



Universidad Nacional
SAN LUIS GONZAGA



[Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licencia permite a otras combinar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial, siempre y cuando den crédito y licencia a nuevas creaciones bajo los mismos términos.

http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0

**UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA” DE ICA
ESCUELA DE POSGRADO**



**APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA DE CADENA CRÍTICA EN
GESTION DE PROYECTOS DE CONSTRUCCION. CASO DE
ESTUDIO: OBRA “MODERNIZACION DEL AEROPUERTO
INTERNACIONAL DE PISCO”**

TESIS

PARA OPTAR EL GRADO DE MAGISTER EN:

INGENIERIA CIVIL

MENCION: GESTION Y GERENCIA EN LA CONSTRUCCION

PRESENTADO POR:

ANALI MARIELLA HUAMANI CANALES

ASESOR:

DR. JOSE CLAUDIO GUEVARA BENDEZU

ICA – PERU

2016

AGRADECIMIENTO

A Dios por ser mi guía infinito en cada paso que he dado, doy y daré; por tener con salud a mi familia, por cuidar a mi corazón, por enviarme ángeles convertidos en amigos, por darme a tiempo la lección que debo aprender.

A Eliyahu Goldratt por su legado, sus libros y la metodología CCPM.

A Raúl Bianchi, Julia Wilhide, Doug Brandt, Pau Servera; por demostrarme que no basta conocer personalmente a alguien para ser amigos; por sus consejos y ánimos a continuar en el difícil camino de la Gestión de proyectos y aplicación de la metodología del CCPM; a quienes debo lo vertido en la presente tesis, sin sus aportes, apoyo y correcciones no lo hubiera logrado.

A mi asesor Ing. José C. Guevara Bendezu por confiar en mi potencial para alcanzar exitosamente esta meta.

A todas aquellas personas que de alguna u otra manera dejara constancia de lo que quiero compartir porque ellos tomaran parte en difundirlo y practicarlo.
Gracias.

DEDICATORIA

A todos aquellos que día a día luchan por ser mejores; adelante triunfadores no suelten su meta jamás, hasta lograrlo.

INDICE GENERAL

CARATULA	II
AGRADECIMIENTO	III
DEDICATORIA	IV
ÍNDICE GENERAL	V
LISTA DE FIGURAS	VIII
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
TITULO	XII
INTRODUCCIÓN	XIII
I. MARCO TEÓRICO	
1.1 Antecedentes	02
1.2 Bases Teóricas	04
1.2.1 Introducción a la gestión de proyectos	04
1.2.1.1 ¿Que es un proyecto?	04
1.2.1.2 Administración de proyectos	04
1.2.1.3 Ciclo de vida de un proyecto	05
1.2.1.4 Procesos de administración de proyectos	06
1.2.1.5 Áreas de conocimiento de proyectos	07
1.2.1.6 Características de los proyectos	08
1.2.1.7 Condiciones de un proyecto	09
1.2.1.8 Observaciones generales sobre los proyectos	09
1.2.2 La gestión clásica de proyectos	12
1.2.2.1 Técnicas Gantt y Pert	12
1.2.2.2 Importancia del camino critico	14
1.2.3 La Teoría de las restricciones	17
1.2.3.1 Utilizando la analogía de la cadena	21
1.2.3.2 Relación de TOC con nuevas filosofías	31
1.2.4 La manera tradicional de manejar los proyectos	32
1.2.4.1 Quejas comunes en gestión de proyectos	33
1.2.4.2 Margen de seguridad	33
1.2.4.3 Los mecanismos de desperdicio de las protecciones	36
1.2.4.3.1 La ley de Parkinson	37

1.2.4.3.2 La integración de las tareas	39
1.2.4.3.3 El síndrome del estudiante	41
1.2.4.3.4 Tareas múltiples	42
1.2.5 Metodología de cadena critica	47
1.2.5.1 Cadena Crítica	47
1.2.5.2 Supuestos Tradicionales que TOC cuestiona	49
1.2.5.3 Fundamentos de la cadena crítica	50
1.2.5.4 Aplicación de Metodología de cadena critica	51
1.2.5.5 La gestión de los buffers	53
1.2.5.6 Seguimiento de cronograma con cadena critica	54
1.2.5.7 Los indicadores - grafico de temperatura	55

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Descripción de la realidad problemática	58
2.2 Delimitación del problema de la investigación	58
2.3 Formulación del problema de la investigación	59
2.4 Justificación e importancia de la investigación	59
2.5 Objetivos de la investigación	60
2.5.1 Objetivo general	60
2.5.2 Objetivos específicos	60
2.6 Hipótesis de la investigación	61
2.7 Variables de la investigación	61
2.7.1 Variables Independientes	61
2.7.2 Variables dependientes	61
2.7.3 Indicadores	62

III. DE LA METODOLOGÍA

3.1 Tipo, nivel y diseño de investigación	63
3.1.1 Tipo de investigación	63
3.1.2 Nivel de investigación	63
3.1.3 Diseño de investigación	64
3.2 Población y muestra	65
3.2.1 Población	65
3.2.2 Muestra	65

IV. DE LOS INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN	
4.1 Técnicas e instrumentos de recolección de la información	67
4.1.1 Técnicas de recolección de información	67
4.1.2 Instrumentos de recolección de información	68
4.1.3 Técnicas de análisis e interpretación de datos	68
V. CONTRASTACIÓN DE HIPOTESIS	
5.1 Formulación de la hipótesis estadística	69
5.2 Hipótesis nula	69
5.3 Hipótesis alterna	70
VI. PRESENTACION, INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	
6.1 Aplicación de la metodología de cadena critica	72
6.1.1 Datos generales de la obra	72
6.1.2 Ubicación del proyecto	73
6.1.3 Descripción por especialidad	74
6.2 Iniciando el proyecto	78
6.3 Planificando el proyecto	80
6.3.1 La gestión del alcance	80
6.3.2 La gestión del tiempo	81
6.4 Metodología de cadena critica en caso práctico	82
6.4.1 Hacer estimaciones agresivas de duración de las tareas	82
6.4.2 Identificar la cadena critica	89
6.4.3 Amortiguar la finalización del proyecto	91
6.4.4 Añadir los buffers de alimentación	93
6.4.5 Los indicadores de cadena critica – grafico de temperatura	97
VII. CONCLUSIONES	106
VIII. RECOMENDACIONES	107
IX. FUENTES DE INFORMACIÓN	108
X. ANEXOS	111

LISTA DE FIGURAS

- Figura N° 1** The Chaos Report, 1995 (Bianchi, 2013)
- Figura N° 2** The Chaos Report 2009 (Bianchi, 2013)
- Figura N° 3** Diagrama PERT y gráfico GANTT. (Goldratt, 2001)
- Figura N° 4** Representación de Diagrama PERT. (Goldratt, 2001)
- Figura N° 5** Gráfico GANTT – Inicio tardío. (Goldratt, 2001)
- Figura N° 6** Gráfico GANTT – Inicio temprano. (Goldratt, 2001)
- Figura N° 7** Gráfico - Analogía de la Cadena 1. (El autor)
- Figura N° 8** Gráfico - Analogía de la Cadena 2. (El autor)
- Figura N° 9** Gráfico - Analogía de la Cadena 3. (El autor)
- Figura N° 10** Diagrama de conflicto. 1 (Goldratt, 2001)
- Figura N° 11** Diagrama de conflicto. 2 (Goldratt, 2001)
- Figura N° 12** Desperdicio de las protecciones (Bianchi, 2013)
- Figura N° 13** Gráfico – Etapas consecutivas. (El autor)
- Figura N° 14** Gráfico – Etapas paralelas. (El autor)
- Figura N° 15** Gráfico – Tareas múltiples. (Goldratt, 2001)
- Figura N° 16** Gráfico – Diagrama Lógico - consecuencias de la práctica común de gestión. (Bianchi, 2013)
- Figura N° 17** Ejemplo para calcular indicador 1 (El autor)
- Figura N° 18** Grafico de temperatura del proyecto (El autor)
- Figura N° 19** Esquema general del proyecto (El autor)
- Figura N° 20** Cuadro de distribución de áreas (El autor)
- Figura N° 21** Acta de constitución de proyecto (El autor)
- Figura N° 22** Secuencia requisito-entregable-trabajo (Bianchi, 2013)
- Figura N° 23** EDT Modernización del aeropuerto internacional de Pisco (El autor)
- Figura N° 24** Estimación de tiempos y asignación de recursos (El autor)
- Figura N° 25** Cronograma con estimaciones recortadas a la mitad (El autor)
- Figura N° 26** Identificación de la ruta crítica sin recursos nivelados (El autor)
- Figura N° 27** Nivelación de carga de recursos (El autor)
- Figura N° 28** Identificación de actividades de cadena crítica y cadena de alimentación (El autor)

Figura N° 29 Identificación de la cadena crítica con recursos nivelados (El autor)

Figura N° 30 Amortiguador de proyecto – Project buffer (El autor)

Figura N° 31 Colocación de buffer de proyecto – color dorado (El autor)

Figura N° 32 Amortiguador de alimentación – Feeding buffer (El autor)

Figura N° 33 Colocación de buffer de alimentación – color verde (El autor)

Figura N° 34 Duración total del proyecto con aplicación de la metodología de cadena crítica (El autor)

Figura N° 35 Cronograma del ejemplo integrador, avance a los 30 días (El autor)

Figura N° 36 Grafica de temperatura a los 30 días (El autor)

Figura N° 37 Cronograma del ejemplo integrador, avance a los 60 días (El autor)

Figura N° 38 Grafica de temperatura a los 60 días (El autor)

Figura N° 39 Cronograma del ejemplo integrador, avance a los 90 días (El autor)

Figura N° 40 Grafica de temperatura a los 90 días (El autor)

RESUMEN

La presente tesis: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE CADENA CRÍTICA EN GESTIÓN DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN. CASO DE ESTUDIO: OBRA “MODERNIZACIÓN DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE PISCO”; desarrolla con análisis satisfactorio la aplicación de la metodología de cadena crítica, para llevar a cabo una buena gestión de proyectos.

El objetivo de este trabajo es determinar la importancia de la aplicación de la metodología de cadena crítica en gestión de proyectos de construcción. Caso de estudio: obra “Modernización del Aeropuerto Internacional de Pisco”.

Cadena crítica tiene en cuenta el manejo de la incertidumbre que hace que la mayoría de los proyectos no se terminen en el plazo, con el presupuesto y con las prestaciones esperadas; esta metodología nos permite tener un adecuado control y seguimiento en el proyecto sin la necesidad de tener muchos indicadores.

Una de las claves del éxito de la metodología es el grado de implicación de las personas durante la implementación; al tratarse de un método que orienta al sistema en su totalidad en una dirección común, resulta imprescindible que todas las partes implicadas trabajen en esa línea, y con especial rigor al principio con el fin de lograr resultados concretos.

Palabras claves: Cadena crítica; teoría de restricciones; gestión de proyectos.

ABSTRACT

This thesis: APPLICATION OF THE METHODOLOGY OF CRITICAL CHAIN IN MANAGEMENT IN CONSTRUCTION PROJECTS. CASE STUDY: WORK "MODERNIZATION INTERNATIONAL AIRPORT OF PISCO"; develops with satisfactory analysis, the application the critical chain methodology, to carry out a good project management.

The aim of this study is to determine the importance of application of the methodology of critical chain in management in construction projects. case study: work "Modernization International Airport of Pisco"

Critical chain takes into account handling the uncertainty that makes most projects are not completed on time, on budget and with the expected benefits; this methodology allows us to have proper control and monitoring in the project without the need for many indicators.

One of the keys to the success of the methodology is the degree of involvement of people during her deployment; being a method that guides the entire system in a common direction, it is essential that all parties work in that line, and with particular rigor to the principle in order to achieve concrete results.

Keywords: Critical Chain; theory of constraints; project management.

**APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA DE CADENA
CRÍTICA EN GESTION DE PROYECTOS DE
CONSTRUCCION. CASO DE ESTUDIO: OBRA
“MODERNIZACION DEL AEROPUERTO
INTERNACIONAL DE PISCO”**

INTRODUCCION

La evolución del sector construcción hacia una cultura de mejora de la calidad, es decir: reducción de pérdidas, entrega a tiempo, mayor utilidad, seguridad; implica la búsqueda de métodos cada vez más eficaces en la obtención de sus parámetros e indicadores principales.

En las siguientes páginas se presenta el trabajo de grado para optar el título de Magister en Ingeniería Civil con mención en Gestión y Gerencia de la Construcción, otorgado por la Universidad Nacional “San Luis Gonzaga” de Ica.

El objetivo de este trabajo en particular fue, presentar la aplicación de la metodología de cadena crítica en gestión de proyectos de construcción. Caso de estudio: Obra “Modernización del Aeropuerto Internacional de Pisco”.

Cabe resaltar que lo vertido en la presente tesis viene a ser en conjunto, la metodología que compartió Eliyahu Goldratt en su libro Cadena Crítica y las investigaciones de autores que prosiguieron con la enseñanza de la misma.

Este trabajo se ha dividido en diez partes: Marco teórico; planteamiento del problema; metodología; instrumentos de investigación; contrastación de hipótesis; presentación, interpretación y discusión de resultados; conclusiones; recomendaciones; fuentes de información y anexos.

En el primer capítulo establece el marco teórico de los tópicos utilizados en el desarrollo de la investigación, además de incluir antecedentes de la

investigación y algunas definiciones que aclaran los conceptos de la aplicación de la metodología.

El segundo capítulo plantea el problema de investigación, la justificación del proyecto, el objetivo general, los objetivos específicos, las hipótesis y variables.

El tercer capítulo incluye la metodología, indicando el tipo, nivel y diseño de investigación; la población y muestra.

El cuarto capítulo contiene el desarrollo de los instrumentos de investigación, en donde se describe las técnicas e instrumentos de recolección de información.

El quinto capítulo sintetiza la contrastación de hipótesis.

El capítulo sexto resume la presentación, interpretación y discusión de resultados.

Las cuatro últimas entregas se encargan del cierre del trabajo de grado, en el capítulo séptimo, se presentan las conclusiones; en el octavo capítulo las recomendaciones, en el capítulo noveno presenta las fuentes de información utilizadas que permiten profundizar en el tema y se finaliza con el décimo capítulo que son los anexos de la investigación realizada.

El Autor

I. MARCO TEORICO

En este marco teórico se presentara una serie de fundamentos básicos para entender los posteriores estudios, distribuyéndose de la siguiente manera:

Antecedentes: Consisten de la revisión de diferentes investigaciones relacionadas con el tema logrado.

Bases teóricas: Esta parte permite conocer la metodología de cadena critica aplicados a la gestión de proyectos, la cual tomamos como caso práctico la obra: “Modernización del Aeropuerto Internacional de Pisco”; a su vez revisar definiciones como:

- Los procesos de planificación
- Metodologías de planificación y control
- Gestión de Proyectos
- Teoría de restricciones
- Cadena crítica

Estas bases teóricas permiten unificar los conceptos que se utilizaron en la investigación.

1.1 ANTECEDENTES

Los antecedentes abarcan investigaciones realizadas acerca de la Aplicación de metodología de cadena crítica en gestión de proyectos y los buenos resultados que se está cosechando con ello.

La presente tesis ha sido posible gracias a la colaboración e investigación de los autores mencionados.

A continuación se referencian:

APAOLAZA Unai (2005) Aplicación de la cadena crítica al sector de la construcción señala: “Cadena crítica, se trata de un método que hace especial énfasis en la gestión del plazo de los proyectos, por lo que el principal beneficio es una importante reducción del plazo debido a las implicaciones que tiene en términos operativos y tácticos

Manual de participante (1999). Goldratt’s Satellite Program. Señala: Con la aplicación de metodología, se mejoraría notablemente la calidad de los productos que se implementarían con el proyecto, ya que quedaría un tiempo adecuado para las pruebas y verificaciones de calidad.

GOLDRATT Eliyahu (2001). Cadena crítica, señala: Estamos acostumbrados a creer que la única forma de proteger el todo es mediante la protección del plazo de terminación de cada etapa.

GOLDRATT Eliyahu (2001). Cadena crítica, indica: Las empresas están tan inmersas en la mentalidad de ahorrar dinero que han olvidado que el objetivo final de un proyecto no es el de ahorrar dinero sino el de hacer dinero.

BIANCHI Raúl (2013). Cadena de esfuerzos eficientes, precisa: Una adecuada planificación es la base para enfocarnos en las cosas importantes durante la ejecución y no perdernos en los detalles; pero es en la ejecución

donde tomaremos las decisiones claves que incidirán en el éxito o en el fracaso del proyecto.

NEWBOLD Robert C. (2008). *The Billion Dollar Solution*, demuestra que: Para hacer exitoso un lanzamiento; la más crítica sería la transición de los hitos a tener prioridades claras de proyectos y tareas. Esto requeriría planificación vertical real para la puesta en práctica con el fin de minimizar la confusión y asegurarse de que la coexistencia de viejos y nuevos comportamientos, siempre presentes en algún momento de un proceso de cambio, no haría ningún daño.

NEWBOLD Robert (2014). *The Project Manifesto*, indica: Los valores manifestados de un proyecto describen los conflictos que la gente con frecuencia sienten, cuando se hace el trabajo del proyecto. Los valores manifestados dan una dirección para la resolución de los conflictos.

BIRRELL Matías (2014). *Olvídate de lo urgente*, indica: Lo urgente tiene solo tres fuentes: mala delegación, o algo importante fue postergado demasiado tiempo, o una sorpresa lo alcanzo poco preparado.

1.2 BASES TEORICAS

La aplicación de la metodología de cadena crítica nos conlleva a conocer algunos conceptos que a continuación se precisan.

1.2.1 INTRODUCCION A LA GESTION DE PROYECTOS

La gestión de proyectos es la unión de destrezas, técnicas, procedimientos y herramientas que se utilizan durante todo el proceso de inicio, planeación y ejecución de un programa o proyecto; incluye el uso de recursos humanos, presupuesto, tiempo, equipos, materiales y el manejo de diferentes formas de riesgo para lograr la satisfacción de las expectativas de los clientes del proyecto.

1.2.1.1 ¿QUÉ ES UN PROYECTO?

Definición: “Conjunto de actividades dirigidas a lograr un objetivo específico que tiene identificadas con claridad un inicio, desarrollo y un final”.¹

Descripción: “Conjunto de diagramas en los que se representan los distintos pasos que deben darse para alcanzar el objetivo, en los que se muestran que pasos puedan darse en secuencia y cuales en paralelo. O, alternativamente, algunos programas de trabajo o cronogramas en los que se muestran cuando debe comenzar y cuando debe terminar cada etapa”.²

1.2.1.2 ADMINISTRACION DE PROYECTOS

El Instituto de Administración de Proyectos más conocido como PMI (Project Management Institute) es una organización mundial que desarrolla metodologías y herramientas para la administración de proyectos; define la dirección de proyectos como “la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades del proyecto para satisfacer los requerimientos del proyecto”

En adelante se mencionara en sus iniciales en Inglés PMI.

1 Guía del PMBOK. 5ta edición (2005)

2 GOLDRATT Eliyahu. Cadena crítica (2001)

La administración de un proyecto, bajo una metodología o guía, permite crear un ambiente propicio y con menor variabilidad para obtener los resultados esperados.

Son los administradores, líderes o directores de proyectos quienes velan por la planeación, ejecución, seguimiento y cierre exitoso de los mismos. Estos líderes tienen la responsabilidad de asesorar y guiar a un equipo de trabajo para sacar el máximo provecho de todas las habilidades y conocimientos requeridos, propiciar un ambiente saludable para el desarrollo del proyecto y de sus mismos colaboradores, y gestionar cualquier conflicto o dificultad que pueda poner en riesgo los objetivos del proyecto.

El PMI (2013), en su Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos o Guía del PMBOK ® 5 EDICIÓN, sugiere la “aplicación e integración de 47 procesos de dirección de proyectos, agrupados de manera lógica y categorizados en cinco grupos de proceso”, los cuales son:

- Inicio
- Planificación
- Ejecución
- Monitoreo y Control
- Cierre

1.2.1.3 CICLO DE VIDA DE UN PROYECTO

El PMI (2013) define el ciclo de vida de un proyecto como “la serie de fases que atraviesa un proyecto desde su inicio hasta su cierre”.

Es importante diferenciar entre los Grupos de procesos de la dirección de proyectos (Inicio, Planeación, Ejecución, Seguimiento y Control, y Cierre) y el ciclo de vida del proyecto.

El ciclo de vida es particular para cada proyecto y las fases que lo conforman se pueden dividir por objetivos funcionales o parciales, resultados o entregables intermedios, hitos específicos.

Dividir el proyecto en fases facilita la gestión y control del mismo.

1.2.1.4 PROCESOS DE ADMINISTRACION DE PROYECTOS

Los procesos en la administración de proyectos son aquellos conjuntos de actividades interrelacionadas que tienen entradas y las transforman para obtener unos productos. Existen cinco categorías, como se explica a continuación:

- Grupo de procesos de inicio: procesos en los cuales se define el proyecto o nueva fase con el fin de autorizar formalmente la realización del mismo.
- Grupo de procesos de planificación: son todos aquellos procesos necesarios para elaborar la planeación del proyecto en términos de alcance, costo, presupuesto, y todas las áreas de conocimiento que se decida aplicar a un proyecto.
- Grupo de procesos de ejecución: procesos para completar el trabajo requerido.
- Grupo de procesos de monitoreo y control: en estos procesos se hace seguimiento del progreso y desempeño del proyecto para realizar las acciones pertinentes que aseguren su éxito.
- Grupo de procesos de cierre: son aquellos que se realizan para finalizar el proyecto de manera formal e integral.

1.2.1.5 AREAS DE CONOCIMIENTO DE PROYECTOS

El PMI (2013) define un área de conocimiento como aquella que “representa un conjunto completo de conceptos, términos y actividades que conforman un ámbito profesional, un ámbito en la dirección de proyectos, o un área de especialización”. A continuación se definen 10 áreas de conocimiento:

- **Gestión de la integración del proyecto:** Incluye los procesos y actividades necesarios para identificar, definir, combinar, unificar y coordinar los diversos procesos y actividades de la dirección de proyectos.
- **Gestión del alcance del proyecto:** Incluye los procesos necesarios para garantizar que el proyecto incluya todo (y únicamente todo) el trabajo requerido para completarlo con éxito.
- **Gestión del tiempo del proyecto:** Incluye los procesos requeridos para administrar la finalización del proyecto a tiempo.
- **Gestión del costo del proyecto:** Incluye los procesos involucrados en estimar, presupuestar y controlar los costos de modo que se complete el proyecto dentro del presupuesto aprobado.
- **Gestión de la calidad del proyecto:** Incluye los procesos y actividades de la organización ejecutante que determinan responsabilidades, objetivos y políticas de calidad, a fin de que el proyecto satisfaga las necesidades por las cuales fue emprendido.
- **Gestión de los recursos humanos del proyecto:** Incluye los procesos que organizan, gestionan y conducen el equipo del proyecto.

- Gestión de las comunicaciones del proyecto: Incluye los procesos requeridos para garantizar que la generación, la recopilación, la distribución, el almacenamiento, la recuperación y la disposición final de la información del proyecto sean adecuados, oportunos y que dicha información sea entregada a quien corresponda (interesados del proyecto o stakeholders).
- Gestión de los riesgos del proyecto: Incluye los procesos relacionados con llevar a cabo la planificación de la gestión, la identificación, el análisis, la planificación de respuesta a los riesgos, así como su monitoreo y control en un proyecto.
- Gestión de las adquisiciones del proyecto: Incluye los procesos de compra o adquisición de los productos, servicios o resultados que es necesario obtener fuera del equipo del proyecto.
- Gestión de los interesados del proyecto: Incluye los procesos involucrados en identificar a los interesados del proyecto o stakeholders, así como la planificación, gestión y control de sus expectativas sobre el proyecto.

Estas áreas de conocimiento, cuando se cruzan con los grupos de procesos de la dirección de proyectos, definen qué procesos corresponden y proporcionan una descripción detallada de las entradas, salidas, herramientas y técnicas para producir cada uno de los resultados esperados.

1.2.1.6 CARACTERÍSTICAS DE LOS PROYECTOS

Las características generales que tienen los proyectos son:

- Temporal y finito: un inicio y final definidos
- Único e irrepetible: significa que el producto o servicio es diferente en alguna forma que lo distingue de todos los demás productos o servicios

- Elaboración progresiva: trabajar paso a paso y detalladamente
- Mucha incertidumbre: este hecho exige mucha labor de planificación y control
- Compleja y multidisciplinaria: requiere la participación de un conjunto de recursos y personas de distintas habilidades tanto interna como externa a la organización recursos
- Recursos limitados
- Carácter evolutivo: todo proyecto tiene un ciclo de vida, donde se producen secuencialmente las transformaciones de un conjunto de materias primas a productos y servicios comercializables con mayor valor ganado.

1.2.1.7 CONDICIONES DE UN PROYECTO

Todo proyecto presenta tres requisitos por cumplir:

1. El presupuesto
2. El plazo
3. El alcance, que son las especificaciones técnicas, conocidas también como prestaciones.

1.2.1.8 OBSERVACIONES GENERALES SOBRE LOS PROYECTOS

Para verificar lo que está ocurriendo a nivel mundial, tomaremos estudios realizados por la Organización El Grupo Estandarizado (The Standish Group) organización líder en proyectos de tecnología de la información (Information Technology), creada en 1985 con el objetivo de recolectar información real de las fallas y errores en la gestión de proyectos, ubicada en Boston Massachusetts.³

³ BIANCHI Raúl. Cadena de esfuerzos eficientes (2013)

Uno de los reportes importantes es el Informe del caos (The Chaos Report).

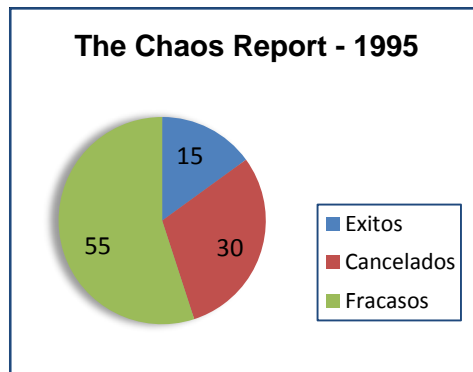


Figura N° 1 *The Chaos Report, 1995 (Bianchi, 2013)*

Se entiende por éxitos aquellos que cumplen con las promesas originales de plazo, presupuesto y prestaciones (3P); fracasos son los proyectos que fallan en una, dos o las tres P y cancelados, los que no terminaron y fueron abortados por algún motivo.⁴

En el reporte de 1995, de cada 100 proyectos solo 15 cumplían con las 3P, o sea eran exitosos. Del resto, 30 eran cancelados y 55 fracasos.

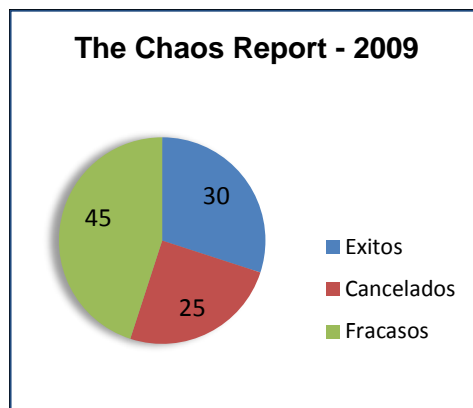


Figura N° 2 *The Chaos Report 2009 (Bianchi, 2013)*

⁴ BIANCHI Raúl. Cadena de esfuerzos eficientes (2013)

En el reporte del 2009; de cada 100 proyectos, 30 cumplían con las 3P, del resto 25 eran cancelados y 45 fracasos. Hay una leve mejora respecto a 1995, pero del universo de proyectos un 70% sigue siendo un fracaso.

Como se puede notar la gestión de proyectos se nos hace complicada más si no se tiene una metodología adecuada, se deja prácticamente a la suerte el resultado final.

Aquí algunas descripciones acerca de la gestión de proyectos y sus resultados.

“El problema común a todos los proyectos es la alta probabilidad de que se supere el presupuesto, el tiempo previsto y se modifiquen los contenidos originales”.⁵

“En ingeniería todos los proyectos superan el presupuesto y las fechas. Pero hay algo más; cuando la presión ya no se puede resistir, reducimos las especificaciones previstas para el proyecto”.⁶

5 BIANCHI Raúl. Cadena de esfuerzos eficientes (2013)

6 GOLDRATT Eliyahu. Cadena crítica (2001)

1.2.2 LA GESTION CLASICA DE PROYECTOS

1.2.2.1 TECNICAS GANTT Y PERT

Las primeras técnicas de desarrollo del cronograma, conocidas como Gantt y PERT, datan de principios de los años 90.

Henry Gantt se destaca en la historia por su desarrollo de la gráfica de Gantt y su influencia sobre la dirección moderna. Nacido en 1861 en el Condado Calvert, Maryland (Estados Unidos); llevando una vida muy activa como Ingeniero industrial y consultor.

En 1917 invento la gráfica Gantt, un diagrama de barras horizontales que resulto un modo innovador de manejar tareas superpuestas. Útil para coordinar y programar, era un desarrollo revolucionario y estaba basado en tiempo.

Henry Gantt fue uno de los pocos de esa época en reconocer la importancia de la motivación, un fenómeno psicológico, en el lugar de trabajo.

Años más tarde, a mitad del siglo XX, aparecen proyectos muy complejos como el Polaris, que es un misil balístico basado en submarinos de dos etapas de combustible sólido con armas nucleares, construido durante la guerra fría.

El Polaris, con tanta cantidad de componentes y subcomponentes juntos producidos por diversos fabricantes requería de una nueva herramienta para programar y controlar el proyecto. Es creada entonces la herramienta PERT (Program Evaluation and Review Technique – Programa de evaluación y revisión técnica); por los científicos de la oficina naval de proyectos especiales.

Casi al mismo tiempo, la compañía DuPont, junto con la división UNIVAC, desarrolló el Método del Camino Crítico conocida por sus iniciales CPM (Critical Path Method) para controlar el mantenimiento de proyectos de plantas químicas.

“El CPM es muy parecido al PERT en concepto y metodología. La diferencia principal entre ellos es simplemente el método por el cual se realizan estimados de tiempo para las actividades del proyecto. En la técnica de CPM, los tiempos de las actividades son determinísticos, mientras que con PERT, los tiempos son probabilísticos”.⁷

Pero ¿Qué es Camino crítico? “es la secuencia de actividades que representa el camino más largo a través de un proyecto, el cual determina la duración más corta posible”.⁸

Los gráficos de Gantt, contrariamente a los diagramas PERT, implican que se tomen decisiones, las decisiones que debe tomar el planificador sobre en qué momento iniciar cada fase.

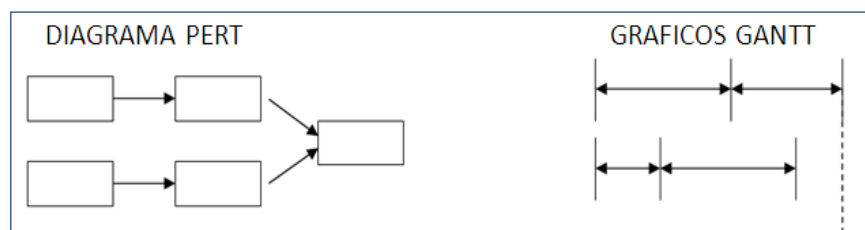


Figura N° 3 Diagrama PERT y gráfico GANTT. (Goldratt, 2001)

⁷ BIANCHI Raúl. Cadena de esfuerzos eficientes (2013)

⁸ Guía del PMBOK. 5ta edición (2005)

1.2.2.2 IMPORTANCIA DEL CAMINO CRÍTICO

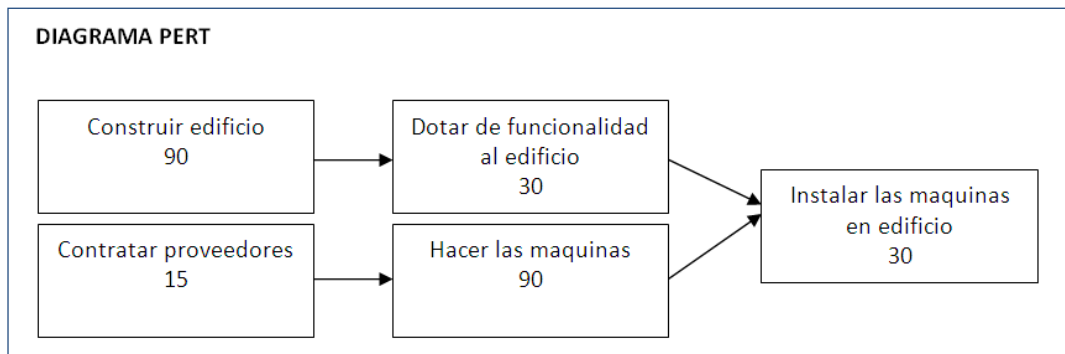


Figura N° 4 Representación de Diagrama PERT. (Goldratt, 2001)

El diagrama PERT representa todo lo que se debe hacer para desarrollar un proyecto.

Entonces, ¿Cuál es el camino crítico?

El camino crítico es el camino más largo de etapas dependientes. Más largo en términos de tiempo. Entonces el camino crítico es el camino formado por las etapas necesarias para, según nuestro ejemplo:

Construir el edificio, lograr que sea funcional e instalar en él la maquinaria.
 $90 + 30 + 30 = 150$ días.

El camino crítico determina el tiempo exigido para la terminación del proyecto, cualquier retraso en el camino crítico retrasara la totalidad del proyecto, de allí la importancia de que los gestores se centren en él.

Si en el momento en el que iniciamos el camino crítico lo denominamos “tiempo cero”, este proyecto está planificado para que termine en el tiempo ciento cincuenta (150 días), entonces: ¿Cuándo deberíamos comenzar el otro proceso, la otra ruta? ¿Cuándo deberíamos comenzar a contratar los proveedores de las maquinas? Realicemos nuestro Grafico GANTT

INICIO TARDÍO

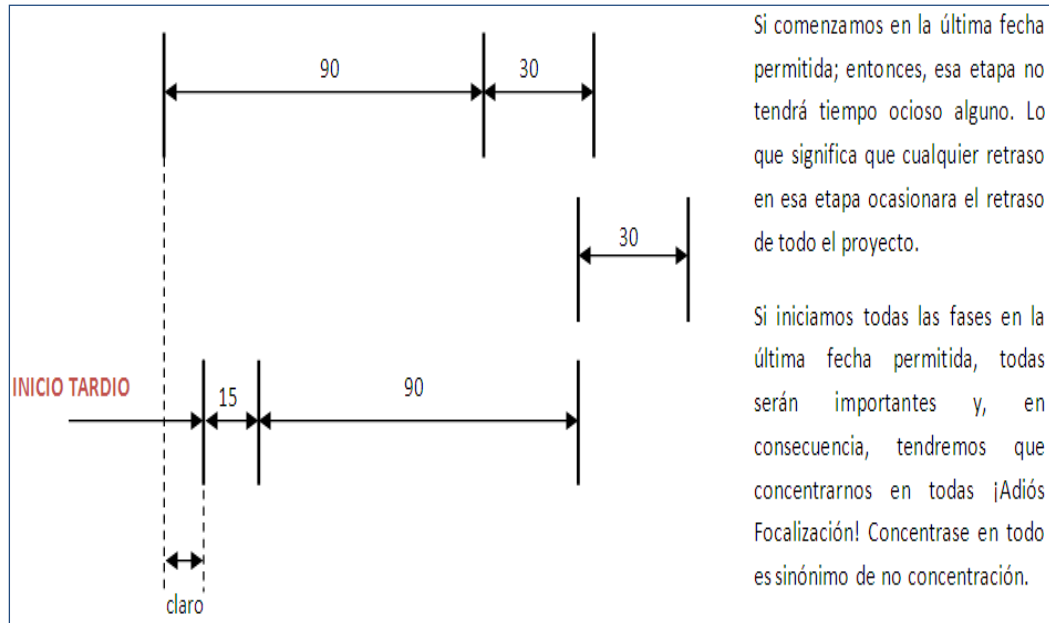


Figura N° 5 Gráfico GANTT – Inicio tardío. (Goldratt, 2001)

INICIO TEMPRANO

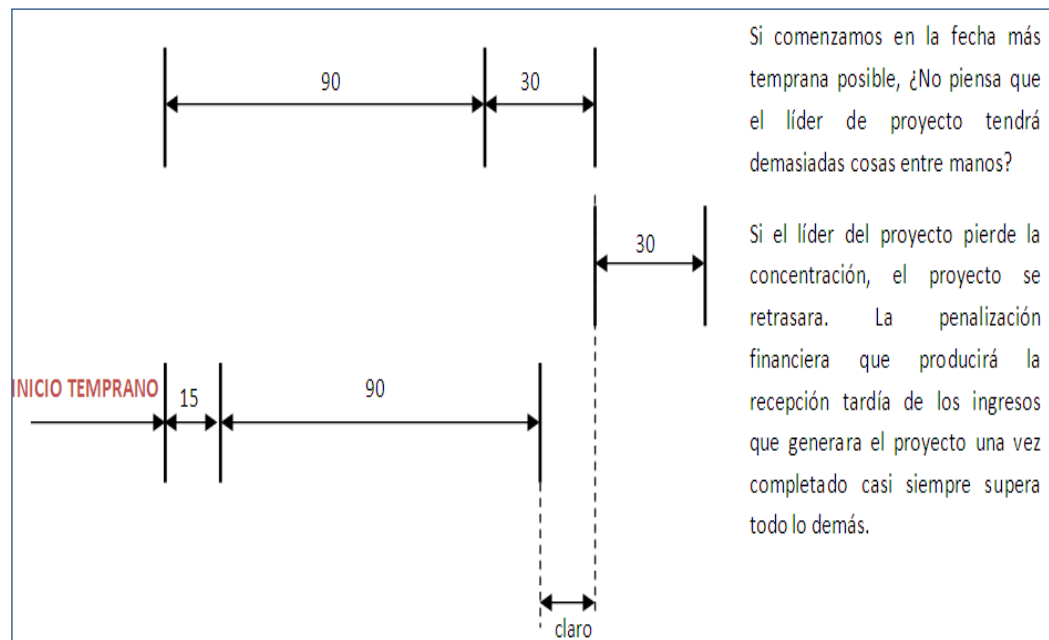


Figura N° 6 Gráfico GANTT – Inicio temprano. (Goldratt, 2001)

Entonces:

Si el líder de proyecto utiliza las fechas más tempranas, pierde la focalización. Y si utiliza las fechas más tardías, la focalización es imposible.

“La focalización es importante, si el gestor de proyecto se mantiene concentrado, todo se resolverá. Si no lo está, dejamos de esperar beneficios y comenzamos a rogar que las pérdidas no sean demasiado grandes. Si el líder del proyecto no se centra y mantiene la concentración todo el tiempo, los trabajos urgentes convertirán el proyecto en un fracaso total”.⁹

Para ello un adecuado mecanismo de control (aquello que mide los avances del proyecto), nos mantendrá concentrados; el problema es, que usualmente cuando el informe de progresos del proyecto indica que algo va mal, ya es demasiado tarde; porque un informe de progresos le dirá que el noventa por ciento del proyecto se terminó en un año y que el restante diez por ciento requerirá otro año completo.

En este caso es mejor que analicemos de qué forma se puede controlar el progreso de nuestros proyectos.

Ahora algunas interrogantes:

¿Cómo se miden los avances? Los avances se miden de acuerdo con la cantidad de trabajo ya realizado en relación con la cantidad de lo que falta por hacer. En la mayoría de proyectos las mediciones no diferencian entre el trabajo hecho en el camino crítico y el trabajo hecho en otros procesos.

¿Qué impacto tiene el hecho de medir los avances de esa forma? Recompensamos el hecho de iniciar cada proceso en la fecha más temprana posible.

⁹ GOLDRATT Eliyahu. Cadena crítica (2001)

Este sistema de medición estimula a que el líder de proyecto comience desconcentrado, más aun estimula a que el líder siga estando desconcentrado, porque de acuerdo con nuestros sistemas de medición los progresos en una ruta o proceso se compensan con los retrasos que se producen en los otros. Así que estimulamos a que se avancen más rápidamente en un proceso a pesar de que otro este retrasado.

Si tengo problemas en un proceso ¿Por qué no debería pasar a otro si puedo?

Porque al final todos se juntaran. Todos los avances que realicemos en los procesos que lo permitan tendrán, de todas formas, que esperar los procesos que estén retrasados. Lo único que se consigue es hacer la inversión demasiado pronto y, lo que es peor, de esta forma se ayuda a que no se esté centrado en el sitio donde debería hacerlo, es decir en el proceso que este retrasado y que necesite toda su atención.

Un líder de proyecto corto de vista puede ignorar el proceso que este retrasado por algún problema, y aun así el informe indicara que el proyecto está avanzando. Parece que el líder de proyecto lo está haciendo bien por un tiempo, un tiempo demasiado prolongado. Solo cuando se termina el trabajo en todos los otros procesos y solo el proceso con problemas permanece inconcluso, solo entonces comienza a revelarse la falacia.

Ahora sabemos porque los proyectos requieren tanto tiempo para completar el restante diez por ciento. Se debe a que, al medir, nos olvidamos de la importancia del camino crítico.

1.2.3 LA TEORIA DE LAS RESTRICCIONES

La teoría de restricciones o TOC, llamado así por sus iniciales en inglés Theory Of Constraints; se dio a conocer al mundo en 1984 con la publicación del Best Seller Internacional La Meta, cuyo autor es el Dr. Eliyahu M. Goldratt

Eliyahu Moshe Goldratt (1947 - 2011). “Fue un educador, escritor, científico, filósofo y líder comercial. Pero él era, por encima de todo, un pensador. El Dr. Goldratt exhortaba a su público para examinar y reimponer sus prácticas comerciales con una visión fresca y nueva.

Eliyahu Moshe Goldratt obtuvo su grado de Bachiller en Ciencias en la Universidad de Tel Aviv; su Maestría en Ciencia y el Doctorado en Filosofía de la Universidad de Bar-Ilan.

Se interesó por los negocios a principios de los '70, cuando un pariente le solicitó que le ayudara a mejorar la producción de su pequeña empresa de pollos. Goldratt, junto a su hermano, desarrolló un revolucionario algoritmo de programación de la producción que posibilitó un incremento de producción superior al 40% sin necesidad de nuevos recursos.

A finales de los 70, los hermanos Goldratt fundaron Creative Output, empresa que desarrolló un software para la programación y control de la producción basado en el algoritmo ya mencionado.

El crecimiento de esta empresa fue espectacular, siendo sus principales clientes Grumman, Sikorsky y General Motors, y a pesar de estos resultados estaba muy frustrado.

Su frustración se debía a que a pesar de los muy buenos resultados que obtenían las empresas al implementar su software y realizar un gran esfuerzo para vender (presentaciones, pruebas piloto, seminarios, etc), conseguir más clientes era un proceso tremendamente lento.

El éxito de La Meta decidió al Dr. Goldratt a dejar Creative Output en 1987 y fundar una nueva organización, el Avraham Y. Goldratt Institute (AGI), cuya misión es generar y diseminar conocimiento. En ese momento comenzó la

investigación que permitió generalizar la TOC a todas las áreas y niveles de una empresa (Operaciones, Distribución, Abastecimiento, Ventas, Marketing, Estrategia, Toma de Decisiones, Ingeniería, Gestión de Proyectos y Recursos Humanos) dejando de ser una simple herramienta para Producción”.¹⁰

TOC es una mezcla de tres diferentes, aunque interrelacionados, avances:

- 1.- Nueva filosofía de gestión.
- 2.- Nuevo método de análisis que propone.
- 3.- Amplio espectro de solidas aplicaciones.

La idea básica de la teoría de restricciones es que todo sistema cuenta con al menos una limitación o cuello de botella (CB) y que en base a la aplicación de una serie de reglas, centrándose en los cuello de botella, es posible optimizar el resultado del sistema. Esto se resume en los cinco pasos que conforman el proceso de mejora continua de la TOC.

- 1º Identificar la restricción del sistema
- 2º Decidir cómo explotar la restricción del sistema
- 3º Subordinar el resto del sistema a la restricción anterior
- 4º Elevar la restricción del sistema
- 5º Si en el paso anterior se rompió la restricción volver al paso número uno.
Evitar caer en la inercia

¿Porque se regresa al paso N° 01?

Porque TOC parte de una suposición: que la empresa puede generar utilidades infinitas, y para explicarlo utiliza la analogía de la cadena, en donde la resistencia de toda la cadena (empresa) está dada por el eslabón más débil (la restricción); pero una vez identificado el eslabón más débil lo reforzamos y de ese modo aumentaremos la resistencia de toda la cadena.

¹⁰ www.estrategiafocalizada.com

Pero luego habrá un segundo eslabón más débil después de haber reforzado el 1ero este 2do será otra restricción, así tendremos que identificar la nueva restricción y reforzarlo, luego habrá un tercer eslabón más débil y así sucesivamente deberemos ir eliminando las restricciones del sistema.

¿Cuál es el mayor problema que afronta hoy en día los directivos?

Algunas respuestas serán:

- Como vencer en la lucha contra la competencia
- Que podemos hacer exactamente para que nuestra gente mejore.
- Encontrar una forma para reducir el tiempo de desarrollo de nuestros productos
- Como lidiar con los clientes

TOC considera que todo lo que se ha dicho no son más que síntomas. Afirma que todos ellos provienen de un único problema central.

Controlar los costes y proteger el throughput, dos condiciones absolutamente necesarias. Las dos condiciones tan diferentes que no es posible ningún compromiso entre ellas.

Throughput: significa velocidad a la que el sistema genera dinero a través de las ventas. Es decir, deben asegurarse de que los productos correctos lleguen a los clientes correctos de tal forma que estos estén dispuestos a pagar por ellos. ¹¹

¹¹ Goldratt Eliyahu. La Meta (1997)

1.2.3.1 UTILIZANDO ANALOGÍA DE UNA CADENA

El siguiente ejemplo ha sido tomado del libro Cadena crítica perteneciente al Dr. Eliyahu Goldratt.

Veamos: Vamos a concebir una empresa como una cadena. Una cadena física.



Figura N° 7 Gráfico - Analogía de la Cadena 1. (El autor)

Un eslabón es el departamento de compras que está encargado de reunir los materiales. Otro departamento es otro eslabón que se encarga de terminar la producción, otro eslabón se encarga de la entrega, otro de llevar el producto hasta el cliente, otro facturar y cobrar. La cadena se hace más larga.

¿Qué existe en nuestra cadena física que sea sinónimo de “costes”?

- Los costes se generan en todos y cada uno de los departamentos. Pagamos dinero en y a través de cada uno de los departamentos, ninguno se libra de ello.

- Y si deseamos saber cuál es el coste de la organización, una forma de hacerlo es sumando los costes que se generan en cada departamento.

En nuestra cadena, las cosas que estén más vinculadas a los costes serán “pesadas”; cada eslabón tiene su propio “peso”. Y si deseamos saber cuál es el peso total de la organización, una forma de hacerlo será sumando el peso de todos los eslabones.

Vamos a utilizar esta analogía para demostrar que controlar los costes implica una cierta forma de gestión.

Suponga que usted es el Presidente responsable de toda la cadena y yo trabajo para usted y estoy a cargo de un departamento.

Usted me da una instrucción: Mejore, y yo soy obediente. Después de cierto tiempo regreso y le digo que con inteligencia, tiempo y dinero, he mejorado mi eslabón. Pero usted no está interesado en mi eslabón, sino se preocupa por toda la cadena. Pero, cuando le digo que he reducido el peso de mi eslabón en cien gramos, usted sabe que toda la cadena se hizo más ligera en esa misma cantidad.

MUNDO DEL COSTE { **¿Sabén que implica esto?** Implica una filosofía de gestión. Implica que toda mejora local de un área automáticamente se convierte en la mejora de toda la organización. Lo que significa que para lograr la mejora global, la mejora de la organización, sabemos que tenemos que provocar muchas mejoras locales. Muy posiblemente hemos gestionado nuestras empresas de acuerdo con el “mundo del coste” desde el inicio de la revolución industrial.

MUNDO DEL VALOR { Lo que no es del conocimiento general es que “proteger el throughput” implica una filosofía que contradice a la anterior. Implica adoptar el “mundo del valor” y ¿Qué es eso?

Si a un eslabón, solo a un eslabón se le cae el balón, ¿Qué sucederá con todo el resultado de la Empresa?

- Se caerá.

Si eliminamos todos los vínculos y dejamos solo una pila de eslabones, el peso seguirá siendo el mismo. Así que la propiedad que caracteriza una cadena, es **la resistencia de la cadena**.

Si un solo eslabón se rompe, solo uno, se rompe toda la cadena; la resistencia de la cadena habrá caído a cero.

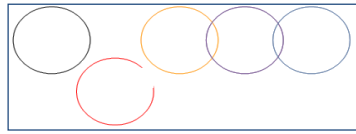


Figura N° 8 Gráfico - Analogía de la Cadena 2. (El autor)

Entonces, lo que determina la resistencia de la cadena es el **eslabón más débil**

Y en una cadena, ¿Cuántos eslabones tenemos que son “el más débil”?

- Uno

Del ejemplo anterior, Usted sigue siendo el Presidente responsable de toda la cadena y yo sigo estando a cargo de un único departamento. Pero mi departamento **no es el más débil**. Otra vez usted me dice que mejore en esta ocasión, la resistencia de la cadena. Y otra vez regreso y le informo que con inteligencia, tiempo y dinero he mejorado. He fortalecido mi eslabón. He logrado que sea tres veces más fuerte.

Usted está interesado en toda la cadena. Mi eslabón no es el más débil. Si lograba que mi eslabón fuese más fuerte, no incrementaba la resistencia de la cadena absolutamente en nada.

¿Se dan cuenta de lo que tenemos ante nosotros? Es que la mayoría de las mejoras locales **¡NO CONTRIBUYEN A LA MEJORA GLOBAL!** Y lo que queremos es la mejora global. Queremos que la organización mejore como un todo.

Ahora sabemos que dado que toda mejora requiere que se le dedique atención, tiempo y dinero, la forma de mejorar la organización total no es, definitivamente, induciendo muchas mejoras locales. Esa no es la vía.

Entonces, ¿Dónde estamos?; con el fin de controlar los costes, los directivos tienen que gestionar de acuerdo con el “mundo del coste”, mientras que para proteger el throughput, deben gestionar de acuerdo con el “mundo del valor”. Los directivos tratan de gestionar sus empresas en función de esos dos mundos al mismo tiempo.

¿Existe compromiso entre el mundo del coste y el mundo del valor?

- NO EXISTE, ni siquiera teóricamente existe ese compromiso.

¿Quieren ver la prueba?

Pero, para ello primero dirijamos nuestra atención hacia la focalización.

Sabemos que la focalización es importante. Un directivo que no sabe focalizarse no será capaz de controlar con éxito sus costes, ni controlar ni proteger eficazmente el throughput.

Conocemos el principio de Pareto: el cual indica, céntrese en solucionar el veinte por ciento de los problemas importantes y lograra generar el ochenta por ciento de los beneficios. Esta es una norma estadística. Pero quienes enseñan estadísticas saben que la norma 20/80 se aplica solo a los sistemas que están compuestos por variables independientes; se aplica solo al “mundo de coste”, en el que cada eslabón se gestiona de forma individual.

Dado que en nuestras organizaciones tenemos más de cinco eslabones, es obvio que mejorar solo el veinte por ciento significa que muchas mejoras no ayudaran a mejorar el rendimiento de la organización como un todo. Los vínculos son importantes, las variables son dependientes.

Ahora, el principio de Pareto no se puede aplicar.

Entonces, **¿Cómo podemos determinar en qué debemos centrarnos?**

¿Qué método podemos utilizar?

Simplemente piensen en la cadena y en el hecho de que la resistencia de la misma está determinada por su eslabón más débil.

Si usted desea elevar la resistencia de la cadena ¿Cuál debe ser el primer paso? **Encontrar el eslabón más débil. (1º TOC: Identificar la o las limitaciones del sistema).**

Luego las fortalecemos. Pero tenemos que ser cuidadosos con las analogías. Existen dos casos diferentes:

- Cuando la limitación es física: como cuando existe un cuello de botella; es decir que un determinado recurso no tiene suficiente capacidad para satisfacer la demanda. En ese caso, fortalecer el eslabón más débil significa ayudar al cuello de botella a que produzca más.
- Cuando la limitación es una política de gestión equivocada. En ese caso, el concepto de fortalecer el eslabón más débil no puede ser interpretado como ayudar a que la política equivocada produzca más resultados. Tenemos que sustituir la política.

Las limitaciones físicas son menos importantes pero más fáciles de comprender. Existen diferentes vías para fortalecer un cuello de botella. Una consiste, simplemente, en añadir más capacidad, sea contratando más personal, sea comprando más maquinas. Pero existe otra forma. **Exprimir al máximo la capacidad que ya tenemos. (2º TOC: Explotar al máximo las limitaciones del sistema).**

No olvidemos que en el “Mundo del valor” los vínculos son tan importantes como los eslabones. Esto significa que si decidimos hacer algo en un eslabón tenemos que analizar sus ramificaciones en otros eslabones.

Ejemplo:

“X”: Va ser un cuello de botella. Esto significa que “X” es lo más importante; el throughput de toda organización depende de “X”. Vamos a suponer que cuando “X” hace sus mejores esfuerzos, cuando realmente se esfuerza, llega a producir 10 unidades por hora. Nunca más.

“Y”: Supongamos que “Y” no es cuello de botella. “Y” puede producir fácilmente 20 unidades por hora. Pero, al margen de cuantas unidades “Y” produzca, las mismas, antes de poder venderse, deben ser procesadas por el cuello de botella. En un proceso continuo, ¿Cuántas unidades por hora debería producir “Y”?

- Diez unidades. Este vendría hacer (**3º TOC: Subordinar todo lo demás a la decisión anterior**).

Entonces si solo podemos sacar 10 unidades del cuello de botella no existe razón alguna para producir más en los procesos que no son cuellos de botella. Ahora, si deseamos alcanzar un resultado mayor, tenemos que quitarle un poco de peso de sus hombros al cuello de botella. Incluso si eso significa comprar más maquinas o contratar más personal. Esto da el (**4º TOC: Elevar la capacidad de la o las limitaciones del sistema**).

He aquí nuestra cadena.



Figura N° 9 Gráfico - Analogía de la Cadena 3. (El autor)

Tenemos al eslabón más débil, yo fortalezco este eslabón. Toda la cadena se hace más fuerte, lo fortalezco de nuevo y la cadena se hace aún más fuerte. Lo fortalezco de nuevo y no pasa nada. ¿Por qué?

- Porque ese ha dejado de ser la limitación. Así que debo evitar trabajar por inercia y volver, de nuevo, al primer paso. **(5º TOC: Volver al 1er paso evitar caer en la inercia)**

Hemos encontrado el proceso que nos permite concentrarnos. Este es el proceso de focalización del “mundo del valor”. Pero, esos procesos constituyen, al mismo tiempo, el PROCESO DE MEJORA CONTINUA.

En el mundo del valor, concentrarse y procesos de mejora continua no son dos cosas diferentes, son solo una y son la misma.

Ahora falta responder la pregunta ¿existe compromiso entre el “mundo del coste” y el “mundo del valor”?

- No, no existe.

Ahora es fácil demostrarlo, tomemos el ejemplo anterior de “X” y “Y”.

El cuello de botella “X”, puede producir un máximo de diez unidades por hora. El no cuello de botella “Y”; puede producir fácilmente veinte unidades por hora, pero todo lo que haga debe pasar a través del cuello de botella. Entonces ¿Cuánto debería producir el no cuello de botella?

- Diez unidades.

Imagine que usted es un trabajador de su empresa. Y que usted solo produce diez unidades por hora cuando con toda facilidad podría producir veinte unidades. ¿Cuál será el record de eficiencia que registraran de su trabajo?

- Bajo.

Su eficiencia será de un 50%. Y si su eficiencia es solo de un 50%, entonces se puede imaginar ¿Qué le pasara?

- De seguro lo despedirán.

¿Comprenden lo que hemos visto? Su intuición está en el “Mundo del valor” y en ese mundo la respuesta es “no te preocupes por producir más de 10 unidades” pero sus sistemas funcionan en el “mundo del coste”. Sus sistemas desean que el (no cuello de botella) alcance su máxima eficiencia local, desean que produzca 20. Y no hay compromiso, si él no cuello de botella produce 15, ambos mundos le mataran.

Entonces, ¿qué hará el no cuello de botella?

- Reducirá su capacidad.

Afirmara que no puede producir más de, digamos, 12 unidades, y eso es lo que producirá. Le obligamos a mentir, porque si no lo hace su puesto de trabajo se verá amenazado.

Todo el mundo sabe que el primer paso en la resolución de un problema consiste en definirlo con precisión. Pero ¿Cuándo sabemos que hemos definido con precisión un problema?

- Cuando ya lo tenemos resuelto.

Y, observándolo en retrospectiva, llegamos a la conclusión de que la fase en la que definimos con precisión el problema constituyo, un verdadero e importante paso de avance.

Pero, ¿Cómo sabemos que definimos con precisión el problema antes de resolverlo? “TOC adopta la definición aceptada en las ciencias exactas. Un problema no está definido con precisión hasta que no puede ser planteado como un conflicto entre dos condiciones necesarias”.¹²

Para ello se define lo siguiente:

El objetivo de los directivos es gestionar bien.

12 Goldratt Eliyahu. La Meta (1997)

Para gestionar bien una de las condiciones necesarias es “controlar los costes” de acuerdo con el “mundo del coste” y la otra es “proteger el throughput” de acuerdo con el “mundo del valor y, como hemos visto, ambos están en conflicto entre sí.

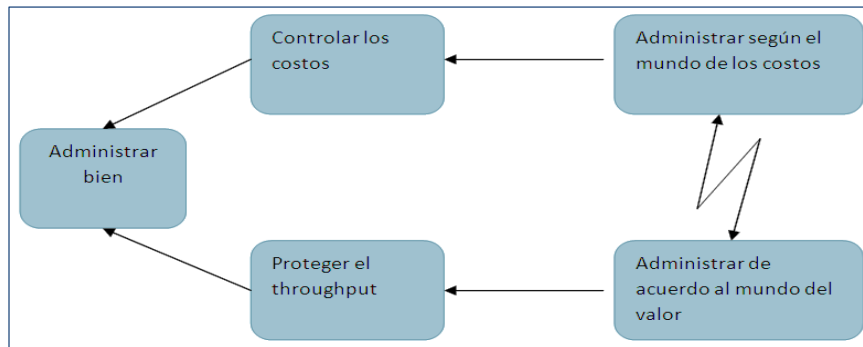


Figura N° 10 Diagrama de conflicto. 1 (Goldratt, 2001)

“En las ciencias exactas, cuando afrontan un conflicto su reacción es muy diferente a la nuestra. Nosotros tratamos de encontrar un compromiso aceptable. Ese pensamiento ni siquiera se cruza por la mente de los científicos. Sus principios no se lo permitirían; no aceptan que, en realidad, existe un conflicto. No importa que los dos métodos estén debidamente aceptados, la conclusión instintiva de un científico será que en uno de los dos métodos subyace un falso supuesto. Toda su energía la dedicaran a buscar ese falso supuesto y a invalidarlo”.¹³

¿Podemos nosotros, que lidiamos con sistemas basados en seres humanos, asumir que los conflictos no pueden existir? ¿Cómo podemos?

Los conflictos nos rodean por todas partes. Ese es probablemente, el más atrevido y provocador supuesto de TOC.

Uno de sus fundamentos es que donde quiera que encontremos un conflicto estaremos ante una clara indicación de que alguien ha utilizado un supuesto

¹³ Goldratt Eliyahu. Cadena crítica (2001)

falso; un supuesto falso que puede ser invalidado y, en consecuencia, eliminar el conflicto.

Permítanme utilizar nuestro conflicto para demostrarles cuan poderoso puede ser el enfoque conocido como “eliminación de conflictos”.

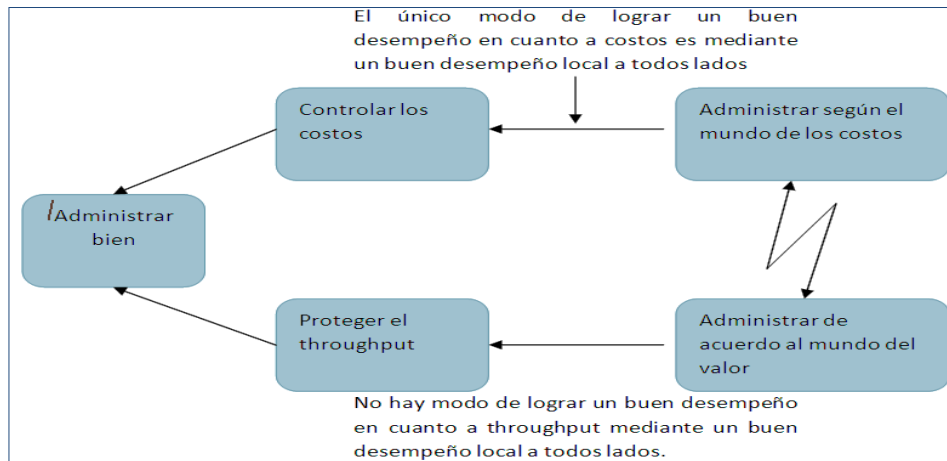


Figura N° 11 Diagrama de conflicto. 2 (Goldratt, 2001)

Tenemos 3 alternativas. Podemos desafiar el supuesto superior, el supuesto inferior o podemos seguir tratando de llegar a un compromiso.

¿Cómo podemos demostrar que el supuesto superior está equivocado? Volvamos al ejemplo del cuello de botella y el no cuello de botella.

Todos estuvimos de acuerdo en el que no cuello de botella debía producir solo 10 unidades por hora. ¿Por qué fuimos tan insistentes al imponerle al no cuello de botella que solo debía producir 10 unidades por hora?

- Porque si producía más, el único resultado sería la acumulación de inventarios innecesarios.

Y si los inventarios suben ¿Qué les sucede a los costes?

- Suben también.

¿Se dan cuenta? Todos le pedimos al no cuello de botella que produjese mucho menos de lo que puede producir, no con el fin de proteger el throughput, sino para controlar los costes.

Le dimos instrucciones al no cuello de botella para que limitase su eficiencia local a solo un cincuenta por ciento, cuando podía alcanzar fácilmente un ciento por ciento, por una sola razón: controlar los costes.

¿Qué nos dice esto respecto al supuesto superior? La única forma de lograr unos buenos niveles de costes es mejorando la eficiencia local en todas las áreas de la empresa: ¡Un disparate! porque es un supuesto que está claramente **equivocado**.

Problema central de TOC { La única forma de lograr unos buenos niveles de costes es mejorando la eficiencia local en todas las áreas de la empresa.
El hecho de que tantos directivos y casi todos nuestros sistemas estén basados en este supuesto es considerado por TOC como el **problema central** que afecta a nuestras organizaciones.

1.2.3.2 RELACIÓN DE TOC CON NUEVAS FILOSOFÍAS

La relación de TOC con nuevas filosofías de gestión es que estas, la admiten tácitamente.

“La gestión total y el justo a tiempo insisten en el throughput, a pesar de que no se han dado cuenta de que esto exige una focalización aún más aguda.

La reingeniería plantea la necesidad de analizar de nuevo todas las premisas básicas. Una piedra angular del enfoque de las organizaciones que aprenden es la de reemplazar los compromisos poco satisfactorios con soluciones ganar-ganar.

Utilizando la claridad que aporta TOC y el uso metódico de sus métodos de análisis, podemos, al menos, combinar todas esas filosofías en un todo coherente”.¹⁴

Una vez que se llega a comprender TOC, uno se da cuenta de que en la vida real no existe sistema alguno que tenga veinte limitaciones.

Ese sistema llegaría a ser caótico hasta el punto que la propia realidad lo hubiese eliminado mucho tiempo antes. En la vida real los sistemas tienen una máximo dos limitaciones.

Se imaginaran lo difícil que es aceptar una mucha mejor solución, o incluso soluciones, surgen al no aceptar todo intento por encontrar un compromiso y, en su lugar, concentrarse en exponer y analizar los supuestos ocultos.

No estemos dispuestos a seguir luchando infructuosamente con los síntomas, utilicemos TOC.

1.2.4 LA MANERA TRADICIONAL DE MANEJAR LOS PROYECTOS

Dentro de la administración de proyectos es muy importante el comportamiento humano ya que tiene un lugar clave en el éxito o fracaso del mismo; el factor humano es más importante que los conocimientos, la tecnología y la complejidad del proyecto.

Existe una íntima relación entre las características del comportamiento humano que genera un círculo vicioso que lleva la terminación de proyectos similares en periodos cada vez más largos.

14 GOLDRAT Eliyahu. Cadena crítica (2001)

La conclusión del análisis que el Doctor Goldratt hace de la problemática de la gestión de proyectos establece que **la causa principal** por la cual se desperdician las protecciones a lo largo de la ejecución del proyecto se debe a la siguiente práctica de gestión: “la manera de terminar un proyecto a tiempo”.

1.2.4.1 QUEJAS COMUNES EN GESTION DE PROYECTOS

- ✓ Generalmente no se cumple con las fechas de entrega prometidas inicialmente.
- ✓ Hay demasiados cambios.
- ✓ Con demasiada frecuencia los recursos no están disponibles cuando se les necesita (aun cuando se haya asegurado de que estarían).
- ✓ Hay muchas discusiones sobre las prioridades del proyecto.
- ✓ La culpa es siempre de otro.
- ✓ Cuanto más bajo sea el nivel jerárquico de una persona, mas culpara a las áreas internas en vez de al mundo externo.
- ✓ Se le echa toda la culpa a la incertidumbre; cosas que son difíciles de estimar al inicio del proyecto.
- ✓ Se exceden especificaciones y presupuesto
- ✓ El trabajo se tiene que volver a hacer varias veces

1.2.4.2 MARGEN DE SEGURIDAD

No vale la pena preguntarle a la gente cuánto margen de seguridad calculan; porque la gente cree que hacen estimaciones realistas. El problema está en lo que ellos consideran que es una “estimación realista”.

¿Cuánta protección o tiempo adicional incluimos en las estimaciones? Esto depende en mayor o menor grado de algunas variables como: que tan inexperto se es en este campo, que tan grande es el castigo, que tanta incertidumbre hay en la tarea, el nivel de la multitarea en la organización, etc.

En las reuniones en donde el líder de proyecto negocia las fechas con los responsables de su ejecución, a estos últimos les cuesta mucho dar una estimación. Veamos porque.

Cada etapa de un proyecto es un conjunto de tareas que realizan diferentes personas, el jefe de ese proyecto le pide a cada persona que le dé su propia estimación, luego suma las estimaciones que le da cada una de esas personas y, finalmente, a ese total le añade su propio margen de seguridad.

En general se incluyen entre un 50% y 100% de tiempo adicional. Esto quiere decir dada una tarea, la persona encargada se imagina el trabajo, hace algunos cálculos y llega a la conclusión de que si las cosas salen relativamente bien lo puede terminar en 10 días, pero la estimación que dará estará entre 15 y 20 días; ¿Por qué? porque en general las cosas no siempre salen bien en los ambientes de proyectos. Es la característica que los distingue de otros entornos.

La insistencia del líder de proyecto o jefe del recurso responsable de ejecutar la tarea hace que al final se dé un estimado de tiempo. Si esa estimación es aceptable, se registra para luego usarla en la creación del cronograma; si no, se negocia y se presiona para obtener una estimación en un tiempo menor.

En nuestro entorno, con frecuencia la alta dirección no queda contenta con la estimación final, desean tener los resultados antes, así que en el cincuenta por ciento de los casos, cuando se han terminado todas las estimaciones, exigen que la duración del proyecto se acorte, digamos un 20%. Usualmente, la reducción total se traslada a cada una de las tareas, en todos los niveles, y cada una de las personas implicadas debe recortar su tiempo en un 20%. Como ya todo el mundo está acostumbrado a que eso suceda, inflan su estimación final desde el principio.

La práctica común convierte las estimaciones en un compromiso. Durante la ejecución parece que nos olvidamos de lo que significa estimar y operamos como si las estimaciones no tuvieran incertidumbre.

Es por ello entendible que las personas al estimar los tiempos traten de incluir dentro de este la mayor protección o tiempo adicional posible. No demasiado porque quedarían en evidencia, pero tampoco lo justo porque si algo sale mal, no tendría tiempo disponible para cumplir y su evaluación se vería afectado.

El sentido común, la experiencia y el enfoque matemático nos permiten concluir que las personas, al dar una estimación, se cubren entre un 50% y un 100% respecto a un tiempo probable pero poco posible de cumplirlo.

Resumiendo:

Existen 3 mecanismos diferentes mediante los cuales se incorporan márgenes de seguridad en la estimación de tiempo de casi todas las etapas de un proyecto.

1. La estimación de tiempo se realiza con base en la experiencia más negativa: al final de la curva de la distribución.
2. Cuanto mayor sea el número de niveles jerárquicos implicados, más alta será la estimación: cada nivel añade su propio factor de seguridad.
3. Quienes hacen las estimaciones las protegen de una posible reducción global.

Cuando sumamos todo esto, resulta que los márgenes de seguridad deben representar la mayor parte del tiempo estimado para la terminación de un proyecto.

1.2.4.3 LOS MECANISMOS DE DESPERDICIO DE LAS PROTECCIONES

Hemos descrito que la práctica común de gestión de proyectos convierte las estimaciones en un compromiso, esto causa que la protección o tiempo adicional que incluimos en las estimaciones sea bastante generosa.

Si nuestras estimaciones incluyen tanto margen de seguridad, ¿Cómo es que tantos proyectos terminan con retraso? ¿Existe algo fundamentalmente equivocado en la forma en cómo estamos utilizando nuestro margen de seguridad?

En su análisis al entorno de la gestión de proyectos, el Doctor Goldratt expuso lo que a su entender es el problema de fondo o medular, y la solución: “propone que para resolver el problema es necesario cuestionar una creencia o supuesto que hacemos y damos por válido. El Doctor Goldratt afirmó que la protección que nos permitimos es suficiente; el problema está en que la desperdiciamos”.¹⁵

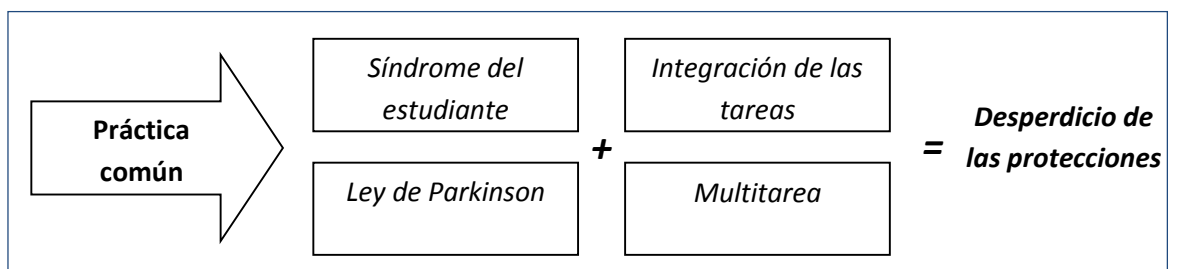


Figura N° 12 Desperdicio de las protecciones (Bianchi, 2013)

La práctica común: la manera de terminar un proyecto a tiempo, genera y alimenta dos comportamientos perjudiciales:

1ro El síndrome del estudiante y

2do la ley de Parkinson.

¹⁵ BIANCHI Raúl. Cadena de esfuerzos eficientes (2013)

Estos dos comportamientos, sumados a características propias de los proyectos como la integración de tareas y los recursos con multitareas, hacen que se desperdicien las protecciones.

1.2.4.3.1 LA LEY DE PARKINSON

Fenómeno muy estudiado y conocido que establece que el trabajo se expande hasta ocupar todo el tiempo destinado a su realización.

Si disponemos de cuatro semanas para hacer un trabajo, de modo más o menos inconsciente establecemos el nivel de esfuerzo y el contenido de la tarea para que nos lleve las cuatro semanas fijadas. De esta manera, si no hay circunstancias extraordinarias, el trabajo se entrega o se da por terminado en el plazo fijado, por consiguiente, empleando toda la protección que se disponía para este trabajo, aunque no haya habido motivos reales para hacerlo. Así la protección se consume en su totalidad.

La situación se torna catastrófica cuando efectivamente surge inconveniente real cerca de la entrega y ya no queda tiempo de protección: la realización de la tarea se demoró, la protección involucrada se empleó en la totalidad y aun así no fue suficiente.

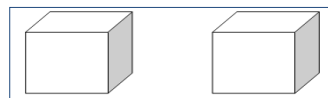


Figura N° 13 Gráfico – Etapas consecutivas. (El autor)

Supongan que estas dos cajas representan 2 etapas consecutivas de un proyecto. El tiempo estimado para cada etapa es de 10 días.

Ahora supongan que la primera dura 12 días, lo que significa que la segunda etapa comenzara 2 días más tarde de lo planificado. Esto es obvio.

Pero, ¿qué sucede si la primera etapa termina en 8 días? ¿Cuándo comenzará la segunda etapa?

- Esta etapa comenzará en la fecha que se había planificado originalmente.

¿Porque?

- Porque en vez de declararla como finalizada, empleamos el tiempo asignado en revisiones redundantes y en el agregado de detalles innecesarios.

¿Porque el equipo que termino antes de tiempo no lo informa?

- Observe, de acuerdo con la forma como trabajamos, no existe recompensa alguna si terminamos antes, pero si, de hecho, una gran penalización.

¿Qué nos ocurrirá si luego de haber negociado con firmeza el plazo de la tarea en cuatro semanas, la entregamos cerca de las tres semanas?

- Perderemos credibilidad y corremos el riesgo de que en las futuras negociaciones por plazos nos exijan mucho más por tener antecedentes de exageración.

Entonces para prevenir este inconveniente presentamos el trabajo terminado muy próximo al cumplimiento del plazo que se había establecido, y de algún modo estamos comunicando que nuestras estimaciones siempre son serias y realistas.

Si usted termina antes, lo único que logra es que los niveles directivos presionen aún más para reducir el tiempo.

¿Qué sucede entonces?

En el improbable evento de que informen que han terminado, eso no significa que la segunda etapa comience inmediatamente después. Probablemente el

equipo a cargo de esa etapa estará ocupado en otras cosas o, incluso es posible que este en otro sitio (dependiendo del tipo de proyecto).

En todo caso la persona que esté a cargo de la siguiente etapa sabe que dispone de tiempo suficiente, entonces ¿para que apresurarse?

Es muy posible que si alguien termina antes de tiempo existe una posibilidad muy alta de que no lo informe. Y aunque lo haga, con mucha frecuencia, el tiempo ganado no será aprovechado en la siguiente etapa; sencillamente, se perderá.

Por lo cual podemos concluir que: “Un retraso en una etapa se pasa, en su totalidad, a la siguiente etapa. Los avances que se hacen en una etapa usualmente se pierden”¹⁶

Ven lo que esto significa: En etapas secuenciales nuestras desviaciones no se promedian. Los retrasos se acumulan, mientras que los avances no. Esto puede explicar cómo desaparece tanto margen de seguridad.

De este modo no existe ningún incentivo para la entrega temprana y por lo tanto “el trabajo ocupa todo el tiempo disponible”. (Parkinson, 1957).

1.2.4.3.2 LA INTEGRACIÓN DE LAS TAREAS

Son aquellas tareas que tienen como precedencia a un conjunto de tareas. No alcanza con que algunas de las tareas previas estén terminadas para que esta comience; es necesario que todas lo estén.

La dificultad que agrega esta particularidad en los proyectos no solo está en la incertidumbre de la integración, sino también en el inicio de esta.

16 GOLDRATT Eliyahu. Cadena crítica (2001)

Basta con que una sola tarea se atrase para que todo ese atraso impacte en el inicio de la tarea integradora.

En la siguiente figura se ve un ejemplo de integración.

¿Qué sucede con las etapas que se realizan en paralelo?; tenemos 4 etapas supongamos que en 3 etapas se termina 5 días antes y que en una etapa nos retrasamos 15 días. Estadísticamente, si promediamos los valores de las cuatro etapas, el resultado nos dirá que estamos a tiempo.

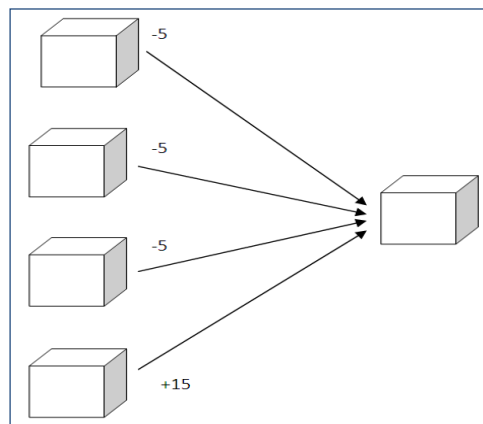


Figura N° 14 Gráfico – Etapas paralelas. (El autor)

En el caso de las etapas paralelas y en todo proyecto existen muchas de ellas, el mayor retraso se pasa a la siguiente etapa. Los demás casos en que se termina antes, no cuentan para nada.

La integración de tareas es una característica de los proyectos en donde: “Los atrasos se transfieren en su totalidad, pero los adelantos no”.

Lo único que cuenta es el rendimiento del proyecto como un todo. Al final, no importa cuántas etapas no se hayan terminado a tiempo en tanto que el proyecto se entregue en la fecha prometida. ¿Y nosotros que hacemos?

Tratamos de proteger el rendimiento de cada etapa. La mayor parte de esa protección se pierde. Así que aunque establezcamos un gran margen de seguridad, el proyecto siempre corre el riesgo de terminar tarde.

De una manera u otra, estamos desperdiciando el margen de seguridad, no solo en el proyecto como un todo, sino, también, en las diferentes etapas.

1.2.4.3.3 EL SINDROME DEL ESTUDIANTE

Es habitual observar que los estudiantes realizan poco esfuerzo al inicio del periodo que disponen para estudiar. Al percibir lejano el examen, se toman las cosas con mucha calma. Cerca de la fecha del examen es cuando se compensa la tranquilidad del inicio con jornadas muy largas, sin descansos. Algunos racionalizan este comportamiento estableciendo que estudian bajo presión mucho mejor por la urgencia de fecha límite.

Ya en el ámbito laboral, primero luchas hasta conseguir un margen de tiempo de seguridad. Cuando ya lo tienes dispones de suficiente tiempo, entonces, ¿Para qué apresurarte? ¿Cuándo te sientas hacer el trabajo? Pues en el último minuto. Esa es la naturaleza del ser humano.

Este comportamiento tiene un riesgo muy importante, responsable de muchos desperdicios de protecciones.

Solo cuando comenzamos el trabajo podemos determinar si existe o no algún problema. Si se presenta, comenzamos a trabajar como locos. Pero ya hemos desperdiciado el margen de seguridad, así que, de cualquier manera, vamos a retrasarnos.

¿Se puede trabajar con un ritmo parejo a lo largo de todo el proyecto y por supuesto, a lo largo de cada una de las tareas? Si se puede. Pero hay que

cambiar el modo general de gestionar los proyectos y los supuestos que sostienen el modo habitual o convencional de realizarlos.

Un elemento que facilita el control del comportamiento síndrome del estudiante es la definición del concepto de tarea de un proyecto.

Si consideramos como tarea un trabajo cuya duración estimada es notoriamente considerable; es más fácil que los involucrados en su realización comiencen su ejecución con un ritmo moderado, pues perciben que hay mucho tiempo para hacer la tarea.

Cuando se definen las tareas debe tenerse en cuenta este aspecto y procurar que las duraciones sean relativamente cortas en relación a la duración total del proyecto y de las tareas habituales que realizan los responsables de estas. Las tareas que se perciben muy largas, convocan a la aparición del síndrome del estudiante.

1.2.4.3.4 TAREAS MULTIPLES

Se trata de la acción o pretensión de realizar varias tareas simultáneamente. Algunas personas se jactan de ser muy buenas en hacer al mismo tiempo varias cosas, y en efecto algunas lo hacen. Lo que ocurre es que no siempre la calidad de los resultados de esas tareas es satisfactoria.

La mejor forma de realizar varias tareas al mismo tiempo se conoce como trabajo en equipo o distribución del trabajo.

La mala multitarea es una conducta muy estresante que consiste en suspender la ejecución de una tarea que aún no hemos terminado para comenzar otra, la cual suspenderemos a su vez para volver a la primera o para comenzar una tercera, y así saltar de una tarea a otra, sin terminar ninguna y teniendo la percepción que estamos avanzando de un modo eficiente.

En muchos casos, es la causante de que si bien el tiempo de trabajo efectivo en la tarea es el estimado, la duración para su entrega es muy superior, pues cada interrupción significa no solo la demora, sino que cuando se retoma esta tarea se desperdicia tiempo para volver a trabajar según las condiciones en las que se dejó.

Es común ver que un trabajo que razonablemente se podría cumplir en una semana, debido a la acción de la multitarea se termina entregando a la tercera semana.

Si hay gente trabajando en múltiples proyectos y en los proyectos hay muchas etapas en los que estos participan; entonces cada persona realiza tareas múltiples.

Ejemplo:

Supongamos que una persona debe realizar tres etapas: A, B y C. esas etapas pueden pertenecer a diferentes proyectos o a un mismo proyecto; eso no importa.

Cada etapa requiere diez días de trabajo continuado. Si esa persona trabaja en secuencia, el tiempo de terminación de cada etapa es de diez días después de iniciar, por ejemplo, la etapa B, esta se entrega a alguien más que va a continuar el trabajo.

Pero, la persona de nuestro caso está bajo presión y trata de satisfacer a todo el mundo. El resultado es que trabaja en una etapa solo durante cinco días y luego pasa a otra etapa. Supongamos que la secuencia resultante es A, B, C, A, B, C. ¿Cuál es el tiempo de terminación de cada una de las etapas?

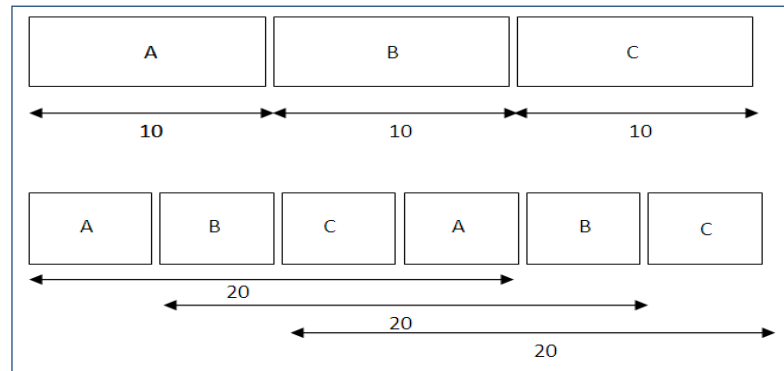


Figura N° 15 Gráfico – Tareas múltiples. (Goldratt, 2001)

El tiempo de terminación de cada etapa se duplica.

La multitarea es fuente de problemas de retrasos y retrabajos, pues cuando se retoma luego de una interrupción, no todas las cosas continúan como estaban. Otro efecto colateral de la mala multitarea es que debido a los atrasos luego se suscitan urgencias y apuros que a su vez provocan problemas de calidad, y estos requieren retrabajos que consumen más tiempo.

En lo que concierne específicamente al trabajo intelectual o trabajo del conocimiento, todos los estudios al respecto indican que alternar de manera aleatoria entre varias demandas de atención tiene como resultado un enorme deterioro en los tiempos de ejecución de cada trabajo y una marcada disminución de la calidad de estos.

Los mejores resultados se logran a través del trabajo concentrado en un asunto, con pausas programadas de descanso.

Si esto no se puede lograr, la segunda mejor opción consiste en concentrarse en un trabajo hasta terminarlo o hasta que el avance dependa de alguna condición externa; en ese caso, como no se puede continuar avanzando personalmente, se puede realizar una pausa y tomar otro asunto, el que a su vez se procesara hasta terminarlo o hasta que sea imposible continuar.

La multitarea es, probablemente, el principal asesino de tiempo de terminación. Y todos somos sus víctimas. Sea que se les llame reuniones, trabajos urgentes u otros trabajos, el impacto es el mismo. Pero ¿Cómo hemos llegado a permitir las situaciones de multitarea?

Cuando las personas tienen poco trabajo pueden terminar a tiempo sin recurrir a la realización de tareas múltiples. La eficiencia bajara. ¿Y a quién le importa la eficiencia de las áreas locales? Si garantizar el éxito del proyecto es la única cosa importante en realidad.

Resumiendo:

Hemos encontrado mecanismos para incorporar márgenes de seguridad. Ahora parece que hemos encontrado mecanismos para desperdiciar ese tiempo de seguridad.

- Ley de Parkinson
- Síndrome del estudiante
- Integración de las tareas
- Las tareas múltiples

Veremos en el siguiente diagrama lógico de causa y efecto lo descrito hasta ahora

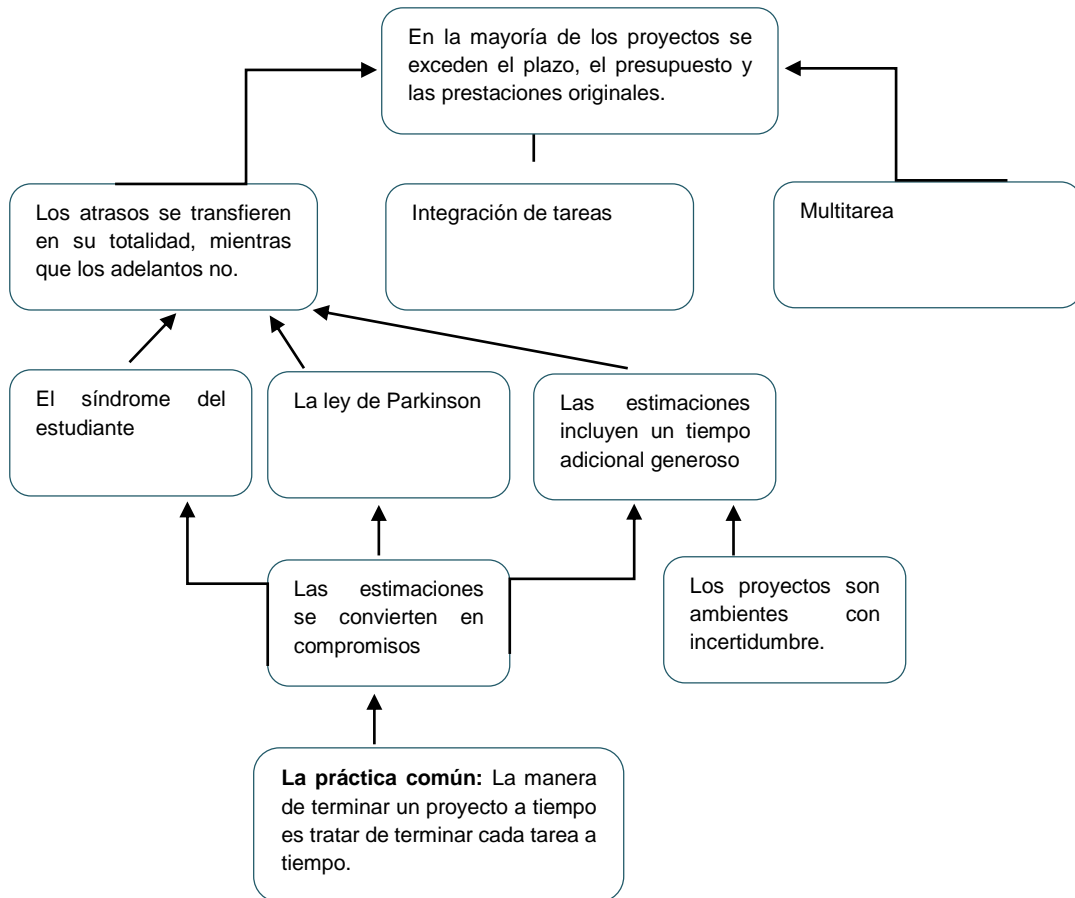


Figura N° 16 Gráfico – Diagrama Lógico - consecuencias de la práctica común de gestión. (Bianchi, 2013)

El proceso de mejora de TOC responde sistemáticamente a las siguientes preguntas:

¿Qué cambiar?; ¿A qué cambiar?; ¿Cómo causar el cambio?

En lo descrito se ha dado respuesta a la primera pregunta, de cómo la práctica común de gestión en los proyectos conduce a los malos resultados.

1.2.5 METODOLOGÍA DE CADENA CRÍTICA

1.2.5.1 CADENA CRÍTICA

Cadena critica también conocida como CCPM (Critical Chain Project Management) se deriva de la aplicación de la teoría de restricciones a la gerencia de proyectos.

“Los conceptos de cadena crítica están siendo aplicados con un rotundo éxito en los proyectos claves de compañías de todo el mundo. El Instituto de Dirección de Proyectos (PMI – Project Management Institute), organización mundial líder en desarrollar metodologías y herramientas para la administración de proyectos ha aceptado a Cadena Critica como una metodología científica con resultados comprobados para la gestión de proyectos”.¹⁷

El proceso de mejora de TOC responde sistemáticamente a las siguientes preguntas: ¿Qué cambiar?, ¿A qué cambiar?, ¿Cómo causar el cambio?

Para lograr esto TOC propone la necesidad de adoptar un enfoque sistémico /holístico o sea ver el proyecto como un todo. El cambio será: APLICACIÓN DE CADENA CRÍTICA

Dando respuesta a las preguntas.

¿Qué cambiar?

El supuesto erróneo: para terminar a tiempo un proyecto debemos forzarnos a terminar cada tarea a tiempo.

17 www.grupotruput.com

¿A qué cambiar?

A enfocarse en los proyectos como un todo:

- ✓ Secuenciar los proyectos
- ✓ Concentrar la protección
- ✓ Uso de administración de amortiguadores para establecer prioridades

¿Cómo causar el cambio?

Teniendo un consenso en la cadena crítica y un mecanismo para establecer la administración de amortiguadores.

También debemos partir de que toda organización tiene una meta, por lo que la única razón por la cual esta organización no obtiene más meta, es porque tiene al menos UNA RESTRICCIÓN que se lo impide.

La restricción es todo aquello que nos impide acercarnos a nuestra meta; pueden ser:

- ✓ **Restricciones físicas:** una máquina, un material, un proveedor o en general cualquier aspecto que pueda ser relacionado con un factor tangible.
- ✓ **Restricciones políticas:** (políticas de la empresa) cuando la compañía ha adoptado prácticas, procedimientos, estímulos o formas de operación que son contrarios a su productividad o conducen (a veces sutil e inadvertidamente) a resultados en realidad contrarios a los deseados.

Normalmente la gestión de proyectos requiere concentrar esfuerzos en especificar las tareas que se ejecutaran, establecer el estimado de la duración y controlar su avance contra esta estimación. No obstante, muchas veces los resultados no son satisfactorios.

La identificación de la cadena crítica y la correcta administración de amortiguadores proveen de una poderosa herramienta que reduce drásticamente el tiempo de culminación de proyectos, reduciendo los costos previstos sin afectar negativamente la calidad.

La metodología de la cadena crítica propone una serie de herramientas para poder absorber esta variabilidad inevitable (inducida generalmente por la gente que trabaja en el proyecto o por eventos impredecibles), por medio de amortiguadores o buffers de tiempo y de recursos, que funcionan como protección frente a los problemas que se puedan presentar.

Con la cadena crítica no solo reducimos el tiempo de culminación del proyecto, sino que cumplimos con los costos y la calidad establecidos inicialmente. A su vez el mecanismo de medición y control debe centrarse en ajustar el porcentaje de avance en función de la cadena crítica del proyecto.

1.2.5.2 SUPUESTOS TRADICIONALES QUE TOC CUESTIONA

- ✓ La suma de las mejoras individuales o locales = mejora total del sistema
- ✓ Sistemas balanceados tienen una mejor performance que un sistema desbalanceado, entendiendo por sistema balanceado que cada partida termine a tiempo, para que todas las partidas terminen a tiempo
- ✓ Mas data = mejores decisiones
- ✓ Mas puntos de control = mejor performance
- ✓ Mejora en los planes y pronósticos = mejor performance
- ✓ Duración de un proyecto = el camino más largo de eventos continuos (ruta crítica o PERT CPM)
- ✓ No es posible incrementar el valor percibido por el cliente

1.2.5.3 FUNDAMENTOS DE LA CADENA CRÍTICA

La planificación del tiempo con cadena crítica y la administración de buffers es un enfoque completo y probado en el entorno de la gerencia de proyectos.

La variabilidad inmersa en los múltiples procesos que conforman los proyectos, hacen que sea preferible enfocarse en manejar dicha variabilidad, en vez de tratar de calcularla con métodos matemáticos exactos. Lo mejor es protegernos de esta variabilidad e incertidumbre inevitable en el tiempo de desarrollo del proyecto, por medio de buffers o amortiguadores de tiempo y de recursos que absorben dicha variabilidad en beneficio del proyecto.

Existen diferentes mecanismos por los cuales los proyectos se retrasan, los cuales hemos descrito anteriormente:

- Ley de Parkinson: el trabajo se expande para llenar el tiempo disponible.
- Síndrome del estudiante: como no hay prisa comenzamos en el último minuto.
- Integración de las tareas
- Las tareas múltiples (procesos multitareas): en una misma área o persona constituyen otro mecanismo. La dependencia entre los pasos, provoca que las demoras se acumulen y los adelantos en las tareas se desperdicien.

En la mayoría de casos los indicadores de medición y control no permiten diferenciar entre el trabajo realizado sobre la ruta crítica y el trabajo realizado en las rutas no críticas del proyecto.

Tratamos de acelerar los avances de cualquier ruta creyendo así que avanzamos en el proyecto entero, pero en realidad intensificar los avances en las rutas no críticas genera colas, esperas y tiempo perdido porque al fin y al cabo todas las demás rutas se unen en la ruta crítica.

Es decir las terminaciones tempranas se desperdician por la interdependencia de los procesos, además de generar confusión por concentrar muchas actividades en un lapso corto de tiempo e inducir una inversión tal vez innecesaria para la línea de desarrollo del proyecto, mientras que las terminaciones tardías hacen que todos mis procesos se conviertan en críticos, es decir que si alguno de ellos se retrasa, entonces todo el proyecto se retrasa también.

La genialidad del enfoque de la teoría de restricciones en su metodología de cadena crítica, reside en el desarrollo de un nuevo modelo que encara por primera vez, tanto el lado humano, como el de la metodología algorítmica de la administración de proyectos, en una disciplina unificada. El gran problema de la variabilidad es que no la podemos eliminar, siempre va a estar presente en cualquier acción de nuestras vidas, más aun tratándose de un proyecto complejo.

El gran reto se encuentra entonces en manejar adecuadamente esta incertidumbre.

1.2.5.4 APLICACIÓN DE METODOLOGIA DE CADENA CRÍTICA

La metodología de cadena crítica se basa en el uso de amortiguadores ubicados inteligentemente en la red de procesos del proyecto, que absorben la variabilidad inducida principalmente por las personas involucradas en el proyecto, previniendo sus fallas, sus retrasos o la ocurrencia de eventos inesperados, de modo que dichas fallas afecten el tiempo de ejecución de los procesos, pero no afecten el tiempo de culminación del sistema global, es decir el proyecto.

La cadena crítica es la cadena más larga de tareas que considera, tanto las dependencias entre las tareas, como las dependencias de los recursos. Esto es diferente al camino crítico que se define como la cadena más larga de

tareas basadas solo en las dependencias de las tareas y que recorre el camino más largo basándose en la mayor duración posible de la red de procesos.

Fundamentalmente, en las tareas de la cadena crítica se trata de trabajar en una modalidad similar a las de carrera de posta o relevos, en las cuales el corredor está expectante a que su compañero le entregue la posta para salir a toda velocidad a cumplir con su parte y entregarle la posta al siguiente.

A continuación se dan a conocer los pasos a tomar para la aplicación de la metodología de cadena crítica

Método cadena crítica: paso I

- Hacer estimaciones agresivas de duración de las tareas.

Eliminar las tolerancias de todas las tareas reduciendo las duraciones de las mismas a la mitad.

El Doctor Goldratt sugería de modo muy violento y directo tomar la mitad de cada estimación protegida de los estimadores.

$$ESTIMACION\ AGRESIVA = ESTIMACION\ NORMAL / 2$$

Método cadena crítica: paso II

- Identificar la cadena crítica.

La cadena crítica es una mejora de la ruta crítica. Identifica la duración de la secuencia más larga de tareas dependientes incluyendo las contenciones de recursos resueltos en esta secuencia. En casi todos los casos, la cadena crítica será más larga que la ruta crítica.

Proporciona una base mucho más sólida para la planificación, ya que obliga al equipo del proyecto a llegar a un acuerdo con la realidad de la disponibilidad de recursos limitados.

Método cadena crítica: paso III

- Amortiguar la finalización del proyecto

Dado que las estimaciones de la duración de tareas se basan en un 50% de probabilidad de cumplimiento a tiempo, hay una oportunidad (50%) que algunas tareas no van a terminar a tiempo.

Por buffering, protegemos el proyecto contra la variabilidad que se produce cuando las tareas no cumplen con la estimación de la duración.

Luego de realizar la identificación de las actividades de cadena crítica realizamos la sumatoria de duraciones de la secuencia de tareas; al ser estimaciones con baja probabilidad de cumplimiento debemos protegerlas frente a variaciones, esto lo hacemos con el buffer de proyecto.

$$\text{Buffer de proyecto} = \text{sumatoria duración de las tareas de cadena crítica} / 2$$

Método cadena crítica: paso IV

- Añadir los buffers de alimentación

Ahora hay que proteger la cadena crítica de la incertidumbre, no olvidemos que es la limitación del proyecto. Cualquier secuencia de tareas que desemboque en la cadena crítica podría retrasar el proyecto si contuviera desviaciones. Para evitarlo introducimos amortiguadores de alimentación entre el final de cada una de estas secuencias y la tarea de la cadena crítica sobre la que desembocan.

Para los buffers de alimentación realizamos la suma de las actividades que conforman cada cadena de alimentación y la dividimos a la mitad.

1.2.5.5 LA GESTION DE LOS BUFFERS

El buffer o amortiguador es una protección contra la incertidumbre en la duración de las tareas; los buffers están puestos de manera de proteger la fecha final del proyecto y el inicio de las tareas de la cadena crítica.

Es importante notar que no es de igual importancia un consumo de buffer de alimentación que el de proyecto. El primero protege el inicio de las tareas de la cadena crítica, mientras que el segundo protege el proyecto entero.

Solamente cuando la ejecución de una tarea haya consumido todo el buffer de alimentación, puede empezar a consumir el buffer de proyecto.

1.2.5.6 SEGUIMIENTO DE CRONOGRAMA CON CADENA CRÍTICA

La medición de un cronograma con el método de Cadena Crítica se concentrará en el avance en la cadena crítica, ya que es la que determina la duración total del proyecto. Un avance en un ruta alimentadora no representará avance y la alerta será inmediata, además de más confiable.

Otro de los cambios relevantes en el seguimiento y medición de avance del proyecto con el método de Cadena Crítica es que no se debe medir el avance de cada tarea, sino del proyecto como un todo, partiendo del principio de que no importan las mejoras locales sino las globales.

Cada tarea de la cadena crítica debe tener pensado los momentos del pronto, listo y ya. Debemos hacer esto en la instancia de planificación y no en la ejecución.

Por definición y por metodología, la duración de las tareas claves de la cadena crítica más el buffer de proyecto determinan la duración planificada del proyecto. Por ello, para acortar la duración total del proyecto debemos operar sobre las tareas claves de la cadena crítica.

Por ejemplo, si es técnicamente posible hacer en paralelo tareas que están planteadas en secuencia desde el inicio, se puede cambiar la estructura de lo planificado y eso puede acortar los tiempos de duración del proyecto. Estos cambios implican el uso de recursos de modo diferente, lo que generalmente conlleva costos distintos.

1.2.5.7 LOS INDICADORES– GRAFICO DE TEMPERATURA

Los indicadores que se usan en la metodología de cadena crítica son:

Indicador 1: Cadena crítica terminada

Dada las características de este conjunto de tareas, podemos establecer una relación entre el progreso del proyecto y la terminación de dichas tareas.

Las tareas de cadena crítica cumplen con las siguientes características:

- Determinan la duración del proyecto
- En un momento dado solo hay una tarea de este conjunto en ejecución
- No cambian durante el desarrollo del proyecto.

El proyecto progresa solo cuando se termina una tarea de la cadena crítica.

Es un indicador muy duro, pero refleja la realidad. Cumplir con la gran mayoría de las tareas no necesariamente implica avanzar, si bien es necesario terminarlas para finalizar el proyecto.

Supongamos que la siguiente figura muestra la cadena crítica de un proyecto

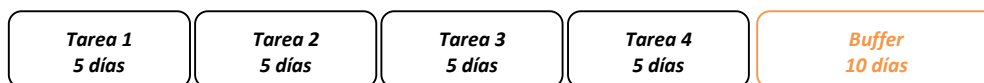


Figura N° 17 Ejemplo para calcular indicador 1 (El autor)

La primera tarea se terminó en el día 8. Podemos decir recién este día que el proyecto progreso $5/20 = 25\%$

Indicador 2: consumo de buffer de proyecto

Esto es para evaluar el estado del proyecto, es decir evaluar si necesitamos actuar o no. Debemos comparar el progreso contra el consumo de la protección.

En el ejemplo se sabe que se han consumido 3 días de los 10 del buffer, porque se terminó en el día 8 y no en el 5.

Es decir $3/10 = 30\%$

El proyecto progreso un 25% y utilizo un 30% de la protección.

El grafico de temperatura

La relación entre estos dos indicadores descritos anteriormente, es la que nos dirá el estado de proyecto y si es necesario tomar acciones preventivas.

Estos dos indicadores habitualmente se representan en el siguiente gráfico, conocido como fever chart o grafico de temperatura del proyecto.

Indica visualmente si el estado del proyecto se considera “en riesgo” (color rojo) o “sin alertas” (en color verde).

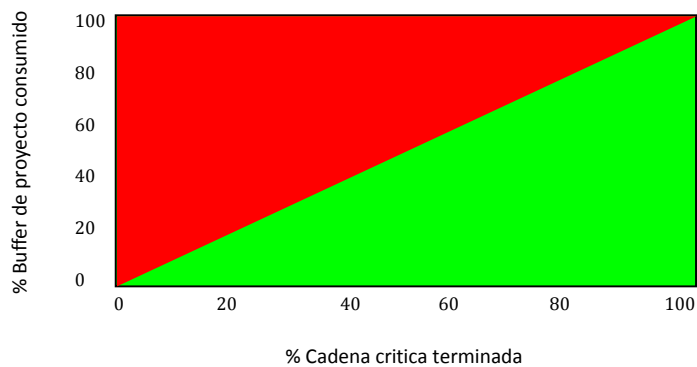


Figura N° 18 Grafico de temperatura del proyecto (El autor)

Cada reporte de estado del proyecto está representado por un punto en el gráfico, en el que su valor en el eje horizontal es el dado por el indicador 1 y su valor en el eje vertical es del indicador 2.

El punto en el grafico indica el estado del proyecto a la fecha del reporte.

- Si está en el triángulo superior (zona roja), indica que la velocidad de consumo de la protección es mayor a la velocidad de progreso del proyecto. Si continuamos con esta tendencia es probable que el proyecto termine fuera de la fecha prometida. El líder de proyecto debe actuar ya.
- Si está en el triángulo inferior (zona verde), indica que el progreso del proyecto es mayor al consumo de la protección, por lo que el líder de proyecto debe hacer lo siguiente: no molestar.

Con esta forma de medición, los recursos del proyecto siempre tendrán en cuenta que el desperdicio en sus actividades se verá reflejado en un elemento común a todos los recursos del proyecto: el amortiguador.

Con el método tradicional, los recursos disponían de sus propias protecciones, ya que nadie más se iba a percatar de esa ineficiencia.

Por otro lado, al sólo medir el avance sobre la cadena crítica del proyecto, se puede reducir la multitarea porque se pueden eliminar falsas alarmas y determinar de una manera más certera qué proyecto o tareas son realmente críticas y requieren la intervención de recursos compartidos.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Descripción de la realidad problemática

Los proyectos son actividades que afectan a todas las empresas, estos no permanecen estáticos ante el paso del tiempo y por lo general no se terminan dentro del plazo inicialmente previsto, ni con las especificaciones técnicas necesarias y casi siempre fuera del presupuesto.

La gerencia del tiempo en los proyectos sufre una actualmente una grave problemática por diversos factores. Existen diferentes mecanismos por los cuales los proyectos se retrasan. El síndrome del estudiante es el primero, como no hay prisa comenzamos en el último minuto. Las tareas múltiples (procesos multitarea) una misma área o persona constituyen otro mecanismo. La dependencia entre los pasos, provoca que las demoras se acumulen y los adelantos se desperdicien. La Ley de Parkinson, el trabajo se expande para llenar el tiempo disponible.

2.2 Delimitación del problema de la investigación

La mala administración de un proyecto se debe a un manejo inadecuado de la incertidumbre y la variabilidad del proyecto. El problema de la variabilidad es que no la podemos eliminar, siempre va a estar presente

en cualquier acción de nuestras vidas, más aun tratándose de un proyecto complejo.

El caso de estudio: Obra “Modernización del Aeropuerto Internacional de Pisco”, presenta las restricciones que todo proyecto posee; para ello es necesario afrontar el problema con un enfoque global en todos los sentidos, cambios prácticos que pueden conducir a mejores resultados; utilizando la metodología de cadena crítica para la mejora de la capacidad de enfoque de nuestros recursos y el término exitoso de nuestros proyectos.

2.3 Formulación del problema de la investigación

Partiendo de lo anteriormente descrito, surge la pregunta que es propósito de esta investigación:

¿De qué manera la aplicación de la metodología de cadena crítica influye positivamente en gestión de proyectos de construcción. Caso de estudio: Obra “Modernización del Aeropuerto Internacional de Pisco”?

2.4 Justificación e importancia de la investigación

Las razones que impulsaron el presente trabajo de investigación es la situación por la que atraviesan muchos proyectos hoy en día. La gestión ocupa un especial protagonismo, pues supone el diferencial entre la empresa que es excelente desde el punto de vista del cliente y la que no lo es.

La aplicación de la metodología de cadena crítica en gestión de proyectos de construcción. Caso de estudio: Obra “Modernización del Aeropuerto

Internacional de Pisco”, propone una serie de herramientas para poder absorber la variabilidad inevitable que existen en los proyectos, por medio de amortiguadores o buffers de tiempo, que funcionan como protección frente a los problemas que se puedan presentar; con la aplicación de la metodología de la cadena crítica, se reduce el tiempo de terminación del proyecto.

Un factor de éxito en los proyectos es terminar en el plazo establecido; es muy importante la imagen de confiabilidad y ella está vinculada al cumplimiento de los plazos de terminación, es por ello que los involucrados estiman las duraciones con mucha protección para los imprevistos que puedan ocurrir,

2.5 Objetivos de la investigación

2.5.1 Objetivo general

Determinar la importancia de la aplicación de la metodología de cadena crítica en gestión de proyectos de construcción. Caso de estudio: Obra “Modernización del Aeropuerto Internacional de Pisco”.

2.5.2 Objetivos específicos

Presentar el uso de amortiguadores o buffers de tiempo mediante la aplicación de la metodología de cadena crítica en gestión de proyectos de construcción. Caso de estudio: Obra “Modernización del Aeropuerto Internacional de Pisco”.

Demostrar el manejo adecuado de la incertidumbre y la variabilidad mediante la aplicación de la metodología de cadena crítica en gestión de

proyectos de construcción. Caso de estudio: Obra “Modernización del Aeropuerto Internacional de Pisco”.

Establecer indicadores de control y seguimiento mediante la aplicación de la metodología de cadena crítica en gestión de proyectos de construcción. Caso de estudio: Obra “Modernización del Aeropuerto Internacional de Pisco”

2.6 Hipótesis de la investigación

La aplicación de la metodología de cadena crítica influye positivamente en gestión de proyectos de construcción. Caso de estudio: Obra “Modernización del Aeropuerto Internacional de Pisco”.

2.7 Variables de la investigación

2.7.1 Variables independientes

Gestión de proyectos de construcción. Caso de estudio: Obra Modernización del Aeropuerto Internacional de Pisco”.

Se basa en el manejo adecuado de técnicas y herramientas de actividades orientadas al logro de un objetivo específico que tienen un punto de inicio, medio y final claros. Para ello es necesario:

2.7.2 Variables dependientes

Aplicación de la metodología de cadena crítica

Se basa en el uso de amortiguadores de recursos y amortiguadores de tiempo, ubicados en la red de procesos del proyecto.

2.7.3 Indicadores

Indicadores Independientes

- El conocimiento sobre la gestión de proyectos de construcción de la Obra “Modernización del Aeropuerto Internacional de Pisco”.
- Comprensión de la construcción de la Obra “Modernización del Aeropuerto Internacional de Pisco proyectos que existen.

Indicadores dependientes

- Conocimiento teórico de la metodología de cadena crítica.
- Adoptar patrones de estudio, para desarrollo y aplicación de la metodología de cadena crítica.

III. DE LA METODOLOGIA

3.1 Tipo, nivel y diseño de investigación

3.1.1 Tipo de investigación

La investigación por su profundidad es una investigación descriptiva.

Las investigaciones descriptivas tienen como fin, realizar un análisis del objeto de estudio, determinar sus características y propiedades.

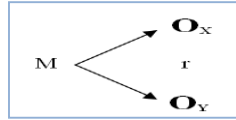
Un caso particular de las investigaciones descriptivas lo constituyen las investigaciones correlacionales, las cuales tienen como objeto analizar las relaciones de dos o más variables significativas del objeto de estudio

La presente investigación tiene por finalidad determinar la relación que existe entre la aplicación de la metodología de cadena crítica y la gestión de proyectos de construcción dentro de nuestro medio de estudio que es la Obra “Modernización del Aeropuerto Internacional de Pisco”.

3.1.2 Nivel de investigación

Consideramos que en la presente investigación se sigue un diseño correlacional por cuanto este tipo de estudio está interesado en la determinación del grado de relación existente entre dos o más variables de interés en una misma muestra de sujetos o el grado de relación existentes entre fenómenos ó eventos observados. Según explica

Velásquez, N. (2006). El siguiente esquema corresponde a este tipo de diseño.



Dónde:

M: Es la muestra donde se realiza el estudio, es decir la obra: “Modernización del Aeropuerto Internacional de Pisco”.

X: Subíndice, que nos indican las observaciones obtenidas en relación a la variable aplicación de la metodología de cadena crítica.

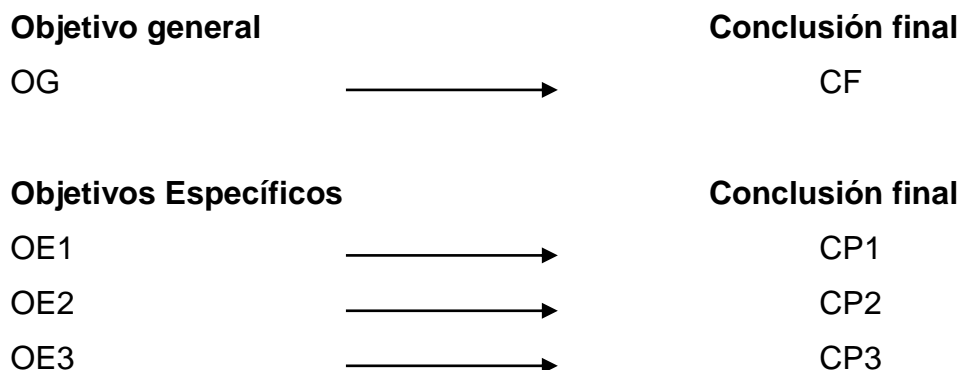
Y: Subíndice, que nos indican las observaciones obtenidas en relación a la variable gestión de proyectos.

“r”: Relación existente entre variables estudiadas. Coeficiente de Pearson.

Por lo cual nuestro nivel de investigación es correlacional.

3.1.3 Diseño de investigación

El diseño que se empleara en la investigación será de acuerdo al esquema siguiente:



Donde:

OG= Objetivo general

OE= Objetivo específico

CP = Conclusiones parciales

CF = Conclusión final

3.2 Población – muestra

3.2.1 Población

La población es el conjunto de individuos, objetos, situaciones, etc., de los cuales se desea conocer algo en una investigación. La población es el conjunto de todas las unidades de observación posibles que caracterizan al objeto. (Velásquez, 2006).

En la presente investigación se trabajara con la población conformada por los integrantes de la obra: “Modernización del Aeropuerto Internacional de Pisco”, para esto se está tomando como población a los interesados concededores de la gestión de obra y plan maestro, teniendo entre ellos a los ingenieros, técnicos, maestros de obra y jefes de grupo. Siendo un total de parte administrativa de obra 38 personas.

En nuestro caso las muestras se consideran no probabilísticas ya que se analizaran determinada población la cual inciden e influyen en el resto de la misma.

3.2.2 Muestra

La muestra es una pequeña porción representativa y adecuada de la población, a partir del cual el investigador va a obtener datos que sirven como punto de partida de las generalizaciones.

Para el caso de la determinación de la muestra, se trabajara con la siguiente formula aleatoria:

$$n = \frac{(pq)Z^2N}{(EE)^2(N-1) + (pq)Z^2}$$

Donde:

n = tamaño de la población para el trabajo de campo

N = total de la población que considera la investigación

pq = representa la probabilidad de la muestra de estar o no incluida en la muestra, de acuerdo a la doctrina, cuando no se conoce esta probabilidad por estudios estadísticos se asume que p y q tienen el valor de 0.5 cada uno.

Z = representa las unidades de desviación estándar que en la curva normal definen una probabilidad de error de 0.05, lo que equivale a un intervalo de confianza de 95% en la estimación de la muestra, por tanto el valor de Z, es de 1.96⁽²³⁾

EE = representa el error estándar de la estimación de acuerdo a la doctrina debe ser de 0.10 o menos. En este caso se tomó 0.097.

Sustituyendo se obtiene:

$$n = \frac{(0.5 \times 0.5) \times 1.96^2 \times 38}{(0.097)^2 (37) + (0.5 \times 0.5) \times 1.96^2}$$

$$n = 28$$

Los modelos de encuesta empleada en la investigación se presentan en la página de anexos.

IV. DE LOS INSTRUMENTOS DE INVESTIGACION

4.1 Técnicas e instrumentos de recolección de información

4.1.1 Técnicas de recolección de información

Las técnicas son mixtas, es decir tanto de gabinete como de campo. Tenemos los siguientes:

Guía de entrevista

Esta técnica nos permitió la realización del presente trabajo de investigación, para ello fue necesaria la participación de asesores, consultores especializados en la materia, así como la consulta a empresas que hacen uso de la metodología.

Cuestionarios

Esta técnica consistió en la elaboración de un conjunto de preguntas respecto a las variables de investigación.

Análisis documental

Esta técnica nos permitió conocer las teorías conceptos e información necesaria para nuestra investigación.

4.1.2 Instrumentos de recolección de información

Para la obtención de la información básica, se utilizaron los siguientes instrumentos de recolección de datos:

Entrevista

Este instrumento es una forma específica de realizar la interacción con los involucrados, la que permitió recolectar los datos para nuestra investigación.

Encuesta

Este instrumento nos permitió obtener resultados de nuestra muestra de estudio.

Libros y revistas

Este instrumento nos permitió conocer la información de trabajos preliminares, referencias bibliográficas, sitios web que manejen información confiable necesaria para el cumplimiento del proyecto; libros acerca de la aplicación de la metodología.

4.1.3 Técnicas de análisis e interpretación de datos

Respecto al análisis e interpretación de datos, se emplearán lo siguiente:

- Los datos iniciales serán consistenciados mediante el procesamiento de información utilizando el software Ms Project.
- Tabulación de la información, clasificación, ordenamiento y registro de base de datos.
- Cálculos de gabinete, elaboración de las matrices preliminares y definitivas, instrumentos y medidas.
- Se contrastan los resultados con la aplicación de la metodología en el caso de estudio.
- En el análisis descriptivo se tendrá en cuenta las situaciones (estadísticas, descriptiva).

V. CONTRASTACION DE HIPOTESIS

5.1 Formulación de la hipótesis estadística

En la hipótesis se sostiene que la aplicación de la metodología de cadena crítica influye positivamente en gestión de proyectos de construcción. Caso de estudio: Obra “Modernización del Aeropuerto Internacional de Pisco”.

Para la contrastación de la hipótesis se hace referencia a la aplicación de la metodología de cadena crítica en el caso de estudio, demostrándose que la implementación de la metodología permite la mejora del resultado del proyecto con el cumplimiento de plazo; proporcionando una técnica de programación de proyecto simple y satisfactoria que es suficiente para tener la base de ejecución, seguimiento y control, a su vez que considera el factor humano en la programación y ejecución del mismo.

5.2 Hipótesis nula

La aplicación de la metodología de cadena crítica no influye positivamente en la gestión de proyectos de construcción caso de estudio: obra “Modernización del Aeropuerto Internacional de Pisco”.

5.3 Hipótesis alterna

La aplicación de la metodología de cadena crítica influye positivamente en la gestión de proyectos de construcción caso de estudio: obra “Modernización del Aeropuerto Internacional de Pisco”.

Por consiguiente para realizar la hipótesis en función de los resultados obtenidos, con un nivel de significancia de 0.05, se aplicara la Prueba T de Student – Welch para dos muestras independientes con varianzas no homogéneas.

Dónde:

t = estadístico equivalente a t de Student.

\bar{X}_1 = media aritmética del grupo 1.

\bar{X}_2 = media aritmética del grupo 2.

σ^2_1 = varianza del grupo 1.

σ^2_2 = varianza del grupo 2.

n_1 = tamaño de la muestra del grupo 1.

n_2 = tamaño de la muestra del grupo 2.

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{\sigma^2_1}{n_1} + \frac{\sigma^2_2}{n_2}}}$$

El cálculo de los grados de libertad se realiza con la formula siguiente:

$$gl = \frac{\left(\frac{\sigma^2_1}{n_1} + \frac{\sigma^2_2}{n_2}\right)^2}{\frac{\left(\frac{\sigma^2_1}{n_1 - 1}\right)^2}{n_1} + \frac{\left(\frac{\sigma^2_2}{n_2 - 1}\right)^2}{n_2}} - 2$$

Dónde:

σ^2_1 = varianza del grupo 1.

σ^2_2 = varianza del grupo 2.

n_1 = tamaño de la muestra del grupo 1.

n_2 = tamaño de la muestra del grupo 2.

Nivel de significación: para todo valor de probabilidad igual o menor que 0.05, se acepta H_a y se rechaza H_0

Zona de rechazo: Para todo valor mayor que 0.05, se acepta H_0 y se rechaza H_a

$$X_1 = 68.93$$

$$X_2 = 52.50$$

$$\sigma^2_1 = 42.99$$

$$\sigma^2_2 = 64.42$$

Aplicamos la ecuación t

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{\sigma^2_1}{n_1} + \frac{\sigma^2_2}{n_2}}}$$

$$t = 5.93$$

Obtenemos el grado de libertad

$$gl = \frac{\left(\frac{\sigma^2_1}{n_1} + \frac{\sigma^2_2}{n_2}\right)^2}{\frac{\left(\frac{\sigma^2_1}{n_1 - 1}\right)^2}{n_1} + \frac{\left(\frac{\sigma^2_2}{n_2 - 1}\right)^2}{n_2}} - 2$$

$$gl = 21.34$$

El valor t calculado (5.93), con 21 grados de libertad, se comparan con la tabla y se observa que el valor crítico (tt) de 2.080 corresponde a una probabilidad de 0.05 de esta manera, el estadístico t5.93 tiene una probabilidad menor que 0.05.

Como la probabilidad no se ubica en la zona de rechazo, se rechaza Ho y se acepta Ha.

La aplicación de la metodología de cadena crítica influye positivamente en la gestión de proyectos de construcción caso de estudio: obra “Modernización del Aeropuerto Internacional de Pisco”.

En consecuencia se concluye que la hipótesis planteada queda aceptada.

VI. PRESENTACION, INTERPRETACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

6.1 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE CADENA CRÍTICA

Se realizara la aplicación de la metodología de cadena crítica en gestión de proyectos de construcción. Caso de estudio: obra “Modernización del Aeropuerto Internacional de Pisco”

Para la planificación de este proyecto de aplicación de Cadena Crítica, se desarrollará con mayor énfasis en el área del tiempo, que es el área que más impacta la metodología de Cadena Crítica. Se hará uso del software Microsoft Project 2013, como herramienta de planificación del cronograma, y con el que se puede aplicar de forma automática el tema de Cadena Crítica.

6.1.1 DATOS GENERALES DE LA OBRA

El proyecto considera el diseño de un terminal de aeroportuario internacional Tipo C (calificación en nivel de servicio) y será un operador de bajo costo, esto significa lograr una infraestructura eficiente a nivel de costos de operación, consumo energético y mantenimiento.

El proyecto contempla un edificio destinado a las funciones del terminal de pasajeros, con una infraestructura de 3 niveles + 1 sótano; asimismo, considera una infraestructura exterior que complementa las operaciones del

terminal (plataforma aérea, estacionamientos, paisajismo y servicios generales)

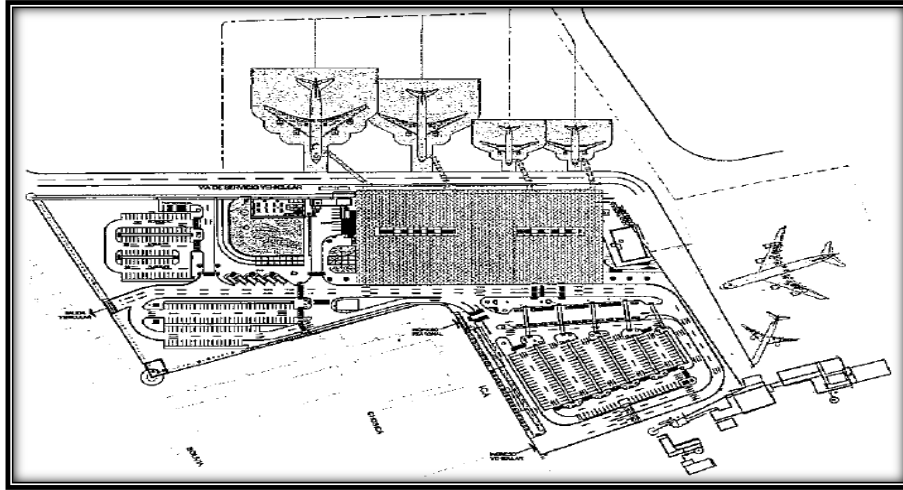


Figura N°19 Esquema general del proyecto (El autor)

6.1.2 UBICACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto Modernización del Aeropuerto Internacional de Pisco, se encuentra ubicado sobre la Calle Ica s/n del Distrito de San Andrés, Provincia de Pisco, Departamento de Ica.

El terreno se encuentra en un área concesionada a Aeropuertos del Perú de 319,899.01m²

El área destinada para el terminal posee una forma rectangular de aproximadamente 130m de largo y 60m de ancho, con una topografía relativamente plana.

Adyacente al terreno se encuentra:

- Pista de aterrizaje
- Torre de control
- Tanque de combustibles
- Terminal de pasajeros

El proyecto se desarrolla sobre un área de terreno de 319,899.01 m² que comprende 1 sótano y 3 pisos, cuyas áreas construidas se describen a continuación:

DESCRIPCION	ÁREA CONSTRUIDA
Sótano	2,445.98 m ²
Primer piso	8,675.07 m ²
Segundo piso	5,679.62 m ²
Tercer piso	2,307.14 m ²
Cuarto piso	318.92 m ²
TOTAL	19,426.73 m²

Figura N° 20 Cuadro de distribución de áreas (El autor)

6.1.3 DESCRIPCIÓN POR ESPECIALIDAD

- **Arquitectura**

Los criterios de diseño para infraestructuras aeroportuarias, diferencian 2 zonas o lados, de acuerdo a las operaciones y actividades que se realizan en cada una de ellas.

El terminal

- Lado aire, se realizan las actividades directamente relacionadas con la llegada y salida de pasajeros y equipajes en la plataforma de aviones. La plataforma de aviones y el sótano forman parte de este lado.
- Lado tierra, se realizan las actividades directamente relacionadas con el público en general, funcionarios, vendedores, etc. que no utilizaran las instalaciones de llegada y salida, y por consiguiente no necesitan ser controladas.

El proyecto contará con un edificio, destinado a las funciones de Terminal de pasajeros, cuya infraestructura será de 3 niveles + 1 sótano. Los niveles son tres plataformas que van retirándose de la fachada de ingreso, creando formas abalconadas, que generan espacios de doble y triple altura.

En el segundo piso, el proyecto considera un patio que recorre de manera longitudinal el edificio, destinado a un paseo comercial, el mismo que contara con un jardín botánico donde se exhibirán las especies que se cultivan en la zona. Este patio cuenta sobre el techo con una franja longitudinal al aire libre, que permitirá iluminar y ventilar el interior de manera natural.

El techo es un gran plano formado por vigas curvas modulares de estructura metálica cuyo material estará expuesto hacia el interior del espacio.

Una rampa a modo de serpentín conecta el primer y segundo nivel marcando el centro del espacio, detrás del cual se alinearan los controles de inmigración y de seguridad, permitiendo al pasajero ubicarse rápidamente dentro del edificio.

Las conexiones verticales con los demás niveles serán por medio de escaleras y ascensores.

Vías de acceso y playa de estacionamiento

Al exterior del edificio del terminal de pasajeros hay dos sectores Norte y Sur para el estacionamiento de vehículos, cuyos vértices se juntan cerca del eje central del edificio.

El terminal significara también un aporte ecológico a la zona, al considerar un diseño paisajista integral tanto dentro del terminal como en las playas de estacionamiento, con árboles que se adapten a la zona y tengan un bajo consumo de agua.

- **Estructura**

El proyecto comprende:

El terminal

- Lado tierra, diseño estructural del edificio del terminal de pasajeros, el cual consta de 2 pisos destinados para los distintos ambientes del aeropuerto y un techo metálico que sirve de cobertura a todo el terminal terrestre.

El edificio ha sido estructurado en base a una combinación de muros de corte y pórticos de concreto armado (sistema dual) que actúan como elementos portantes de carga vertical de gravedad y carga horizontal de sismo; en los entresijos se han utilizado losas colaborantes de 10cm. de espesor y losas macizas de 20cm de espesor diseñadas para una sobrecarga de 500 kg/m² conectadas mediante vigas metálicas (sección compuesta) a los elementos verticales de manera que puedan actuar como diafragmas rígidos.

El techo metálico se ha estructurado en base a vigas reticuladas de sección triangular que se apoyan sobre pedestales metálicos, tronco pirámides invertidos, que a la vez apoyan sobre la estructura del concreto.

La cimentación se ha resuelto en base a zapatas aisladas y zapatas combinadas, la capacidad portante del suelo es de 1.5 kg/cm², según lo especificado en el estudio de suelos.

- **Instalaciones eléctricas**

El proyecto comprende:

Suministro eléctrico normal; suministro eléctrico de emergencia; alimentadores eléctricos principales; alimentador secundario; alimentadores eléctricos derivados; iluminación; alimentación de las bombas de agua y bombas de desagüe; alimentación eléctrica de la sala de control; sistema de puesta a tierra; sistema publifusión.

- **Instalaciones sanitarias**

En una primera etapa se incluye el total de las instalaciones sanitarias generales, las cuales incluyen los baños del sótano y primer piso.

Para una segunda etapa se incluyen las redes interiores de los baños del segundo y tercer piso, las cocinas de los restaurantes y el desmontaje y sellado de los baños de la primera etapa en el primer piso.

Sistema de agua potable y sistema de desagüe doméstico.

- **Iluminación**

El diseño de iluminación para el proyecto es consecuente con su lenguaje arquitectónico: limpio dinámico, ecológico e innovador, destacando la calidad de sus espacios, formas, materiales y colores, mediante el uso de sistemas de iluminación a través de tecnologías que perduren en el transcurso del tiempo.

El proyecto arquitectónico, consta de dos etapas, los cuales se han desarrollado considerando los niveles de iluminación requeridos para cada ambiente y en cada etapa.

- **Sistemas de comunicación y cableado estructurado**

El sistema de comunicación y cableado estructurado están diseñados para ser la principal vía de comunicación para diversos sistemas de aplicación, este sistema se convertirá en el núcleo de todas las conexiones de red desde los ordenadores hasta los servidores principales.

- **Seguridad y protección contra incendios**

Es importante mantener la unidad del concepto de la integración de las disciplinas de la seguridad y dentro de este marco, el constructor, es posible que trate de solucionar las distintas disciplinas de forma individual, sin embargo en este proyecto, se busca lograr un único contratista especializado que pueda proporcionar una única plataforma de integración que resuelva la interconexión entre los sistemas de control de accesos, CCTV, automatización, detección y alarmas y sistema de agua contraincendios.

- **Acústica arquitectónica**

El proyecto contempla una serie de ambientes que proporcionan las facilidades a los pasajeros y usuarios del terminal y se les debe brindar las mayores comodidades posibles dentro de las limitaciones que un proyecto low-cost permite.

- **Sistema de ventilación mecánica y aire acondicionado**

El proyecto se ha realizado para proveer un sistema de ventilación mecánica y aire acondicionado, para la Modernización del Aeropuerto Internacional de Pisco.

El proyecto consta de lo siguiente:

Sistema de ventilación mecánica y aire acondicionado; sistema de aire fresco; sistema de extracción de baños; sistema de aire acondicionado de precisión.

6.2 INICIANDO EL PROYECTO

Una instancia importante en la vida de un proyecto es cuando se obtiene la autorización para comenzar. Algunos puntos a considerar son:

- El propósito o justificación del proyecto
- Los objetivos medibles
- El alcance a nivel macro
- El líder de proyecto y su rango de autoridad
- Los riesgos más importantes

Estos puntos deben estar considerados en EL ACTA DE CONSTITUCION.

Veamos a continuación:

Nombre del proyecto:	“Construcción del aeropuerto Internacional de Pisco”
Fecha:	Noviembre 2012
1. Objetivos del proyecto	
Cumplimiento del plazo de proyecto. (Debe cumplir estar dentro de los días designados para entrega total sin observaciones).	
2. Alcances y entregables	
<ul style="list-style-type: none"> - Planeación del proyecto. - Implementación de mejoras enfocadas. - Implementación de educación y entrenamiento. - Entrega total de la construcción (Estructuras, Arquitectura, Instalaciones sanitarias, Instalaciones eléctricas, iluminación, cableado estructurado, sistema de seguridad y protección contra incendio, acústica arquitectónica, aire acondicionado y ventilación mecánica, sistema de gas.) 	

3. Supuestos		
<ul style="list-style-type: none"> - Disponibilidad de involucrados para la dirección del proyecto. - Los equipos y las personas cuentan con disponibilidad para efectos de análisis. - Buena disposición y receptividad por parte de las personas pertenecientes al área. - Aceptación del cambio cultural que propone el modelo. 		
4. Hipótesis, Restricciones		
<ul style="list-style-type: none"> - La poca disponibilidad que tienen los involucrados, debido a sus labores cotidianas, lo que podría perturbar el transcurso normal del proyecto. - Poca disponibilidad de la gerencia requerida para el proyecto. 		
5. Presupuesto estimado		
La estimación gruesa es del orden 100 a 150 millones de soles.		
6. Estructura organizacional del proyecto		
Hay dos grupos de interesados en el proyecto a los cuales hay que actualizar frecuentemente sobre el avance: El directorio de la empresa y la empresa concesionaria Aeropuertos del Perú ADP.		
Nombre	Rol	Función
Edmundo Tejada S.	Gerente de Proyectos	Facilitar la tarea del líder de proyecto. Seguimiento global del proyecto.
Ivan Welsch M.	Líder de Proyecto	Dirección y seguimiento detallado del proyecto. Asegurar el cumplimiento en tiempo y calidad.
Analí Huamaní C.	Asistente del líder de proyecto	
7. Autorización del proyecto		
Aprobado por:	Director ejecutivo:	Fecha:

Figura N° 21 Acta de constitución de proyecto (El autor)

Luego de establecida y autorizada el acta de constitución, el siguiente paso deberá ser el ANALISIS DE LOS INTERESADOS o STAKEHOLDERS.

Un **stakeholders** “es un individuo, grupo organización que puede afectar o verse afectado o percibirse a sí mismo como posible afectado por una decisión, actividad o resultado de un proyecto”.¹⁸

18 5ª Edición del PMBOK Guide

Conviene definir y tener clara la estrategia de gestión de los interesados desde el arranque.

El acta de constitución y el análisis de interesados son dos procesos importantes a realizar en la etapa inicial.

6.3 PLANIFICANDO EL PROYECTO

Planificar el proyecto consiste en aplicar un conjunto de procesos cuyo resultado es el plan para la dirección del proyecto.

6.3.1 La gestión del alcance

Cuando hablamos del alcance del proyecto nos referimos a lo que este entregara y al trabajo necesario para lograrlo.

Un **entregable** “es un resultado único y tangible que se obtiene como resultado de un trabajo y que cumple con determinados requisitos.”¹⁹

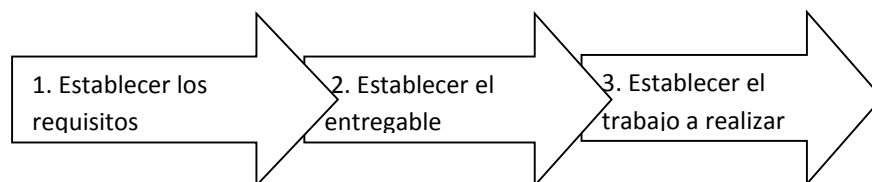


Figura N° 22 Secuencia requisito-entregable-trabajo (Bianchi, 2013)

Estamos acostumbrados a la acción; nos cuesta pensar en términos de requisitos o necesidades. Pero es obligación del líder y equipo de proyecto hacer el esfuerzo de obtener de los stakeholders (grupo de involucrados) los requisitos y no el cómo.

Una vez que tenemos el conjunto de requisitos, estamos en condiciones de establecer el alcance del proyecto, es decir, desarrollar una descripción detallada del proyecto y del producto y construir la estructura de desglose de trabajo (EDT).

La ESTRUCTURA DE DESGLOSE DE TRABAJO (EDT) – Work Breakdown Structure (WBS), “es una descomposición jerárquica del alcance total del trabajo a ser realizado por el equipo del proyecto para cumplir los objetivos y crear los entregables requeridos”.²⁰

O sea, en la EDT solo deben haber entregables, productos, resultados.

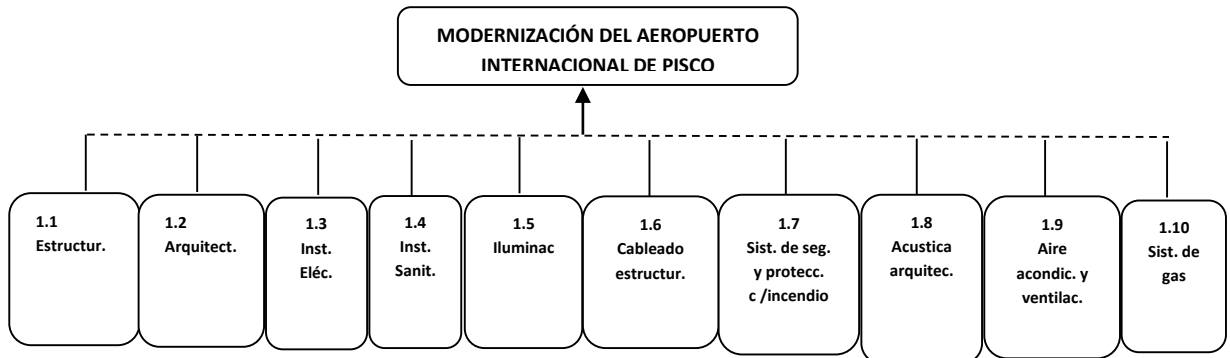


Figura N° 23 EDT Modernización del aeropuerto internacional de Pisco (El autor)

6.3.2 La gestión del tiempo

Un error muy habitual es que comienzan realizando un cronograma de proyectos. Definido el objetivo y autorizada su ejecución, el trabajo se centra en hacer un cronograma donde figuren la mayor cantidad de tareas.

Estos son dos errores muy importantes primero el hecho de iniciar un proyecto realizando un cronograma; comenzar la planificación identificando las tareas o actividades tiene varios inconvenientes, como no está claro el entregable se puede estar incluyendo actividades que no son necesarias. El segundo error es pensar que mientras más tareas tenga un cronograma mejor.

En la gestión del tiempo debemos:

- Definir y secuenciar las actividades
- Estimar los recursos y la duración de las actividades
- Desarrollar el cronograma

6.4 METODOLOGIA DE CADENA CRITICA EN CASO PRACTICO

Esto implica cuatro etapas:

- Hacer estimaciones agresivas de duración de las tareas.
- Identificar la cadena critica.
- Amortiguar la finalización del proyecto.
- Añadir buffers de alimentación.

6.4.1 Hacer estimaciones agresivas de duración de las tareas

Son estimaciones de la duración de la tarea menos una parte del margen de seguridad que los trabajadores del proyecto experimentados añaden automáticamente.

En este proceso, la metodología de cadena crítica requiere que las duraciones previstas para las actividades sean tales que estén despojadas de protecciones, pues se pretende el resguardo contingente de tiempo para cada actividad sea global y no individual.

$$ESTIMACION\ AGRESIVA = ESTIMACION\ NORMAL / 2$$

Recordemos que el proceso en que estamos, estimar los recursos y las actividades, persigue dos objetivos:

- Eliminar o reducir la multitarea
- Eliminar o reducir el síndrome del estudiante y la ley de Parkinson

ITEM	DESCRIPCION	ESTIMACION DE TIEMPOS		NOMBRE DE CUADRILLAS
		DURACION INICIAL	ESTIMACION AGRESIVA (goldratt)	
1	MODERNIZACION DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE PISCO			
2	ESTRUCTURAS			
3	OBRAS PROVISIONALES	100	50	C. OBRAS EXTERIORES
4	TRABAJOS PRELIMINARES	100	50	C. OBRAS EXTERIORES
5	MOVIMIENTO DE TIERRAS	90	45	C. OBRAS EXTERIORES
6	OBRAS DE CONCRETO SIMPLE	150	75	C. CONCRETO SIMPLE
7	OBRAS DE CONCRETO ARMADO	330	165	C. CONCRETO ARMADO
8	ESTRUCTURA METALICA	250	125	C. ESTRUCTURA METALICA
9	PAVIMENTOS	180	90	C. OBRAS EXTERIORES
10	ARQUITECTURA			
11	MUROS Y TABIQUES DE ALBAÑILERIA Y TABIQUERIA LIVIANA	120	60	C. ALBAÑILERIA
12	REVOQUES Y ENLUCIDOS	140	70	C. ALBAÑILERIA
13	PISOS Y PAVIMENTOS	100	50	C. ALBAÑILERIA
14	VEREDAS Y SARDINELES	80	40	C. OBRAS EXTERIORES
15	CONTRAZOCALO Y ZOCALOS	100	50	C. ALBAÑILERIA
16	COBERTURAS	180	90	C. COBERTURA
17	CARPINTERIA DE MADERA	100	50	C. CARPINTERIA
18	CARPINTERIA DE ALUMINIO/METALICA/CERRAJERIA	140	70	C.ALUMINIO
19	VIDRIOS	100	50	C. VIDRIOS
20	PINTURA	100	50	C. PINTURA
21	APARATOS Y ACCESORIOS SANITARIOS	140	70	C. APARAT. SANT.
22	ELECTRICAS			
23	CASETAS EXTERIORES Y OTROS	90	45	C. INST. ELEC.
24	REDES EXTERIORES	180	90	C. INST. ELEC.
25	INSTALACIONES ELECTRICAS INTERIORES	290	145	C. INST. ELEC.
26	SANITARIAS			
27	RED DE AGUA FRIA			
28	INSTALACION DE TUBERIA/VALVULAS Y EQUIPOS	140	70	C. INST.SANT.
29	RED DE DESAGUE			
30	INSTALACION DE TUBERIA/REGISTROS Y SUMIDEROS	130	65	C. INST.SANT.
31	ILUMINACION	180	90	C. ILUMINACION
32	CABLEADO ESTRUCTURADO	250	125	C. CABLEADO ESTRUCTURADO
33	SISTEMA DE SEGURIDAD Y PROTECCION CONTRA INCENDIOS	150	75	C. SISTEMA DE SEGURIDAD Y PROTECCION CONTRA INCENDIOS
34	ACUSTICA ARQUITECTONICA	100	50	C. ACUSTICA ARQUITECTONICA
35	AIRE ACONDICIONADO Y VENTILACION MECANICA	180	90	C. AIRE ACONDICIONADO Y VENTILACION MECANICA
36	SISTEMA DE GAS	70	35	C. SISTEMA DE GAS

Figura N° 24 Estimación de tiempos y asignación de recursos (El autor)

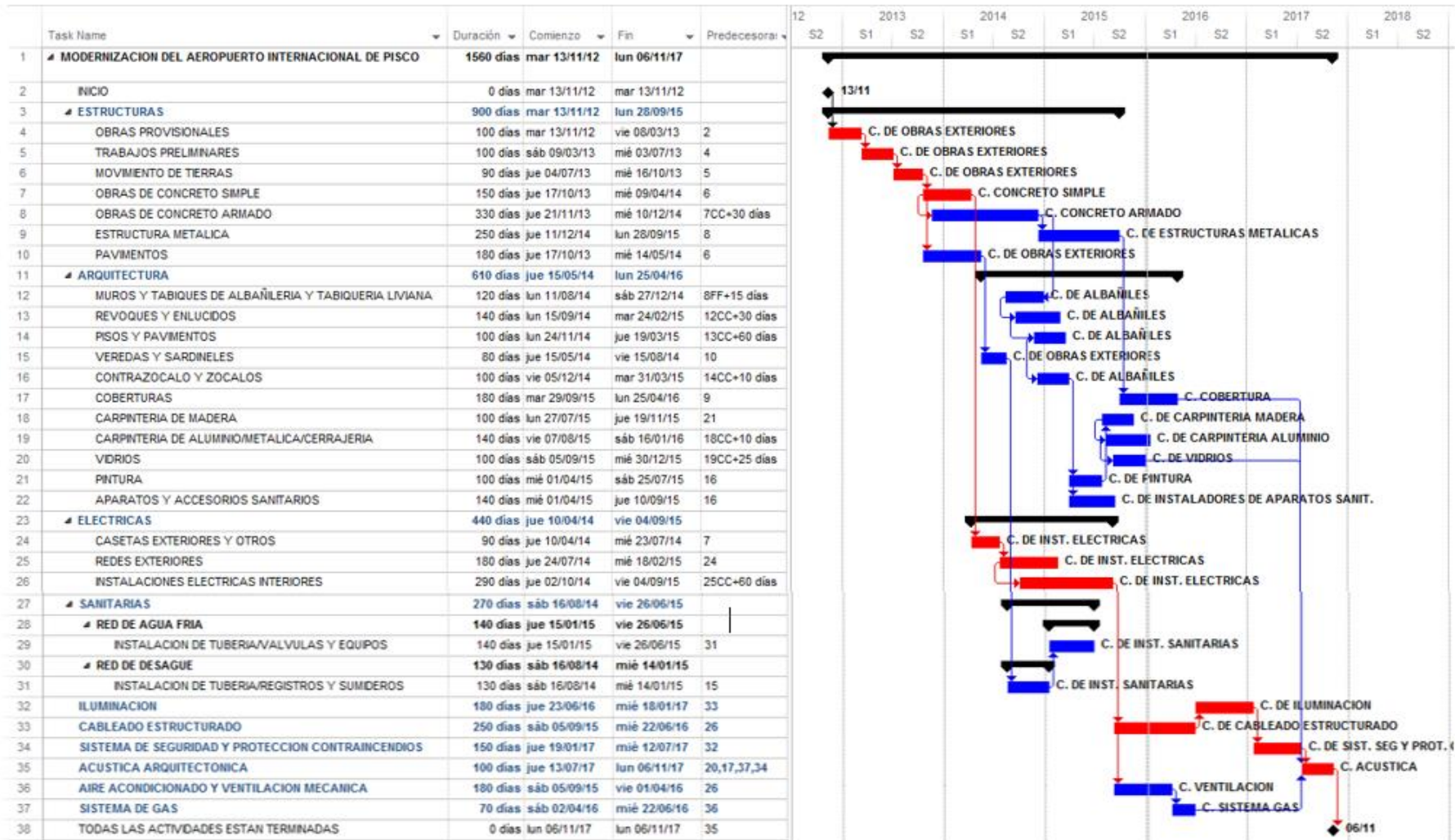


Figura N° 25 Cronograma con estimaciones iniciales sin recorte (El autor)

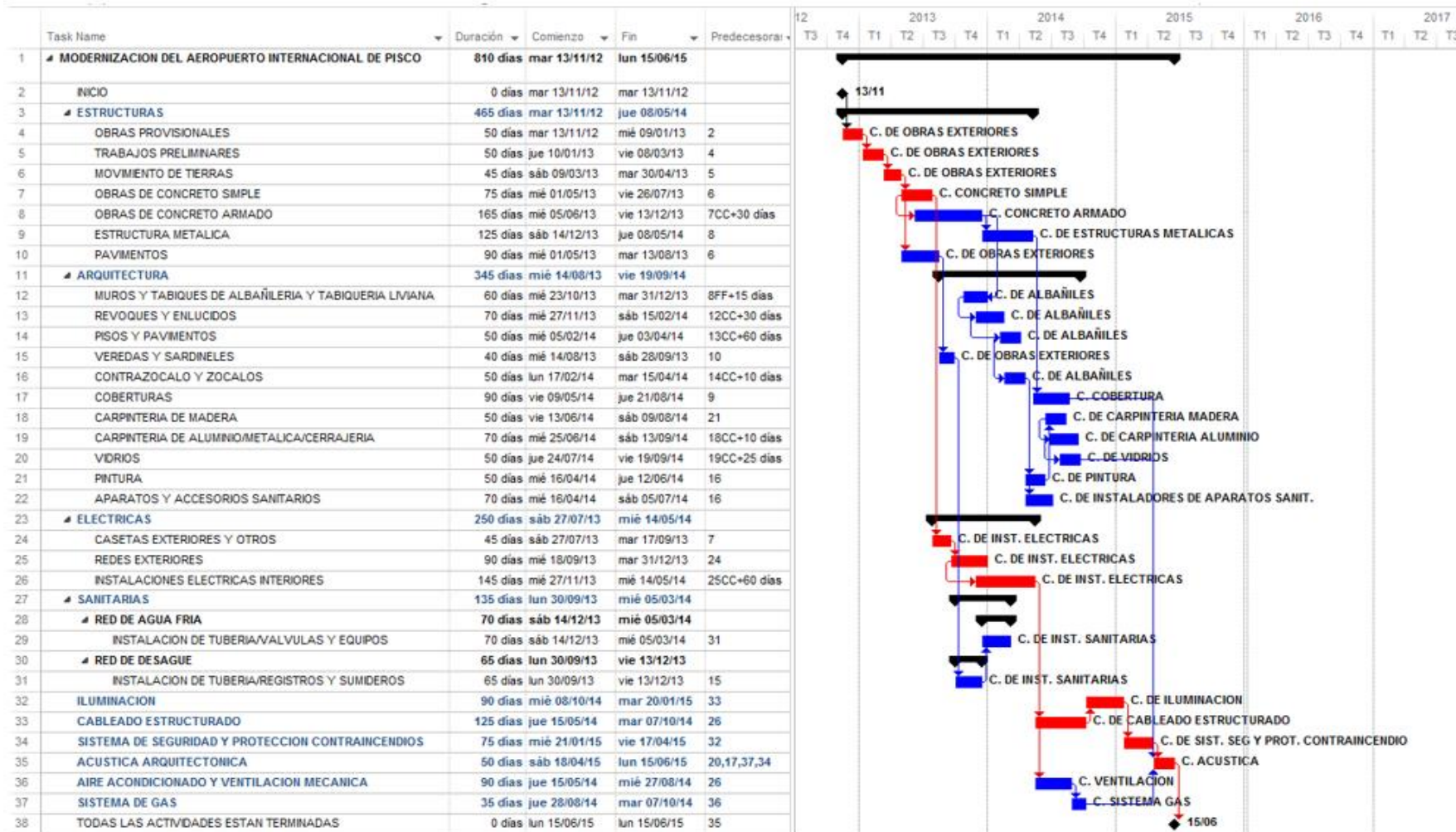


Figura N° 25 Cronograma con estimaciones recortadas a la mitad (El autor)

Se es conocido que la ruta crítica o camino crítico es la secuencia de actividades que representa el camino más largo a través de un proyecto, el cual determina la duración más corta posible.

En la figura anterior podemos notar que existen recursos sobrecargados como es el caso de c. de albañiles y c. de instalaciones eléctricas; estos generan a su vez la multitarea de estos recursos en las actividades que les corresponde; para ello se realiza la redistribución para que en ningún momento la carga de trabajo que tiene el recurso supere su capacidad.

La herramienta de Microsoft Project cuenta con una función de *redistribuir todo* para resolver los conflictos de recursos o sobreasignaciones. Otra manera de resolver es creando dependencias artificiales de fin a inicio entre las tareas que realiza el recurso sobrecargado.

La metodología de cadena crítica busca reducir o eliminar las causas por las cuales desperdiciamos las protecciones durante el proyecto. En la estimación de tareas se utilizan tiempos agresivos, es decir tiempos que no incluyen protecciones ni colchones. En la etapa de planificación se trata de atacar el problema de la multitarea asignando todo el tiempo de los recursos a la actividad requerida y cuidando que la carga de trabajo no exceda su capacidad. Esto se muestra en la figura nivelación de carga de recursos.

El camino crítico nos genera una duración total del proyecto de 810 días sin embargo realizando la nivelación de recursos obtenemos una duración total de 885 días.

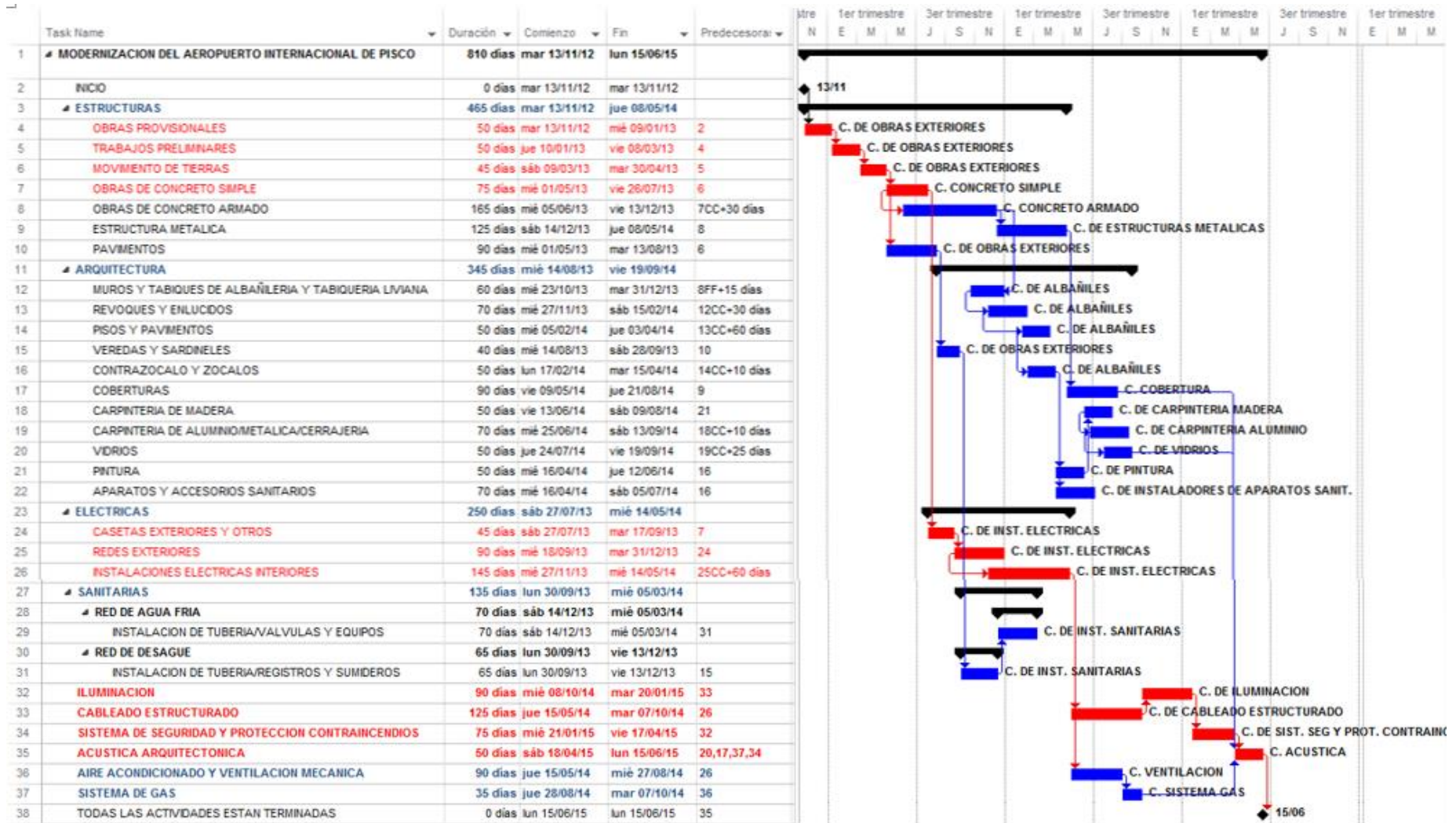


Figura N° 26 Identificación de la ruta crítica sin recursos nivelados (El autor)

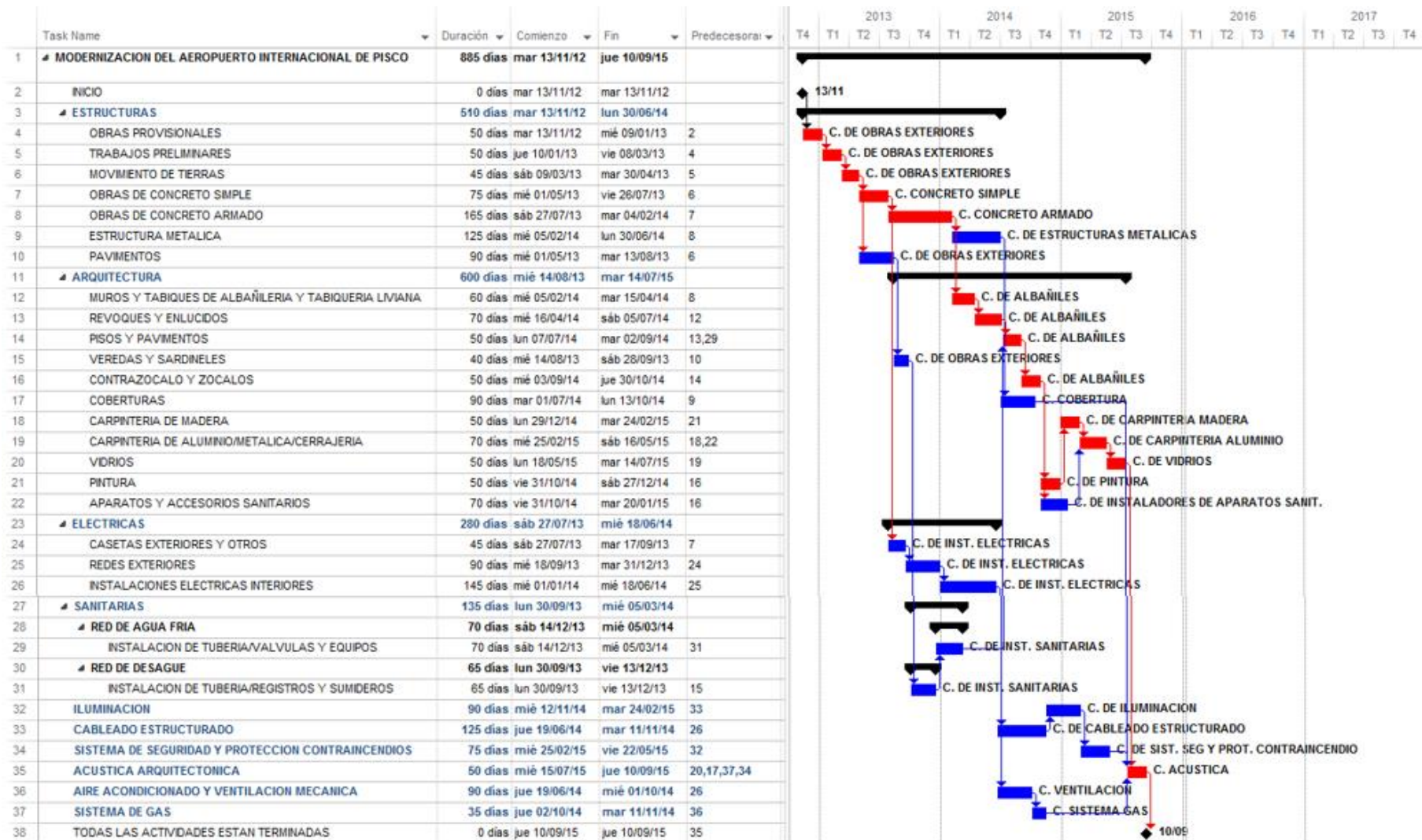


Figura N° 27 Nivelación de carga de recursos (El autor)

6.4.2 Identificar la cadena crítica

La cadena crítica “es la secuencia más larga de actividades de la red del proyecto, teniendo en cuenta tanto la dependencia de tareas como de recursos”.²¹

La cadena crítica es la restricción del proyecto. La duración total del proyecto es la duración de la cadena crítica más el buffer de proyecto.

ITEM	DESCRIPCION	Actividades de cadena crítica	Actividades de cadena de alimentacion
1	MODERNIZACION DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE PISCO		
2	INICIO		
3	ESTRUCTURAS		
4	OBRAS PROVISIONALES	CC	
5	TRABAJOS PRELIMINARES	CC	
6	MOVIMIENTO DE TIERRAS	CC	
7	OBRAS DE CONCRETO SIMPLE	CC	
8	OBRAS DE CONCRETO ARMADO	CC	
9	ESTRUCTURA METALICA		CA
10	PAVIMENTOS		CA
11	ARQUITECTURA		
12	MUROS Y TABIQUES DE ALBAÑILERIA Y TABIQUERIA LIVIANA	CC	
13	REVOQUES Y ENLUCIDOS	CC	
14	PISOS Y PAVIMENTOS	CC	
15	VEREDAS Y SARDINELES		CA
16	CONTRAZOCALO Y ZOCALOS	CC	
17	COBERTURAS		CA
18	CARPINTERIA DE MADERA	CC	
19	CARPINTERIA DE ALUMINIO/METALICA/CERRAJERIA	CC	
20	VIDRIOS	CC	
21	PINTURA	CC	
22	APARATOS Y ACCESORIOS SANITARIOS		CA
23	ELECTRICAS		
24	CASSETAS EXTERIORES Y OTROS		CA
25	REDES EXTERIORES		CA
26	INSTALACIONES ELECTRICAS INTERIORES		CA
27	SANITARIAS		
28	RED DE AGUA FRIA		
29	INSTALACION DE TUBERIA/VALVULAS Y EQUIPOS		CA
30	RED DE DESAGUE		
31	INSTALACION DE TUBERIA/REGISTROS Y SUMIDEROS		CA
32	ILUMINACION		CA
33	CABLEADO ESTRUCTURADO		CA
34	SISTEMA DE SEGURIDAD Y PROTECCION CONTRA INCENDIOS		CA
35	ACUSTICA ARQUITECTONICA	CC	
36	AIRE ACONDICIONADO Y VENTILACION MECANICA		CA
37	SISTEMA DE GAS		CA
38	TODAS LAS ACTIVIDADES ESTAN TERMINADAS		

Figura N° 28 Identificación de actividades de cadena crítica y cadena de alimentación (El autor)

21 TOCICO Edición 2012

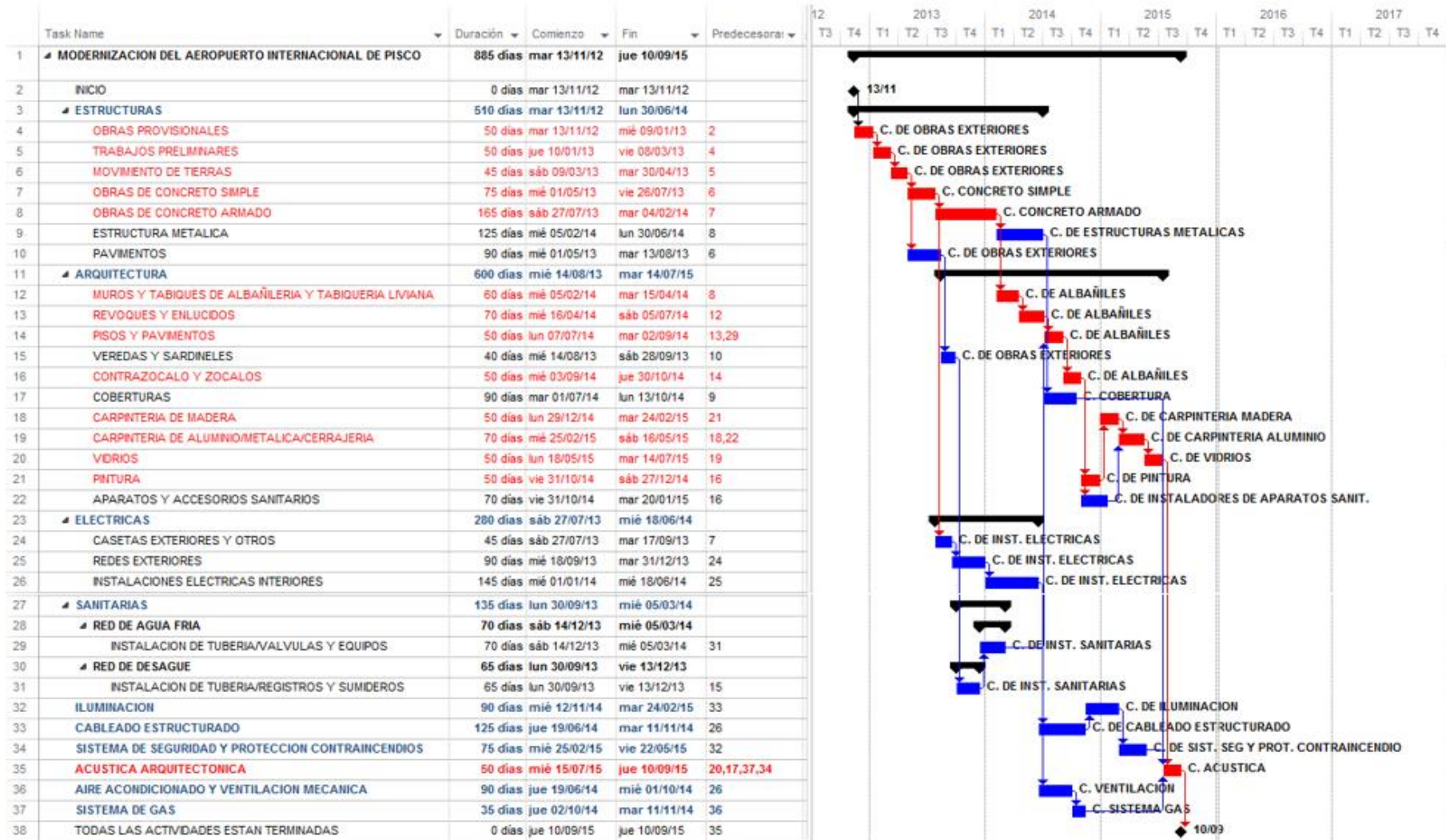


Figura N° 29 Identificación de la cadena crítica con recursos nivelados (El autor)

6.4.3 Amortiguar la finalización del proyecto

El buffer o amortiguador del proyecto “es un tiempo puesto al final del proyecto que los protege de las variaciones que puede requerir el completar las tareas de cadena crítica”.²²

Dado que las estimaciones que traemos son de baja probabilidad de cumplimiento y sabemos que podemos reducir pero no eliminar los imprevistos e incertidumbres sería suicida una metodología que no los tuviera en cuenta.

Buffer de proyecto = sumatoria duración de las tareas de cadena crítica / 2

DESCRIPCION	ACTIVIDADES DE CADENA CRITICA	DURACION (Dias)	
MODERNIZACION DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE PISCO			
OBRAS PROVISIONALES	CC	50	
TRABAJOS PRELIMINARES	CC	50	
MOVIMIENTO DE TIERRAS	CC	45	
OBRAS DE CONCRETO SIMPLE	CC	75	
OBRAS DE CONCRETO ARMADO	CC	165	
MUROS Y TABIQUES DE ALBAÑILERIA Y TABIQUERIA LIVIANA	CC	60	
REVOQUES Y ENLUCIDOS	CC	70	
PISOS Y PAVIMENTOS	CC	50	
CONTRAZOCALO Y ZOCALOS	CC	50	
CARPINTERIA DE MADERA	CC	50	
CARPINTERIA DE ALUMINIO/METALICA/CERRAJERIA	CC	70	
VIDRIOS	CC	50	
PINTURA	CC	50	
ACUSTICA ARQUITECTONICA	CC	50	
SUMATORIA DE ACTIVIDADES DE CADENA CRITICA (A)		885	
DURACION DE BUFFER DE PROYECTO (A/2)		442.5	443 DIAS

Figura N° 30 Amortiguador de proyecto – Project buffer (El autor)

La duración del buffer de proyecto se inserta al final, protegiendo la fecha de finalización del proyecto.

A nuestro buffer de proyecto lo denominaremos PB (Project Buffer) Todas las actividades están terminadas.

Ahora nuestra duración total de proyecto será igual a:

885 días + 443 días = 1, 328 días

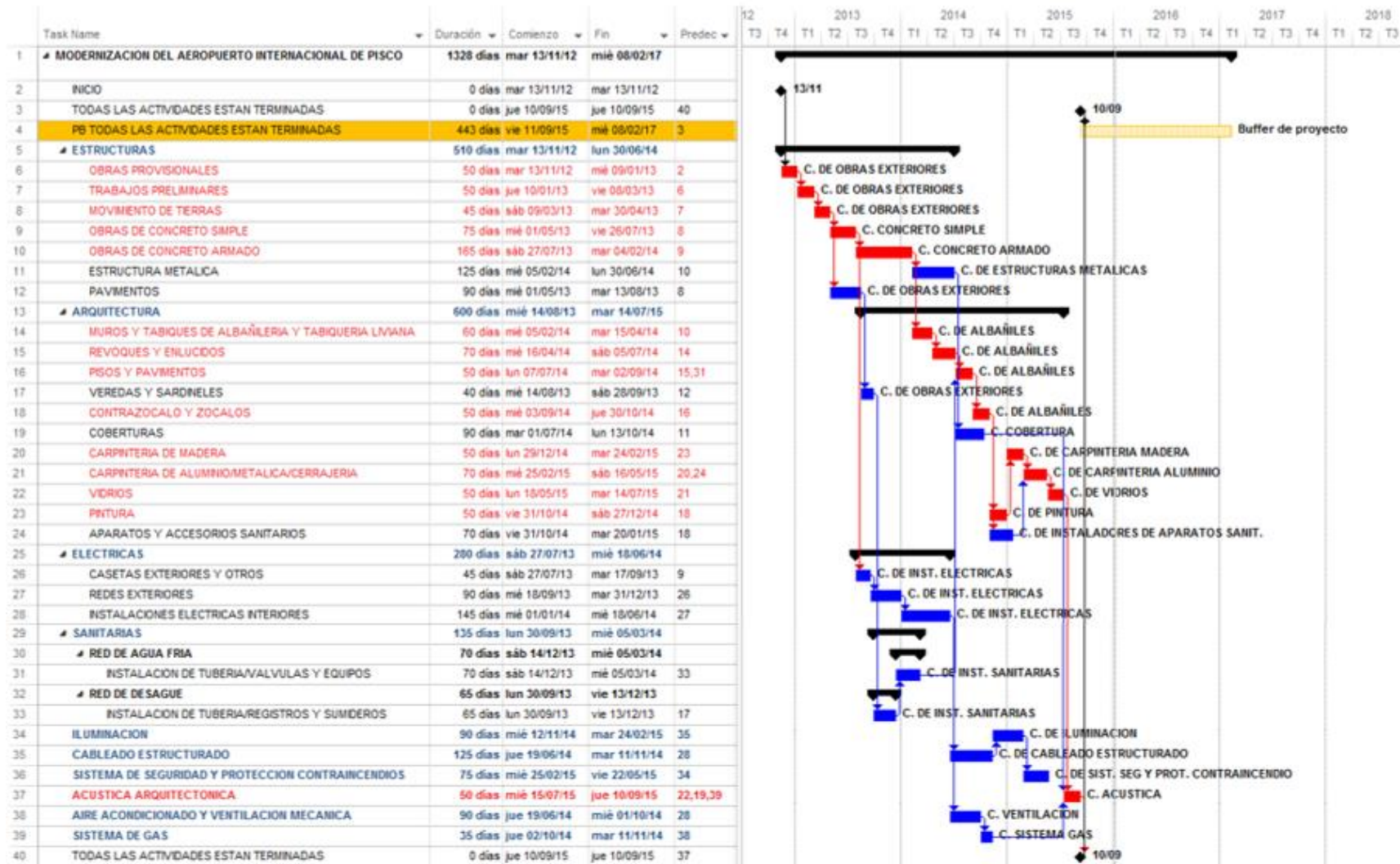


Figura N° 31 Colocación de buffer de proyecto – color dorado (El autor)

6.4.4 Añadir los buffers de alimentación

Los tampones también se aplican a las cadenas de alimentación del proyecto. Una vez más el tampón tiene una duración de medio de tiempo de finalización del proceso subyacente.

Como hicimos con el buffer de proyecto, comenzaremos dimensionando esta protección con una duración igual a la mitad de la suma de los estimados que integran cada cadena lateral.

En el proyecto tenemos 5 cadenas laterales, por lo tanto tendremos 5 buffers de alimentación.

DESCRIPCION	Actividades de cadena de alimentacion	DURACION (Dias)		actividad critica sucesora
MODERNIZACION DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE PISCO				
ESTRUCTURA METALICA	CA	125		
COBERTURAS	CA	90		
SUMATORIA DE ACTIVIDADES DE BUFFER DE ALIMENTACION 1(A)		215		
DURACION DE BUFFER (A/2)		107.5	108 DIAS	ACUSTICA ARQUITECTONICA
APARATOS Y ACCESORIOS SANITARIOS	CA	70		
SUMATORIA DE ACTIVIDADES DE BUFFER DE ALIMENTACION 2(A)		70		
DURACION DE BUFFER (A/2)		35	35 DIAS	ACUSTICA ARQUITECTONICA
PAVIMENTOS	CA	90		
VEREDAS Y SARDINELES	CA	40		
INSTALACION DE TUBERIA/VALVULAS Y EQUIPOS	CA	70		
INSTALACION DE TUBERIA/REGISTROS Y SUMIDERS	CA	65		
SUMATORIA DE ACTIVIDADES DE BUFFER DE ALIMENTACION 3(A)		265		
DURACION DE BUFFER (A/2)		132.5	133 DIAS	PISOS Y PAVIMENTOS
CASSETAS EXTERIORES Y OTROS	CA	45		
REDES EXTERIORES	CA	90		
INSTALACIONES ELECTRICAS INTERIORES	CA	145		
AIRE ACONDICIONADO Y VENTILACION MECANICA	CA	90		
SISTEMA DE GAS	CA	35		
SUMATORIA DE ACTIVIDADES DE BUFFER DE ALIMENTACION 4(A)		405		
DURACION DE BUFFER (A/2)		202.5	203 DIAS	ACUSTICA ARQUITECTONICA
ILUMINACION	CA	90		
CABLEADO ESTRUCTURADO	CA	125		
SISTEMA DE SEGURIDAD Y PROTECCION CONTRA INCENDIOS	CA	75		
SUMATORIA DE ACTIVIDADES DE BUFFER DE ALIMENTACION 5(A)		290		
DURACION DE BUFFER (A/2)		145	145 DIAS	ACUSTICA ARQUITECTONICA

Figura N° 32 Amortiguador de alimentación – Feeding buffer (El autor)

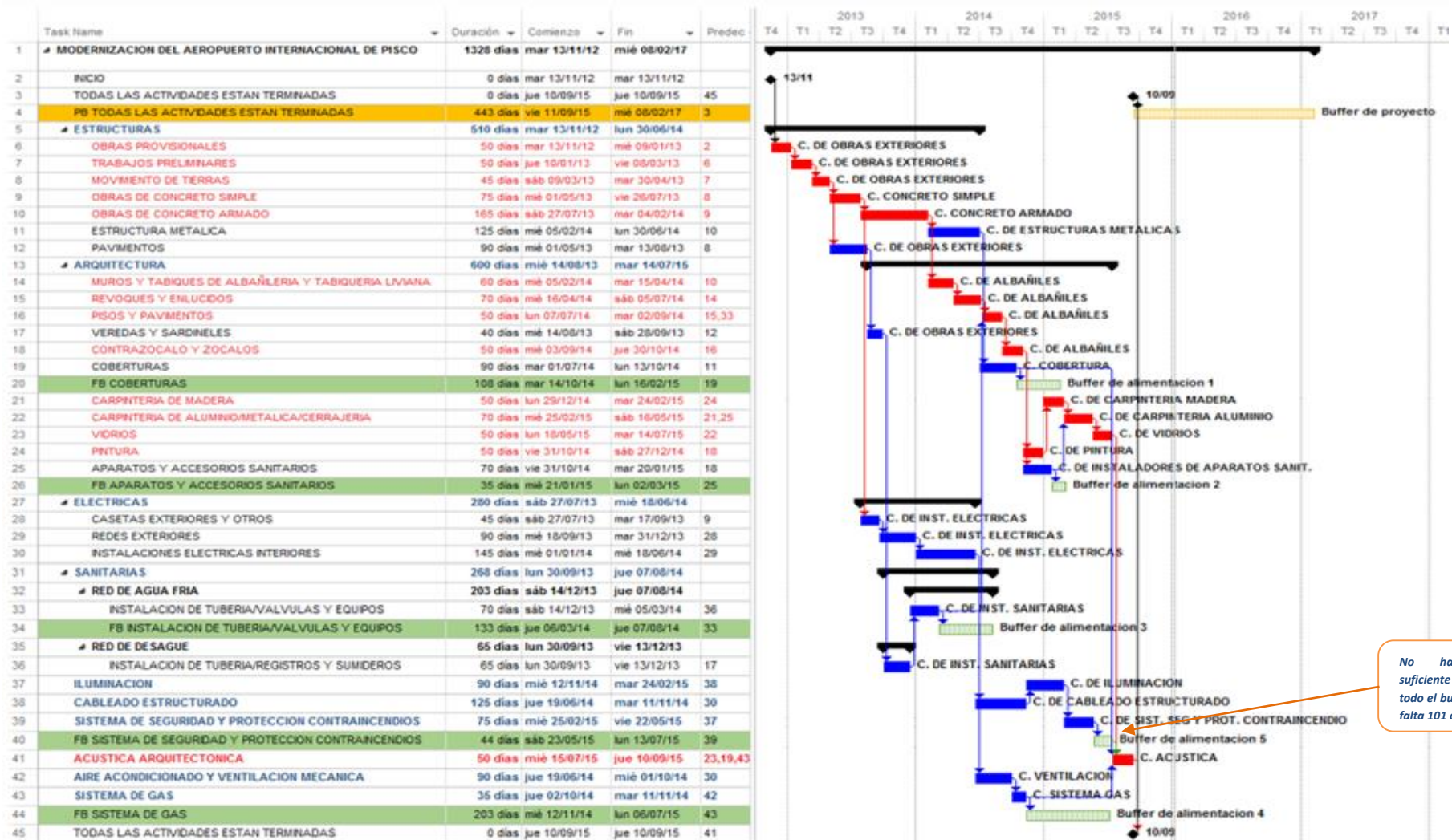


Figura N° 33 Colocación de buffer de alimentación – color verde (El autor)

En la figura anterior se ha insertado cada buffer de alimentación entre la última tarea de la cadena lateral y la tarea clave a la que se alimenta.

Tenemos a los siguientes buffer de alimentación con sus duraciones:

FB COBERTURAS	108 días
FB APARATOS Y ACCESORIOS SANITARIOS	35 días
FB INSTALACIÓN DE TUBER. /VÁLVULAS Y EQUIPOS	133 días
FB SISTEMA DE SEG.Y PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS	145 días
FB SISTEMA DE GAS	203 días

En el caso de FB SISTEMA DE SEGURIDAD Y PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS 145 días, no tenemos espacio suficiente para la inserción total del buffer, o sea que entre la terminación de la última tarea de la cadena lateral y el inicio de la tarea clave hay un tiempo mayor de la duración de la protección en los demás buffers de alimentación, en cambio en este no ocurre lo mismo.

Bianchi considera, que la mejor solución tanto practica como conceptual es insertar la cantidad de protección posible y agregar la diferencia a la protección global del proyecto.

En este caso tenemos un buffer de 145 días, 44 días se puede insertar los 101 días restantes serán sumados a nuestro buffer de proyecto que daría:

Buffer de proyecto = 443 + 101 = 544 días.

Esta manera de resolver la inserción de los buffers de alimentación tiene en cuenta dos aspectos centrales: la continuidad de las tareas claves y el proyecto como un todo.

Podríamos haber pensado en dejar un hueco en la cadena crítica, elegir este camino es un error conceptual que influirá mucho en la ejecución de las tareas.

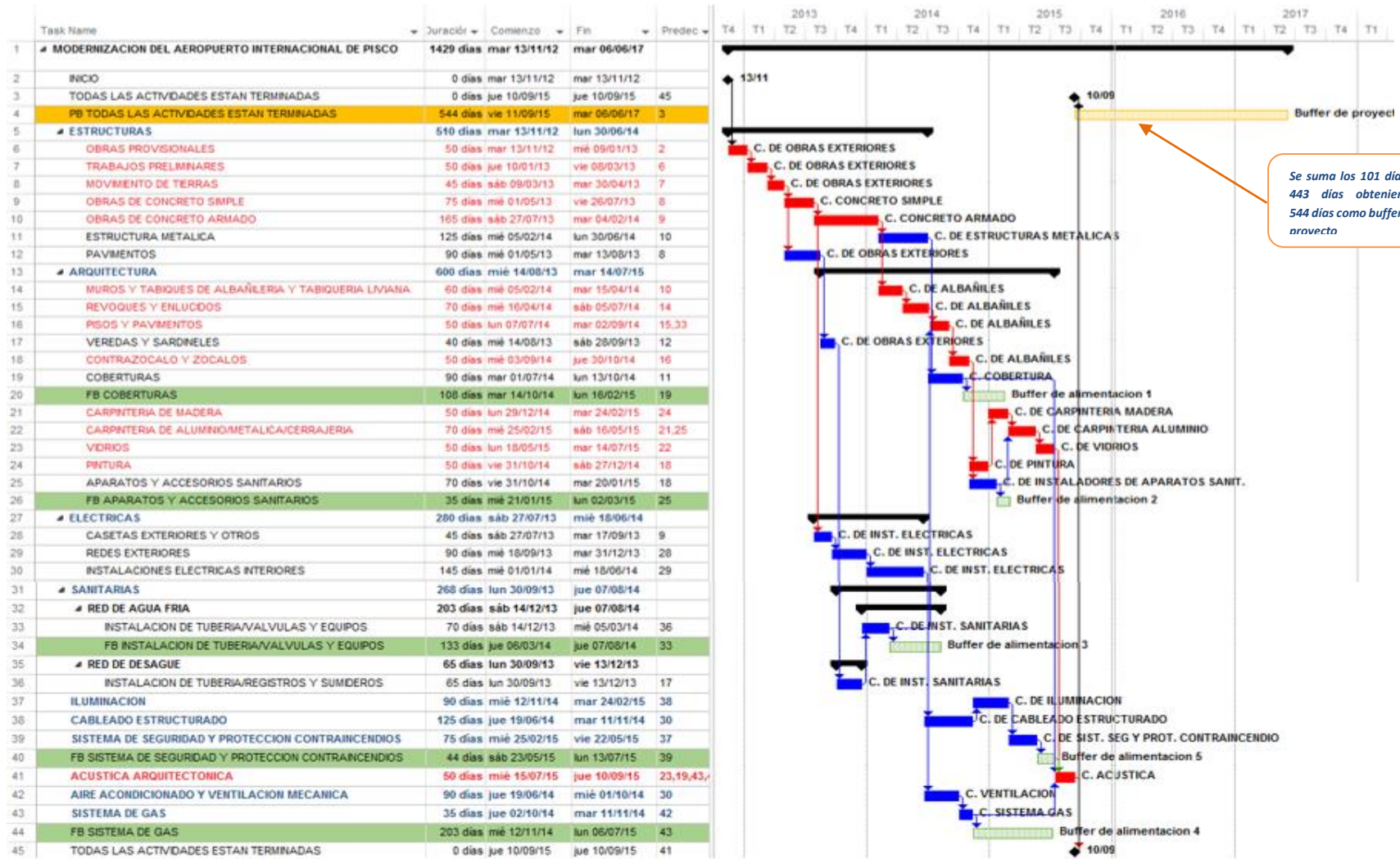


Figura N° 34 Duración total del proyecto con aplicación de la metodología de cadena crítica (El autor)

La duración del proyecto: Hemos llegado a la versión del cronograma realizado con el uso de la metodología de cadena crítica.

La duración es de 1429 días. La duración obtenida con la ruta crítica o camino crítico inicial fue de 1560 días.

Bianchi indica: *“No es posible determinar matemáticamente la mejora para la globalidad de los casos, pero si podemos afirmar que en la gran mayoría de los proyectos la duración que se obtiene con la metodología de cadena crítica es menor que el camino crítico”.*

La gestión de buffers: Las protecciones están para ser usadas. El objetivo es terminar el proyecto en la fecha prometida y para eso podemos utilizar hasta el 100% de la protección. Lo que es necesario saber es si el consumo es adecuado o no para lograr el objetivo.

6.4.5 LOS INDICADORES DE CADENA CRITICA – GRAFICO DE TEMPERATURA

Retomemos el cronograma de partida y vamos a simular una posible realidad de ejecución.

Día 0:

En los días previos al inicio de la ejecución, el gerente de proyecto debe asegurarse de que los recursos de la actividad de inicio estén presentes para comenzar a toda máquina, así como todos los insumos de soporte que este necesite.

Día 1, 2, 3... 30:

Supongamos que la tarea en ejecución no ha sido terminada. Recordemos que solo tenemos dos estados para la tarea: está o no está terminada.

1er reporte de la situación del proyecto

Han transcurrido 30 días y queremos hacer un reporte del estado de proyecto. Ya veremos cómo determinar cuándo es necesario hacer estos reportes. La respuesta a esto es que no deberá ser con frecuencia como habitualmente lo hacen.

Para la evaluación de los indicadores nos será útil tener siempre presente dos números:

- La longitud de la cadena crítica, en este caso es de 885 días
- La longitud del buffer de proyecto, en este caso es de $544-101=443$ días, recordemos que los 101 días son los que corresponde al buffer de alimentación 5.

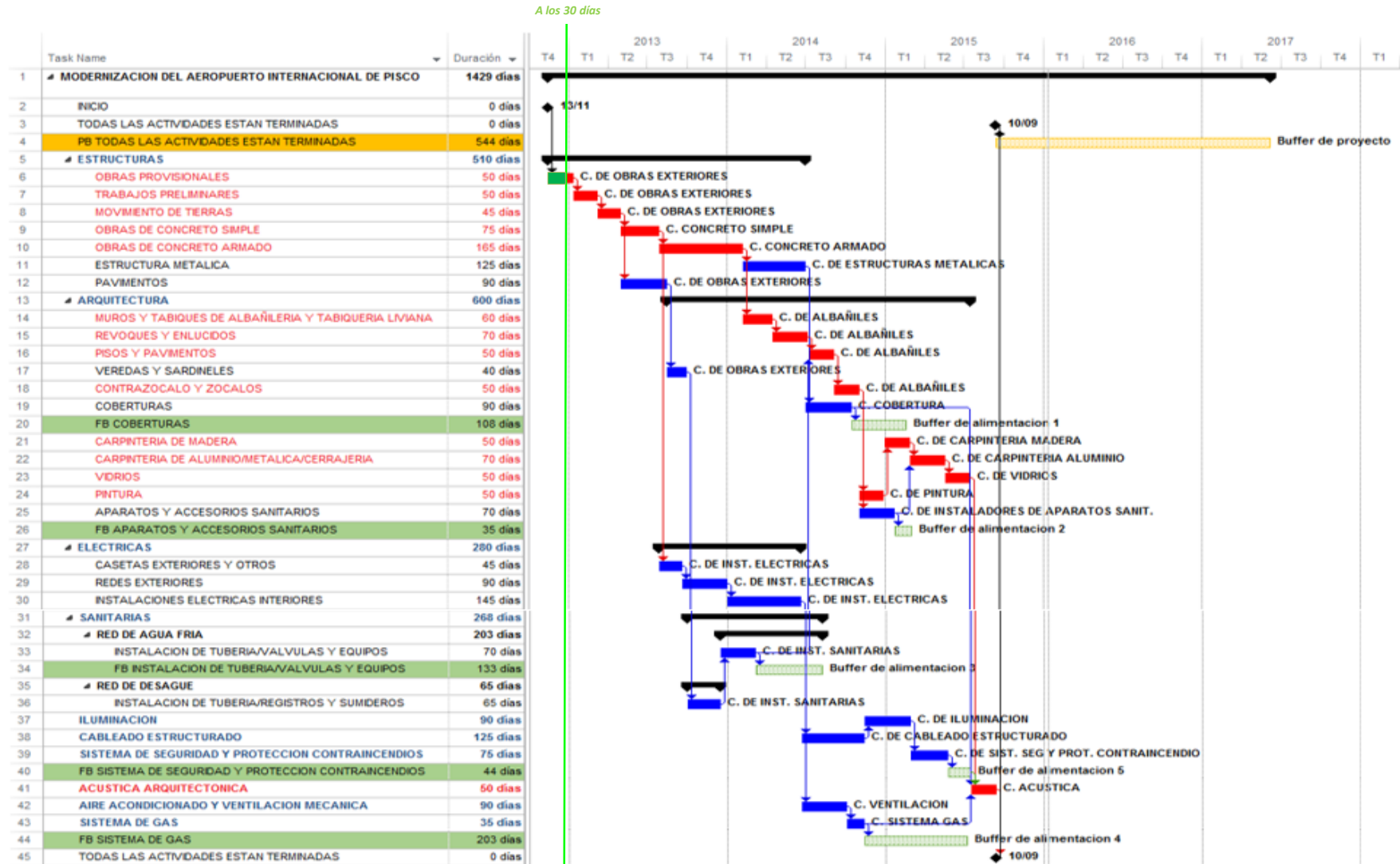


Figura N° 35 Cronograma del ejemplo integrador, avance a los 30 días (El autor)

Indicador 1: Cadena critica terminada = $0/885 = 0\%$

No hemos terminado la tarea obras provisionales. Es cierto que se está trabajando y muy bien, pero no ha sido terminada, por lo que el progreso en la cadena critica es de cero.

Indicador 2: Consumo de buffer de proyecto = $0/443 = 0\%$

La tarea se encuentra dentro de la estimación agresiva de 50 días, por lo que podemos acordar que aún no ha consumido protección del proyecto.

Veamos la fecha donde está el proyecto en la gráfica de la temperatura:

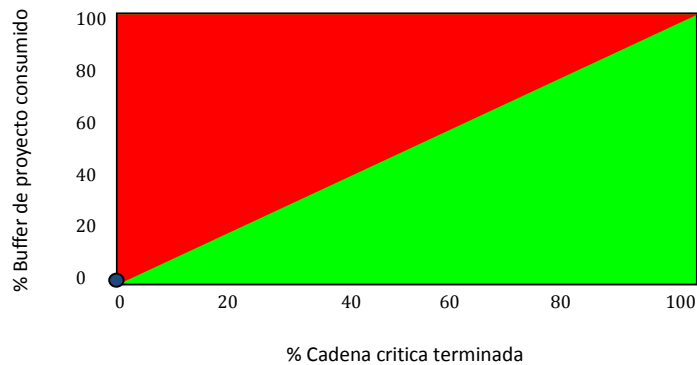


Figura N° 36 Grafica de temperatura a los 30 días (El autor)

La conclusión es que el proyecto está bajo control y no debemos tomar ninguna acción extraordinaria.

Día 60:

La tarea “obras provisionales” no ha terminado. No hay inconvenientes y se está desarrollando a buen ritmo.

El cronograma actualizado es el siguiente:

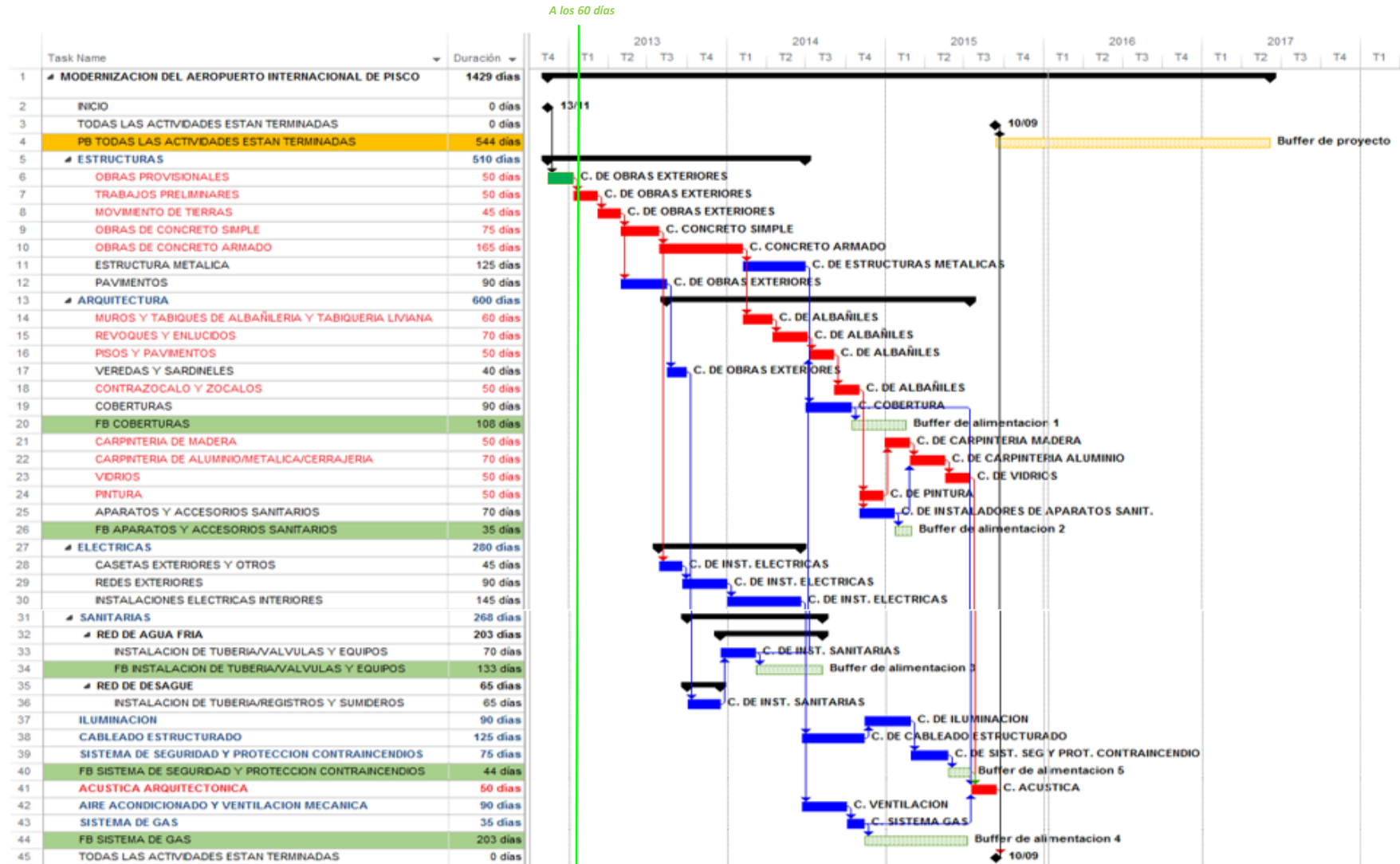


Figura N° 37 Cronograma del ejemplo integrador, avance a los 60 días (El autor)

Indicador 1: Cadena crítica terminada = $0/885 = 0\%$

No hemos terminado la tarea “obras provisionales”. Por lo que el progreso de la cadena crítica sigue siendo cero.

Indicador 2: Consumo de buffer de proyecto = $10/443 = 2.3\%$

Sabemos con certeza que en el día 60 la tarea “obras provisionales” no estará terminada. Como su estimación agresiva fue de 50 días, podemos acordar que ha consumido 10 días de la protección del proyecto.

Veamos donde queda en la gráfica de la temperatura:

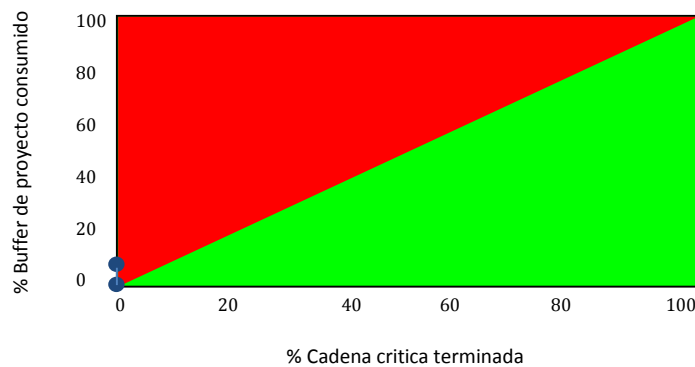


Figura N° 38 Grafica de temperatura a los 60 días (El autor)

El proyecto sigue estando bajo control, pero debemos tomar una acción para regresarlo a la zona verde. Como conocemos el detalle de la tarea, no nos resultara muy difícil establecer que acciones tomar para aumentar la velocidad de ejecución. No estamos atrasados, no necesitamos ni reprogramar ni avisar que estaremos fuera de fecha prometida. Solamente necesitamos tomar una acción para que el ritmo de terminación de las tareas de cadena crítica sea mayor o igual al consumo del buffer de proyecto.

Día 90:

La tarea “obras provisionales” ha terminado. Ha comenzado la siguiente tarea de cadena crítica a buen ritmo. El gerente de proyecto se debe haber asegurado de que se haya pasado de una tarea a la siguiente sin pérdidas de tiempo. Recordemos que uno de sus trabajos es preparar la siguiente tarea. El cronograma actualizado es el siguiente:

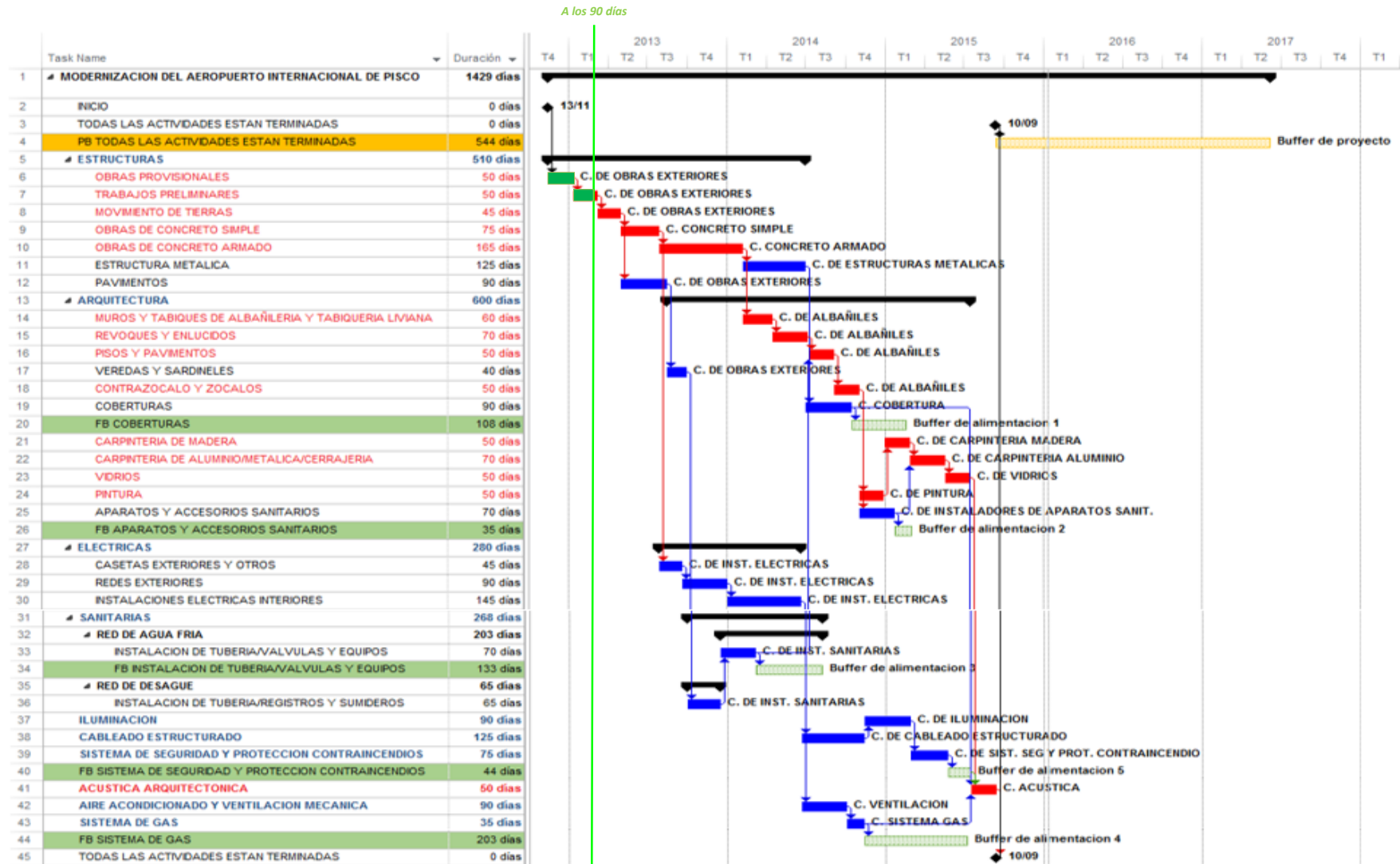


Figura N° 39 Cronograma del ejemplo integrador, avance a los 90 días (El autor)

El valor de los indicadores es el siguiente:

Indicador 1: Cadena critica terminada = $50/885 = 5.7\%$

Hemos terminado la primera tarea del conjunto y por lo tanto se puede contabilizar como progreso efectivo. Los días colocados en el numerador es la estimación agresiva no la que llevo realmente.

Indicador 2: Consumo de buffer de proyecto = $15/443 = 3.4\%$

Se utilizaron 15 días de protección, ya que la tarea “obras provisionales” llevo 65 días en vez de la estimación agresiva de 50 días (inicio el día 1 y terminó el día 65)

Veamos donde queda en la gráfica de la temperatura:

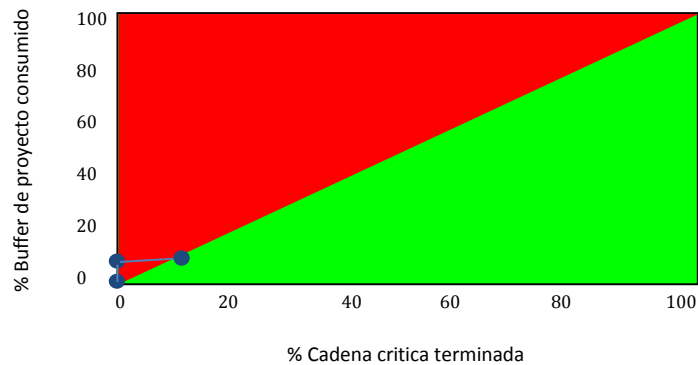


Figura N° 40 Grafica de temperatura a los 90 días (El autor)

La conclusión es que el proyecto está bajo control tenemos que asegurarnos de hacer lo siguiente:

- No molestar, no presionar, no tomar acciones extraordinarias.
- Mantener el foco en la tarea en ejecución de la cadena critica (apoyo y colaboración diaria)
- Facilitarle el trabajo al resto de los recursos. Recordarles que su obligación es trabajar según el esfuerzo acordado y que ni bien se presente un obstáculo lo deben informar. Es tarea del gerente de proyecto resolverlos ni bien se presenten.

- Ayudar al pasaje de postas entre tareas. Ir avisándole y poniendo tanto a los recursos de las siguientes tareas sobre su próximo inicio.

De este modo se ira realizando la revisión del valor de indicadores en nuestro grafico de temperatura.

VII. CONCLUSIONES

1. La aplicación de la metodología de cadena crítica en gestión de proyectos de construcción. Caso de estudio: Obra “Modernización del Aeropuerto Internacional de Pisco”, permitió administrar y planificar correctamente el proyecto.
2. La aplicación de la metodología de cadena crítica es importante porque provee una poderosa herramienta que reduce drásticamente el tiempo de culminación de proyectos.
3. La aplicación de la metodología de cadena crítica se basa en el uso de amortiguadores o buffers de tiempo quienes funcionan como protección frente a los problemas que se puedan presentar.
4. Para el manejo adecuado de la incertidumbre y variabilidad la metodología de cadena crítica ubica en la red de procesos del proyecto amortiguadores o buffers de tiempo.
5. La metodología de cadena crítica permite tener un adecuado control y seguimiento sin la necesidad de tener muchos indicadores.

VIII. RECOMENDACIONES

1. Utilizar la metodología de cadena crítica para obtener proyectos exitosos.
2. Aplicar de la metodología de cadena crítica para la reducción de plazos en proyectos.
3. Utilizar amortiguadores o buffers de tiempo para proteger el proyecto.
4. Desarrollar la aplicación de la metodología para el manejo de la incertidumbre y variabilidad.
5. Realizar el control y seguimiento de los proyectos mediante indicadores que provee la metodología de cadena crítica.

IX. FUENTES DE INFORMACION

- GOLDRATT Eliyahu M. **Cadena Crítica**. Ediciones Díaz de Santos, S.A. Madrid España. (2001)
- GOLDRATT Eliyahu M. y COX Jeff. **La Meta**. Ediciones Castillo S.A. Monterrey México. (1997)
- BIANCHI Raúl. Cadena de esfuerzos eficientes. Editorial manosanta desarrollo. Montevideo Uruguay. (2013)
- NEWBOLD Robert C. y LYNCH Bill. **The Project Manifesto**. Ediciones Copyright by Prochain Solutions, Inc. Estados Unidos de América. (2014)
- NEWBOLD Robert C. **The Billion Dollar Solution**. Ediciones Copyright by Prochain Solutions, Inc. Estados Unidos de América. (2008)
- PALACIO Londoño, Carlos. **Cadena crítica de Eliyahu Goldratt una aplicación práctica**. Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. Costa Rica. (2004).
- APAOLAZA Unai y ZUBILLAGA Aitor. **La aportación de la cadena crítica frente a la gestión clásica de proyectos**. IX Congreso de Ingeniería de organización. Mondragón España. (2005)

- APAOLAZA Unai y ZUBILLAGA Aitor. **Aplicación de la cadena critica al sector de la construcción: Un caso particular.** XI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. Mondragón España. (2005)
- GONZALEZ Carmen. **Análisis del método de la cadena critica. Viabilidad y conceptos.** Universidad Politécnica de Valencia. España. (2008)
- GOMEZ Luis y JIMENEZ Juan. **Gestión de proyectos con teoría de restricciones aplicada al área técnica de la compañía construcciones y servicios S.A.** Revista Soluciones de Posgrado. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Medellín. (2009)
- BIRRELL Matías y AREVALO Javier. **Olvidate de lo urgente.** Ediciones Copyright. Santiago de Chile. (2014)
- BUCHTIK Liliana. **Secrets To Mastering The WBS In Real – World Project.** Ediciones Project Management Institute. Estados Unidos de América. (2010)
-
- KERZNER Harold. **Project Management: A system approach to planning, scheduling and controlling.** Ediciones John Wiley & Sons. Estados Unidos de América. (2013)
-
- TOCICO. Theory of Constraints International Certification Organization (2012).
- Manual de participante. Goldratt's Satellite Program. Editorial International Institute for learning. Inc. (1999)
- Guía del PMBOK. Una guía para el conocimiento de la Dirección de Proyectos. 5ta edición. Project Management Institute. Inc. Estados Unidos de América. (2013)

- Páginas web visitadas: www.prochain.com; www.grupotruput.com; www.toc.tv; www.estrategiafocalizada.com

ANEXO N° 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO	PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES		
"Aplicación de la metodología de cadena crítica en gestión de proyectos de construcción. Caso de estudio: Obra "Modernización del Aeropuerto Internacional de Pisco".	¿De qué manera la aplicación de la metodología de cadena crítica influye en gestión de proyectos de construcción. Caso de estudio: Obra "Modernización del Aeropuerto Internacional de Pisco"?	OBJETIVO GENERAL	La aplicación de la metodología de cadena crítica influye positivamente en gestión de proyectos de construcción. Caso de estudio: Obra "Modernización del Aeropuerto Internacional de Pisco"	VARIABLE INDEPENDIENTE		
		Determinar la importancia de la aplicación de la metodología de cadena crítica en gestión de proyectos de construcción. Caso de estudio: Obra "Modernización del Aeropuerto Internacional de Pisco"		DIMENSION	INDICADOR	
				Gestión de proyectos de construcción. Caso de estudio: Obra Modernización del Aeropuerto Internacional de Pisco".	Conocimiento sobre gestión de proyectos de construcción de la Obra "Modernización del Aeropuerto Internacional de Pisco".	
		OBJETIVOS ESPECIFICOS		Comprender de la construcción de la Obra "Modernización del Aeropuerto Internacional de Pisco proyectos que existen.	VARIABLE DEPENDIENTE	
					DIMENSION	INDICADOR
		Presentar el uso de amortiguadores o buffers de tiempo mediante la aplicación de la metodología de cadena crítica en gestión de proyectos de construcción. Caso de estudio: Obra "Modernización del Aeropuerto Internacional de Pisco"		Aplicación de la metodología de cadena crítica	Conocimiento teórico de la metodología de cadena crítica.	
Demostrar el manejo adecuado de la incertidumbre y la variabilidad mediante la aplicación de la metodología de cadena crítica en gestión de proyectos de construcción. Caso de estudio: Obra "Modernización del Aeropuerto Internacional de Pisco"	Adopta patrones de estudio, para desarrollo y aplicación de la metodología de cadena crítica.					
Establecer indicadores de control y seguimiento mediante la aplicación de la metodología de cadena crítica en gestión de proyectos de construcción. Caso de estudio: Obra "Modernización del Aeropuerto Internacional de Pisco"						

ANEXO N° 02

TABLA DISTRIBUCION t STUDENT
Probabilidades acumuladas a diferentes grados de libertad

1 cola	0,005	0,01	0,015	0,02	0,025	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
2 colas	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
t	0,995	0,99	0,985	0,98	0,975	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5
1	63,66	31,82	21,20	15,89	12,71	6,31	3,08	1,96	1,38	1,00	0,73	0,51	0,32	0,16	0,00
2	9,92	6,96	5,64	4,85	4,30	2,92	1,89	1,39	1,06	0,82	0,62	0,44	0,29	0,14	0,00
3	5,84	4,54	3,90	3,48	3,18	2,35	1,64	1,25	0,98	0,76	0,58	0,42	0,28	0,14	0,00
4	4,60	3,75	3,30	3,00	2,78	2,13	1,53	1,19	0,94	0,74	0,57	0,41	0,27	0,13	0,00
5	4,03	3,36	3,00	2,76	2,57	2,02	1,48	1,16	0,92	0,73	0,56	0,41	0,27	0,13	0,00
6	3,71	3,14	2,83	2,61	2,45	1,94	1,44	1,13	0,91	0,72	0,55	0,40	0,26	0,13	0,00
7	3,50	3,00	2,71	2,52	2,36	1,89	1,41	1,12	0,90	0,71	0,55	0,40	0,26	0,13	0,00
8	3,36	2,90	2,63	2,45	2,31	1,86	1,40	1,11	0,89	0,71	0,55	0,40	0,26	0,13	0,00
9	3,25	2,82	2,57	2,40	2,26	1,83	1,38	1,10	0,88	0,70	0,54	0,40	0,26	0,13	0,00
10	3,17	2,76	2,53	2,36	2,23	1,81	1,37	1,09	0,88	0,70	0,54	0,40	0,26	0,13	0,00
11	3,11	2,72	2,49	2,33	2,20	1,80	1,36	1,09	0,88	0,70	0,54	0,40	0,26	0,13	0,00
12	3,05	2,68	2,46	2,30	2,18	1,78	1,36	1,08	0,87	0,70	0,54	0,39	0,26	0,13	0,00
13	3,01	2,65	2,44	2,28	2,16	1,77	1,35	1,08	0,87	0,69	0,54	0,39	0,26	0,13	0,00
14	2,98	2,62	2,41	2,26	2,14	1,76	1,35	1,08	0,87	0,69	0,54	0,39	0,26	0,13	0,00
15	2,95	2,60	2,40	2,25	2,13	1,75	1,34	1,07	0,87	0,69	0,54	0,39	0,26	0,13	0,00
16	2,92	2,58	2,38	2,24	2,12	1,75	1,34	1,07	0,86	0,69	0,54	0,39	0,26	0,13	0,00
17	2,90	2,57	2,37	2,22	2,11	1,74	1,33	1,07	0,86	0,69	0,53	0,39	0,26	0,13	0,00
18	2,88	2,55	2,36	2,21	2,10	1,73	1,33	1,07	0,86	0,69	0,53	0,39	0,26	0,13	0,00
19	2,86	2,54	2,35	2,20	2,09	1,73	1,33	1,07	0,86	0,69	0,53	0,39	0,26	0,13	0,00
20	2,85	2,53	2,34	2,20	2,09	1,72	1,33	1,06	0,86	0,69	0,53	0,39	0,26	0,13	0,00
21	2,83	2,52	2,33	2,19	2,08	1,72	1,32	1,06	0,86	0,69	0,53	0,39	0,26	0,13	0,00
22	2,82	2,51	2,32	2,18	2,07	1,72	1,32	1,06	0,86	0,69	0,53	0,39	0,26	0,13	0,00
23	2,81	2,50	2,31	2,18	2,07	1,71	1,32	1,06	0,86	0,69	0,53	0,39	0,26	0,13	0,00
24	2,80	2,49	2,31	2,17	2,06	1,71	1,32	1,06	0,86	0,68	0,53	0,39	0,26	0,13	0,00
25	2,79	2,49	2,30	2,17	2,06	1,71	1,32	1,06	0,86	0,68	0,53	0,39	0,26	0,13	0,00
26	2,78	2,48	2,30	2,16	2,06	1,71	1,31	1,06	0,86	0,68	0,53	0,39	0,26	0,13	0,00
27	2,77	2,47	2,29	2,16	2,05	1,70	1,31	1,06	0,86	0,68	0,53	0,39	0,26	0,13	0,00
28	2,76	2,47	2,29	2,15	2,05	1,70	1,31	1,06	0,85	0,68	0,53	0,39	0,26	0,13	0,00
29	2,76	2,46	2,28	2,15	2,05	1,70	1,31	1,06	0,85	0,68	0,53	0,39	0,26	0,13	0,00
30	2,75	2,46	2,28	2,15	2,04	1,70	1,31	1,05	0,85	0,68	0,53	0,39	0,26	0,13	0,00
40	2,70	2,42	2,25	2,12	2,02	1,68	1,30	1,05	0,85	0,68	0,53	0,39	0,26	0,13	0,00
50	2,68	2,40	2,23	2,11	2,01	1,68	1,30	1,05	0,85	0,68	0,53	0,39	0,25	0,13	0,00
100	2,63	2,36	2,20	2,08	1,98	1,66	1,29	1,04	0,85	0,68	0,53	0,39	0,25	0,13	0,00
200	2,60	2,35	2,19	2,07	1,97	1,65	1,29	1,04	0,84	0,68	0,53	0,39	0,25	0,13	0,00
300	2,59	2,34	2,18	2,06	1,97	1,65	1,28	1,04	0,84	0,68	0,52	0,39	0,25	0,13	0,00
400	2,59	2,34	2,18	2,06	1,97	1,65	1,28	1,04	0,84	0,68	0,52	0,39	0,25	0,13	0,00
1000	2,58	2,33	2,17	2,06	1,96	1,65	1,28	1,04	0,84	0,67	0,52	0,39	0,25	0,13	0,00
10000	2,58	2,33	2,17	2,05	1,96	1,65	1,28	1,04	0,84	0,67	0,52	0,39	0,25	0,13	0,00
100000	2,58	2,33	2,17	2,05	1,96	1,64	1,28	1,04	0,84	0,67	0,52	0,39	0,25	0,13	0,00
1000000	2,58	2,33	2,17	2,05	1,96	1,64	1,28	1,04	0,84	0,67	0,52	0,39	0,25	0,13	0,00

Hecha por M.Sc. Ing. Martín Matas
 Uso y distribución libre, favor mencionar al autor.
 Puede bajarla de internet en www.ingenieria-actual.com <universitarios>