

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**



**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO MATEMÁTICAS**

**TESIS DE GRADO**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:  
“MAGÍSTER EN CONTROL DE OPERACIONES Y GESTION  
LOGÍSTICA”**

**TEMA**

**PROPUESTA DE UN MODELO DE OPTIMIZACIÓN PARA LA  
ASIGNACIÓN DE RECURSOS EN PLANES DE INSTALACIÓN  
Y PROYECCIÓN DE ABASTECIMIENTO DE EQUIPOS EN  
MULTI-PROYECTOS DE TELECOMUNICACIONES**

**AUTOR**

**LISSETTE KATHERINE GÓMEZ CORTEZ**

**Guayaquil- Ecuador**

**2017**

## **DEDICATORIA**

*A mi familia, especialmente a mi madre, quien en todo momento ha brindado su apoyo incondicional.*

*Lisette*

## **AGRADECIMIENTO**

*A todos mis catedráticos, en especial al M.Sc. Carlos Cepeda De La Torre, que ha transmitido sus conocimientos de tal forma que he podido desarrollar las destrezas indispensables para el desarrollo del presente proyecto.*

*A aquellas personas que de alguna u otra forma me apoyaron durante este nuevo reto.*

*A todos,*

*Muchas gracias*

*Lisette*

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Graduación, así como el Patrimonio Intelectual del mismo, corresponde exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica del Litoral.



---

Ing. Lissette Gómez Cortez

## **TRIBUNAL DE GRADUACIÓN**



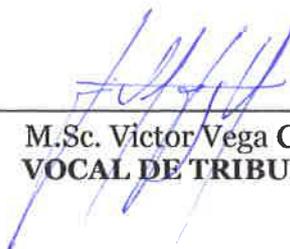
---

**M.Sc. David Pinzón Ulloa**  
**PRÉSIDENTE DE TRIBUNAL**



---

**M.Sc. Carlos Cepeda De La Torre**  
**DIRECTOR DE TESIS**



---

**M.Sc. Victor Vega Chica**  
**VOCAL DE TRIBUNAL**

# ÍNDICE GENERAL

## ÍNDICE GENERAL

## ÍNDICE DE TABLAS

## ÍNDICE DE GRAFICOS

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

## ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 1.....	1
1.1 JUSTIFICACIÓN.....	1
1.2 PROBLEMÁTICA.....	2
1.3 OBJETIVOS .....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2. Objetivos Específicos.....	4
1.4 METODOLOGÍA.....	5
CAPÍTULO 2.....	6
2.1 MARCO TEÓRICO.....	6
2.1.1 Telecomunicación.....	6
2.1.1 Proceso de planificación e instalación de proyectos.....	9
2.1.2 Descripción del Servicio.....	9
2.1.3 Detalle de Servicio de Ingeniería.....	11
2.2 Programación Matemática .....	17
2.2.1 Definición.....	17
2.2.2 Planteamiento.....	18
2.2.3 Importancia .....	19
2.2.4 Programación Lineal Entera Mixta .....	20
2.3 Estado de Arte.....	21
2.3.1 A Resource Allocation Model for Multi-Project Management, H. Kane & A. Tissier, 2012 .....	21
2.3.2 Project Risk Management Techniques in Resource Allocation, Scheduling and Planning, Hossein Amoozad Khalili and Anahita Maleki, 2011.....	22

2.3.3 Stability and Resource Allocation in Project Planning. Roel Leus and Willy Herroelen, 2010 .....	24
2.3.4 Allocating Time and Resources in Project Management Under Uncertainty, Mark A. Turnquist and Linda K. Nozick, 2003 .....	25
2.3.5 Optimization of Resource Allocation and Leveling Using Algorithms, Tarek Hegazy, 1999.....	26
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>27</b>
3.1 Introducción .....	27
3.2 Diseño del Modelo Matemático .....	29
3.2 Información utilizada .....	33
3.3 Implementación y Resultados en GAMS .....	46
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>63</b>
Conclusiones .....	63
Recomendaciones .....	64

**ANEXOS**

**BIBLIOGRAFÍA**

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 –Gestión de Proyectos.....	10
Tabla 2.2 – Inspección del Sitio.....	12
Tabla 2.3 – Diseño de Ingeniería.....	13
Tabla 2.4 – Instalación del Hardware.....	14
Tabla 3.1 – Actividades del Proyecto Nro. 1.....	30
Tabla 3.2 – Actividades del Proyecto Nro. 2.....	33
Tabla 3.3 – Actividades del Proyecto Nro. 3.....	35
Tabla 3.4 – Actividades del Proyecto Nro. 4.....	37
Tabla 3.5 - Diagrama de Gantt Proyecto 1.....	39
Tabla 3.6 - Diagrama de Gantt Proyecto 2.....	40
Tabla 3.7 - Diagrama de Gantt Proyecto 3.....	41
Tabla 3.8 - Diagrama de Gantt Proyecto 4.....	42
Tabla 3.9 – Detalle de Recursos utilizados en los proyectos.....	43
Tabla 3.10 – Detalle de los equipos utilizados en los proyectos.....	43
Tabla 3.11 – Diagrama de Gantt del Resultado del Proyecto 1 con modelo vs. Proyecto 1 inicial y final sin modelización.....	44
Tabla 3.12 – Tabla comparativa del Resultado del Proyecto 1 con modelo vs. Proyecto 1 inicial y final sin modelización.....	46
Tabla 3.13 – Diagrama de Gantt del Resultado del Proyecto 2 con modelo vs. Proyecto 2 inicial y final sin modelización.....	47
Tabla 3.14 – Tabla comparativa del Resultado del Proyecto 2 con modelo vs. Proyecto 2 inicial y final sin modelización.....	50
Tabla 3.15 – Diagrama de Gantt del Resultado del Proyecto 3 con modelo vs. Proyecto 3 inicial y final sin modelización.....	51
Tabla 3.16 – Tabla comparativa del Resultado del Proyecto 3 con modelo vs. Proyecto 3 inicial y final sin modelización.....	54
Tabla 3.17 – Diagrama de Gantt del Resultado del Proyecto 4 con modelo vs. Proyecto 4 inicial y final sin modelización.....	55

Tabla 3.18 – Tabla comparativa del Resultado del Proyecto 4 con modelo vs. Proyecto 4 inicial y final sin modelización..... 58

Tabla 3.19 – Tabla de beneficios de los Proyectos 1 al 4..... 59

## **ÍNDICE DE GRÁFICOS**

Ilustración 3.1 – Detalle de actividades por proyecto .....	27
---	----

## **ÍNDICE DE ABREVIATURAS**

MTO: Make to order, sistema de manufactura en donde una empresa produce determinado producto sólo bajo pedido.

ITU: International Telecommunication Union, Unión Internacional de Telecomunicaciones.

NGN: Next Generation Networking, Red de la Próxima Generación.

xDSL: Digital Subscriber Line, Línea de Suscripción Digital.

GSM: Global System for Mobile communications, Sistema Global para las comunicaciones móviles.

GPRS: General Packet Radio Service, Sistema Global para las comunicaciones móviles.

EDGE: Enhanced Data Rates for GSM Evolution, Tasas de Datos Mejoradas para la evolución de GSM.

W-CDMA: Wideband Code Division Multiple Access, Acceso Múltiple por división de código de banda ancha.

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System, Sistema universal de telecomunicaciones móviles.

Router: Ruteador.

IP: Internet Protocol, Protocolo de Internet.

IOT: Interoperability testing, pruebas de interoperabilidad.

PMP: Project Management Plan, Plan de gestión de proyectos.

EPC: Engineering, Procurement and Construction, Ingeniería, Adquisiciones y Construcción.

TL9000: Manual de calidad diseñado para la industria de telecomunicaciones.

MIP: Mixed Integer programming, Programación entera mixta.

PERT: Program Evaluation and Review Technique, Programa de evaluación y revisión técnica.

COD. ACT.: Código de actividad.

ACT. PRED.: Actividad predecesora.

OSN: Intelligent Optical Switching System, sistema inteligente de conmutación óptica.

DDF: Digital Distribution Frame, Panel de distribución digital.

FIBER RUNNER: Fiber Optic Cable, Cable de fibra óptica.

ODF: Optical Distribution Frame, Panel de distribución óptico.

DC BOX: Digital Controller Box, Caja digital controladora.

IDU: Interface Data Unit, Unidad de interfaz de datos.

ODU: Optical Data Unit, Unidad óptica de datos.

# CAPÍTULO 1

## 1.1 JUSTIFICACIÓN

Actualmente el sector de telecomunicaciones ha sido de gran interés para muchas empresas a nivel nacional, ya sean operadoras de servicios móviles, fijos o entidades estatales que desean mejorar su servicio como indica el plan nacional de desarrollo de telecomunicaciones, el cual es de obligatoriedad para todas las instituciones de esta rama. Para lograr este objetivo solicitan a compañías especializadas sus servicios indicando qué desean desarrollar o perfeccionar. Estas empresas pueden manejar varios proyectos al mismo tiempo para diferentes clientes, en múltiples lugares (geográficamente dispersos) y con distintos plazos de entrega.

En estas compañías que manejan multi-proyectos, uno de los grandes problemas es el cumplimiento de los diversos plazos o fases dentro del proceso de instalación, ejecución y entrega. Al momento de realizar la propuesta al cliente muchas veces se desconoce cuándo será adjudicado y debido a que todos los recursos se comparten entre los proyectos que se encuentren vigentes, la asignación de los mismos no es acertada en algunos casos.

Los modelos matemáticos han sido de gran importancia a lo largo de muchos años ya que nos ayudan a recrear lo que sucede en un sistema real y observar donde está la falla o que está causando el bajo rendimiento o los costos elevados y un sinnúmero de falencias

que podríamos tener dentro de una situación práctica, podemos desglosar conclusiones y plantear las posibles soluciones para optimizar, mejorar y construir una mejor situación en pro de los objetivos de la empresa.

Este proyecto pretende optimizar los tiempos de instalación para cada contrato dentro de los parámetros establecidos y se cuenta con los equipos necesarios para su ejecución en el tiempo señalado en el plan de instalación, la correcta asignación de recursos evitará costos adicionales y mejorará la satisfacción del cliente.

## **1.2 PROBLEMÁTICA**

Generalmente en las empresas que manejan multi-proyectos se encuentran con diferentes factores internos y externos que pueden derivar en retrasos o demoras en la instalación e implementación de los mismos. Se toman medidas para evitar estos atrasos como un plan de instalación y una proyección de manufactura, los cuales crean cierta seguridad en el equipo de trabajo hasta la ejecución, ya que en ese momento se puede conocer si se cuentan con todos los recursos necesarios para la instalación y si efectivamente se puede cumplir con las fechas determinadas en el plan de trabajo.

En la empresa objeto de estudio, actualmente la instalación de los proyectos sufre demoras por los siguientes motivos:

1. Falta de recurso humano para fiscalizar el proyecto debido a que se trabaja en múltiples proyectos al mismo tiempo.
2. El contratista no cuenta con suficientes grupos de trabajos para completar la instalación.
3. Requerimientos adicionales del cliente.
4. Retrasos en adecuaciones civiles y/o eléctricas del cliente.
5. Demoras en el proceso de adquisiciones.
6. Compras locales de último momento debido a falta de stock por parte del proveedor habitual.
7. Errores del contratista durante la implementación.
8. Daños en equipos.
9. Errores humanos.

Se debe considerar también que la proyección de abastecimientos para cada uno de los proyectos debe ser acorde al plan de instalación, en tendencia el equipo de trabajo solicita que los equipos y materiales necesarios para la instalación se encuentren en bodega de 7 a 10 días antes de empezar la instalación.

Las consecuencias de las demoras en la instalación e implementación de los proyectos son multas monetarias que pueden llegar a ser desde 0.005% - 2% del monto total del contrato, deducibles de los valores pendientes de cancelar, y hasta el 30% del valor total del contrato, antes del IVA; adicionalmente se debe tomar en cuenta cuánto perjudican estos retrasos en la satisfacción al cliente y la calificación que puede decrecer hasta el 2.3 sobre 5 como se encuentra actualmente.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo General

Mejorar la asignación actual de recursos y la correcta planificación de manufactura mediante el diseño de un modelo matemático para cumplir con los tiempos establecidos, incrementar la satisfacción del cliente y disminuir costos logísticos en los que se incurre actualmente por los retrasos en los proyectos.

### 1.3.2. Objetivos Específicos

- Diseñar un modelo matemático que permita asignar los recursos (humanos) con los que cuentan todos los proyectos para la instalación de forma tal que se cumpla con el plan de trabajo establecido desde el inicio del contrato.
- Plantear un modelo matemático (make to order<sup>1</sup>) que nos proporcione la forma adecuada de planificar la manufactura de equipos para cada uno de los proyectos para abastecerlos de acuerdo a los tiempos estipulados en el plan de instalación y evitar que arribe a destiempo.
- Incrementar el índice de satisfacción al cliente mediante el fiel cumplimiento de lo establecido en las cláusulas de los contratos y órdenes de compra de los clientes.
- Disminuir el sobre inventario mediante el efectivo abastecimiento bajo el modelo make to order, y los equipos sean entregados en los sitios de la instalación a tiempo.
- Evitar las multas por atrasos y demoras mediante la aplicación de la solución óptima del modelo diseñado.

---

<sup>1</sup> Make To Order (MTO) – Sistema de manufactura en donde una empresa produce determinado producto sólo bajo pedido.

- Presentar los resultados con los modelos diseñados y compararlos con los resultados actuales.

## **1.4 METODOLOGÍA**

En el presente estudio se describirá el proceso para la instalación de un proyecto de telecomunicaciones desde la cotización que se presenta al cliente hasta su entrega.

Adicionalmente se tomará en cuenta la problemática de la asignación de recursos compartidos para una empresa que maneja multi-proyectos, se estudiarán diferentes modelos matemáticos que pretenden obtener la mejor forma de distribuirlos.

Se recolectará información del proceso que actualmente se realiza. Se tomarán tres proyectos similares como base que fueron desarrollados por una empresa del medio.

Se diseñará un modelo matemático que describa el proceso de distribución de recursos y planificación de manufactura con la finalidad de mejorar los tiempos de instalación y cumplir con los tiempos establecidos en el contrato u orden de compra del cliente.

Se evaluarán los resultados obtenidos del modelo diseñado y se compararán con el proceso existente.

## CAPÍTULO 2

### 2.1 MARCO TEÓRICO

#### 2.1.1 Telecomunicación

##### Definición e importancia

La telecomunicación es el estudio y aplicación de la técnica que diseña sistemas que permitan la comunicación a larga distancia, a través de la transmisión y recepción de señales. La definición dada por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU, International Telecommunication Union) para telecomunicación es «toda emisión, transmisión y recepción de signos, señales, escritos e imágenes, sonidos e informaciones de cualquier naturaleza, por hilo, radioelectricidad, medios ópticos u otros sistemas electromagnéticos». Típicamente estas señales se propagan a través de ondas electromagnéticas, pero es extensible a cualquier medio que permita la comunicación entre un origen y un destino como medios escritos, sonidos, imágenes. El término «telecomunicación» resulta al añadir a comunicación el prefijo griego "tele-", que significa "distancia".

En la telecomunicación se incluyen muchas tecnologías como la radio, televisión, teléfono y telefonía móvil, comunicaciones de datos y redes informáticas, como Internet. Estas tecnologías son de vital importancia en el contexto socioeconómico actual, sobre todo si valoramos su utilidad en conceptos como la globalización o la sociedad de la información. De hecho, una gran familia de estas tecnologías, enfocadas a un consumo no profesional, se ha enfocado en las llamadas tecnologías de la información y la comunicación, que forman ya parte del currículo educativo en muchos países.

La telecomunicación tiene por objetivo establecer una comunicación a distancia para transmitir cierta información, pues desde el punto de vista técnico hasta la función fática aporta información al mensaje. Esta información se obtiene de las denominadas fuentes de información: sonido, imagen, datos, señales biomédicas, señales meteorológicas... y en definitiva cualquier forma de señal analógica o digital.

Estas fuentes se procesan y tratan con el fin de proceder a su estudio tanto en el tiempo como en la frecuencia y buscar así la forma más eficiente de transmitir las. Se atiende a criterios tales como el ancho de banda de la señal o la tasa de transferencia con el fin de transmitir la mayor información posible con el menor número de recursos sin que haya interferencias ni pérdida de información. Así se aplican técnicas de compresión que permiten reducir el volumen de información sin afectar gravemente al contenido del mismo.

En las últimas décadas ha tomado gran importancia la digitalización, que consiste en caracterizar señales analógicas con señales digitales.

### **Medios de transmisión**

Un medio de transmisión es el canal que permite la transmisión de información entre dos terminales de un sistema de transmisión. La transmisión se realiza habitualmente empleando ondas electromagnéticas que se propagan a través del denominado canal de comunicación. A veces el canal es un medio físico y otras veces no, ya que las ondas electromagnéticas son susceptibles de ser transmitidas por el vacío. De esta forma se pueden clasificar en dos

grandes grupos: medios de transmisión guiados y medios de transmisión no guiados.

## Líneas de productos

Los proveedores de telecomunicaciones manejan las siguientes líneas o tipos de productos: redes de telefonía fijas, móviles, comunicaciones de datos, redes ópticas, software & servicios y terminales telefónicos, incluyendo módems, conmutadores, redes de acceso integradas, NGN<sup>2</sup>, xDSL<sup>3</sup>, transporte óptico, redes inteligentes, GSM<sup>4</sup>, GPRS<sup>5</sup>, EDGE<sup>6</sup>, W-CDMA<sup>7</sup>, CDMA2000, UMTS<sup>8</sup>, routers (ruteador) y conmutadores IP<sup>9</sup>, videoconferencia, etc.

### 2.1.1 Proceso de planificación e instalación de proyectos

Como todo proceso de compra o requisición empieza desde la cotización o proforma solicitada por el cliente en donde se ofrece una solución para sus necesidades de acuerdo a los parámetros técnicos que desee o solicite, en esta cotización se indican precios de equipos y servicios, tiempo de fabricación, entrega en sitio e instalación, adicionalmente garantías y tiempo de cobertura de las mismas.

### 2.1.2 Descripción del Servicio

El servicio de implementación de Tecnología Integrada se compone principalmente de tres partes: servicios de ingeniería, supervisión de puesta en servicio, y el servicio de soporte de una sola vez.

---

<sup>2</sup> Next Generation Networking (NGN) – Red de la Próxima Generación

<sup>3</sup> Digital Subscriber Line (xDSL) – Línea de Suscripción Digital

<sup>4</sup> Global System for Mobile communications (GSM) – Sistema Global para las comunicaciones móviles

<sup>5</sup> General Packet Radio Service (GPRS) - Servicio general de paquetes vía radio

<sup>6</sup> Enhanced Data Rates for GSM Evolution (EDGE) - Tasas de Datos Mejoradas para la evolución de GSM

<sup>7</sup> Wideband Code Division Multiple Access (W-CDMA) - Acceso múltiple por división de código de banda ancha

<sup>8</sup> Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) -Sistema universal de telecomunicaciones móviles

<sup>9</sup> Internet Protocol – Protocolo de Internet

### **2.1.2.1 Servicio de Ingeniería**

Servicio de Ingeniería cubre la instalación de hardware, software puesta en marcha y la gestión global del proyecto. El servicio de ingeniería se entrega de forma rápida y segura basada en plataformas corporativas y gran experiencia en la ingeniería.

En concreto, el departamento de Ingeniería se compone de siete partes: gestión de proyectos, inspección del lugar, diseño de ingeniería, instalación de hardware, software de puesta en marcha, pruebas de interoperabilidad (IOT), y las pruebas de aceptación.

### **2.1.2.2 Supervisión de puesta en servicio**

Esta parte del proceso proporciona orientación técnica para la instalación de hardware y software lo cual facilita la puesta en marcha. La empresa da respuestas a los problemas tecnológicos de los productos que se susciten durante la instalación del hardware, guía al personal a través de la misma, verifica y ayuda a los técnicos para la correcta y rápida instalación y las tareas de puesta en marcha. Consta de cuatro partes: la supervisión del hardware, software, puesta IOT y pruebas de aceptación.

### **2.1.2.3 Servicio de Soporte de una sola vez**

Cuando el cliente se encuentra con un problema y necesita urgentemente resolverlo, la empresa puede designar a ingenieros con experiencia para ir al sitio del cliente, ayudando de esta forma a los clientes a resolver rápidamente el problema. Este servicio se denomina servicio de soporte de una sola vez.

## 2.1.3 Detalle de Servicio de Ingeniería

### 2.1.3.1 Gestión de Proyectos

#### Definición

La gestión del proyecto es supervisar y gestionar todas las actividades de aplicación de ingeniería, siguiendo PMP<sup>10</sup> y los procesos de EPC<sup>11</sup> y el cumplimiento de las normas TL9000<sup>12</sup> con el fin de garantizar que los proyectos se desarrollen de la forma esperada y requerida por el cliente, sin comprometer la calidad del mismo.

**Tabla 2.1 –Gestión de Proyectos**

Apoyo técnico	Módulo de Servicio	Descripción	
Gestión de proyectos	Gestión de la calidad	Gestión de calidad de la ingeniería del proyecto	
	Gestión de progreso de la dirección	Gestión calendario del proyecto	
	Gestión de la comunicación	Gestión de proveedores	
		Gestión Subcontratista	
		Comunicación con el cliente	
	Gestión de costes	Costo de compra	
		Costo laboral	
	Gestión del ámbito	Gestión del alcance del proyecto	
	Gestión de la tecnología	Gestión de la tecnología del proyecto	
Gestión del riesgo	Gestión del riesgo del proyecto		
Gestión de la satisfacción del cliente	Gestión de la satisfacción de servicio del proyecto		

**Gestión de la calidad:** Gestiona la calidad de la ejecución del proyecto para asegurar que el proyecto es controlable y se lleva a cabo de manera eficiente.

<sup>10</sup> Plan de Gestión de Proyectos PMP por sus siglas en inglés

<sup>11</sup> Engineering, Procurement and Construction – Ingeniería, Adquisiciones y Construcción

<sup>12</sup> Manual de calidad diseñado para la industria de telecomunicaciones

**Gestión de Progreso:** Estima la duración del proyecto, da prioridad a las actividades, genera un plan de progreso y lo actualiza, y controla la ejecución del plan.

**Gestión de la comunicación:** Administra los proveedores y subcontratistas, se comunica con el cliente sobre la ejecución del proyecto.

**Gestión de costes:** Calcula correctamente la compra, los costos de mano de obra y supervisa la contabilidad de costes del proyecto para asegurar que el costo de servicio de implementación se mantiene en un nivel adecuado.

**Gestión ámbito:** Administra el alcance del proyecto basándose en la gran experiencia de la empresa en la ingeniería.

**Gestión de la tecnología:** Administra las tecnologías utilizadas en los proyectos basados en la plataforma tecnológica de la empresa a través de expertos que proporcionan apoyo a distancia.

**Gestión de riesgos:** Gestiona los riesgos en los proyectos, por ejemplo, dar alertas tempranas.

**Gestión de la satisfacción del cliente:** Regularmente se comunica con el cliente acerca de varios asuntos durante el proceso de ejecución del proyecto para mejorar la satisfacción del cliente.

### **2.1.3.2 Inspección del lugar**

#### **Definición**

El informe sobre el sitio permite comprobar las condiciones del lugar (incluyendo distribución interior, suministro de energía y entornos de cableado) en base a la lista de configuración del equipo.

**Tabla 2.2 – Inspección del Sitio**

Apoyo técnico	Módulo de Servicio	Descripción
Inspección del Sitio	Inspección del Sitio	Evaluación del diseño del equipamiento
		Valoración de la fuente de poder para los equipos
		Evaluación del sistema de los equipos de vigilancia
		Evaluación de equipos de transmisión y conexiones de cables
		Verificación del entorno de la obra

\*El contenido de la inspección del sitio varía según los productos.

**Evaluación del diseño del equipamiento:** Se realiza un estudio de los ambientes exteriores de la sala de equipos, la estructura y las dimensiones de la sala de equipamiento interior, los equipos existentes y las instalaciones (por ejemplo, auxiliares, como la fuente de poder, barra de tierra, aire acondicionado, bandeja de cable, y el piso elevado están disponibles) para asegurar que el equipo puede ser instalado con éxito en la sala de equipos.

**Valoración de la fuente de poder para los equipos:** Se realiza un estudio del sistema de poder en la sala de equipos para asegurarse de que la fuente de poder sea compatible con los equipos a instalar.

**Evaluación del sistema de los equipos de vigilancia:** Se realiza una evaluación del sensor de temperatura, sensor de humedad, sensor de humo, sistema de acceso, sensor de agua y la red del sistema de protección de corte para asegurarse de que el equipo a ser instalado puede funcionar en un entorno controlado.

**Evaluación de la transmisión de los equipos y conexiones de cables:** Se verifican las conexiones de cable, cable troncal y los tipos

de interfaz, cables de conexión en cascada entre los gabinetes y los cables de red externa.

**Verificación de la transmisión de los equipos y conexiones de cables:** se realiza una evaluación del entorno de la obra, tales como rodamientos, refrigeración y ventilación.

Se entrega un reporte en donde se incluyen todos los puntos señalados anteriormente.

### 2.1.3.3 Ingeniería del Diseño

#### Definición

Diseño de ingeniería es para desarrollar el plan del diseño interior y los reglamentos relacionados, y producir dibujos de diseño basado en el informe de inspección del lugar para proporcionar una guía en la instalación del equipo.

**Tabla 2.3 – Diseño de Ingeniería**

Apoyo técnico	Módulo de Servicio	Descripción
Diseño de ingeniería	Diseño de ingeniería	Diseño de distribución de la instalación de equipos
		Diseño de conexiones de los cables de los equipos
		Cálculo del consumo de energía del equipo

\* El contenido de diseño de ingeniería varía con los productos.

**Diseño de distribución de la instalación de equipos:** Se elabora un diagrama de distribución de la sala de equipos, y un esquema de uso de los puertos de poder para asegurar que el proyecto se ejecuta de acuerdo con el diseño.

**Diseño de conexiones de los cables de los equipos:** Se elabora un diagrama sobre los cables de conexión para la sala de equipos, un diagrama de uso de barra de tierra, una tabla de conexiones de cable interno para el equipo, y una tabla de la conexión del cable externo de los equipos para asegurar que el proyecto se ejecute de acuerdo con el diseño.

**Cálculo del consumo de energía del equipo:** Proporciona una tabla de consumo de energía del equipo para asegurarse de que el sistema de suministro de energía en la sala de equipos de soporte al equipo a instalar.

Se elabora y entrega un reporte donde se incluyen los puntos señalados anteriormente.

#### 2.1.3.4 Instalación del hardware

##### Definición

Instalación del hardware es la instalación propiamente dicha de los equipos, materiales auxiliares y la energía para ellos. El equipamiento de serie incluye el equipo principal y otro equipo que se entrega con el equipo principal.

##### Contenido

En la siguiente tabla se muestran los detalles del servicio de instalación de hardware.

**Tabla 2.4 – Instalación del Hardware**

Apoyo técnico	Módulo de Servicio	Descripción
Instalación del hardware	Instalación de equipos	Instalación del gabinete y equipo principal de acuerdo a los requerimientos del cliente
		Instalación de los componentes internos
	Instalación de cables	Instalación de los cables

		Ajuste de los cables
	Hardware auto-control y encendido	Hardware auto-control y encendido

**Instalación del gabinete y equipos principales:** Se instalan los equipos basándose en las normas de instalación de ingeniería de la empresa y los requisitos del cliente.

**Instalación de los componentes internos:** Se instalan los componentes internos de acuerdo con el diseño previsto. La instalación de servicio de componentes internos puede ser necesaria en escenarios tales como la construcción de la red, expansión de la capacidad, la reconstrucción de la red, y la migración de la red.

**Instalación de los cables:** Se instalan cables de interconexión y las fibras ópticas que se conectan al equipo y equipo auxiliar principal.

**Ajuste de los cables:** Ajusta los cables que se conectan a los equipos principales y equipos auxiliares. El servicio de ajuste del cable puede ser necesario en escenarios tales como la expansión de la capacidad, la reconstrucción de la red, y la migración de la red.

**Hardware auto-control y encendido:** Finaliza el control de calidad en el equipo con la lista de calidad y modifica los elementos no calificados. Después de verificar la instalación de hardware, se enciende el equipo y comprueba si los indicadores son funcionales.

Después de la instalación, el cliente firma la lista de empaque (donde se incluyen todos los equipos instalados y sus accesorios), adicional se entrega el informe de inspección de calidad de ingeniería.

Al concluir la instalación del hardware se realiza la instalación y ejecución del software en donde se entregan licencias y el software utilizado, después de ello se verifica si el software y el equipo son compatibles con la red del cliente para garantizar el buen funcionamiento del mismo. Se realizan pruebas de funcionamiento para la aceptación del hardware y software por parte del cliente y asegurarse que todos los materiales utilizados se encuentran dentro de los requisitos básicos del mismo.

## **2.2 Programación Matemática**

### **2.2.1 Definición**

Programación matemática o también conocido como optimización matemática es un procedimiento en el cual se resuelve un problema indeterminado, mismo que se formula en ecuaciones, optimizando la función objetivo (maximizando o minimizando), sujeta a restricciones que están expresadas mediante un sistema de inecuaciones.

Los modelos de optimización se caracterizan por contener:

- Variables o decisiones a realizar
- Ecuaciones de restricción o limitaciones
- Función (es) objetivo.

### 2.2.2 Planteamiento

A continuación se indica el planteamiento general o como está formado el problema de programación matemática.

$$\begin{aligned} & \text{Optimizar } f(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ & \text{sujeto a: } g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq b_1 \\ & \quad g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq b_2 \\ & \quad \dots \\ & \quad g_m(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq b_m \end{aligned}$$

donde

$$f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}, \quad x \in \mathbb{R}^n, \quad g: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^m \quad b \in \mathbb{R}^m$$

La función  $f$ , o función objetivo, es una función delimitada de un dominio de  $\mathbb{R}^n$  sobre  $\mathbb{R}$ , y simboliza una representación matemática del objetivo que se trata de resolver con el problema proyectado.

El vector  $X$  es el vector de variables de decisión, mismo que dentro de sus valores posibles, se trata de elegir uno o varios que faciliten el valor óptimo de la función objetivo.

Conjunto de oportunidades, se denomina así al conjunto de puntos  $X_n$  que pertenecen a  $\mathbb{R}^n$ , mismos que verifican todas las restricciones y que al mismo tiempo pertenecen al dominio de definición de la función.

El objetivo de la programación matemática se define en obtener aquel o aquellos valores de las variables dadas que pertenecen al conjunto

de oportunidades, que maximicen o minimicen el valor de la función objetivo del problema planteado.

### **2.2.3 Importancia**

La programación matemática es muy importante por varias razones. Uno de los motivos es que muchos de los problemas prácticos de la investigación de operaciones pueden plantearse como problemas de programación matemática, tales como problema de flujo de redes o flujo de mercancías. También se utiliza como técnica financiera o logística como soporte en la toma de decisiones en cualquier compañía ya sea de transporte, producción o almacenamiento.

Algunos ejemplos en que se usa la programación matemática son en la mezcla de alimentos, la gestión de inventarios, la cartera y la gestión de las finanzas, la asignación de recursos humanos y recursos de máquinas, la planificación de campañas de publicidad, etc.

Algunos ejemplos en el cual la programación ha sido de suma importancia son:

- La planificación táctica. El problema fundamental a resolver es la asignación efectiva de los recursos para satisfacer la demanda y los requisitos tecnológicos, teniendo en cuenta los costes e ingresos derivados de la explotación de los recursos disponibles en la empresa. Las decisiones más frecuentes que aparecen en este ámbito son la asignación de los recursos globales de capacidad, la creación de horarios, la definición de los canales de distribución, selección de

alternativas de transporte y transbordo, asignaciones de los presupuestos de publicidad y promoción, etc.

- El control de operaciones. Una vez que se hace una asignación global de los recursos de la empresa, es necesario hacer frente al día a día tomando decisiones de planificación operativa. Las decisiones típicas en este nivel son la asignación de pedidos de los clientes, la mejor secuenciación de órdenes en los talleres, las actividades de control de inventario y la contabilidad del inventario, el envío, expedición y procesamiento de pedidos, programación de vehículos de transporte, etc.

#### **2.2.4 Programación Lineal Entera Mixta**

Programación lineal entera mixta o programación entera mixta (MIP) es la maximización o minimización de una función lineal que está sujeta a restricciones lineales y en las cuales una o varias variables deben ser enteras y otras no.

Cuando todas las variables deben ser enteras, el modelo se lo conoce como programación lineal entera pura.

Cuando todas las variables solo pueden tomar valores de 0 o 1 (toma de decisión), se llama programación lineal binaria.

Al incluir variables enteras en un modelo, incrementa su complejidad, debido a que no siempre los vértices de la solución factible pueden ser números enteros y redondear los posibles resultados no obligatoriamente cumple con las restricciones o pueda ser la mejor respuesta.

Para poder resolver este tipo de problemas, existen algunos métodos matemáticos. Uno de los más utilizados en el Branch and Bound en el

cual busca la solución óptima a la “relajación” del problema. Otros métodos con heurísticas y meta-heurísticas, dependiendo de la complejidad del problema, aunque en la actualidad existen solvers o programas en que tratan de resolver problemas complejos o de muchas variables.

## **2.3 Estado del Arte**

A continuación se detallará brevemente algunos trabajos en los cuales los autores usan métodos ya sean prácticos o matemáticos para resolver la problemática de la asignación de los recursos en una empresa.

### **2.3.1 A Resource Allocation Model for Multi-Project Management, H. Kane & A. Tissier, 2012**

Este artículo permite describir brevemente la gestión multi-proyectos que consiste en planificar, coordinar y controlar empresas que se enfocan en manejar varios proyectos a la vez. Estas empresas para que puedan ser eficientes, deben optimizar su tiempo y la asignación de sus recursos. Es decir tratan de acelerar la realización de los proyectos lo más pronto posible con sus recursos limitados y compartido con los demás proyectos que manejan las empresas.

En este trabajo los autores crean un modelo matemático que permite optimizar los costos de realizar un grupo de proyectos mientras tratan de acelerar la realización de todos para poder ahorrar tiempo y aprovecharlo en otros nuevos proyectos. Su modelo lo divide en dos partes. La primera se enfoca en la aceleración del proyecto, en el cual se considera que mientras más se acelere el proyecto, se necesitará más recursos, mismos que conllevan a que los costos se

incrementen. En la segunda parte, para evitar los costos por esta aceleración, se considera la desaceleración de aquellas actividades que no son críticas. Para esto es necesario tener en consideración aquellas actividades críticas y no críticas de un proyecto usando análisis de PERT <sup>13</sup>. Es decir que se tratará de acelerar aquellas actividades críticas para que terminen lo más pronto posible con la mayor cantidad de recursos disponibles, mientras se deja la menor cantidad posible de recurso en aquellas actividades que no sean críticas y puedan demorar un poco más en realizarse.

Su modelo matemático tiene como función objetivo minimizar los costos del recurso humano sujeto a las restricciones de presupuesto para recurso humano, y los tiempos y cantidad de recurso humano que se puedan acelerar y desacelerar para las distintas actividades de los proyectos. Esto permite que se asigne o se reasigne el recurso humano, minimizando costos adicionales en contratar personas adicionales al presupuesto acordado y maximizar ganancias por desacelerar actividades.

### **2.3.2 Project Risk Management Techniques in Resource Allocation, Scheduling and Planning, Hossein Amoozad Khalili and Anahita Maleki, 2011**

En este escrito los autores recalcan la importancia del manejo del riesgo dentro de los proyectos en una empresa y a su vez dan una breve reseña de como los gerentes deben identificar, analizar y responder a aquellos riesgos que influyen de manera tanto positiva o negativa en su proyecto y en el manejo de las empresas.

---

<sup>13</sup> Program Evaluation and Review Technique – Programa de Evaluación y Revisión Técnica

En primer lugar, se define que el riesgo es un evento o condición incierta, que si llegase a ocurrir, puede tener efectos positivos o negativos en el objetivo de un proyecto. Todos los proyectos tienen riesgos y para que estos no lleguen a afectar seriamente en el desarrollo de un proyecto, los autores sugieren que las empresas deben llevar un sistema de manejo de riesgo en el cual se debe comprender donde está la mayor amenaza y la prioridad que debe dar.

Adicionalmente, se introduce la gestión de riesgos en proyectos como una manera fácil y factible para manejar riesgo más eficientemente. Esta gestión la dividen en dos partes. La primera es la evaluación de riesgo y la segunda es el control de riesgo. Es decir que no basta con identificar los riesgos, sino también categorizarlos y controlarlos mediante planes de respuesta ya sea para evitar o disminuir los efectos.

Por último, se introducen las 10 reglas de oro para la gestión de riesgo. Son reglas que ayudan a los gerentes de proyectos, minimizar el impacto que puedan tener las amenazas en un proyecto y aprovechar las oportunidades que se puedan obtener. A continuación se las enlista:

- Regla 1: Hacer la gestión de riesgo parte del proyecto
- Regla 2: Identificar riesgos tempranamente en el proyecto
- Regla 3: Comunicar acerca de los riesgos a las parte involucradas
- Regla 4: Considerar tanto amenazas como oportunidades
- Regla 5: Aclarar cuestiones de propiedad

- Regla 6: Priorizar riesgos
- Regla 7: Analizar riesgos
- Regla 8: Planificar e implementar respuestas al riesgo
- Regla 9: Registrar los riesgos de proyectos
- Regla 10: Rastrear riesgos y asociar tareas

### **2.3.3 Stability and Resource Allocation in Project Planning. Roel Leus and Willy Herroelen, 2010**

Este trabajo describe que la mayoría de la planificación de proyectos y la programación de actividades se basa en información perfecta y dentro de un ambiente determinístico. Sabemos que en la realidad, por distintos factores controlables o no, esto no sucede. Es decir que durante la ejecución de algún proyecto, las actividades están sujetas a incertidumbre que pueden derivar en el no cumplimiento a tiempo del proyecto. Esta incertidumbre puede venir de varias posibles razones como por ejemplo, atrasos o adelantos de un proceso, no hay suficiente material o personal, etc.

En este artículo, los autores examinan si esta incertidumbre puede ser representada por actividades de duración estocásticas y a su vez propone un modelo de asignación de recursos que protege la planificación de un proyecto contra la variabilidad de cada actividad del mismo. Para esto se desarrolla un algoritmo branch-and-bound para resolver el problema de asignación de recursos.

### **2.3.4 Allocating Time and Resources in Project Management Under Uncertainty, Mark A. Turnquist and Linda K. Nozick, 2003**

En este artículo, los autores indican que la mayor parte de las empresas se están estructurando para manejarse por proyecto, mismos que requieren de diferentes tipos de recursos y están sujetos a cumplir tiempos y sin sobrepasarse de su presupuesto. Pero a su vez mencionan que los proyectos también están sujetos a incertidumbre en completar las distintas actividades en el tiempo establecido. Debido a que si una actividad no se cumple o se atrasa, esto causa que las actividades sucesivas se atrasen y afecten al proyecto y su cumplimiento en su totalidad. Esta incertidumbre cause complejidad a los gerentes en sus decisiones sobre cual proyecto invertir, cuánto le va a costar y cuánto tiempo se va a tomar en terminar cada uno de sus proyectos o cancelar cuando los mismos no van por buen camino.

El papel principal del escrito es tratar de dar una solución en la planificación, programación y gestión de proyectos cuando hay incertidumbre en la duración, requerimientos de recursos y en los resultados de cada una de las actividades que forman parte de un proyecto. También se enfoca en definir relaciones en recursos y tiempos asignados a cada actividad y su probabilidad de que la misma sea completada con éxito. Mientras que la mayor parte de los modelos matemáticos que se enfocan en minimizar costos o tiempo, este modelo trata de maximizar la probabilidad de que el proyecto sea un éxito. Para poder lograrlo los autores utilizan técnicas estadísticas para estudiar la probabilidad de que un evento sea un éxito dentro de una ventana de tiempo.

### **2.3.5 Optimization of Resource Allocation and Leveling Using Algorithms, Tarek Hegazy, 1999**

El documento en mención nos indica que debido a la complejidad de los proyectos y la asignación de recursos, se ha tratado como dos sub-problemas resueltos usando procedimientos heurísticos que no garantizan una solución óptima. Los autores proponen mejoras para la asignación de recursos y nivelación heurística, usando técnicas de algoritmos genéticos para encontrar una buena solución.

Este trabajo hace una breve descripción de las ventajas y limitaciones de los enfoques basados en la optimización y heurísticas actuales, mismo que son probados en un caso de estudio. Un modelo de optimización multi-objetivo utilizando la técnica de algoritmos genéticos es descrito y evaluado.

## CAPÍTULO 3

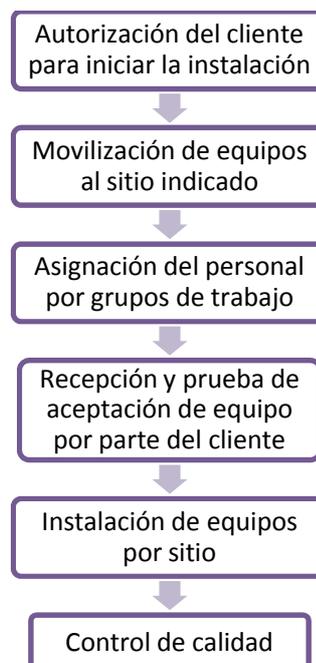
### DISEÑO Y APLICACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

#### 3.1 Introducción

La empresa estudio de esta tesis generalmente mantiene varios proyectos al mismo tiempo. Dentro del plan de instalación, usualmente se contempla entre 35 a 60 días, dependiendo de la magnitud del proyecto, para la culminación de la instalación de equipos de infraestructura de las diferentes líneas de productos.

Todos estos proyectos suelen mantener la siguiente estructura respecto a las actividades a realizar al momento de la instalación, mismos que pueden variar dependiendo del tipo de proyecto o requerimiento del cliente:

#### Ilustración 3.1 – Detalle de actividades por proyecto



En base a las tareas a realizar, el personal se divide en grupos de trabajo, los mismos que son responsables en el cumplimiento de los planes de instalación de los proyectos a los que son asignados.

El Departamento Técnico y Marketing pocas veces comunica con anticipación a Supply Chain los diferentes equipos a utilizarse, cantidad de los mismos y fechas en que se los requiere para la instalación o ejecución del proyecto y de esta forma cumplir con las fechas determinadas en el contrato.

La política de la empresa indica que se considera solo días de trabajo para el plan de instalación debido a que los clientes verifican el funcionamiento en el sitio, por lo cual el equipo de trabajo se enfoca en culminar la instalación por sitio en días completos de trabajo, para luego realizar las pruebas, por lo tanto el modelo a plantear se base en periodos de tiempo equivalente a días (tiempo discreto), ya que no se consideran horas hombre.

Por ejemplo:

Para la actividad 1 del proyecto 1: Instalación del sitio 1 se realiza en 2 días laborables.

Notar que la instalación de todos los sitios se realiza en días laborables de igual forma la entrega de los materiales a sitio.

### 3.2 Diseño del Modelo Matemático

En base a la problemática de no cumplir con el tiempo de ejecución en la instalación de los distintos proyectos que maneja la empresa, se plantea un modelo MIP<sup>14</sup> que tiene como objetivos:

- Minimizar el uso del recurso humano.
- Minimizar el tiempo de ejecución de los proyectos.

Se plantea el siguiente modelo:

#### Índices:

$r$ : Representa el tipo de recurso humano que se utiliza para cada una de las actividades en los proyectos. Los mismos pueden ser los distintos grupos de trabajo de ingenieros especializados en telecomunicaciones, transportistas, etc.

$i$ : Representa las distintas actividades que se ejecutan en la instalación de un proyecto. Notar que existen proyectos que comparten las mismas actividades.

$j$ : Alias de  $i$

$p$ : Representa cada proyecto a ser planificado. Se pueden trabajar varios proyectos a la vez.

$t$ : Representa el periodo de tiempo (expresado en días)

$q$ : Alias de  $t$

$m$ : Representa los materiales requeridos por cada actividad que forma parte de un proyecto.

---

<sup>14</sup> Mixed Integer Programming – Programación Entera Mixta

### Conjuntos:

$actproy_{i,p}$ : Representa la relación entre cada actividad  $i$  con cada proyecto  $p$

$actpredec_{i,j}$ : Representa la relación entre las actividades, indicando la actividad predecesora a la actividad que se está realizando en ese momento, lo cual indica el orden de las actividades a ejecutarse.

$actrec_{r,i}$ : Representa la relación entre el recurso  $r$  con la actividad  $i$

$actini_{i,p}$ : Indica la actividad  $i$  con la que inicia el proyecto  $p$

$tini_t$ : Indica el tiempo  $t$  en que inicia el periodo de planificación de los proyectos

### Parámetros:

$Par1_{i,r}$ : Es el número de recursos tipo  $r$  requerido para realizar la actividad  $i$ .

$Par2_{i,p}$ : Es el número de periodos (expresado en días) requeridos para la actividad  $i$  en el proyecto  $p$ .

$Par3_r$ : Es la cantidad disponible del recurso  $r$ .

$Par4_r$ : Es el costo por día de un recurso  $r$  contratado externamente (recurso adicional) para suplir la falta de recurso interno.

$Par5_t$ : Es la penalidad en el tiempo, mientras mayor es el tiempo usado, más costoso es el proyecto.

$Par6_{m,i,p}$ : Son los materiales  $m$  requeridos en el proyecto  $p$  para la actividad  $i$ .

$Par7_m$ : Es el lead time (expresado en días) para la adquisición del material  $m$

$P$  : 10, el cual permite magnificar el costo de los recursos utilizados por el proyecto para que de esta forma la función minimice los recursos.

Variables positivas:

$Z$ : Representación de la función objetivo

$r_{sub_r}$ : Cantidad de recurso  $r$  adicional contratado externamente.

$Inv_{m,t}$ : Inventario del material  $m$  en el tiempo  $t$ .

$C_{t,m}$ : Cantidad del material  $m$  cuya adquisición se efectuó en el tiempo  $t$

Variables binarias:

$y_{t,i,p}$ : Toma valor de 1 si la actividad  $i$  del proyecto  $p$  se realiza en el tiempo  $t$ ; 0 si no

$x_{t,i,p}$ : Toma el valor de 1 si la actividad  $i$  del proyecto  $p$  inicia en el tiempo  $t$ ; 0 si no.

$k_{t,i,p}$ : Toma valor de 1 si la actividad  $i$  del proyecto  $p$  culmina en el tiempo  $t$ ; 0 si no.

$v_{i,p}$ : Toma el valor de 1 si la actividad  $i$  del proyecto  $p$  no se realiza; 0 si se realiza.

(1) Función Objetivo:

$$\text{Min } Z = \sum_{i,t,p} \text{Par}5_t * P * (k_{t,i,p} + x_{t,i,p}) + \sum_r \text{Par}4_r * R_{sub_r} + \sum_{i,t,p} N * v_{i,p}$$

Donde  $N$  es un valor de penalización para las actividades que el modelo decida no realizar.

Sujeto a las siguientes restricciones:

(2) Cantidad máxima de recurso  $r$  disponible por periodo de tiempo  $t$

$$\sum_{i,p} y_{t,i,p} * Par1_{i,r} \leq Par3_r + rsub_r, \quad \forall t,r, (i,p) \in actproy_{i,p}$$

(3) Determina el orden de las actividades predecesoras

$$\sum_{q < t} \sum_{j \in actpredec_{i,j,p}} k_{q,j,p} \geq y_{t,i,p}, \quad \forall i,p,t, (i,p) \in actproy_{i,p}$$

$$i,p \neq actini_{i,p}, t \neq tini_t$$

(4) Tiempo  $t$  que dura la actividad  $i$  del proyecto  $p$

$$\sum_t y_{t,i,p} = Par2_{i,p}, \quad \forall i,p$$

(5) Tiempo  $t$  en que se completa la actividad  $i$  del proyecto  $p$

$$\sum_{q < t} y_{q,i,p} \geq Par2_{i,p} * k_{t,i,p}, \quad \forall i,p,t, (i,p) \in actproy_{i,p}$$

(6) Toda actividad  $i$  debe completarse

$$\sum_t k_{t,i,p} = 1, \quad \forall i,p$$

(7) Ninguna actividad  $i$  puede iniciar en  $t = 0$

$$y_{t,i,p} = 0, \quad \forall i,p,t, (i,p) \in actproy_{i,p}, t \in tini_t$$

(8) Determina el inicio de cada proyecto  $p$

$$x_{t,i,p} \leq y_{t,i,p}, \quad \forall t,i,p$$

(9) Balance de inventario de material  $m$ . Al modelo de asignación de recursos se integró una ecuación que representa la solicitud de materiales a utilizarse en la instalación del proyecto en base al sistema de inventario Make to Order, que es con el cual se

trabaja en la empresa estudio de esta tesis, ya que la compañía fábrica o compra los materiales de acuerdo a un proyecto específico. De esta forma el programa es capaz de calcular cuándo realizar los pedidos, es decir en qué día específico antes de la instalación del sitio se debe realizar la solicitud de los equipos y materiales a utilizarse.

$$Inv_{m,t} = Inv_{m,t-1} + C_{t-Par7(m),m} - \sum_{i,p} x_{t,i,p} * Par6_{m,i,p} \quad , \forall t, m$$

### 3.2 Información utilizada

Dado el problema planteado, se toma como ejemplo de estudio 4 proyectos de instalación. Cada uno contiene una lista de actividades por realizar que varían por proyecto. Cada actividad utiliza un tipo de recurso en un plazo de tiempo dado.

Hemos tomado para este estudio 4 tipos de recursos, que son los distintos grupos de trabajo que tiene la empresa para llevar a cabo las distintas instalaciones. Se debe recalcar que al inicio de cualquier proyecto no se considera en el plan de instalación los recursos adicionales que posiblemente se contraten en la ejecución.

Notar a continuación las siguientes tablas, mismas que detallan las actividades por cada proyecto, cantidad de recurso usado y el tiempo de días que toma ser efectuadas:

**Tabla 3.1 – Actividades del Proyecto Nro. 1**

ACTIVIDAD	COD ACT.	ACT. PRED.	TIPO RECURSO	CANTIDAD RECURSO	TIEMPO (DIAS)	EQUIPO REQUERIDO
Entrega equipamiento para sitio 1	act1	-	T	4	1	OSN8800*1PC S, OSN6800*8, OSN3500*1, DDF*34
Instalación Norte (sitio 1)	act2	act1	G1	5	2	SIN EQUIPOS
Entrega equipamiento para sitio 2, 3, 4	act3	act2	T	4	1	OSN8800*6PC S, OSN6800*28, OSN3500*5, DDF*138
Instalación Centro (sitio 2)	act4	act3	G3	5	2	SIN EQUIPOS
Instalación Bellavista (sitio 3)	act5	act3	G3	5	5	SIN EQUIPOS
Instalación Mapasingue (sitio 4)	act6	act3	G2	5	5	SIN EQUIPOS
Entrega equipamiento para sitio 5, 6, 7	act7	act6	T	4	1	OSN8800*5PC S, OSN6800*20, OSN3500*3, DDF*44
Instalación Kennedy norte (sitio 5)	act8	act7	G3	5	3	SIN EQUIPOS
Instalación Pascuales (sitio 6)	act9	act7	G2	5	4	SIN EQUIPOS
Instalación Alborada (sitio 7)	act10	act7	G3	5	3	SIN EQUIPOS
Entrega equipamiento para sitio 8, 9, 10, 11, 12, 13	act11	act9	T	4	1	OSN8800*4PC S, OSN6800*12, OSN3500*4, DDF*50,
Instalación Cerro azul (sitio 8)	act12	act11	G3	5	2	SIN EQUIPOS
Instalación Boyacá (sitio 9)	act13	act11	G1	5	3	SIN EQUIPOS
Instalación Torres del norte (sitio 10)	act14	act11	G3	5	1	SIN EQUIPOS
Instalación World trade center (sitio 11)	act15	act11	G3	5	1	SIN EQUIPOS
Instalación Los cisnes (sitio 12)	act16	act11	G1	5	2	SIN EQUIPOS
Instalación Portete (sitio 13)	act17	act11	G1	5	2	SIN EQUIPOS
Entrega equipamiento para sitio 14, 15	act18	act13	T	4	1	OSN8800*2PC S, OSN6800*8, OSN3500*2, DDF*8
Instalación Primavera (sitio 14)	act19	act18	G2	5	4	SIN EQUIPOS

ACTIVIDAD	COD ACT.	ACT. PRED.	TIPO RECURSO	CANTIDAD RECURSO	TIEMPO (DIAS)	EQUIPO REQUERIDO
Instalación Duran (sitio 15)	act20	act18	G2	5	2	SIN EQUIPOS
Entrega equipamiento para sitio 16, 17, 18	act21	act20	T	4	1	OSN8800*4PCS, OSN6800*20, OSN3500*3, DDF*20
Instalación Guasmo (sitio 16)	act22	act21	G1	5	3	SIN EQUIPOS
Instalación Pascuales 2 (sitio 17)	act23	act21	G2	5	2	SIN EQUIPOS
Instalación Los ceibos (sitio 18)	act24	act21	G3	5	2	SIN EQUIPOS
Entrega equipamiento para sitio 19, 20, 21, 22, 23	act25	act22	T	4	1	OSN8800*5PCS, OSN6800*26, OSN3500*3, DDF*51
Instalación Urdesa (sitio 19)	act26	act25	G3	5	3	SIN EQUIPOS
Instalación Guayacanes (sitio 20)	act27	act25	G2	5	2	SIN EQUIPOS
Instalación Ecuasal (sitio 21)	act28	act25	G2	5	2	SIN EQUIPOS
Instalación Terminal rio Daule (sitio 22)	act29	act25	G3	5	2	SIN EQUIPOS
Instalación La puntilla (sitio 23)	act30	act25	G2	5	2	SIN EQUIPOS
Entrega cajas DC, fiber runner and ODF	act31	act26	T	4	2	DC*33, FIBER*4836, ODF*200
Instalación de cajas DC y energización	act32	act31	G1	5	3	SIN EQUIPOS
Instalación de Fiber runners	act33	act31	G2	5	3	SIN EQUIPOS
Instalación de ODF	act34	act31	G3	5	2	SIN EQUIPOS

**Tabla 3.2 – Actividades del Proyecto Nro. 2**

ACTIVIDAD	COD ACT.	ACT . PRE D.	TIPO RECURSO	CANTIDAD RECURSO	TIEMPO (DIAS)	EQUIPO REQUERIDO
Entrega equipamiento para sitio 1	act1		T	4	1	OSN8800*5PCS, OSN6800*14
Instalación Isla Trinitaria (sitio 1)	act2	act1	G1	5	4	SIN EQUIPOS
Entrega equipamiento para sitio 2, 3, 4	act3	act2	T	4	1	OSN8800*6PCS, OSN6800*8
Instalación Colinas del valle (sitio 2)	act4	act3	G3	5	4	SIN EQUIPOS
Instalación Flor de Bastión (sitio 3)	act5	act3	G3	5	2	SIN EQUIPOS
Instalación Flor de Bastión 4 (sitio 4)	act6	act3	G2	5	2	SIN EQUIPOS
Entrega equipamiento para sitio 5, 6, 7	act7	act4	T	4	1	OSN8800*4PCS, OSN6800*4
Instalación Lomas de la Florida (sitio 5)	act8	act7	G3	5	2	SIN EQUIPOS
Instalación El Recreo 1 (sitio 6)	act9	act7	G2	5	4	SIN EQUIPOS
Instalación El Recreo 2 (sitio 7)	act10	act7	G3	5	2	SIN EQUIPOS
Entrega equipamiento para sitio 8, 9, 10, 11, 12, 13	act11	act9	T	4	1	OSN8800*18PCS, OSN6800*19
Instalación Ciudad Celeste 2 (sitio 8)	act12	act11	G3	5	4	SIN EQUIPOS
Instalación 16 de Junio (sitio 9)	act13	act11	G1	5	2	SIN EQUIPOS
Instalación Julio Jaramillo 1 (sitio 10)	act14	act11	G3	5	4	SIN EQUIPOS
Instalación El Fortín 1 (sitio 11)	act15	act11	G3	5	4	SIN EQUIPOS
Instalación Santa Martha (sitio 12)	act16	act11	G1	5	4	SIN EQUIPOS
Instalación Tarapoa (sitio 13)	act17	act11	G1	5	4	SIN EQUIPOS
Entrega equipamiento para sitio 14, 15	act18	act17	T	4	1	OSN8800*2PCS, OSN6800*2
Instalación Primavera (Durán) (sitio 14)	act19	act18	G2	5	2	SIN EQUIPOS
Instalación Jaime Roldós (sitio 15)	act20	act18	G2	5	2	SIN EQUIPOS
Entrega equipamiento para sitio 16, 17, 18	act21	act20	T	4	1	OSN8800*5PCS, OSN6800*6
Instalación Correos (sitio 16)	act22	act21	G1	5	2	SIN EQUIPOS
Instalación Isla	act23	act22	G2	5	2	SIN EQUIPOS

Trinitaria 2 (sitio 17)		1				
Instalación La Florida (sitio 18)	act24	act2 1	G3	5	4	SIN EQUIPOS
Entrega equipamiento para sitio 19, 20, 21, 22, 23	act25	act2 4	T	4	1	OSN8800*11, OSN6800*15
Instalación Puerto Nuevo (sitio 19)	act26	act2 5	G3	5	2	SIN EQUIPOS
Instalación El Fortín 2 (sitio 20)	act27	act2 5	G2	5	4	SIN EQUIPOS
Instalación Aurora (sitio 21)	act28	act2 5	G2	5	4	SIN EQUIPOS
Instalación Progreso (sitio 22)	act29	act2 5	G3	5	2	SIN EQUIPOS
Instalación Finansur (sitio 23)	act30	act2 5	G2	5	2	SIN EQUIPOS
Entrega cajas DC, fiber runner and ODF	act31	act2 8	T	4	2	DC*35, FIBER*1464, ODF*42
Instalación de cajas DC y energización	act32	act3 1	G1	5	4	SIN EQUIPOS
Instalación de Fiber runners	act33	act3 1	G2	5	4	SIN EQUIPOS
Instalación de ODF	act34	act3 1	G3	5	4	SIN EQUIPOS

**Tabla 3.3 – Actividades del Proyecto Nro. 3**

ACTIVIDAD	COD ACT.	ACT. PRED.	TIPO RECURSO	CANTIDAD RECURSO	TIEMPO (DIAS)	EQUIPO REQUERIDO
Despacho Equipos Morita - Tumbaco	act35	-	T	4	1	IDU*2; ODU*4; ANTENNAS*2
Despacho Equipos Pisuli - Condado	act36	act35	T	4	1	IDU*2; ODU*4; ANTENNAS*2
Adecuación Civil Condado	act37	act36	G1	5	1	SIN EQUIPOS
Instalación Enlace Morita - Tumbaco	act38	act36	G2	5	2	SIN EQUIPOS
Instalación Enlace Pisuli - Condado	act39	act38	G2	5	2	SIN EQUIPOS
Integración Enlace Morita - Tumbaco	act40	act38	G3	5	2	SIN EQUIPOS
Integración Enlace Pisuli - Condado	act41	act40	G3	5	1	SIN EQUIPOS
Despacho Equipos Aloag, Canchacoto, Peaje	act42	act41	T	4	1	IDU*4; ODU*8; ANTENNAS*4
Despacho Equipos Cayambe, Cananvealle	act43	act42	T	4	1	IDU*2; ODU*4; ANTENNAS*2
Adecuación Civil Aloag	act44	act43	G1	5	2	SIN EQUIPOS
Adecuación Civil Peaje Aloag	act45	act44	G1	5	1	SIN EQUIPOS
Adecuación Civil Canchacoto	act46	act44	G1	5	1	SIN EQUIPOS
Adecuación Civil Cayambe	act47	act46	G1	5	1	SIN EQUIPOS
Adecuación Civil Loma de Cananvealle	act48	act47	G1	5	2	SIN EQUIPOS
Instalación Enlace Aloag - Peaje Aloag	act49	act48	G2	5	2	SIN EQUIPOS
Instalación Enlace Peaje Aloag – Canchacoto	act50	act49	G2	5	2	SIN EQUIPOS
Instalación Enlace Cayambe - Loma de Cananvealle	act51	act50	G2	5	2	SIN EQUIPOS
Despacho Equipos Carcen Bajo – Granilandia	act52	act43	T	4	1	IDU*2; ODU*4; ANTENNAS*2
Despacho Equipos Jaime Roldos – Condado	act53	act52	T	4	1	IDU*2; ODU*4; ANTENNAS*2
Despacho Equipos Bellavista Alta – Cotocollao	act54	act53	T	4	1	IDU*2; ODU*4; ANTENNAS*2
Adecuación Civil Condado	act55	act54	G1	5	2	SIN EQUIPOS
Adecuación Civil Cotocollao	act56	act55	G1	5	2	SIN EQUIPOS

Adecuación Civil Granilandia	act57	act55	G1	5	2	SIN EQUIPOS
Instalación Enlace Carcen Bajo – Granilandia	act58	act57	G2	5	1	SIN EQUIPOS
Instalación Enlace Jaime Roldos – Condado	act59	act57	G2	5	1	SIN EQUIPOS
Instalación Enlace Bellavista Alta – Cotocollao	act60	act59	G2	5	1	SIN EQUIPOS
Integración Enlace Carcen Bajo – Granilandia	act61	act60	G3	5	2	SIN EQUIPOS
Integración Enlace Jaime Roldos – Condado	act62	act60	G3	5	2	SIN EQUIPOS
Integración Enlace Bellavista Alta – Cotocollao	act63	act62	G3	5	2	SIN EQUIPOS

**Tabla 3.4 – Actividades del Proyecto Nro. 4**

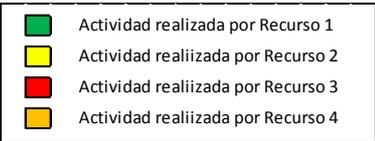
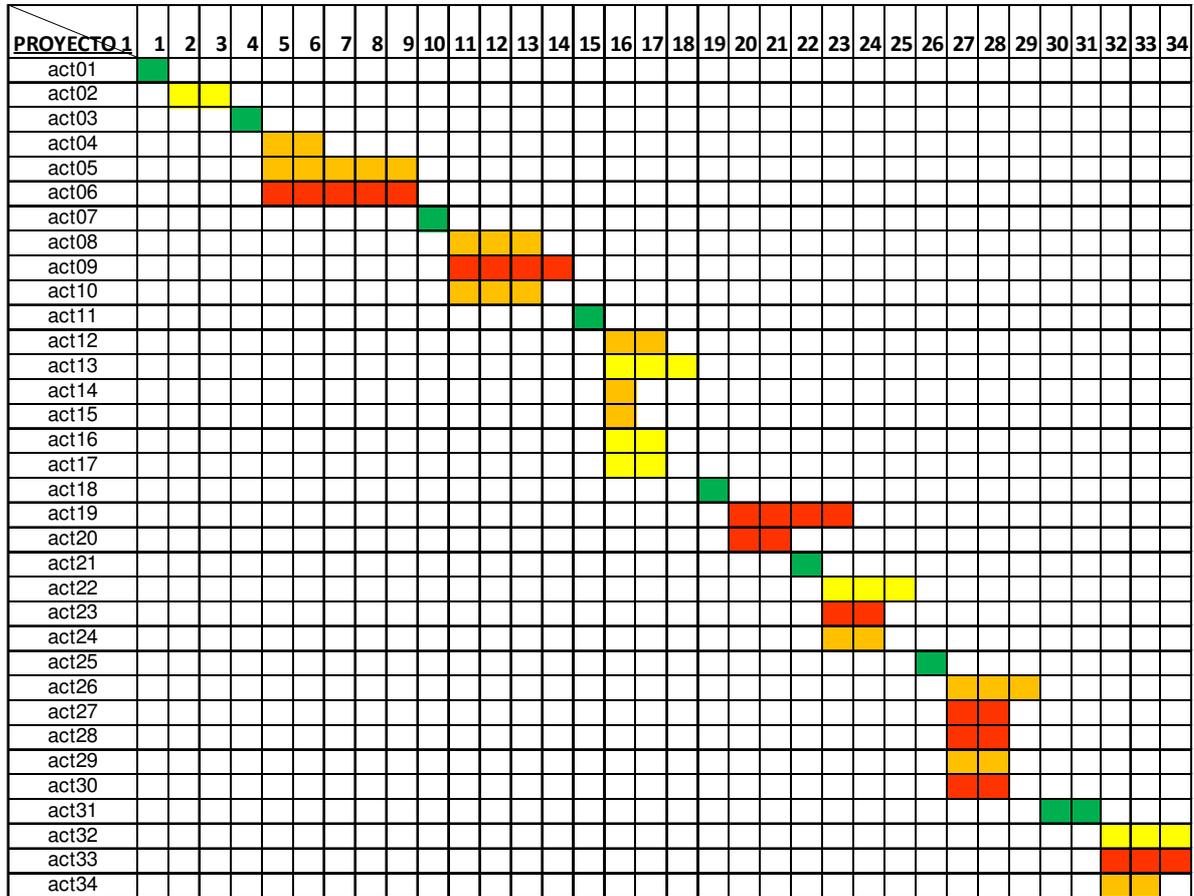
ACTIVIDAD	COD ACT.	ACT. PRED.	TIPO RECURSO	CANTIDAD RECURSO	TIEMPO (DIAS)	EQUIPO REQUERIDO
Despacho Equipos CHILIBULO-SANTA RITA NODO B	act35	-	T	4	1	IDU*2; ODU*4; ANTENNAS*2
Despacho Equipos CUTUGLAHUA-GUAMANI NODO B	act36	act35	T	4	1	IDU*2; ODU*4; ANTENNAS*2
Adecuación Civil Guamani	act37	act36	G1	5	3	SIN EQUIPOS
Instalación Enlace CHILIBULO-SANTA RITA NODO B	act38	act37	G2	5	1	SIN EQUIPOS
Instalación Enlace CUTUGLAHUA-GUAMANI NODO	act39	act38	G2	5	1	SIN EQUIPOS
Integración Enlace CHILIBULO-SANTA RITA NODO B	act40	act39	G3	5	2	SIN EQUIPOS
Integración Enlace CUTUGLAHUA-GUAMANI NODO	act41	act39	G3	5	2	SIN EQUIPOS
Despacho Equipos Gral Gallardo, Cumbaya	act42	act41	T	4	1	IDU*4; ODU*8; ANTENNAS*4
Despacho Equipos Gonzalez Suares	act43	act42	T	4	1	IDU*2; ODU*4; ANTENNAS*2
Adecuación Civil Gonzalez Suarez	act44	act43	G1	5	2	SIN EQUIPOS
Adecuación Civil Cumbaya	act45	act43	G1	5	3	SIN EQUIPOS
Adecuación Civil Gral Gallardo	act46	act44	G1	5	2	SIN EQUIPOS
Adecuación Civil Guapulo	act47	act44	G1	5	2	SIN EQUIPOS
Adecuación Civil Hospital del Valle	act48	act45	G1	5	2	SIN EQUIPOS
Instalación Enlace GRAL GALLARDO-ORIENTAL NODO B	act49	act48	G2	5	2	SIN EQUIPOS
Instalación Enlace GUAPULO-GONZALES SUAREZ	act50	act49	G2	5	2	SIN EQUIPOS
Instalación Enlace HOSPITAL DE LOS	act51	act50	G2	5	2	SIN EQUIPOS
Despacho Equipos IBARRA_COOP_CH OFERES-IBARRA AZAYA	act52	act43	T	4	1	IDU*2; ODU*4; ANTENNAS*2
Despacho Equipos IBARRA_EL_EJIDO -IBARRA NORTE	act53	act43	T	4	1	IDU*2; ODU*4; ANTENNAS*2
Despacho Equipos PUENTE NUEVE-SAN RAFAEL	act54	act43	T	4	1	IDU*2; ODU*4; ANTENNAS*2

Adecuación Civil COOP_CHOFRERES -IBARRA AZAYA	act55	act54	G1	5	1	SIN EQUIPOS
Adecuación Civil IBARRA NORTE	act56	act54	G1	5	1	SIN EQUIPOS
Adecuación Civil SAN RAFAEL	act57	act54	G1	5	2	SIN EQUIPOS
Instalación Enlace IBARRA_COOP_CH OFERES-IBARRA AZAYA	act58	act54	G2	5	3	SIN EQUIPOS
Instalación Enlace IBARRA_EL_EJIDO -IBARRA NORTE	act59	act58	G2	5	2	SIN EQUIPOS
Instalación Enlace PUENTE NUEVE- SAN RAFAEL	act60	act59	G2	5	2	SIN EQUIPOS
Integración Enlace IBARRA_COOP_CH OFERES-IBARRA AZAYA	act61	act60	G3	5	2	SIN EQUIPOS
Integración Enlace IBARRA_EL_EJIDO -IBARRA NORTE	act62	act60	G3	5	2	SIN EQUIPOS
Integración Enlace PUENTE NUEVE- SAN RAFAEL	act63	act62	G3	5	2	SIN EQUIPOS

En base a las tablas de datos, se procede a realizar diagramas de Gantt por cada proyecto como normalmente el líder del proyecto lo planifica previamente al inicio del mismo.

## PROYECTO 1 – DIAGRAMA DE GANTT

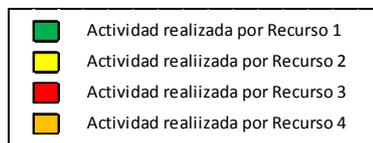
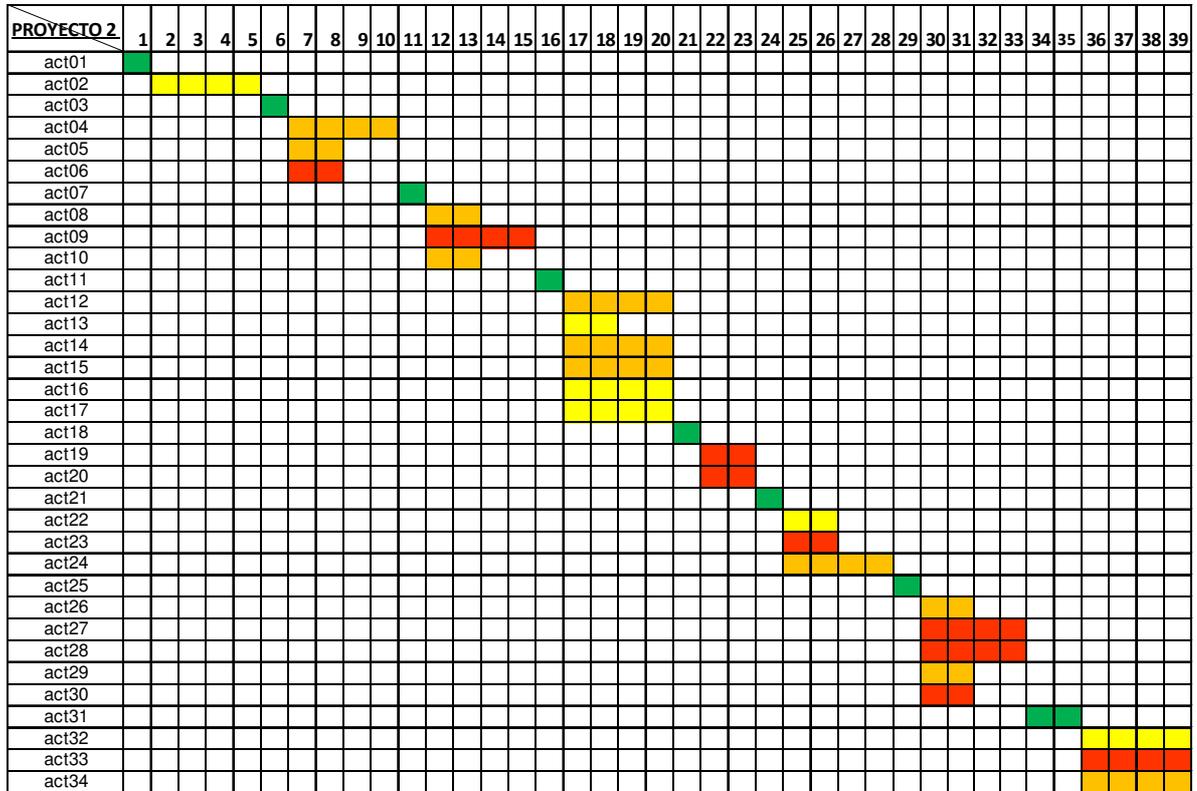
**Tabla 3.5 - Diagrama de Gantt Proyecto 1**



En la tabla 3.5, podemos observar diagrama de Gantt del Proyecto 1 en cual se enumeran las actividades y en qué tiempo son realizadas. También se observa el tipo de recurso que se utiliza para cumplir cada una de las actividades.

## PROYECTO 2 – DIAGRAMA DE GANTT

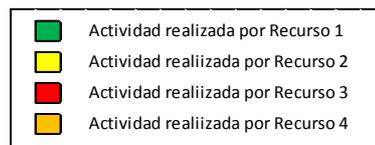
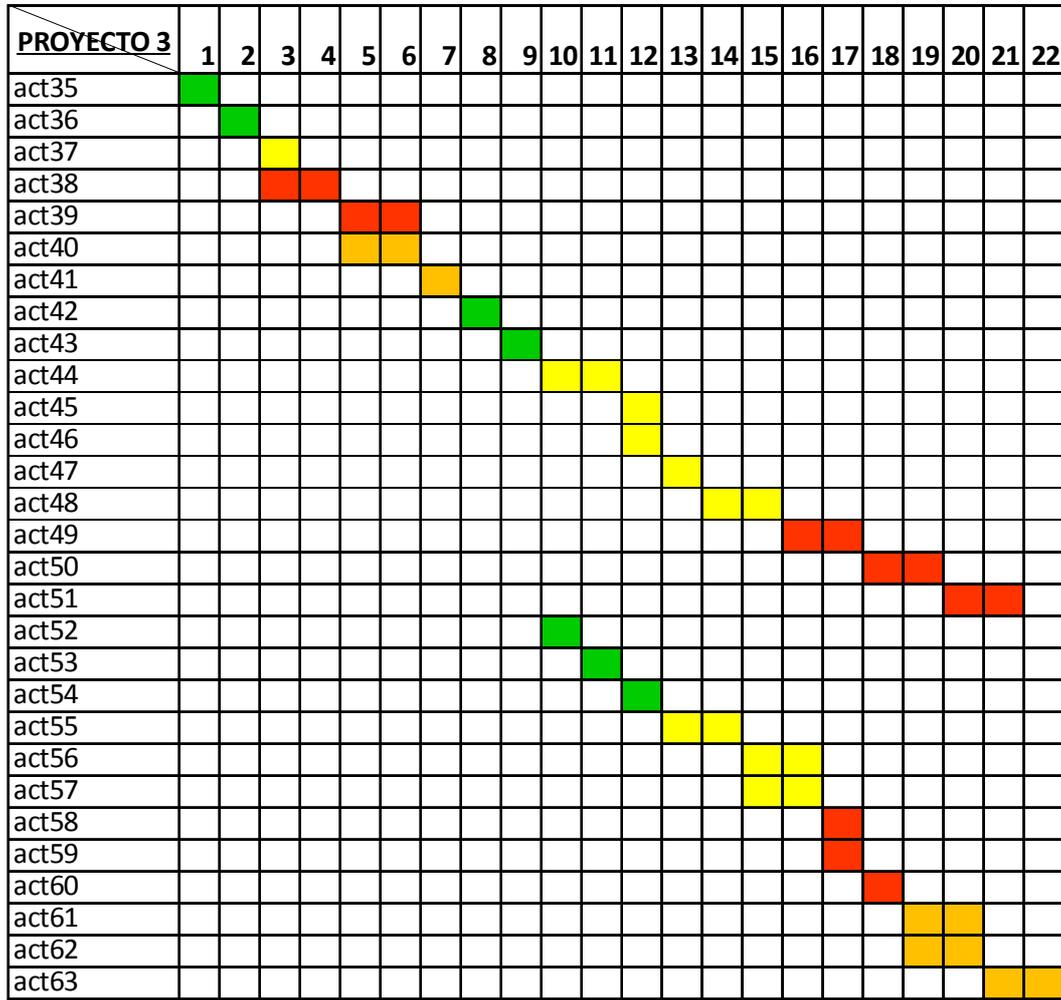
**Tabla 3.6 - Diagrama de Gantt Proyecto 2**



En la tabla 3.6, podemos observar diagrama de Gantt del Proyecto 2 en cual se enumeran las actividades y en qué tiempo son realizadas. También se observa el tipo de recurso que se utiliza para cumplir cada una de las actividades.

## PROYECTO 3 – DIAGRAMA DE GANTT

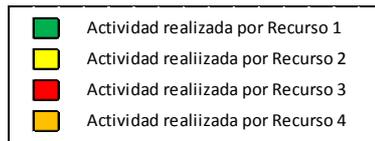
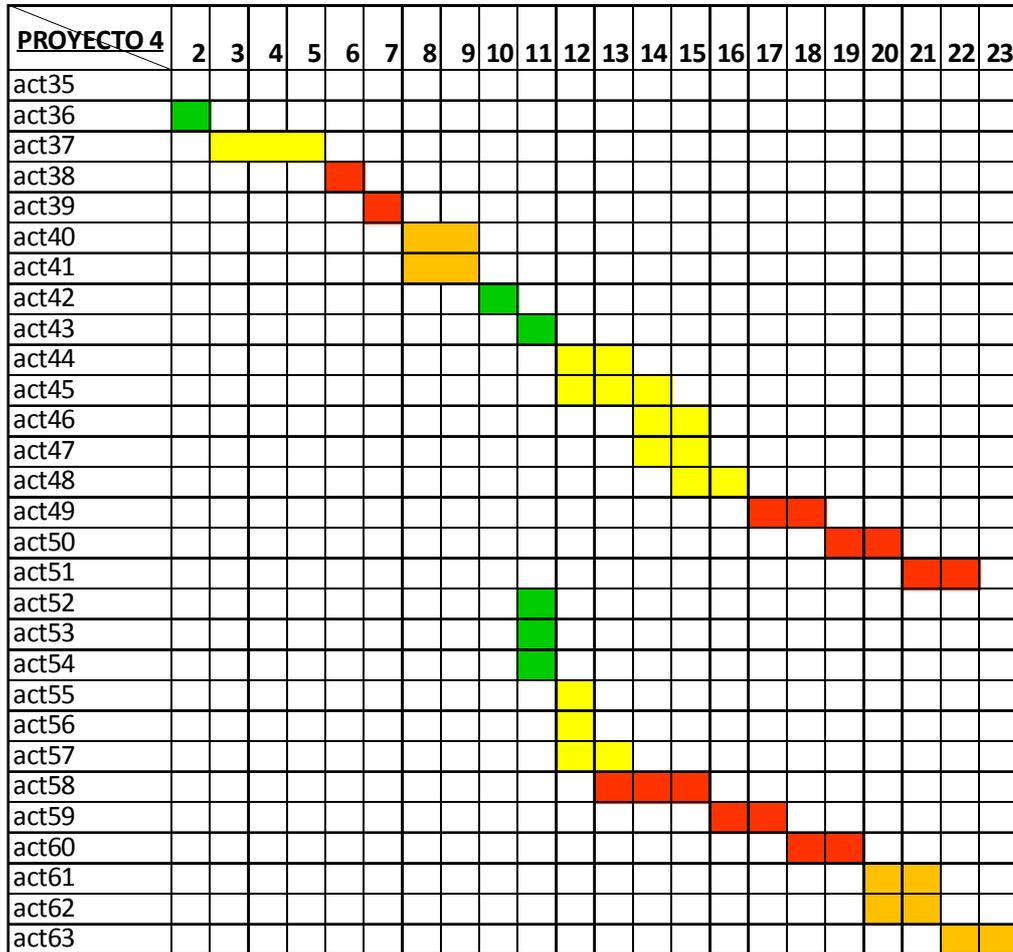
**Tabla 3.7 - Diagrama de Gantt Proyecto 3**



En la tabla 3.7, podemos observar diagrama de Gantt del Proyecto 3 en cual se enumeran las actividades y en qué tiempo son realizadas. También se observa el tipo de recurso que se utiliza para cumplir cada una de las actividades.

## PROYECTO 4 – DIAGRAMA DE GANTT

**Tabla 3.8 - Diagrama de Gantt Proyecto 4**



En la tabla 3.8, podemos observar diagrama de Gantt del Proyecto 4 en cual se enumeran las actividades y en qué tiempo son realizadas. También se observa el tipo de recurso que se utiliza para cumplir cada una de las actividades.

### 3.3 Implementación y Resultados en GAMS

En base a los datos obtenidos se procede a ingresar la información en Gams.

De acuerdo a los datos, son 4 tipos de recursos utilizados en total para todos los proyectos. Mismo que se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 3.9 – Detalle de Recursos utilizados en los proyectos**

Nombre Recurso	Cod.	Cantidad disponible	Costo por recurso adicional
Trasporte	r1	4	\$ 35
Grupo 1	r2	5	\$ 35
Grupo 2	r3	5	\$ 35
Grupo 3	r4	5	\$ 35

Para los proyectos utilizados en este estudio, se utilizan 10 tipos de equipos que se detallan a continuación:

**Tabla 3.10 – Detalle de los equipos utilizados en los proyectos**

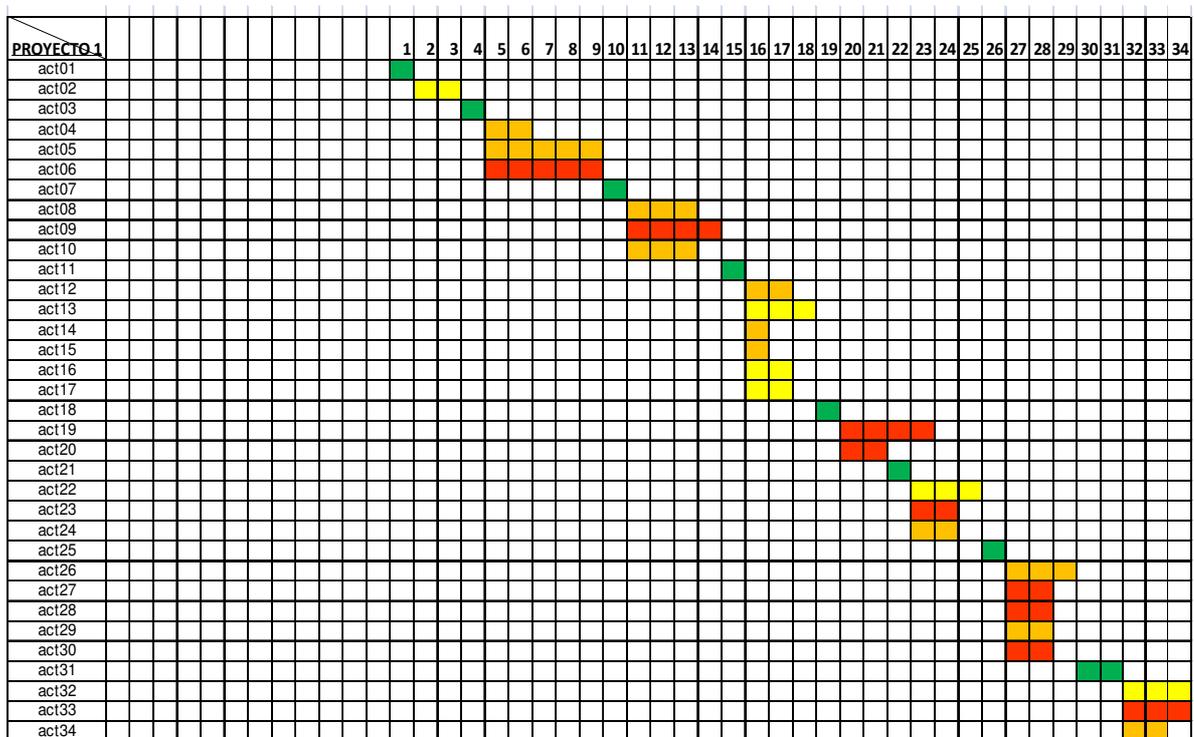
Equipo	Código	Lead Time (días)
OSN8800	m1	12
OSN6800	m2	12
OSN3500	m3	7
DDF	m4	10
IDU	m5	8
ODU	m6	10
ANTENNAS	m7	10
FIBER RUNNER	m8	14
ODF	m9	15
DC BOX	m10	13

En base a la información obtenida y el costo de los recursos, se ingresan los datos en Gams de tal forma que el programa encuentra una solución óptima para asignar los recursos en las actividades y se pueda planificar los 4 proyectos en el menor tiempo posible.

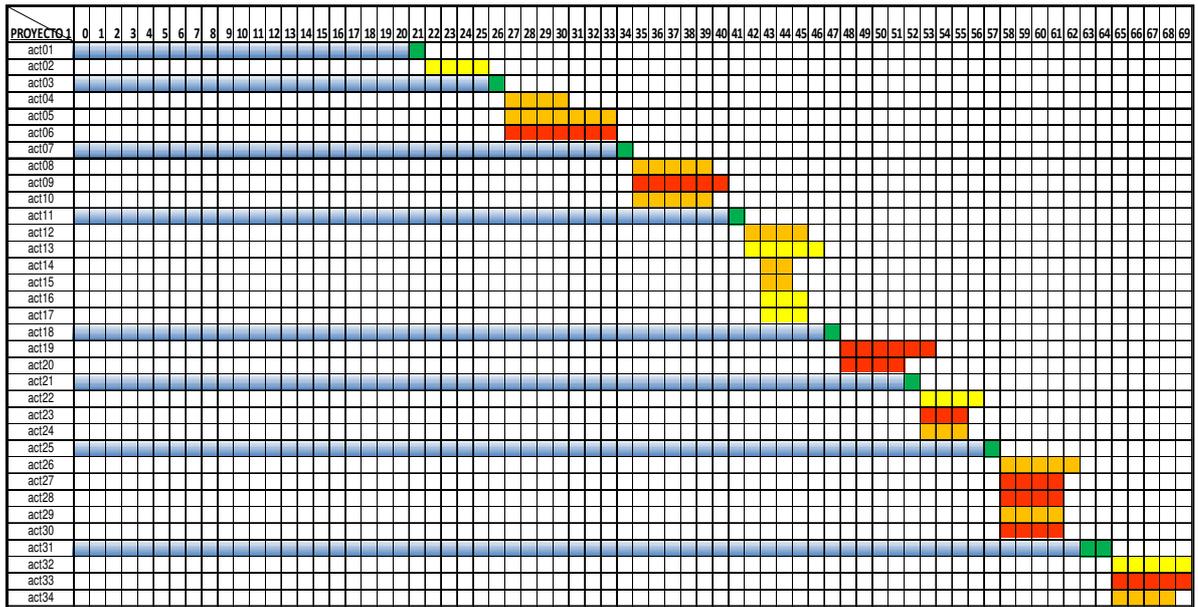
Normalmente, al inicio de los proyectos no se analiza cuántos recursos adicionales se deben contratar por proyecto, más bien el gerente del proyecto, ya durante la ejecución, verifica cuántas personas adicionales se necesita contratar en el momento y se lo realiza mediante contratistas para cumplir con las fechas solicitadas por el cliente. Es decir, sin la debida anticipación.

**Tabla 3.11 – Diagrama de Gantt del Resultado del Proyecto 1 con modelo vs. Proyecto 1 inicial y final sin modelización**

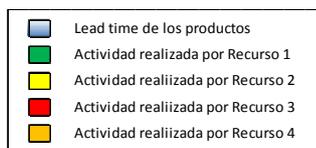
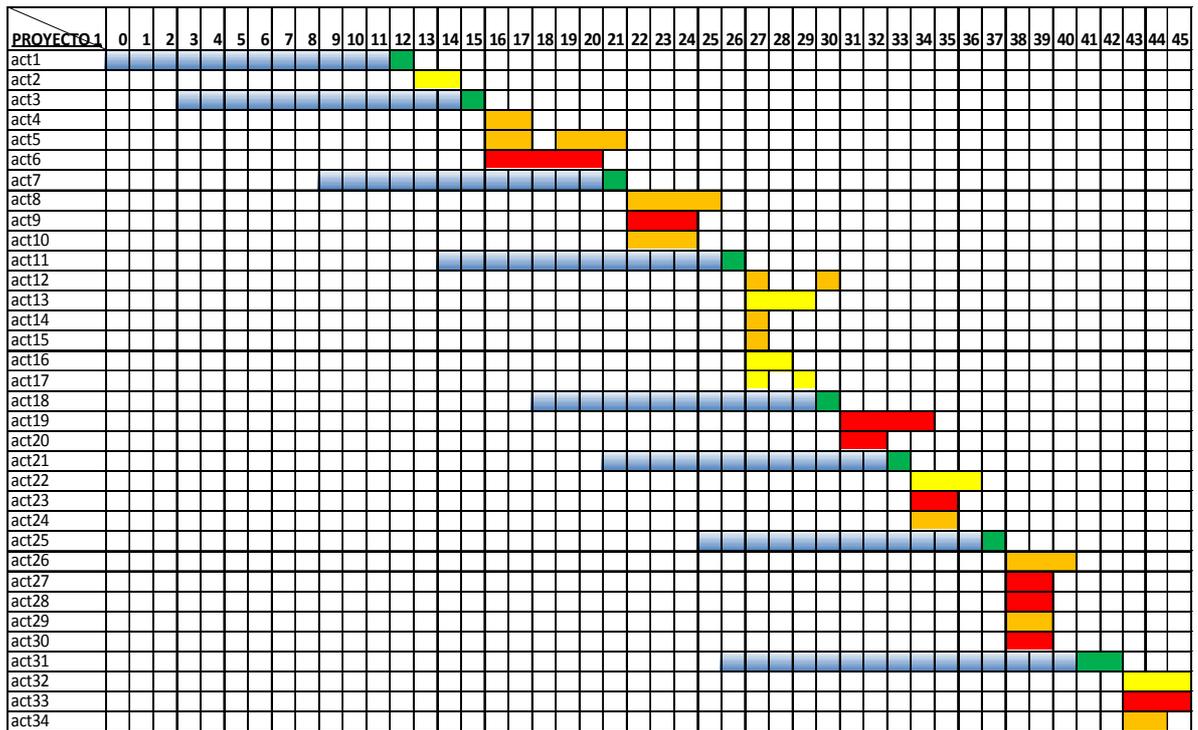
**Plan inicial sin modelización, elaborado por el gerente del proyecto**



## Plan ejecutado sin modelización



## Plan del Proyecto 1 con modelo



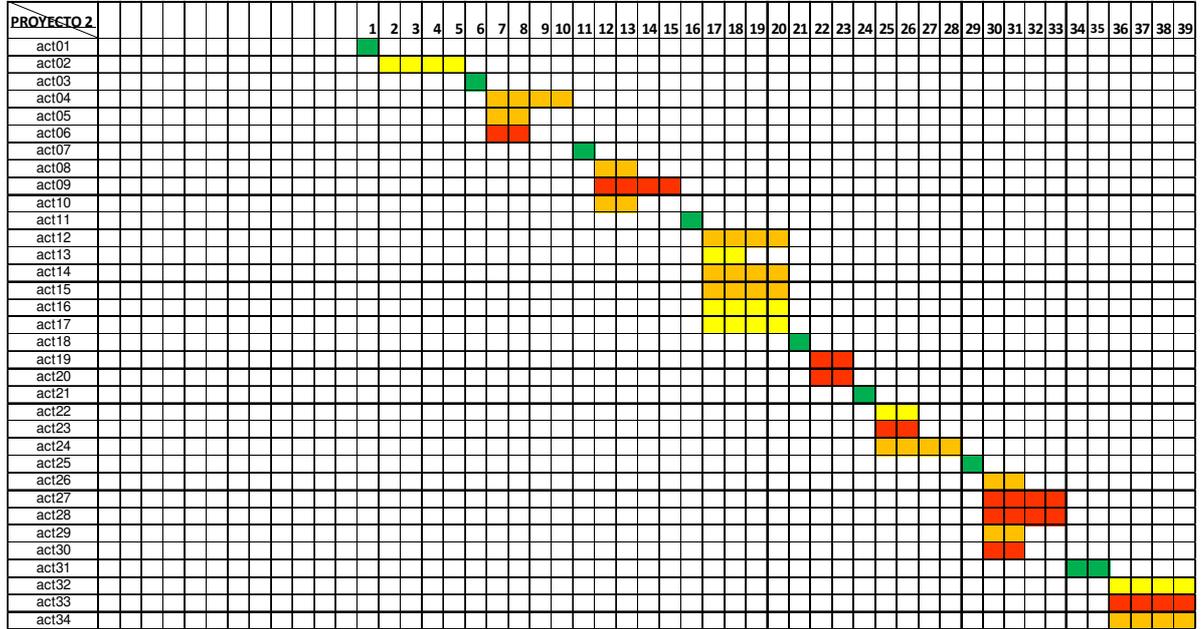
De acuerdo al diagrama presentado anteriormente se puede efectuar la siguiente comparación:

**Tabla 3.12 – Tabla comparativa del Resultado del Proyecto 1 con modelo vs. Proyecto 1 inicial y final sin modelización**

	<b>TIEMPO TOTAL DE INSTALACIÓN</b>	<b>ABASTECIMIENTO</b>	<b>COSTO DE RECURSOS ADICIONALES CONTRATADOS</b>
<b>PLAN INICIAL SIN MODELO</b>	34 días sin contar con el lead time de los materiales para la instalación.	No se consideró el tiempo de producción de los productos.	No se tomó en cuenta.
<b>PLAN EJECUTADO SIN MODELO</b>	Se tomó 69 días para culminar la instalación ya que no se consideró inicialmente el lead time y tampoco la disponibilidad del recurso adicional a contratarse.	20 días ya que se solicitaron todos los materiales al mismo tiempo, incrementando así también el inventario y costos de almacenamiento innecesarios.	Cada recurso adicional diario costó USD 35.00, se utilizaron 5 recursos adicionales
<b>PLAN CON MODELO</b>	45 días tomando en cuenta lead time, solo en instalación se tomaron 34 días, es decir existe una mejora de 24 días entre el plan final y el modelizado, bajó en un 34.78%	11 días para el primer lote y se realiza la solicitud de material conforme se hayan programado las instalaciones de los sitios para evitar el sobre stock. Se puede observar que se disminuyeron 9 días entre el plan final y los resultados del modelo, es decir menos el 45%	Cada recurso adicional diario costó USD 35.00, se utilizó 1 recurso adicional, decreció 600%.

**Tabla 3.13 – Diagrama de Gantt del Resultado del Proyecto 2 con modelo vs. Proyecto 2 inicial y final sin modelización**

**Plan inicial sin modelización, elaborado por el gerente del proyecto**







## Resultados Proyecto 2

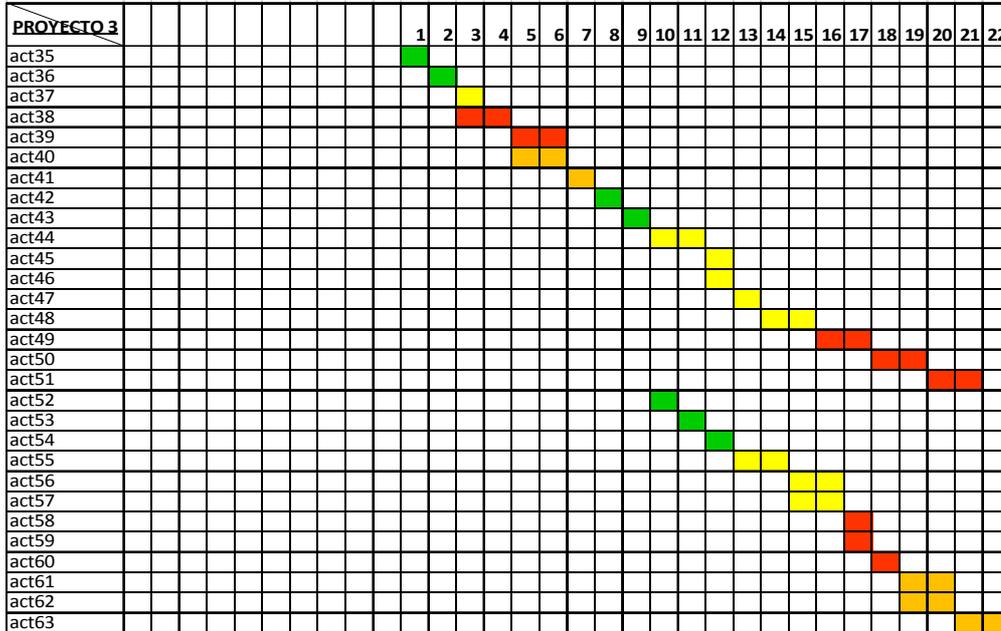
De acuerdo al diagrama presentado anteriormente se puede realizar el siguiente cuadro comparativo:

**Tabla 3.14 – Tabla comparativa del Resultado del Proyecto 2 con modelo vs. Proyecto 2 inicial y final sin modelización**

	<b>TIEMPO TOTAL DE INSTALACIÓN</b>	<b>ABASTECIMIENTO</b>	<b>COSTO DE RECURSOS ADICIONALES CONTRATADOS</b>
<b>PLAN INICIAL SIN MODELO</b>	39 días sin contar con el lead time de los materiales para la instalación.	No se consideró el tiempo de producción de los productos.	No se tomó en cuenta.
<b>PLAN EJECUTADO SIN MODELO</b>	Se ejecutó la instalación en 67 días debido a que no se tomó en cuenta inicialmente el lead time y así mismo la disponibilidad del recurso adicional a contratarse.	15 días ya que se solicitaron todos los materiales al mismo tiempo, aumentando considerablemente el inventario y costos de almacenamiento asociados.	Cada recurso adicional diario costó USD 35.00, se utilizaron 4 recursos adicionales.
<b>PLAN CON MODELO</b>	50 días considerando lead time, solo en instalación se tomaron 39 días, es decir existe una mejora de 17 días entre el plan final y el modelizado, disminuyó en un 25.37%	11 días para el primer lote y se realiza la solicitud de material conforme se hayan planificado las instalaciones de los sitios para evitar el sobre stock. También se observa que se disminuyeron 4 días entre el plan final y los resultados del modelo, es decir una reducción del 26.67%	El valor de cada recurso adicional diario es de USD 35.00, y se contrató solo 1 adicional en este proyecto. Por cuanto decreció el costo en el 571%

**Tabla 3.15 – Diagrama de Gantt del Resultado del Proyecto 3 con modelo vs. Proyecto 3 inicial y final sin modelización**

**Plan inicial sin modelización, elaborado por el gerente del proyecto**







### Resultados Proyecto 3

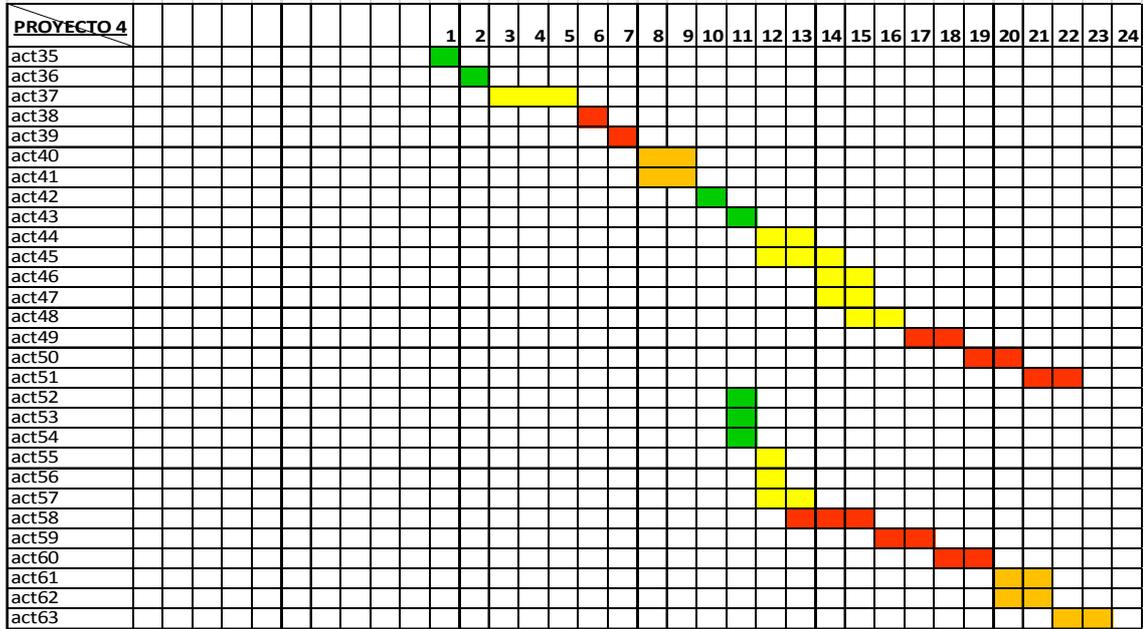
De acuerdo al diagrama presentado anteriormente se puede realizar el siguiente cuadro comparativo:

**Tabla 3.16 – Tabla comparativa del Resultado del Proyecto 3 con modelo vs. Proyecto 3 inicial y final sin modelización**

	<b>TIEMPO TOTAL DE INSTALACIÓN</b>	<b>ABASTECIMIENTO</b>	<b>COSTO DE RECURSOS ADICIONALES CONTRATADOS</b>
<b>PLAN INICIAL SIN MODELO</b>	22 días sin contar con el lead time de los materiales para la instalación.	No se consideró el tiempo de producción de los productos.	No se tomó en cuenta.
<b>PLAN EJECUTADO SIN MODELO</b>	Se ejecutó la instalación en 53 días debido a que no se tomó en cuenta inicialmente el lead time y así mismo la disponibilidad del recurso adicional a contratarse.	15 días ya que se solicitaron todos los materiales al mismo tiempo, aumentando considerablemente el inventario y costos de almacenamiento asociados.	Cada recurso adicional diario costó USD 35.00, se utilizaron 5 recursos adicionales.
<b>PLAN CON MODELO</b>	31 días considerando lead time, solo en instalación se tomaron 22 días, es decir existe una mejora de 22 días entre el plan final y el modelizado, disminuyó en un 41.50%	10 días para el primer lote y se realiza la solicitud de material conforme se hayan planificado las instalaciones de los sitios para evitar el sobre stock. También se observa que se disminuyeron 5 días entre el plan final y los resultados del modelo, es decir una reducción del 33.33%	El valor de cada recurso adicional diario es de USD 35.00, y se contrató solo 1 adicional en este proyecto. Por cuanto decreció el costo en el 714%

**Tabla 3.175 – Diagrama de Gantt del Resultado del Proyecto 4 con modelo vs. Proyecto 4 inicial y final sin modelización**

**Plan inicial sin modelización, elaborado por el gerente del proyecto**







## Resultados Proyecto 4

De acuerdo al diagrama presentado anteriormente se puede realizar el siguiente cuadro comparativo:

**Tabla 3.18 – Tabla comparativa del Resultado del Proyecto 4 con modelo vs. Proyecto 4 inicial y final sin modelización**

	<b>TIEMPO TOTAL DE INSTALACIÓN</b>	<b>ABASTECIMIENTO</b>	<b>COSTO DE RECURSOS ADICIONALES CONTRATADOS</b>
<b>PLAN INICIAL SIN MODELO</b>	24 días sin contar con el lead time de los materiales para la instalación.	No se consideró el tiempo de producción de los productos.	No se tomó en cuenta.
<b>PLAN EJECUTADO SIN MODELO</b>	Se ejecutó la instalación en 52 días debido a que no se tomó en cuenta inicialmente el lead time y así mismo la disponibilidad del recurso adicional a contratarse.	14 días ya que se solicitaron todos los materiales al mismo tiempo, aumentando considerablemente el inventario y costos de almacenamiento asociados.	Cada recurso adicional diario costó USD 35.00, se utilizaron 4 recursos adicionales.
<b>PLAN CON MODELO</b>	33 días considerando lead time, solo en instalación se tomaron 24 días, es decir existe una mejora de 19 días entre el plan final y el modelizado, disminuyó en un 36.54%	10 días para el primer lote y se realiza la solicitud de material conforme se hayan planificado las instalaciones de los sitios para evitar el sobre stock. También se observa que se disminuyeron 4 días entre el plan final y los resultados del modelo, es decir una reducción del 28.57%	El valor de cada recurso adicional diario es de USD 35.00, y se contrató solo 2 adicional en este proyecto. Por cuanto decreció el costo en el 185%

## BENEFICIOS DE LOS PROYECTOS MODELIZADOS

**Tabla 3.19 – Tabla de beneficios de los Proyectos 1 al 4**

PROYECTO 1	PROYECTO 2	PROYECTO 3	PROYECTO 4
45 días tomando en cuenta lead time, solo en instalación se tomaron 34 días, es decir existe una mejora de 24 días entre el plan final y el modelizado, bajó en un 34.78%	50 días considerando lead time, solo en instalación se tomaron 39 días, es decir existe una mejora de 17 días entre el plan final y el modelizado, disminuyó en un 25.37%	31 días considerando lead time, solo en instalación se tomaron 22 días, es decir existe una mejora de 22 días entre el plan final y el modelizado, disminuyó en un 41.50%	33 días considerando lead time, solo en instalación se tomaron 24 días, es decir existe una mejora de 19 días entre el plan final y el modelizado, disminuyó en un 36.54%
11 días para el primer lote y se realiza la solicitud de material conforme se hayan programado las instalaciones de los sitios para evitar el sobre stock. Se puede observar que se disminuyeron 9 días entre el plan final y los resultados del modelo, es decir menos el 45%	11 días para el primer lote y se realiza la solicitud de material conforme se hayan planificado las instalaciones de los sitios para evitar el sobre stock. También se observa que se disminuyeron 4 días entre el plan final y los resultados del modelo, es decir una reducción del 26.67%	10 días para el primer lote y se realiza la solicitud de material conforme se hayan planificado las instalaciones de los sitios para evitar el sobre stock. También se observa que se disminuyeron 5 días entre el plan final y los resultados del modelo, es decir una reducción del 33.33%	10 días para el primer lote y se realiza la solicitud de material conforme se hayan planificado las instalaciones de los sitios para evitar el sobre stock. También se observa que se disminuyeron 4 días entre el plan final y los resultados del modelo, es decir una reducción del 28.57%
El valor de cada recurso adicional diario es de USD 35.00, y se contrató solo 1 adicional en este proyecto. Por cuanto decreció el costo en el 600%	El valor de cada recurso adicional diario es de USD 35.00, y se contrató solo 1 adicional en este proyecto. Por cuanto decreció el costo en el 571%	El valor de cada recurso adicional diario es de USD 35.00, y se contrató solo 1 adicional en este proyecto. Por cuanto decreció el costo en el 714%	El valor de cada recurso adicional diario es de USD 35.00, y se contrató solo 2 adicionales en este proyecto. Por cuanto decreció el costo en el 185%

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Para finalizar este trabajo de tesis, se indicarán las conclusiones a las que se ha llegado y las recomendaciones que se sugiere se sigan para la correcta utilización del modelo matemático creado.

### **Conclusiones**

Se ponen a consideración las siguientes conclusiones alcanzadas en los resultados del modelo ejecutado:

1. Se logró diseñar un modelo matemático que permite optimizar los recursos disponibles y cuantificar los recursos adicionales que se necesitarán para culminar la ejecución del proyecto en los tiempos requeridos.
2. Se planteó y complementó al modelo de distribución de recursos con el arquetipo "Make to order" para la adecuada planificación de producción de los materiales a utilizarse en el proyecto.
3. Se compararon los resultados de los nuevos modelos planteados versus el modelo inicial y se pudo demostrar los beneficios en días de cada proyecto.
4. La empresa objeto de este estudio, puede realizar planes de trabajo con mayor certeza a los anteriormente usados ya que cuenta con la forma adecuada de distribuir los recursos en las actividades para alcanzar la fecha inicialmente solicitada por el cliente y conoce cuántos recursos adicionales utilizará a lo largo de la instalación, lo cual no estimada anteriormente al inicio de los proyectos.
5. El gerente de cada proyecto podrá ahorrar tiempo al momento de la planeación de la instalación ya que se ha incluido la

compra de materiales y las fechas de entrega del mismo para la mejor distribución de los equipos al momento de la instalación.

### **Recomendaciones**

Dentro de un estudio tan ambicioso como lo fue éste, siempre se desea que haya una mejora continua del mismo; por lo tanto se recomienda a la empresa estudiada si desease utilizar el modelo planteado y diseñado en esta tesis, lo siguiente:

1. Verificar los datos antes de ingresarlos al modelo y se encuentren correctamente codificados, para de esta forma evitar cualquier posible error involuntario en los resultados.
2. Ingresar los datos en los campos indicados en el modelo, para la adecuada ejecución del diseño.
3. Contar con un plan de instalación previo indicando grupos de trabajo, tipos de equipo a utilizar y actividades a realizarse.
4. Incluir paulatinamente más áreas y líneas de productos que lleven al modelo a utilizarse en mayor amplitud dentro de la empresa estudio de esta tesis.
5. Agregar en la planeación al departamento de Supply Chain ya que se debe contar con el lead time real para los materiales a usarse en la instalación y utilizarlo en el modelo para que este sea asertivo.

## **ANEXOS**

## A. PLANTEO DEL MODELO MATEMATICO EN GAMS

```
OPTION OPTCR=0.0001

SETS
    r recurso tipo /r1,r2,r3,r4/
    i actividad /act1*act63/
    p proyecto /p1*p4/
    t tiempo /t0*t55/
    m materiales /m1*m10/
    alias (i,j)
    alias (t,q);

sets
    actproy(i,p) actividadproyecto / (act1*act34) . (p1*p2), (act35*act63) . (p3*p4) /
;

sets
    actpredec(i,j,p) actividades predecesoras
/
act2.act1.p1,
act3.act2.p1,
act4.act3.p1,
act5.act3.p1,
act6.act3.p1,
act7.act6.p1,
act8.act7.p1,
act9.act7.p1,
act10.act7.p1,
act11.act9.p1,
act12.act11.p1,
act13.act11.p1,
act14.act11.p1,
act15.act11.p1,
act16.act11.p1,
act17.act11.p1,
act18.act13.p1,
act19.act18.p1,
act20.act18.p1,
act21.act20.p1,
act22.act21.p1,
act23.act21.p1,
act24.act21.p1,
act25.act22.p1,
act26.act25.p1,
act27.act25.p1,
act28.act25.p1,
```

act29.act25.p1,  
act30.act25.p1,  
act31.act26.p1,  
act32.act31.p1,  
act33.act31.p1,  
act34.act31.p1,  
act2.act1.p2,  
act3.act2.p2,  
act4.act3.p2,  
act5.act3.p2,  
act6.act3.p2,  
act7.act4.p2,  
act8.act7.p2,  
act9.act7.p2,  
act10.act7.p2,  
act11.act9.p2,  
act12.act11.p2,  
act13.act11.p2,  
act14.act11.p2,  
act15.act11.p2,  
act16.act11.p2,  
act17.act11.p2,  
act18.act17.p2,  
act19.act18.p2,  
act20.act18.p2,  
act21.act20.p2,  
act22.act21.p2,  
act23.act21.p2,  
act24.act21.p2,  
act25.act24.p2,  
act26.act25.p2,  
act27.act25.p2,  
act28.act25.p2,  
act29.act25.p2,  
act30.act25.p2,  
act31.act28.p2,  
act32.act31.p2,  
act33.act31.p2,  
act34.act31.p2,  
act36.act35.p3,  
act37.act36.p3,  
act38.act36.p3,  
act39.act38.p3,  
act40.act38.p3,  
act41.act40.p3,  
act42.act41.p3,  
act43.act42.p3,  
act44.act43.p3,

act45.act44.p3,  
act46.act44.p3,  
act47.act46.p3,  
act48.act47.p3,  
act49.act48.p3,  
act50.act49.p3,  
act51.act50.p3,  
act52.act43.p3,  
act53.act52.p3,  
act54.act53.p3,  
act55.act54.p3,  
act56.act55.p3,  
act57.act55.p3,  
act58.act57.p3,  
act59.act57.p3,  
act60.act59.p3,  
act61.act60.p3,  
act62.act60.p3,  
act63.act62.p3,  
act36.act35.p4,  
act37.act36.p4,  
act38.act37.p4,  
act39.act38.p4,  
act40.act39.p4,  
act41.act39.p4,  
act42.act41.p4,  
act43.act42.p4,  
act44.act43.p4,  
act45.act43.p4,  
act46.act44.p4,  
act47.act44.p4,  
act48.act45.p4,  
act49.act48.p4,  
act50.act49.p4,  
act51.act50.p4,  
act52.act43.p4,  
act53.act43.p4,  
act54.act43.p4,  
act55.act54.p4,  
act56.act54.p4,  
act57.act54.p4,  
act58.act54.p4,  
act59.act58.p4,  
act60.act59.p4,  
act61.act60.p4,  
act62.act60.p4,  
act63.act62.p4

/

;

sets

actrec(r,i) actividades recursos

/

r1.act1,

r1.act3,

r1.act7,

r1.act11,

r1.act18,

r1.act21,

r1.act25,

r1.act31,

r2.act2,

r2.act13,

r2.act16,

r2.act17,

r2.act22,

r2.act32,

r3.act6,

r3.act9,

r3.act19,

r3.act20,

r3.act23,

r3.act27,

r3.act28,

r3.act30,

r3.act33,

r4.act4,

r4.act5,

r4.act8,

r4.act10,

r4.act12,

r4.act14,

r4.act15,

r4.act24,

r4.act26,

r4.act29,

r4.act34,

r1.act35,

r1.act36,

r2.act37,

r3.act38,

r3.act39,

r4.act40,

r4.act41,

r1.act42,

r1.act43,

```
r2.act44,  
r2.act45,  
r2.act46,  
r2.act47,  
r2.act48,  
r3.act49,  
r3.act50,  
r3.act51,  
r1.act52,  
r1.act53,  
r1.act54,  
r2.act55,  
r2.act56,  
r2.act57,  
r3.act58,  
r3.act59,  
r3.act60,  
r4.act61,  
r4.act62,  
r4.act63  
/  
;  
  
sets  
    actini(i,p)  actividad inicial  
/  
act1.p1,  
act1.p2,  
act35.p3,  
act35.p4  
/  
;  
  
sets  
    tini(t)  tiempo inicial /t0/  
/  
;  
  
parameter  
  
par1(i,r) cantidad de recursos tipo r para la actividad i  
/  
  
act1.r1      4  
act2.r2      5  
act3.r1      4  
act4.r4      5  
act5.r4      5  
act6.r3      5
```

act7.r1	4
act8.r4	5
act9.r3	5
act10.r4	5
act11.r1	4
act12.r4	5
act13.r2	5
act14.r4	5
act15.r4	5
act16.r2	5
act17.r2	5
act18.r1	4
act19.r3	5
act20.r3	5
act21.r1	4
act22.r2	5
act23.r3	5
act24.r4	5
act25.r1	4
act26.r4	5
act27.r3	5
act28.r3	5
act29.r4	5
act30.r3	5
act31.r1	4
act32.r2	5
act33.r3	5
act34.r4	5
act35.r1	4
act36.r1	4
act37.r2	5
act38.r3	5
act39.r3	5
act40.r4	5
act41.r4	5
act42.r1	4
act43.r1	4
act44.r2	5
act45.r2	5
act46.r2	5
act47.r2	5
act48.r2	5
act49.r3	5
act50.r3	5
act51.r3	5
act52.r1	4
act53.r1	4
act54.r1	4

act55.r2	5
act56.r2	5
act57.r2	5
act58.r3	5
act59.r3	5
act60.r3	5
act61.r4	5
act62.r4	5
act63.r4	5
/	

par2(i,p) dias requeridos para la actividad i en el proyecto p

/	
act1.p1	1
act2.p1	2
act3.p1	1
act4.p1	2
act5.p1	5
act6.p1	5
act7.p1	1
act8.p1	3
act9.p1	4
act10.p1	3
act11.p1	1
act12.p1	2
act13.p1	3
act14.p1	1
act15.p1	1
act16.p1	2
act17.p1	2
act18.p1	1
act19.p1	4
act20.p1	2
act21.p1	1
act22.p1	3
act23.p1	2
act24.p1	2
act25.p1	1
act26.p1	3
act27.p1	2
act28.p1	2
act29.p1	2
act30.p1	2
act31.p1	2
act32.p1	3
act33.p1	3
act34.p1	2
act1.p2	1

act2.p2	4
act3.p2	1
act4.p2	4
act5.p2	2
act6.p2	2
act7.p2	1
act8.p2	2
act9.p2	4
act10.p2	2
act11.p2	1
act12.p2	4
act13.p2	2
act14.p2	4
act15.p2	4
act16.p2	4
act17.p2	4
act18.p2	1
act19.p2	2
act20.p2	2
act21.p2	1
act22.p2	2
act23.p2	2
act24.p2	4
act25.p2	1
act26.p2	2
act27.p2	4
act28.p2	4
act29.p2	2
act30.p2	2
act31.p2	2
act32.p2	4
act33.p2	4
act34.p2	4
act35.p3	1
act36.p3	1
act37.p3	1
act38.p3	2
act39.p3	2
act40.p3	2
act41.p3	1
act42.p3	1
act43.p3	1
act44.p3	2
act45.p3	1
act46.p3	1
act47.p3	1
act48.p3	2
act49.p3	2

act50.p3	2
act51.p3	2
act52.p3	1
act53.p3	1
act54.p3	1
act55.p3	2
act56.p3	2
act57.p3	2
act58.p3	1
act59.p3	1
act60.p3	1
act61.p3	2
act62.p3	2
act63.p3	2
act35.p4	1
act36.p4	1
act37.p4	3
act38.p4	1
act39.p4	1
act40.p4	2
act41.p4	2
act42.p4	1
act43.p4	1
act44.p4	2
act45.p4	3
act46.p4	2
act47.p4	2
act48.p4	2
act49.p4	2
act50.p4	2
act51.p4	2
act52.p4	1
act53.p4	1
act54.p4	1
act55.p4	1
act56.p4	1
act57.p4	2
act58.p4	3
act59.p4	2
act60.p4	2
act61.p4	2
act62.p4	2
act63.p4	2

/

par3(r) numero disponible de recurso r

/

r1            16

r2 20  
r3 20  
r4 20  
/

par4(r) costo por dia de un r externo

/  
r1 35  
r2 35  
r3 35  
r4 35  
/

par5(t) penalidad en el tiempo

/  
t1 1  
t2 2  
t3 3  
t4 4  
t5 5  
t6 6  
t7 7  
t8 8  
t9 9  
t10 10  
t11 11  
t12 12  
t13 13  
t14 14  
t15 15  
t16 16  
t17 17  
t18 18  
t19 19  
t20 20  
t21 21  
t22 22  
t23 23  
t24 24  
t25 25  
t26 26  
t27 27  
t28 28  
t29 29  
t30 30  
t31 31  
t32 32  
t33 33

t34	34
t35	35
t36	36
t37	37
t38	38
t39	39
t40	40
t41	41
t42	42
t43	43
t44	44
t45	45
t46	46
t47	47
t48	48
t49	49
t50	50
t51	51
t52	52
t53	53
t54	54
t55	55
/	

par6(m,i,p) materiales m requeridos en el proyecto p para la actividad i

/	
m1.act1.p1	1
m2.act1.p1	8
m3.act1.p1	1
m4.act1.p1	34
m1.act3.p1	6
m2.act3.p1	28
m3.act3.p1	5
m4.act3.p1	138
m1.act7.p1	5
m2.act7.p1	20
m3.act7.p1	3
m4.act7.p1	44
m1.act11.p1	4
m2.act11.p1	12
m3.act11.p1	4
m4.act11.p1	50
m1.act18.p1	2
m2.act18.p1	8
m3.act18.p1	2
m4.act18.p1	8
m1.act21.p1	4

m2.act21.p1	20
m3.act21.p1	3
m4.act21.p1	20
m1.act25.p1	5
m2.act25.p1	26
m3.act25.p1	3
m4.act25.p1	51
m8.act31.p1	4836
m9.act31.p1	200
m10.act31.p1	33
m1.act1.p2	5
m2.act1.p2	14
m1.act3.p2	6
m2.act3.p2	8
m1.act7.p2	4
m2.act7.p2	4
m1.act11.p2	18
m2.act11.p2	19
m1.act18.p2	2
m2.act18.p2	2
m1.act21.p2	5
m2.act21.p2	6
m1.act25.p2	11
m2.act25.p2	15
m8.act31.p2	1464
m9.act31.p2	42
m10.act31.p2	35
m5.act35.p3	2
m6.act35.p3	4
m7.act35.p3	2
m5.act36.p3	2
m6.act36.p3	4
m7.act36.p3	2
m5.act42.p3	4
m6.act42.p3	8
m7.act42.p3	4
m5.act43.p3	2
m6.act43.p3	4
m7.act43.p3	2
m5.act52.p3	2
m6.act52.p3	4
m7.act52.p3	2
m5.act53.p3	2
m6.act53.p3	4
m7.act53.p3	2
m5.act54.p3	2
m6.act54.p3	4
m7.act54.p3	2

m5.act35.p4	2
m6.act35.p4	4
m7.act35.p4	2
m5.act36.p4	2
m6.act36.p4	4
m7.act36.p4	2
m5.act42.p4	4
m6.act42.p4	8
m7.act42.p4	4
m5.act43.p4	2
m6.act43.p4	4
m7.act43.p4	2
m5.act52.p4	2
m6.act52.p4	4
m7.act52.p4	2
m5.act53.p4	2
m6.act53.p4	4
m7.act53.p4	2
m5.act54.p4	2
m6.act54.p4	4
m7.act54.p4	2

/

par7(m) leadtime t del material m

/

m1	12
m2	12
m3	7
m4	10
m5	8
m6	10
m7	10
m8	14
m9	15
m10	13

/

;

variables

z

positive variables

rsub(r) cantidad de recurso adicional contratado

inv(m,t) inventario del material m en el tiempo t

c(t,m) adquisicion de material m en el tiempo t

;

binary variable

y(t,i,p) tiempo t en que se realiza la activad i del proyecto p

```
k(t,i,p) 1 si la actividad i del proyecto p culmina en el tiempo t
x(t,i,p) 1 si la actividad i del proyecto p comienza en el tiempo t
v(i,p) 1 si la actividad i del proyecto p se realiza
;

equations
obj funcion objetivo
res1(t,r) maximo de recursos r por periodo de tiempo t
res2(i,p,t) determina el orden de las actividades predecesoras
res3(i,p) tiempo t que dura la actividad i del proyecto p
res4(i,p,t) tiempo t en el que se completa la actividad i del proyecto p
res5(i,p) toda actividad i debe completarse
res6(t,i,p) ninguna actividad puede iniciar en el tiempo "0"
res7(t,i,p) determina el inicio del proyecto p
res8(i,p) determina el inicio del proyecto p
res9(t,m) balance de inventario de material m
;
obj..
z=e=sum((i,t,p),par5(t)*10*(k(t,i,p)+x(t,i,p)))+sum(r,par4(r)*rsub(r))+sum((i,t,p),999*v(i,p));

res1(t,r).. sum((i,p)$actproy(i,p),y(t,i,p)*par1(i,r))=l=(par3(r)+rsub(r));
res2(i,p,t)$actproy(i,p) and not(actini(i,p)) and not(tini(t))..
sum((q,j)$((ord(q)<ord(t)) and actpredec(i,j,p)),k(q,j,p))=g=y(t,i,p);
res3(i,p).. sum((t),y(t,i,p))=e=par2(i,p);
res4(i,p,t)$actproy(i,p).. sum(q$(ord(q)<=ord(t)),y(q,i,p))=g=par2(i,p)*k(t,i,p);
res5(i,p).. sum(t,k(t,i,p))=e=1;
res6(t,i,p)$tini(t) and actproy(i,p).. y(t,i,p)=e=0;
res7(t,i,p).. x(t,i,p)=l=y(t,i,p);
res8(i,p)$actproy(i,p).. sum((t),x(t,i,p))=e=1;
res9(t,m).. inv(m,t)=e=inv(m,t-1)+c(t-par7(m),m)-sum((i,p),x(t,i,p)*par6(m,i,p));

model mrp /all/
solve mrp minimizing z using mip
display x.l, y.l, k.l, z.l, rsub
```

## B. RESULTADOS OBTENIDOS EN GAMS

GAMS Rev 238 WIN-VS8 23.8.2 x86/MS Windows 11/03/13 22:28:46 Page 6  
 General Algebraic Modeling System  
 Execution

---- 653 VARIABLE x.L 1 si la actividad i del proyecto p comienza en el tiempo t

	p1	p2	p3	p4
t10.act35			1.000	1.000
t11.act36			1.000	1.000
t12.act1	1.000	1.000		
t12.act37			1.000	1.000
t12.act38			1.000	
t13.act2	1.000	1.000		
t14.act39			1.000	
t14.act40			1.000	
t15.act3	1.000			
t15.act38				1.000
t16.act4	1.000			
t16.act5	1.000			
t16.act6	1.000			
t16.act39				1.000
t16.act41			1.000	
t17.act3		1.000		
t17.act40				1.000
t17.act41				1.000
t17.act42			1.000	
t18.act4		1.000		
t18.act5		1.000		
t18.act6		1.000		
t18.act43			1.000	
t19.act42				1.000
t19.act44			1.000	
t19.act52			1.000	
t20.act43				1.000
t20.act53			1.000	
t21.act7	1.000			
t21.act44				1.000
t21.act45			1.000	1.000
t21.act46			1.000	
t21.act53				1.000
t21.act54			1.000	1.000
t22.act7		1.000		

t22.act8	1.000		
t22.act9	1.000		
t22.act10	1.000		
t22.act47		1.000	
t22.act52			1.000
t22.act55		1.000	1.000
t22.act56			1.000
t22.act58			1.000
t23.act8	1.000		
t23.act9	1.000		
t23.act10	1.000		
t23.act48		1.000	
t23.act57			1.000
t24.act47			1.000
t24.act48			1.000
t24.act56		1.000	
t24.act57		1.000	
t25.act46			1.000
t25.act49		1.000	
t25.act59			1.000
t26.act11	1.000		
t26.act49			1.000
t26.act59		1.000	
t27.act11		1.000	
t27.act12	1.000		
t27.act13	1.000		
t27.act14	1.000		
t27.act15	1.000		
t27.act16	1.000		
t27.act17	1.000		
t27.act50		1.000	
t27.act60		1.000	
t28.act12	1.000		
t28.act13	1.000		
t28.act14	1.000		
t28.act16	1.000		
t28.act17	1.000		
t28.act50			1.000
t28.act58		1.000	
t28.act60			1.000
t28.act61		1.000	
t28.act62		1.000	
t29.act15	1.000		
t29.act51		1.000	
t30.act18	1.000		
t30.act51			1.000
t30.act61			1.000
t30.act62			1.000

t30.act63			1.000	
t31.act19	1.000			
t31.act20	1.000			
t32.act18		1.000		
t32.act63				1.000
t33.act19		1.000		
t33.act20		1.000		
t33.act21	1.000			
t34.act22	1.000			
t34.act23	1.000			
t34.act24	1.000			
t35.act21		1.000		
t36.act22		1.000		
t36.act23		1.000		
t36.act24		1.000		
t37.act25	1.000			
t38.act26	1.000			
t38.act27	1.000			
t38.act28	1.000			
t38.act29	1.000			
t38.act30	1.000			
t40.act25		1.000		
t41.act26		1.000		
t41.act27		1.000		
t41.act28		1.000		
t41.act29		1.000		
t41.act30		1.000		
t41.act31	1.000			
t43.act32	1.000			
t43.act33	1.000			
t43.act34	1.000			
t45.act31		1.000		
t47.act32		1.000		
t47.act33		1.000		
t47.act34		1.000		

---- 653 VARIABLE y.L tiempo t en que se realiza la actividad i del proyecto p

	p1	p2	p3	p4
t10.act35			1.000	1.000
t11.act36			1.000	1.000
t12.act1	1.000	1.000		
t12.act37			1.000	1.000
t12.act38			1.000	
t13.act2	1.000	1.000		
t13.act37				1.000

t13.act38			1.000	
t14.act2	1.000	1.000		
t14.act37				1.000
t14.act39			1.000	
t14.act40			1.000	
t15.act2		1.000		
t15.act3	1.000			
t15.act38				1.000
t15.act39			1.000	
t15.act40			1.000	
t16.act2		1.000		
t16.act4	1.000			
t16.act5	1.000			
t16.act6	1.000			
t16.act39				1.000
t16.act41			1.000	
t17.act3		1.000		
t17.act4	1.000			
t17.act5	1.000			
t17.act6	1.000			
t17.act40				1.000
t17.act41				1.000
t17.act42			1.000	
t18.act4		1.000		
t18.act5		1.000		
t18.act6	1.000	1.000		
t18.act40				1.000
t18.act41				1.000
t18.act43			1.000	
t19.act4		1.000		
t19.act5	1.000	1.000		
t19.act6	1.000	1.000		
t19.act42				1.000
t19.act44			1.000	
t19.act52			1.000	
t20.act4		1.000		
t20.act5	1.000			
t20.act6	1.000			
t20.act43				1.000
t20.act44			1.000	
t20.act53			1.000	
t21.act4		1.000		
t21.act5	1.000			
t21.act7	1.000			
t21.act44				1.000
t21.act45			1.000	1.000
t21.act46			1.000	
t21.act53				1.000

t21.act54			1.000	1.000
t22.act7		1.000		
t22.act8	1.000			
t22.act9	1.000			
t22.act10	1.000			
t22.act45				1.000
t22.act47			1.000	
t22.act52				1.000
t22.act55			1.000	1.000
t22.act56				1.000
t22.act58				1.000
t23.act8	1.000	1.000		
t23.act9	1.000	1.000		
t23.act10	1.000	1.000		
t23.act44				1.000
t23.act45				1.000
t23.act48			1.000	
t23.act55			1.000	
t23.act57				1.000
t23.act58				1.000
t24.act8	1.000	1.000		
t24.act9	1.000	1.000		
t24.act10	1.000	1.000		
t24.act47				1.000
t24.act48			1.000	1.000
t24.act56			1.000	
t24.act57			1.000	
t24.act58				1.000
t25.act9	1.000	1.000		
t25.act46				1.000
t25.act47				1.000
t25.act48				1.000
t25.act49			1.000	
t25.act57			1.000	1.000
t25.act59				1.000
t26.act9		1.000		
t26.act11	1.000			
t26.act46				1.000
t26.act49			1.000	1.000
t26.act56			1.000	
t26.act59			1.000	
t27.act11		1.000		
t27.act12	1.000			
t27.act13	1.000			
t27.act14	1.000			
t27.act15	1.000			
t27.act16	1.000			
t27.act17	1.000			

t27.act49				1.000
t27.act50			1.000	
t27.act59				1.000
t27.act60			1.000	
t28.act12		1.000		
t28.act13	1.000	1.000		
t28.act14		1.000		
t28.act16	1.000	1.000		
t28.act17		1.000		
t28.act50			1.000	1.000
t28.act58			1.000	
t28.act60				1.000
t28.act61			1.000	
t28.act62			1.000	
t29.act12	1.000			
t29.act13	1.000	1.000		
t29.act15		1.000		
t29.act16		1.000		
t29.act17	1.000	1.000		
t29.act50				1.000
t29.act51			1.000	
t29.act60				1.000
t29.act61			1.000	
t29.act62			1.000	
t30.act12		1.000		
t30.act16		1.000		
t30.act17		1.000		
t30.act18	1.000			
t30.act51			1.000	1.000
t30.act61				1.000
t30.act62				1.000
t30.act63			1.000	
t31.act14		1.000		
t31.act16		1.000		
t31.act17		1.000		
t31.act19	1.000			
t31.act20	1.000			
t31.act51				1.000
t31.act61				1.000
t31.act62				1.000
t31.act63			1.000	
t32.act12		1.000		
t32.act14		1.000		
t32.act15		1.000		
t32.act18		1.000		
t32.act19	1.000			
t32.act20	1.000			
t32.act63				1.000

t33.act12		1.000	
t33.act14		1.000	
t33.act15		1.000	
t33.act19	1.000	1.000	
t33.act20		1.000	
t33.act21	1.000		
t33.act63			1.000
t34.act15		1.000	
t34.act19	1.000	1.000	
t34.act20		1.000	
t34.act22	1.000		
t34.act23	1.000		
t34.act24	1.000		
t35.act21		1.000	
t35.act22	1.000		
t35.act23	1.000		
t35.act24	1.000		
t36.act22	1.000	1.000	
t36.act23		1.000	
t36.act24		1.000	
t37.act22		1.000	
t37.act23		1.000	
t37.act24		1.000	
t37.act25	1.000		
t38.act24		1.000	
t38.act26	1.000		
t38.act27	1.000		
t38.act28	1.000		
t38.act29	1.000		
t38.act30	1.000		
t39.act24		1.000	
t39.act26	1.000		
t39.act27	1.000		
t39.act28	1.000		
t39.act29	1.000		
t39.act30	1.000		
t40.act25		1.000	
t40.act26	1.000		
t41.act26		1.000	
t41.act27		1.000	
t41.act28		1.000	
t41.act29		1.000	
t41.act30		1.000	
t41.act31	1.000		
t42.act26		1.000	
t42.act27		1.000	
t42.act28		1.000	
t42.act29		1.000	

t42.act30		1.000
t42.act31	1.000	
t43.act27		1.000
t43.act28		1.000
t43.act32	1.000	
t43.act33	1.000	
t43.act34	1.000	
t44.act27		1.000
t44.act28		1.000
t44.act32	1.000	
t44.act33	1.000	
t44.act34	1.000	
t45.act31		1.000
t45.act32	1.000	
t45.act33	1.000	
t46.act31		1.000
t47.act32		1.000
t47.act33		1.000
t47.act34		1.000
t48.act32		1.000
t48.act33		1.000
t48.act34		1.000
t49.act32		1.000
t49.act33		1.000
t49.act34		1.000
t50.act32		1.000
t50.act33		1.000
t50.act34		1.000

---- 653 VARIABLE k.L 1 si la actividad i del proyecto p culmina en el tiempo t

	p1	p2	p3	p4
t0 .act1			1.000	1.000
t0 .act2			1.000	1.000
t0 .act3			1.000	1.000
t0 .act4			1.000	1.000
t0 .act5			1.000	1.000
t0 .act6			1.000	1.000
t0 .act7			1.000	1.000
t0 .act8			1.000	1.000
t0 .act9			1.000	1.000
t0 .act10			1.000	1.000
t0 .act11			1.000	1.000
t0 .act12			1.000	1.000
t0 .act13			1.000	1.000

t0 .act14			1.000	1.000
t0 .act15			1.000	1.000
t0 .act16			1.000	1.000
t0 .act17			1.000	1.000
t0 .act18			1.000	1.000
t0 .act19			1.000	1.000
t0 .act20			1.000	1.000
t0 .act21			1.000	1.000
t0 .act22			1.000	1.000
t0 .act23			1.000	1.000
t0 .act24			1.000	1.000
t0 .act25			1.000	1.000
t0 .act26			1.000	1.000
t0 .act27			1.000	1.000
t0 .act28			1.000	1.000
t0 .act29			1.000	1.000
t0 .act30			1.000	1.000
t0 .act31			1.000	1.000
t0 .act32			1.000	1.000
t0 .act33			1.000	1.000
t0 .act34			1.000	1.000
t0 .act35	1.000	1.000		
t0 .act36	1.000	1.000		
t0 .act37	1.000	1.000		
t0 .act38	1.000	1.000		
t0 .act39	1.000	1.000		
t0 .act40	1.000	1.000		
t0 .act41	1.000	1.000		
t0 .act42	1.000	1.000		
t0 .act43	1.000	1.000		
t0 .act44	1.000	1.000		
t0 .act45	1.000	1.000		
t0 .act46	1.000	1.000		
t0 .act47	1.000	1.000		
t0 .act48	1.000	1.000		
t0 .act49	1.000	1.000		
t0 .act50	1.000	1.000		
t0 .act51	1.000	1.000		
t0 .act52	1.000	1.000		
t0 .act53	1.000	1.000		
t0 .act54	1.000	1.000		
t0 .act55	1.000	1.000		
t0 .act56	1.000	1.000		
t0 .act57	1.000	1.000		
t0 .act58	1.000	1.000		
t0 .act59	1.000	1.000		
t0 .act60	1.000	1.000		
t0 .act61	1.000	1.000		

t0 .act62	1.000	1.000		
t0 .act63	1.000	1.000		
t10.act35			1.000	1.000
t11.act36			1.000	1.000
t12.act1	1.000	1.000		
t12.act37			1.000	
t13.act38			1.000	
t14.act2	1.000			
t14.act37				1.000
t15.act3	1.000			
t15.act38				1.000
t15.act39			1.000	
t15.act40			1.000	
t16.act2		1.000		
t16.act39				1.000
t16.act41			1.000	
t17.act3		1.000		
t17.act4	1.000			
t17.act42			1.000	
t18.act40				1.000
t18.act41				1.000
t18.act43			1.000	
t19.act5		1.000		
t19.act6		1.000		
t19.act42				1.000
t19.act52			1.000	
t20.act6	1.000			
t20.act43				1.000
t20.act44			1.000	
t20.act53			1.000	
t21.act4		1.000		
t21.act5	1.000			
t21.act7	1.000			
t21.act45			1.000	
t21.act46			1.000	
t21.act53				1.000
t21.act54			1.000	1.000
t22.act7		1.000		
t22.act47			1.000	
t22.act52				1.000
t22.act55				1.000
t22.act56				1.000
t23.act44				1.000
t23.act45				1.000
t23.act55			1.000	
t24.act8	1.000	1.000		
t24.act10	1.000	1.000		
t24.act48			1.000	

t24.act58			1.000
t25.act9	1.000		
t25.act47			1.000
t25.act48			1.000
t25.act57		1.000	1.000
t26.act9		1.000	
t26.act11	1.000		
t26.act46			1.000
t26.act49		1.000	
t26.act56		1.000	
t26.act59		1.000	
t27.act11		1.000	
t27.act14	1.000		
t27.act15	1.000		
t27.act49			1.000
t27.act59			1.000
t27.act60		1.000	
t28.act16	1.000		
t28.act50		1.000	
t28.act58		1.000	
t29.act12	1.000		
t29.act13	1.000	1.000	
t29.act17	1.000		
t29.act50			1.000
t29.act60			1.000
t29.act61		1.000	
t29.act62		1.000	
t30.act18	1.000		
t30.act51		1.000	
t31.act16		1.000	
t31.act17		1.000	
t31.act51			1.000
t31.act61			1.000
t31.act62			1.000
t31.act63		1.000	
t32.act18		1.000	
t32.act20	1.000		
t33.act12		1.000	
t33.act14		1.000	
t33.act21	1.000		
t33.act63			1.000
t34.act15		1.000	
t34.act19	1.000	1.000	
t34.act20		1.000	
t35.act21		1.000	
t35.act23	1.000		
t35.act24	1.000		
t36.act22	1.000		

t37.act22		1.000
t37.act23		1.000
t37.act25	1.000	
t39.act24		1.000
t39.act27	1.000	
t39.act28	1.000	
t39.act29	1.000	
t39.act30	1.000	
t40.act25		1.000
t40.act26	1.000	
t42.act26		1.000
t42.act29		1.000
t42.act30		1.000
t42.act31	1.000	
t44.act27		1.000
t44.act28		1.000
t44.act34	1.000	
t45.act32	1.000	
t45.act33	1.000	
t46.act31		1.000
t50.act32		1.000
t50.act33		1.000
t50.act34		1.000

---- 653 VARIABLE z.L = 67305.000

---- 653 VARIABLE rsub.L cantidad de recurso adicional contratado

r2 5.000

EXECUTION TIME = 0.250 SECONDS 8 Mb WIN238-238 Apr 3, 2012

USER: Gary Goldstein  
Decision Ware, Inc.

G010614:2121CA-WIN  
DC2807

## BIBLIOGRAFIA

1. Telecomunicacion. (s.f). En Wikipedia. Recuperado de <http://es.wikipedia.org/wiki/Telecomunicaci%C3%B3n>
2. Optimizacion (matematica). (s.f). En Wikipedia. Recuperado de [http://es.wikipedia.org/wiki/Optimizaci%C3%B3n\\_\(matem%C3%A1tica\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Optimizaci%C3%B3n_(matem%C3%A1tica))
3. Sala-Garrido Ramon. (s.f.) Introduccion a la programacion matematica. Recuperado de <http://www.uv.es/~sala/C010405.pdf>
4. Programacion Lineal. (s.f.) En Wordpress. Recuperado de <http://unimorenocarlos.files.wordpress.com/2011/08/importancia-y-concepto-de-programacic3b3n-lineal.pdf>
5. Vivas Quimey. (s.f.) Capitulo 4 Programacion Lineal Entera .Recuperado de [http://mate.dm.uba.ar/~qvivas/operativa/archivos/cap4\\_05.pdf](http://mate.dm.uba.ar/~qvivas/operativa/archivos/cap4_05.pdf)
6. H. Kane, A. Tissier. (2012). A Resource Allocation Model for Multi-Project Management. Université du Québec en Outaouais. Reciperado de [http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/72/85/99/PDF/paper\\_218.pdf](http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/72/85/99/PDF/paper_218.pdf)
7. Hossein Amoozad Khalili, Anahita Maleki (2011). Project Risk Management Techniques in Resource Allocation, Scheduling and Planning. World Academy of Science, Engineering and Technology. Recuperado de <http://waset.org/publications/11873/project-risk-management-techniques-in-resource-allocation-scheduling-and-planning>
8. Roel Leus, Willy Herroelen. (2010). Stability and Resource Allocation in Project Planning. Katholieke Universiteit Leuven. Recuperado de <http://www.econ.kuleuven.be/public/ndbac96/published%20papers/LeusHerroelen04.pdf>
9. Mark A. Turnquist, Linda K. Nozick. (2003). Allocating Time and Resources in Project Management Under Uncertainty. Cornell University. Recuperado de

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.70.4463&rep=rep1&type=pdf>

10. Tarek Hegazy. (1999). Optimization of Resource Allocation and Leveling Using Algorithms. Journal of construction engineering and management, 167-175. Recuperado de <http://kisi.deu.edu.tr/guzin.kavrukkoca/BISMaster/ResourceLevelingUsingGeneticAlgorithms.pdf>