB8	20	23544	23564	23587	23607	43
CB8	CB4	15	23529	23544	23572	23587	43
CB9	CB7	27	23564	23592	23607	23592	0
CB10	CB9	16	23592	23607	23592	23607	0
CB11	CB6, CB10	16	23607	23623	23607	23623	0
CB12	CB11	44	23623	23667	23623	23667	0
CB13	CB12	29	23667	23695	23667	23695	0
CB14	CB13	46	23695	23741	23695	23741	0
CB15	CB14	28	23741	23769	23741	23769	0
CB16	CB15	12	23769	23781	23769	23781	0
CB17	CB16	18	23781	23798	23781	23798	0

Con los valores del tiempo esperado, el diagrama de flujo y la tabla de holgura es posible hacer el acomodo para la generación de la malla PERT con la ruta crítica.

En el caso de este proceso se debe tener en cuenta que el tiempo de colocación de la piezas implica el acondicionamiento del área de trabajo, estas actividades son la parte que requieren de una mayor cantidad de tiempo y que solo se realizará en una ocasión y con el fin de reducir tiempo se deberá realizar desde el inicio del proceso general.

El tiempo que realiza el movimiento de la grúa y la colocación de la pieza solo requiere de 5 horas, dado que se cuenta con dos grúas, el tiempo total que requiere la actividad será de 31 días dado que se deberán colocar 314 piezas y que se trabaja las 24 hr. Es importante recalcar que el tiempo de holgura no es mayor a una hora por lo que en ésta

parte no se puede tener un retraso mayor. Para lo cual siempre deberá existir una grúa de emergencia lista.

En esta malla PERT muestra la actividad de colocación de 8 piezas para el descanso de las escaleras y las actividades que debe realizarse de forma repetitiva. También se observa a partir del nodo 5 la participación de la grúa con la línea punteada.

Esta actividad en ciclos permite observar mejor el trabajo de la grúa y ver de forma más completa las actividades. La ruta crítica ésta determinada por la actividad de la colocación de las piezas al igual que en las tablas de holgura.

Este proceso tiene un inicio que requiere de mucho tiempo por la adaptación del suelo y excavación para la cimentación, sin embargo esta parte solo se realiza una vez. A continuación se presenta la malla PERT para la colocación de uno de los bloques, en color azul la ruta crítica en la figura 35.



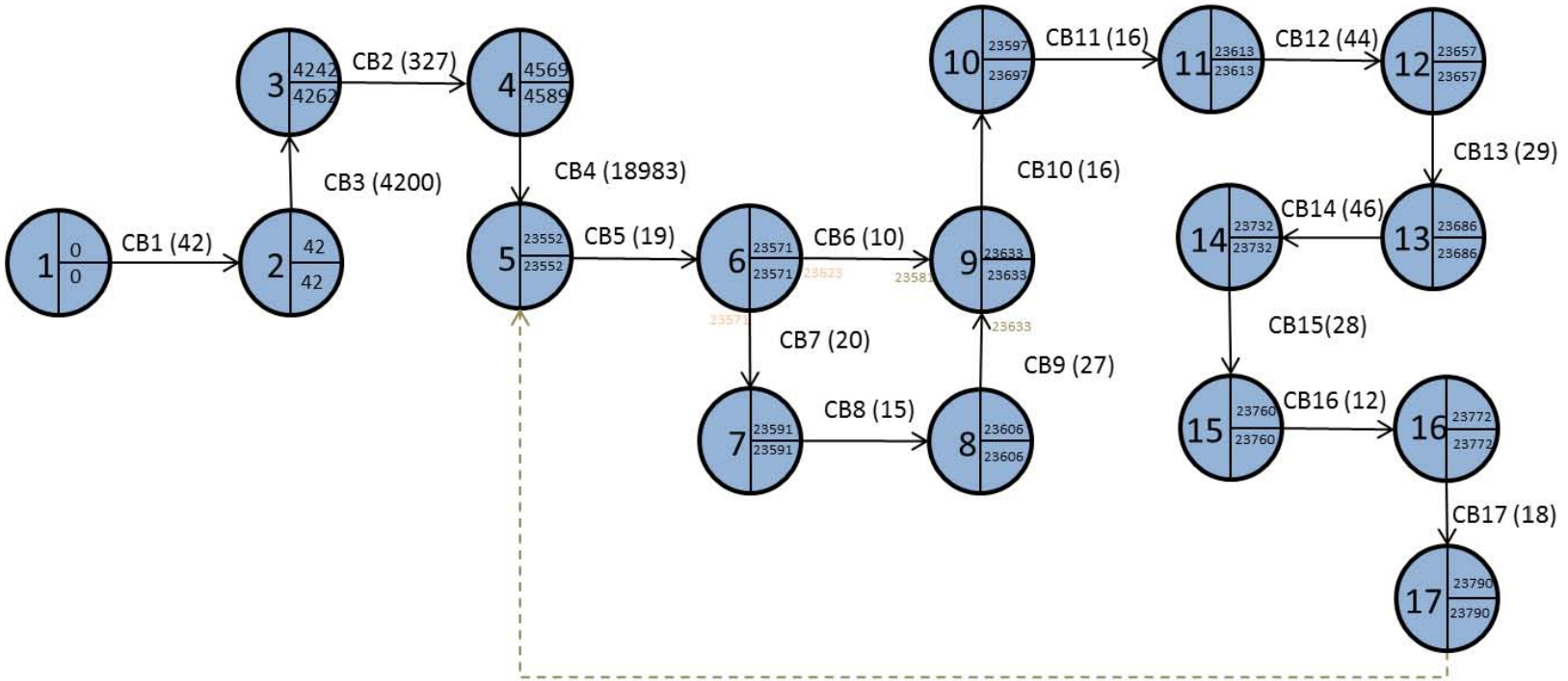
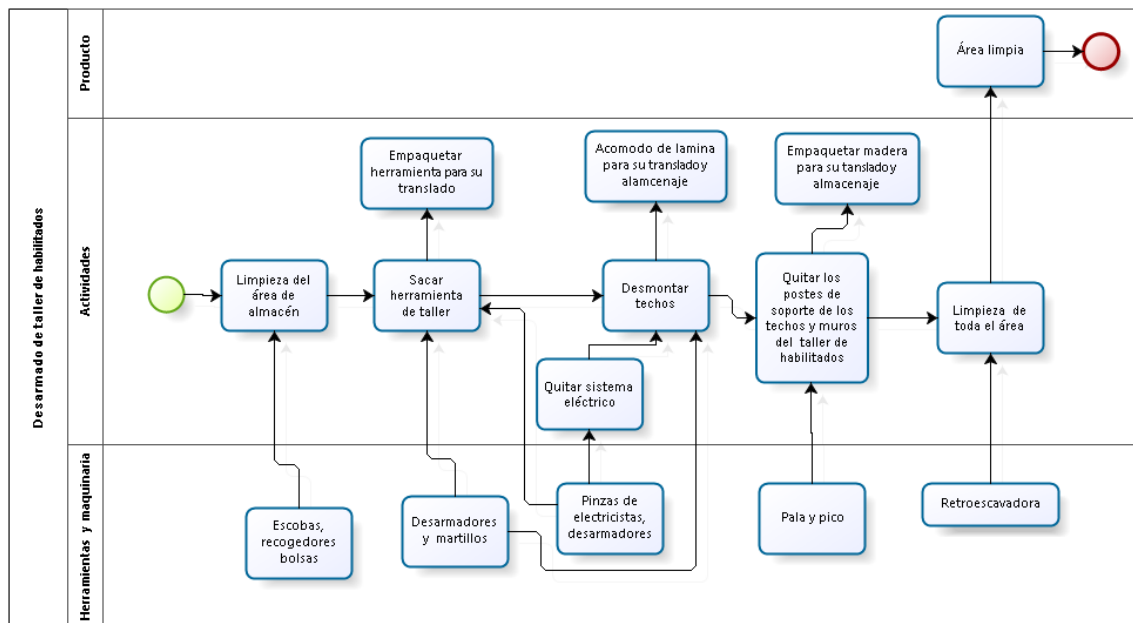


Figura 35 Malla PERT para la colocación del descanso con ruta crítica.

## 8.4 DESINSTALACIÓN DEL TALLER DE HABILITADOS

El desmontaje de la planta de producción es posible iniciarlo en cuanto se termina el último de los bloques generados. En los primeros pasos de la desinstalación ésta dada por la eliminación de los servicios; las construcciones realizadas por ejemplo los almacenes, oficinas y talleres serán desmontados una vez que los servicios son retirados y por último se tendrá que pasar una máquina para eliminar la compactación realizada para la instalación de la planta de producción. Como ejemplo se colocó la desinstalación del taller de habilitados generando el siguiente diagrama de flujo.



**Figura 36** Diagrama de flujo para la desinstalación del taller de habilitados

Una vez realizado el diagrama de flujo se determina el listado de actividades para posteriormente tomar los tiempos de cada actividad, sin embargo en éste caso el tiempo de desinstalación no se tomó ya que nunca se llevó a cabo, por lo que se tomaron los tiempos de instalación, generando la tabla 20 que se muestra a continuación.

**Tabla 20** Cálculo de tiempo estimado para la desinstalación del taller de habilitados.

Actividad	Tiempo determinado (min)	Tiempo Mínimo (min)	Tiempo Máximo (min)	Tiempo estimado (min)
Limpieza del área de almacén	25	20	30	25
Sacar herramientas del taller	145	120	150	142
Guardar herramientas	30	20	45	31
Quitar mesa de trabajo	48	40	60	49
Quitar sistema eléctrico	40	31	60	42
Retirar laminas	210	200	300	223
Desmontar techos	585	524	640	584
Acomodo de lámina para su traslado	45	40	70	48
Empaquetar madera para su traslado	90	80	120	94
limpieza del área	30	25	45	32

En base de la tabla 20 se genera la tabla de listado con clave

**Tabla 21** Actividad con clave para la desinstalación del taller de habilitados

CLAVE	ACTIVIDAD
DTH1	Limpieza del área de almacén
DTH2	Sacar herramientas del taller
DTH2.1	Empaquetar herramientas
DTH3	Quitar mesa de trabajo
DTH4	Quitar sistema eléctrico
DHT5	Retirar laminas
DHT6	Desmontar techos
DHT7	Acomodo de lámina para su traslado
DTH8	Empaquetar madera para su traslado
DTH9	limpieza del área

Una vez que se realizó la lista y se le colocó la clave es posible hacer manejable la tabla para encontrar la holgura resultando la tabla 22 que se presenta a continuación.

**Tabla 22** Tabla de holgura para la desinstalación del taller de habilitados.

CLAVE	ACTIVIDAD ANTERIOR	TIEMPO ESTIMADO (min)	PRIMERA FECHA		ÚLTIMA FECHA		HOLGURA (MIN)
			TIEMPO ACUMULADO DE INICIO (min)	TIEMPO ACUMULADO FINAL (min)	TIEMPO ACUMULADO DE INICIO (min)	TIEMPO ACUMULADO FINAL (min)	
DTH1		100	0	100	0	100	0
DTH2	DTH1	568	100	668	300	868	200
DTH2.1	DTH2	124	668	792	868	992	200
DTH3	DHT1	196	100	296	796	992	696
DTH4	DHT1	168	100	268	824	992	724
DHT5	DTH1	892	100	992	100	992	0
DHT6	DHT2.1,DHT3, DHT4,DHT5	2336	992	3328	992	3328	0
DHT7	DTH6	160	3328	3488	3328	3488	0
DTH8	DTH7	280	3488	3768	3488	3768	0
DTH9	DTH8	128	3768	3896	3768	3896	0

Para ésta actividad se realizaron tres rutas críticas, las cuales se muestran a continuación en cada una de ellas se observa la diferencia de actividades que requiere cada taller o almacén de acuerdo a sus características, las cuales se describirán antes de cada malla PERT.

En la primera malla se tiene un taller con muros, techado y requerimiento de energía eléctrica. Por lo que se requiere de eliminar cada uno de estos puntos, obteniendo una malla completa como se muestra en la figura 37

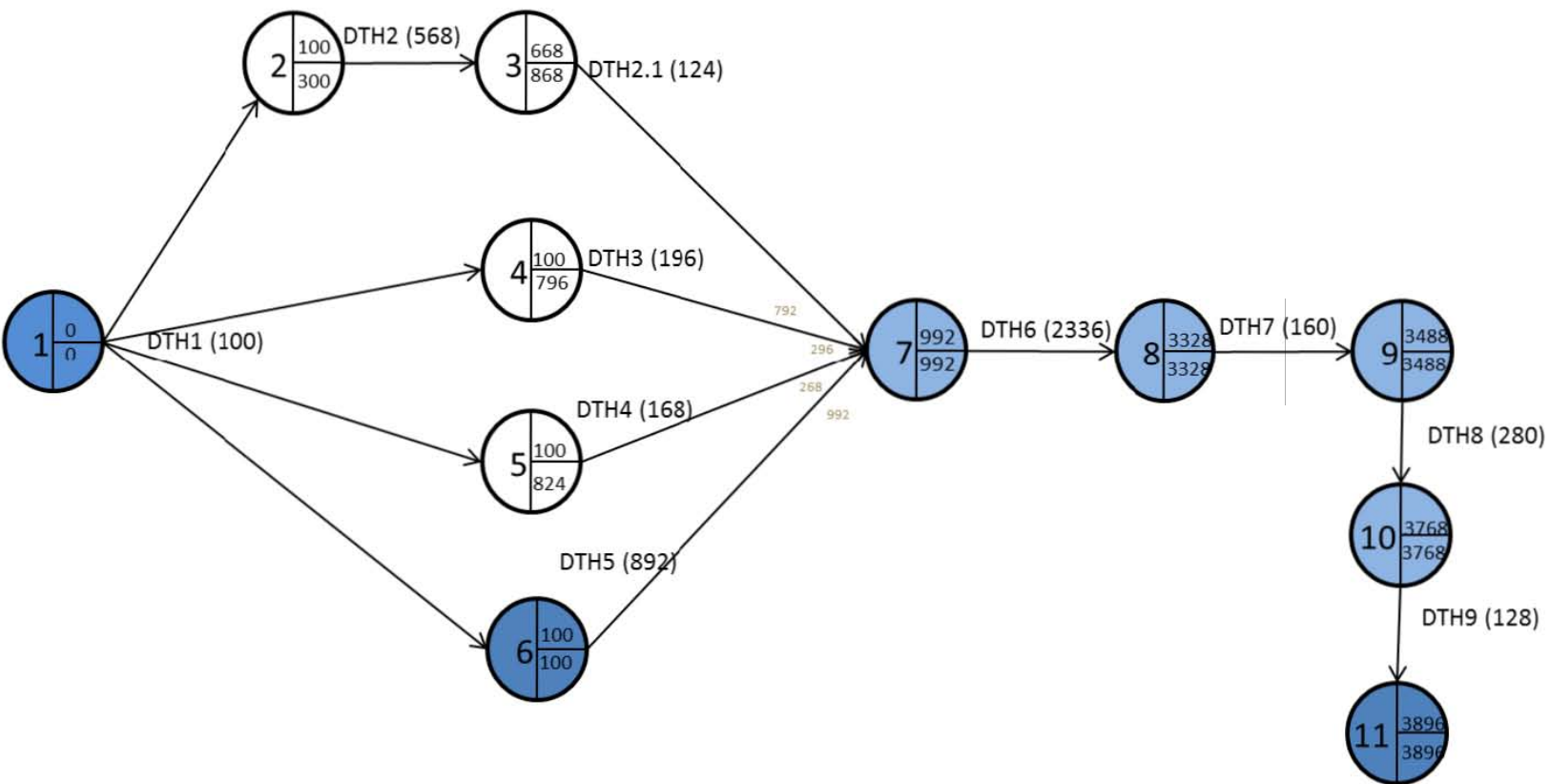
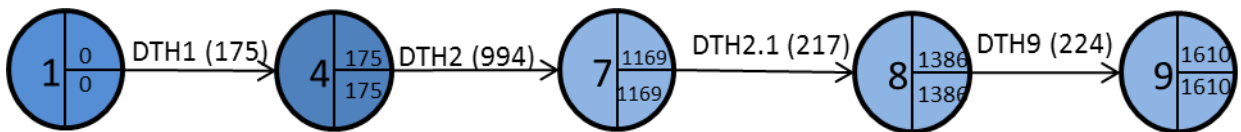


Figura 37 malla PERT con ruta crítica para la desinstalación del taller de habitados.

En conjunto se realizó la malla PERT la cual coincide con los datos de la holgura igual a cero en su ruta crítica que se observan en la figura 37 de color azul.

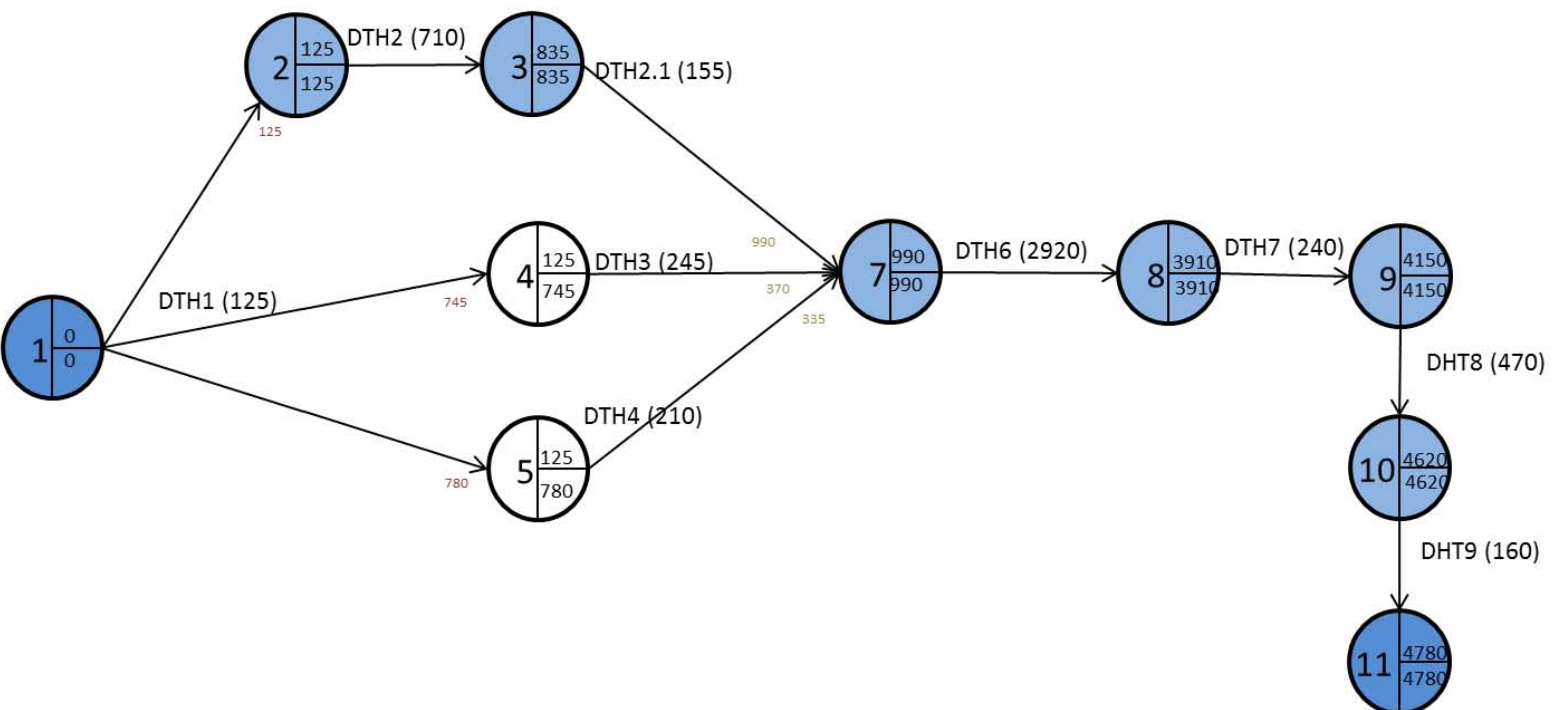
La siguiente malla PERT muestra la ruta más sencilla de una desinstalación de un almacén el cual no requirió de bardas, techado y energía eléctrica obteniéndose la malla PERT que se muestra en la figura 38



**Figura 38** Malla PERT con ruta crítica para la desinstalación de un almacén sin techo y muros.

En esta malla se observa que aun cuando es la más sencilla no disminuye el tiempo esto ésta dado por que es el tiempo total para retirar todos los almacenes con estas características.

Otra malla generada es la de almacenes o talleres que solo requieren techo, pero no requieren de muros la cual se muestra en la figura 39



**Figura 39** Malla PERT con ruta crítica para la desinstalación de un almacén con techado.

En la desinstalación de la malla PERT total generada para el proceso completo se coloca tanto tablas y malla PERT más completas uniendo a estas las dos con menos número de pasos generando una cuarta malla PERT con tiempo y datos diferentes a los mostrados en las tablas y mallas presentadas hasta hora algunos datos puede coincidir.

## **8.5 PROCESO COMPLETO DE CONTRUCCIÓN DE VIVIENDA.**

Una vez que se tienen todas las mallas PERT de cada proceso se unen para observar todo el proceso en conjunto. Cuando las mallas se unen para formar todo el proceso sufre cambios y se deberá generar una ruta crítica para el proceso y una tabla de holgura. Y se determina el tiempo más probable de la entrega de la construcción. Ésta nueva tabla de holgura se genera por medio del conocimiento del proceso y de los subproceso con lo cual se podrán determinar los tiempos de inicio de las actividades como ejemplo la siguiente tabla.

En la actividad CB1 el inicio no corresponde al final de la tabla anterior ya que la actividad deberá ser iniciada junto con la instalación de la planta dado que este proceso requiere de acondicionamiento del suelo, por lo que el tiempo de inicio también será de cero.

A continuación se presenta la tabla 23 de holgura de todo el proceso, en la cual se muestran unidas las diferentes tablas que se generaron para cada subproceso.



**Tabla 23** Tabla de holgura de todo el proceso (con las tablas mostradas en el documento)

CLAVE	ACTIVIDAD ANTERIOR	TIEMPO ESTIMADO (MIN)	PRIMERA FECHA		ÚLTIMA FECHA		HOLGURA
			TIEMPO ACUMULADO DE INICIO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO FINAL (MIN)	TIEMPO ACUMULADO DE INICIO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO FINAL (MIN)	
THA 4		93	0	93	1111	1204	1111
THA 5	THA4	432	93	525	1204	1636	1111
THA 6	THA5	1770	525	2295	1636	3406	1111
THA 7	THA6	2400	2295	4695	3406	5806	1111
THA 8	THA7	1150	4695	5845	5806	6956	1111
THA 9	THA8	1115	5845	6960	6956	8071	1111
THA 10	THA9	105	6960	7065	8071	8176	1111
THA 10.1	THA10	55	7065	7120	8176	8231	1111
THA 10.2	THA10	55	7065	7120	8176	8231	1111
THA 11	THA10	245	7065	7310	8231	8476	1166
THA 12	THA11	710	7310	8020	8476	9186	1166
FD1	FD3	40	9539	9579	10705	10745	1166
FD2	THA12	20	8020	8040	9186	9206	1166
FD3	FD5	10	9529	9539	10695	10705	1166
FD4	FD2	25	8040	8065	9206	9231	1166
FD4.1	FD4	1440	8065	9505	9231	10671	1166
FD5	FD4.1	24	9505	9529	10671	10695	1166
FD6	FD6.1	20	8055	8075	10725	10745	2670
FD6.1	FD6.2	10	8045	8055	10735	10745	2690
FD6.2	FD2	5	8040	8045	10730	10735	2690
FD7	FD7.1	30	9604	9634	10770	10800	1166
FD7.1	FD7.2	15	9589	9604	10755	10770	1166
FD7.2	FD1	10	9579	9589	10745	10755	1166
FD9.1	DF7	10	9634	9644	10800	10810	1166
FD11	DF9.1	20	9644	9664	10810	10830	1166
FD11.1	FD11.2	25	9614	9639	10785	10810	1171
FD11.2	FD7.1	10	9604	9614	10775	10785	1171
FD13	FD14	10	9674	9684	10840	10850	1166
FD14	FD11,FD9.1	10	9664	9674	10830	10840	1166
FD15	FD13	10	9684	9694	10850	10860	1166
FD16	FD15	10	9694	9704	10860	10870	1166
FD17	FD16	10	9704	9714	10870	10880	1166
FD18	FD17	4320	9714	14034	10880	15200	1166

**Tabla 23** Tabla de holgura de todo el proceso (con las tablas mostradas en el documento)

(Continuación)

CLAVE	ACTIVIDAD ANTERIOR	TIEMPO ESTIMADO (MIN)	PRIMERA FECHA		ÚLTIMA FECHA		HOLGURA
			TIEMPO ACUMULADO DE INICIO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO FINAL (MIN)	TIEMPO ACUMULADO DE INICIO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO FINAL (MIN)	
FD19	FD18	35	14034	14069	15200	15235	1166
FD20	FD19	50	14069	14119	15235	15285	1166
CB1		42	0	42	0	42	0
CB2	CB3	327	4242	4569	4242	4569	0
CB3	CB1	4200	42	4242	42	4242	0
CB4	CB2	18983	4569	23552	4569	23552	0
CB5	CB4,FD20	116	23552	23668	23552	23668	0
CB6	CB5	61	23668	23729	23980	24041	312
CB7	CB8	120	23668	23788	23668	23788	0
CB8	CB7	90	23788	23878	23788	23878	0
CB9	CB8	163	23878	24041	23878	24041	0
CB10	CB9,CB6	94	24041	24135	24041	24135	0
CB11	CB10	94	24135	24229	24135	24229	0
CB12	CB11	262	24229	24491	24229	24491	0
CB13	CB12	171	24491	24662	24491	24662	0
CB14	CB13	274	24662	24936	24662	24936	0
CB15	CB14	168	24936	25104	24936	25104	0
CB16	CB15	73	25104	25177	25104	25177	0
CB17	CB16	105	25177	25282	25177	25282	0
DTH1	FD20	400	14119	14519	15285	15685	1166
DTH2	DTH1	2272	14519	16791	15685	17957	1166
DTH2.1	DTH2	279	16791	17070	17957	18236	1166
DTH3	DHT1	441	14519	14960	17795	18236	3276
DTH4	DHT1	378	14519	14897	17858	18236	3339
DHT5	DTH1	892	14519	15411	17344	18236	2825
DHT6	DHT2.1,DHT3,DHT4,DHT5	5256	17070	22326	18236	23492	1166
DHT7	DTH6	432	22326	22758	23492	23924	1166
DTH8	DTH7	846	22758	23604	23924	24770	1166
DTH9	DTH8	512	23604	24116	24770	25282	1166



La figura 40 muestra la malla PERT de todo el proceso sin embargo por la cantidad de datos que maneja no es posible observarla de forma adecuada en este tamaño por lo que se colocará una en un anexo (anexo 2) al final del documento. Una vez que se tiene la ruta crítica es posible determinar el tiempo más probable para la terminación del edificio para lo cual se genera la tabla 25

**Tabla 25** Tabla de tiempo máximo, mínimo, estimado y varianza de todo el proceso (con las tablas mostradas en el documento).

SUBPROCESO O ALQUE PERTENECE LA ACTIVIDAD	ACTIVIDAD	CLAVE	Tiempo mínimo (min)	Tiempo máximo (min)	Tiempo esperado (min)	Tiempo estimado (min)	Varianza
INSTALACIÓN DEL TALLER DE HABILITADOS	Ubicación	THA 4	75	120	90	93	56.25
	Compactación del área	THA 5	410	470	432	435	100
	Colocación de postes de soporte	THA 6	324	400	350	354	160.44
	Colocación de travesaños	THA 7	320	640	480	480	2844.44
	Soporte de techado	THA 8	200	240	235	230	44.44
	Colocar techumbre	THA 9	200	300	210	223	277.78
	Instalación eléctrica	THA 10	15	30	20	21	6.25
	Bajada para conexión de aparatos eléctricos	THA 10.1	8	15	10	11	1.36
	Bajada para iluminación	THA 10.2	8	15	10	11	1.36
	Instalación de mesas de trabajo	THA 11	40	60	48	49	11.11
	Colocación de herramientas eléctricas fijas	THA 12	120	150	145	142	25

**Tabla 24** Tabla de tiempo máximo, mínimo, estimado y varianza de todo el proceso (con las tablas mostradas en el documento) (continuación).

SUBPROCESO O ALQUE PERTENECE LA ACTIVIDAD	ACTIVIDAD	CLAVE	Tiempo mínimo (min)	Tiempo máximo (min)	Tiempo esperado (min)	Tiempo estimado (min)	Varianza
FABRICACIÓN DE DESCANSO	Colocación de molde con tablero y fronteras	FD1	38	40	45	41	0.11
	Formación de moldes	FD2	20	20	23	21	0
	colocación de desmoldante	FD3	8	10	15	11	0.11
	Colocar juntas	FD4	20	25	30	25	0.69
	pegar juntas con silicón	FD4.1	1440	1440	1440	1440	0
	soldar juntas	FD5	20	24	35	25	0.44
	colocar malla termosoldada	FD6	18	20	29	21	0.11
	cortar malla termosoldada	FD6.1	18	20	23	20	0.11
	medir malla termosoldada	FD6.2	15	20	23	20	0.69
	colocación de anclajes mecánicos	FD7	27	30	35	30	0.25
	cortar varilla para anclaje	FD7.1	20	25	30	25	0.69
	medir varilla para anclaje	FD7.2	15	21	25	21	1
	verter mezcla	FD9.1	8	10	13	10	0.11
	colocar segunda malla	FD11	18	20	29	21	0.11
	cortar malla termosoldada	FD11.1	18	20	23	20	0.11
	medir malla termosoldada	FD11.2	15	20	23	20	0.69
	verter mezcla	FD13	8	10	13	10	0.11
	colocación de plantillas para acabado	FD14	8	10	14	10	0.11
	Vibrador	FD15	8	10	14	10	0.11
	acabado caras superior	FD16	8	10	14	10	0.11
Mojar	FD17	6	10	15	10	0.44	
Fraguado	FD18	11520	14040	21600	14880	176400	
lizado	FD19	30	35	40	35	0.69	
Desmolde	FD20	35	50	55	48	6.25	

**Tabla 24** Tabla de tiempo máximo, mínimo, estimado y varianza de todo el proceso (con las tablas mostradas en el documento) (continuación).

SUBPROCESO ALQUE PERTENECE LA ACTIVIDAD	ACTIVIDAD	CLAVE	Tiempo mínimo (min)	Tiempo máximo (min)	Tiempo esperado (min)	Tiempo estimado (min)	Varianza
COLOCACIÓN DE BLOQUES	Limpieza del área	CB1	42	60	40	42	8.67
	Emparejar el área	CB2	327	360	340	327	30.86
	acondicionamiento de suelo	CB3	4200	5040	4320	4200	19600
	Excavación	CB4	18983	25920	21635	18983	1336593
	Manejo de la grúa para colocar la pieza en su posición	CB5	116	30	19	19	205.44
	aseguramiento de la grúa	CB6	61	13	10	10	64
	Búsqueda de la pieza en almacén temporal	CB7	120	25	20	20	250.69
	Aseguramiento de la pieza de izaje	CB8	90	20	15	15	136.11
	Colocación de orejas de izaje con tornillo	CB9	163	35	27	27	455.11
	izaje del bloque	CB10	94	20	16	16	152.11
	Movilidad de la grúa	CB11	94	25	15	16	132.25
	Traslado del cimientto a su posición	CB12	262	60	43	44	1133.44
	colocar pieza en posición	CB13	171	35	29	29	513.78
	Nivelar pieza en posición	CB14	274	60	46	46	1272.11
	Quitar orejas de izaje	CB15	168	40	27	28	455.11
	Empalmar	CB16	73	20	12	12	78.03
	Soldar juntas	CB17	105	35	15	18	136.11
DESINTALACIÓN DE TALLER DE HABILITADOS	Limpieza del área de almacén	DTH1	160	240	100	203	177.78
	Sacar herramientas del taller	DTH2	960	1200	2320	1347	1600
	Empaquetar herramientas	DTH2.1	160	360	480	347	1111.11
	Quitar mesa de trabajo	DTH3	320	480	768	501	711.11
	Quitar sistema eléctrico	DTH4	248	480	160	388	1495.11
	Retirar laminas	DHT5	1600	2400	3360	2427	17777.78
	Desmontar techos	DHT6	4192	5120	9360	5672	23921.78
	Acomodo de lámina para su traslado	DHT7	320	560	720	547	1600
	Empaquetar madera para su traslado	DTH8	640	960	1440	987	2844.44
	limpieza del área	DTH9	100	360	120	277	1877.78

En base a la tabla 24 se observa en color verde la ruta crítica, esto sirve para determinar el tiempo que la actividad requiere y se denota como  $T_a$ .

$$T_a = \sum te \quad \text{Fórmula (6)}$$

En donde

$te$  es el tiempo estimado que pertenece a la ruta crítica.

Para este ejemplo se obtiene el valor de  $T_a$  en 23,841 min. Por medio de la hoja de cálculo Excel se obtiene una varianza de 1,361,153 y una desviación estándar de 323,832 estos valores permiten obtener el valor de  $z$ . Con estos datos se determina que la probabilidad de terminar la actividad como está planteada en un tiempo  $x$  que se denotara como  $T_b$ , y tendrá un  $y$  % de probabilidad de ser terminada en el tiempo  $x$ .

Tomando como ejemplo el cumplimiento del proyecto en el tiempo  $T_a = T_b$  se tiene un probabilidad del 84% de éxito con los datos proporcionados, la probabilidad aumenta mientras mayor sea el tiempo de entrega, pero para los datos generados la probabilidad no aumenta de forma significativa con el aumento de tiempo en días, esto es para realizar la actividad en 17 días la probabilidad es del 84% mientras que para 20 días la probabilidad solo aumenta a 85%.

En resumen una vez colocados todos los subprocesos que integran la construcción del edificio de viviendas es posible determinar que:

Este proceso será terminado en un máximo de 20 días y en un mínimo de 15 con una probabilidad de éxito de un 85% y 60% respectivamente.

Se realizó el diagrama básico de proceso de producción de bloques que se observa en la figura 43 en la cual se colocan dos líneas de proceso para disminuir tiempo, se dejan los moldes en la periferia y los talleres al centro con dos vías grandes para permitir el paso de grúas entre ellos.

Ya existen plantas que realizan edificaciones tanto de escuelas como casas a través de prefabricados, los cuales regularmente son transportados al lugar de uso, para este documento la planta de producción deberá ser colocada dentro del terreno de construcción de la vivienda y será montada y retirada al término del proceso.

Los diagramas no cambian durante el acomodo de tiempo ya que se fue reordenando más que las posiciones de las áreas el mejor uso de los tiempos de fabricación, uno de los valores de tiempo que se redujo fueron los cortes al hacerse por medidas establecidas y colocadas posteriormente en el sitio en donde se usaran generando con esto una disminución del tiempo en 7 % para la terminación de una pieza y logrando una mejor distribución del personal de la planta.

A continuación se muestra el cronograma que se obtiene también de la malla PERT de todo el proceso con todas las actividades.

**Tabla 25** Cronograma de actividades en base a malla PERT de todo el proceso.

SUBPROCESO \ DIA	DIA																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Instalación de la planta	■	■															
Construcción de descansos			■	■	■	■	■	■									
Colocación del descanso	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Desinstalación de la planta								■	■								

■ Tiempo de inicio y final de actividad

En esta tabla se observan únicamente el cronograma resultante del problema planteado en el trabajo de tesis que se presenta. La colocación de los descansos únicamente llevaría de 2 a 3 días, pero en esta actividad se tomó el tiempo que requiere desde el acondicionamiento del lugar y la colocación de 8 descansos, por lo cual es mayor en tiempo y puede ser iniciada junto con el acondicionamiento del lugar. Conociendo el proceso se determina el personal en el área que corresponde, obteniendo un total de 36 personas de las cuales 31 forman parte del personal operativo el cual trabajara jornadas



de 8 horas y existirán tres turnos. 5 personas de oficina las cuales trabajaran 8 hr, el ingeniero de obra pertenece tanto al área operativa como al área de oficina, por lo que no hay que perderlo de vista a la hora de hacer el recuento total y correr el peligro de contarlos en dos ocasiones.

En la tabla 26 se muestra de forma acumulativa el personal requerido, de acuerdo con sus actividades de fabricación, esto es, para el corte de tubería del sistema hidráulico se requiere de dos personas un maestro o experto y un ayudante, para el corte de la tubería para el sistema eléctrico se requiere de igual manera un experto y un ayudante por último para la estructura se requiere de un experto y un ayudante para el corte de varillas y otros. Dando un total de 6 personas para la tarea de corte, así para todas las actividades. Para lograr los tiempos propuestos el factor humano no provoca ni genera ningún retraso de forma directa, sin embargo cuando se toma el tiempo pesimista se encuentra implícita la tardanza del personal siempre que no sea ausencia.

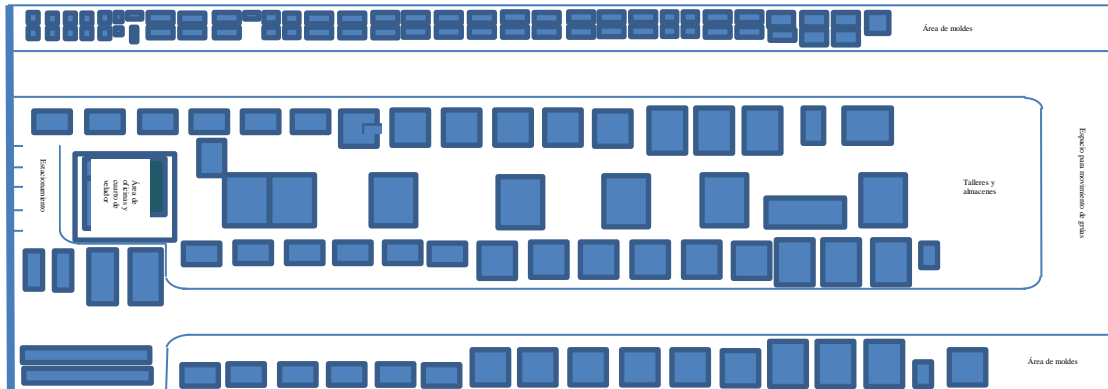
**Tabla 26** Tabla de actividad del personal por área.

Actividad para la fabricación de bloques												
	Corte	Amarre	Colado	Izaje	Colocación	Soldado	Terminado	Limpieza	Secretaria	Jefe de obra	Vigilancia	Almacén
Sistema hidráulico	Maestro y ayudante	Maestro y ayudante								una persona		Una persona (Encargada de entradas y salidas de materia)
Sistema eléctrico	Maestro y ayudante	Maestro y ayudante										
Estructura	Maestro y ayudante	Maestro y ayudante	Maestro y dos ayudantes									
Colocación de piezas				Conductor de grúa tres guías	Conductor de grúa tres guías	Maestro y dos ayudantes	Maestro y dos ayudantes					
otros								Área de oficina y baños	Para archivo e informes una persona	Ayudante	una persona (rolando turnos)	
total	6	6	3	4	4	3	3	1	1	2	2	1

Para la instalación y desinstalación de la planta de producción que se plantea que se requiere de personal, por lo que se sugiere contratar al personal por la temporada de trabajo en este caso 2 meses por lo que se dispondrá de 31 personas para el armado y desarmado de la planta de producción, además de forma eventual al siguiente personal.

INTALACIÓN Y DESINTALACIÓN			
ALBAÑILERIA	BODEGA	LUZ	AGUA
Un albañil y dos ayudantes	Un albañil y dos ayudantes	Un albañil y tres ayudantes	Un albañil y tres ayudantes
3	3	4	4

Con todos los datos obtenidos se propone el siguiente acomodo de la planta de producción de bloques figura 43



**Figura 43** Diagrama de planta de producción de bloques

El acomodo dependerá básicamente del tipo de terreno, ubicación, tamaño y accesibilidad para colocar la planta de producción, pero básicamente se deberán poner todos los materiales al centro de la planta y en las orillas para su mejor manejo los moldes.

Para la instalación en el tiempo acordado del servicio de agua se deberá contar con un sistema ensamblable.

Para lograr un manejo sencillo se elaboró un programa básico del proceso en una hoja de cálculo el cual maneja todas las tablas generadas en el proyecto y marca de forma automática la ruta crítica. Obteniendo una malla PERT como ejemplo la figura 44

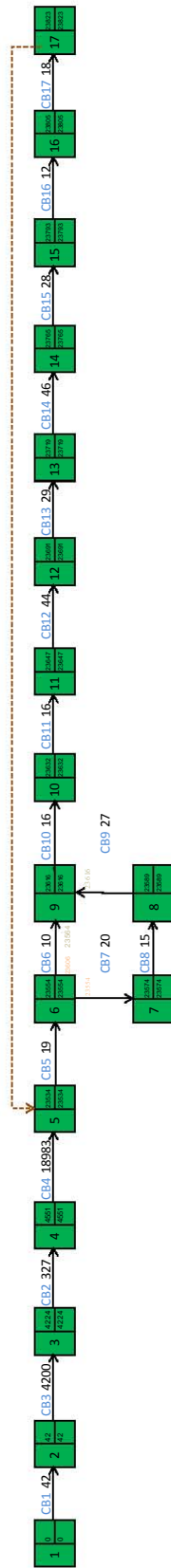


Figura 44 Malla PERT en programa Excel

Se rediseñaron los diagramas de flujo de cada uno de los bloques, los cuales posteriormente se unieron para generar todo el proceso de producción y armado de la edificación, por otra parte se crearon los diagramas de flujo para la instalación y desinstalación de la planta de producción de bloques.

También se obtuvieron los tiempos estimados tanto para el proceso de fabricación de bloques y armado, como la instalación de la planta de producción, con lo cual se propusieron las malla PERT para la producción de bloques, el armado de la edificación y la instalación y des-instalación de la planta móvil.

Una vez realizada la malla se obtuvo la ruta crítica del proceso. La malla PERT permitió obtener:

El tiempo más probable.

El tiempo de producción

Con los datos mencionados se obtiene la holgura, ruta crítica y tiempo más probable para el proceso completo y cada uno de los subproceso

Finalmente se propone el arreglo del proceso de producción de bloques para la planta móvil de producción de viviendas prefabricadas.

La aplicación de los tiempos totales con dos partes una con todos los pasos a seguir y la otra con la mínima cantidad de pasos, estas dan en consecuencia dos tiempos de producción total máximo y mínimo promediando los valores y agregando la cantidad representativa del personal por actividad y su eficiencia se obtiene un tiempo promedio.

Por esta ruta se logró reducir el tiempo total de producción de 2 años a 1.6 meses con una probabilidad del 74% de éxito, sin embargó Iván García Sánchez en su tutorial 9º *Explicar y saber cómo trabaja el Método PERT* determina que en construcción con una probabilidad del 64% de éxito es adecuado, por lo tanto la creación del edificio en un tiempo menor a 2 meses es posible.

La empresa que requirió el estudio tenía como tiempo de producción entre 4 y 5 meses, por medio de esta propuesta con la malla PERT se modificó el proceso que se seguía y se mejoró.

## 9.- CONCLUSIONES.

La malla PERT efectivamente tiene la capacidad de mostrar y obtener varios resultados de importancia para el proceso de producción sin embargo durante la introducción de datos se observó que son dinámicos y la malla no tiene la forma de manejarlos.

Este tipo de construcción puede ser usada con varios fines

La construcción de este tipo tiene como beneficios económicos una vivienda accesible a una mayor cantidad de personas, permite hacer viviendas más económicas para el consumidor final, en tiempo máximo de dos meses varias familias contarían con una vivienda con un 74 % de viabilidad y no en 1.5 años como se calculó en la primera corrida del proceso.

También tiene la oportunidad en caso de algún siniestro, si el estado cuenta con éste tipo de estructuras ser usada como un albergue, que será más confortable para las familias que un estadio o una escuela, lo cual es un beneficio social. Como refugio temporal, el cual es adquirido por el estado o gobierno y será usado por un periodo determinado de tiempo, en el momento que se desocupa es posible desarmarlo y ser guardado en un lote para cualquier otra ocasión.

Como refugio permanente, es adquirido por el estado o gobierno y ser usado después de un desastre natural con el fin de reubicar a las personas siniestradas.

Por las características de construcción no se requiere de expertos, por lo cual el estado o la región de colocación de la estructura se verán beneficiada con empleos, siempre que estos reciban una pequeña capacitación para mejorar su eficiencia.

El manejo de acelerantes en la construcción disminuye no solo el tiempo de esperas del fraguado también disminuye la cantidad de agua requerida con lo cual hay un ahorro de ésta en el proceso

## 10. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

**IECA (2015)** *Instituto español del cemento y sus aplicaciones, (IECA)*, (España). Recuperado el 17 de octubre 2016 de [https://www.ieca.es/gloCementos.asp?id\\_rep=179](https://www.ieca.es/gloCementos.asp?id_rep=179)

**Sánchez Air, (2010)**, manual de diseño de procesos, (España), Universitat Miguel Hernández de Elche. Recuperado el 15 de agosto de 2016 de <http://calidad.umh.es/files/2010/09/procesos.pdf>

**Valdez Antonio, (2005)** *Diagramas PERT- ejemplo* (España) Estudios Superiores Presenciales y a Distancia IUSC. Recuperado el 18 de febrero 2016 de <https://www.jusc.es/recursos/gesproy/textos/03.03.02.04htm>

**ADA consultores. (2003)**, “*Diagrama PERT*” (México), Recuperado de <http://www.iusc.es/recursos/gesproy/textos/03.03.02.htm>

**(23 de enero de 2014)**. Toda vivienda debe ser adecuada, digna y decorosa, señala la SCJN. *Excelsior*. Recuperado el 15 de febrero 2016 de <http://www.excelsior.com.mx/nacional/2014/01/23/940001>

**Alcaide López de Pablo David, (2005)**. *Modelos matemáticos en la planificación de proyecto*. Recuperado de <http://www.sinewton.org/numeros/numeros/51/Articulo05.pdf>

**Diagrama de procesos**. DGPLADES (Dirección General de Planeación y Desarrollo en Salud) México. Recuperado el 16 de agosto de 2016 de [http://www.dgplades.salud.gob.mx/descargas/dhg/DIAGRAMA\\_PROCESOS.pdf](http://www.dgplades.salud.gob.mx/descargas/dhg/DIAGRAMA_PROCESOS.pdf)

**Pardo Francisco (16 julio de 2013)**. *Disfrutar de una vivienda digna y decorosa*, (España) Arquide. Recuperado de <http://www.arquine.com/disfrutar-de-una-vivienda-digna-y-decorosa/>

**Ing. Hermida German PhD, (2013)**. *Información Técnicas aditivos para concreto una visión actual*, (Lima-Perú): Sika Perú S.A. recuperado de [http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCkQFjAA&url=http%3A%2F%2Farg.sika.com%2Fdms%2Fgetdocument.get%2Fb4feb432-582f-3226-9145-79ebf958bd03%2FAditivos%2520para%2520Concreto\\_Brochure.pdf&ei=sC\\_tVNyZJNCqyASNjIHYBw&usg=AFQjCNEsXR91psRk0uvJ2IPLrhW7BHBVkw&sig2=wNqMG47ygUtipSfB71EEgg&bvm=bv.86475890,d.aWw](http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCkQFjAA&url=http%3A%2F%2Farg.sika.com%2Fdms%2Fgetdocument.get%2Fb4feb432-582f-3226-9145-79ebf958bd03%2FAditivos%2520para%2520Concreto_Brochure.pdf&ei=sC_tVNyZJNCqyASNjIHYBw&usg=AFQjCNEsXR91psRk0uvJ2IPLrhW7BHBVkw&sig2=wNqMG47ygUtipSfB71EEgg&bvm=bv.86475890,d.aWw)

**García Sánchez Iván (2013)**, *9º Explicar y saber cómo trabaja el Método PERT*, (Internacional). Recuperado de <http://www.gestiopolis.com/recursos3/docs/ger/pertvml.htm>

**Vera Montenegro Iván, (2010).** *Ingeniería ambiental Operaciones unitarias*, (Chile) universidad de los lagos Recuperado de <http://es.slideshare.net/fullscreen/IvanVeraMontenegro/diagramas-de-flujo-especificaciones-y-diseo-de-procesos/1>

**Zarate Neira Javier, (2014).** *Distribución beta y gama*. (Internacional). Recuperado de <http://es.slideshare.net/JavierZarateNeira/distribucion-beta-y-gamma-32564916>

**M. Ing. Ochoa Ávila Norma Angélica (29 de mayo 2013)** *Diagramas para el estudio del trabajo*. (México), Recuperado de <http://ingenieriayeducacion.wordpress.com/2013/05/29/diagramas-para-el-estudio-del-trabajo/>

**NMRCA, (2014).** *El concreto en la práctica*. (México). Recuperado de <http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP15es.pdf>

**Probabilidad y estadística; (2015)** *Modelos de Probabilidad II*. Recuperado de <http://www.uv.es/lejarza/mcaf/eaat5-b.pdf>

**Puracreto, (2014).** *Características y fichas técnicas de un aditivo*. (México). Puracreto S.A. de C.V. Recuperado de <http://www.curacreto.com.mx/productos-para-concreto/aditivos/aceleracreto.html>

**Zavala Trías Sylvia, MLS (2009).** *Guía a la redacción en el estilo APA*. (México). Recuperado en diciembre 2016 de <http://www.cibem.org/paginas/img/apa6.pdf>

**Tangient LLC. (2015).** *Diagramas de procesos industriales*. (México), Recuperado de <http://procesosbio.wikispaces.com/DIAGRAMACION+DE+PROCESOS+INDUSTRIALES>

**Lagos Víctor Miguel (20 octubre de 2004)** *PERT, Técnicas para la revisión y evaluación de programas* (México). Recuperado de <http://www.gestiopolis.com/pert-tecnica-para-la-revision-y-evaluacion-de-programas/>

**Yepes Piqueras Víctor**, el método PERT (España), Universidad Politécnica de Valencia recuperado de <http://www.gestiopolis.com/pert-tecnica-para-la-revision-y-evaluacion-de-programas/>

**Barrantes Romero Ángel, (año)** *Método PERT*, (México), Recuperado de [http://www.yolose.es/gestion\\_pert.html](http://www.yolose.es/gestion_pert.html)

**Derechos Humanos (2010).** *El derecho a una vivienda adecuada*, Folleto informativo No. 21 (rev.1) recuperado en marzo 2016 de [http://www.ohchr.org/Documents/Publications/FS21\\_rev\\_1\\_Housing\\_sp.pdf](http://www.ohchr.org/Documents/Publications/FS21_rev_1_Housing_sp.pdf).

**es SlideShare .** *Programación de obra y flujo de fondos para un proyecto de edificación*, SlideShare, Recuperado en abril 2016 de <http://es.slideshare.net/raphec/programacion-de-obra>.

**Doc. Loría Arcila José Humberto.** Programación de obras con la técnica de la línea de balance, ai México, Recuperado en abril 2016 de <http://www.ai.org.mx/ai/archivos/coloquios/regional-zona7/Programacion%20de%20Obras%20con%20la%20Tecnica%20de%20la%20Linea%20de%20Balance.pdf>.

**Webb Bruce (enero 2015).** Cómo calcular su margen de utilidad en trabajos de construcción, Silver lake media group, Recuperado de <http://www.miconstrugua.com/como-calculer-su-margen-de-utilidad-en-trabajos-de-construccion/>

**(12 de enero 2013)** *Varianza y desviación estándar*, Disfrutalasmatemáticas.com. Recuperado de <http://www.disfrutalasmatemáticas.com/datos/desviacion-estandar.html> **(2009).** *Calculadora estadística: Desviación estándar*, (México) Recuperado de <http://www.alcula.com/es/calculadoras/estadistica/desviacion-estandar/>

**ARQHYS,** Los prefabricados, Arquitectura y decoración (México) recuperado el 27 de junio 2016 de: <http://www.arqhys.com/construccion/los-prefabricados.html>

**Vilssa (2006).** Arquitectura construcción y diseño Paneles semi-prefabricados de hormigón. Eco-block para la construcción de viviendas unifamiliares Recuperado el 25 de junio 2016) de: <http://vilssa.com/paneles-prefabricados-de-hormigon-eco-block>

**Rafael Herrerías Pleguezuelo y Eduardo Pérez Rodríguez (2013).** Departamento de Economía Aplicada. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Universidad de Granada “ESTIMACIÓN DE UNA DISTRIBUCIÓN BETA COMO MODELO PARA SU UTILIZACIÓN EN EL MÉTODO PERT” (España) Recuperado el 3 de febrero de: <https://www.google.com.mx/search?q=cálculo+parametros+distribucion+beta&oq=cálculo+de+la+distribuci%C3%B3n+beta&aqs=chrome.2.69i57j0l2.16701j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>

**In SlideShare (10 de nov 2011)** Técnicas PERT/CPM de revisión y evaluación de proyectos Recuperado el 3 de mayo 2016 de: <https://es.slideshare.net/cristobaladuvirichiri/tecnicas-pert>

**Ing. Pablo Ortiz, MSc, PMP (1 agosto 2014)** 3 T&H Cuantitativas para Gestionar la Incertidumbre en los Proyectos. Recuperado de: [https://es.slideshare.net/portiz\\_2/3-tcnicas-y-herramientas-cuantitativas-para-la-gestion-de-la-incertidumbre-en-los-proyectosparte-i](https://es.slideshare.net/portiz_2/3-tcnicas-y-herramientas-cuantitativas-para-la-gestion-de-la-incertidumbre-en-los-proyectosparte-i)

**Alejandro Pérez, PMP, (25 de nov 2014)** ¿Qué es PERT? ¿Para qué se utiliza y como se calcula? (España), Recuperado de: <http://www.ceolevel.com/certificacion-pmp-que-es-pert-para-que-se-utiliza-y-como-se-calcula>

**Diario Oficial de la federación (2015).** ACUERDO por el que se emiten las Reglas de Operación del Programa Vivienda Digna, para el ejercicio fiscal 2013. (México), Recuperado de: [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle\\_popup.php?codigo=5289904](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5289904)



**INEGI (2013).** Vivienda. (México) Recuperado de:  
<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/vivienda/default.aspx>

**Isabel Villa (16 de junio 2015).** PERT, Prezi Recuperado de:  
[https://prezi.com/fankh\\_s07i2m/pert/](https://prezi.com/fankh_s07i2m/pert/)

**Iván Vera Montenegro (2013)** Diagramas de flujo, especificaciones y diseño de procesos. (Internacional), Recuperado de:  
<https://es.slideshare.net/IvanVeraMontenegro/diagramas-de-flujo-especificaciones-y-diseño-de-procesos>.

**Domínguez Díaz, Gema García Gastelum, Gloria E. MARTINEZ SANTOS, ELVIA, Redona R. María del socorro (2015)** Análisis de holgura en PERT, (México), Recuperado el 14 marzo 2016 de: <https://prezi.com/i0npkpp3mfsm/analisis-de-holguras-de-pert/>.

**Leonardo (2014)** Diagramas de proceso industriales. (México), Universidad Autónoma de México, Recuperado de: <http://ingenieria-quimica9.webnode.es/products/diagramas-de-procesos-industriales/>

**Bilbao & Bejarano (29 oct. 2014)** El método PERT, (México), Recuperado de:  
<https://www.youtube.com/watch?v=xuo8i9-j5p4>

**Marisol Galeano Duque, Yuliana A. Durango Hernández y Anny S. Helvera Sánchez (1 abril 2014),** Diagramas de flujos, Slideshare. Recuperado de:  
<https://es.slideshare.net/juvenalcarmona/diagrama-de-flujos-33009113>

**Víctor Yepes Piqueras (2014),** el método PERT (España), Universidad Politécnica de Valencia Recuperado de <http://www.gestiopolis.com/pert-tecnica-para-la-revision-y-evaluacion-de-programas/>

**José Luis Bobadilla (2015)** Unidad independencia. Donde la arquitectura integral funciona (México), Recuperado de [mxcity.mx/2016/04/unidad-independencia-donde-la-arquitectura-integral-funciona/](http://mxcity.mx/2016/04/unidad-independencia-donde-la-arquitectura-integral-funciona/).

**Jairo Diario Murcia, Flor N. Díaz Vic., (2013),** “Proyectos formulación y criterios de evaluación”, Alfaomegas grupo editor SA DE CV México, octava edición, México, Pág. 169 a 185.

**Marques de Cantú María José (1990).** *Bioestadística para Ingenieros*, (México) Limusa S.A. de C.V. pág. 79-90, 105,137

**Peters Max S., K.D. Timmerhaus (2003).** *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. (USA): Editorial Ronald E. West

**Wiley John y Sons, Inc, (1992).** *Materiales y procesos de manufactura.* (México) editorial limusa, SA de C.V. grupo noruega y editores.

**Barón Jacques et Jean-Pierre Olliver (1992).** *Conception des bétons: la structure poreuse,* Pág. 57-99

**R. Welty James, Wilson Charles E., segunda edición, (2012).** *FUNDAMNETOS DE TRANFERENCIA DE MOMENTOS, CALOR Y MASA.* (México): Limusa Wiley. pág. 304 a 317.

**Baca Urbina Gabriel, (1995).** *Evaluación de proyectos.* (México): McGRANW-HILL

**Gido K Jack y Clemente James P. (2012),** *Administración exitosa de proyectos,* (USA): quinta edición CEGAGE LEARNING, pág. 154, 156.

**Walas Stanley M., Butterworth (1990).** *Chemical Process Equipment, Selection and Design.* (USA): Heinemann.

**Kenneth E. Kendall y Julie E. Kendall, USA, (1997).** “*ANALISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS*”, , EDITORIAL Pearson educación, TERCERA EDICIÓN, pág., 29 a la 47

**Collantes Díaz Armando (1989).** *EL PERT.* Editorial LIMUSA S.A. de C.V. Octava impresión. (México)

**John Wiley y Sons, Inc, (1992).** “*Materiales y procesos de manufactura*”. (México) editorial Limusa, SA de C.V. grupo noruega y editores.

**James R. Welty, Charles E. Wilson, , (2012).** “*FUNDAMNETOS DE TRANFERENCIA DE MOMENTOS, CALOR Y MASA*”. (México): Limusa Wiley. segunda edición Pág. 304 a 317.

**kJack Gido y James P. Clemente. (2012),** “*Administración exitosa de proyectos*”, quinta edición, Editorial CEGAGE LEARNING, Pág. 154, 156.

**DeGARMO E. PAUL, J. TEMPLE BLA, RONALD A. KOHSER, (1988).** *Materiales y Procesos de fabricación.* (Barcelona): editorial Reverte SA.

**Austin G. (2000)** *Manual de Procesos Químicos en la Industria.* (México) Primera edición en español.: Mc Graw Hill. Tomos I, II y III.

**Martínez, J. A. (abril, 2015).** *Diseño de captación y tratamiento de agua para una planta piloto que elabora elementos que permitan la construcción para casas sustentables.* Jiutepec, Morelos (México). pág. 41

**Arellano Hernández Carolina (Abril 2015).** *Diseño de un sistema de iluminación externo para una planta piloto de construcción de vivienda sustentable, utilizando energías alternativas.* Jiutepec, Morelos (México). pág. 62,63 y78

**Mtra. Melbi Gaona Jiménez Silvia (marzo 2016).** *Matemáticas en acción en la Ingeniería Industrial*, gaceta No.23 (año 8 nov. 2014), UPEMOR. Pag.6 y 7.

**Ludwig E., 3rd.** (2001) *Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants*, Volumes 1, 2 & 3, (USA): Edition, Ernest.



