

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**GESTIÓN Y CONTROL DE CAMBIOS CON INGENIERÍA DE
VALOR EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN**

TOMO I

TESIS

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

JORGE ALFREDO ROJAS RONDÁN

Lima- Perú

2013

Digitalizado por:

**Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse**

INDICE

RESUMEN	7
LISTA DE SÍMBOLOS	8
LISTA DE TABLAS	10
LISTA DE FIGURAS	13
INTRODUCCIÓN	15
CAPÍTULO I: GESTIÓN DE ALTERNATIVAS	17
1.1. GESTIÓN DE VALOR E INGENIERÍA DE VALOR	17
1.1.1. Conceptos básicos de valor	17
1.1.2. Gestión de valor	20
1.1.3. Ingeniería de valor	26
1.2. CONSTRUCTABILIDAD	28
1.2.1. Conceptos generales	28
1.2.2. Principios de constructabilidad	29
1.3. LEAN PROJECT DELIVERY SYSTEM	33
1.3.1. Conceptos generales	33
1.3.2. Las fases del LPDS	34
1.3.3. Características del LPDS	35
1.3.4. Estructuración del trabajo	36
1.3.5. Control de la producción	36
1.3.6. Definición del proyecto	38
1.3.7. Diseño Lean	40
1.3.8. Las otras fases	41
1.4. GESTIÓN DE ALTERNATIVAS	42
1.4.1. Métodos de decisión por análisis multiatributo para la evaluación de componentes de proyectos de construcción	44
CAPÍTULO II: CONTROL DE CAMBIOS	60
2.1. ASPECTOS GENERALES	60
2.1.1. Definición de cambios	60
2.1.2. Definición de control	61
2.1.3. Definición de control de cambios	61
2.1.4. Procedimientos y sistemas de control de cambios	63
2.2. TIPOS DE PROYECTOS Y MODALIDADES DE CONTRATACIÓN	65
2.2.1. Tipos de Proyectos según la estrategia de procura	65
2.2.2. Modalidades de contratación en proyectos	68

2.3.	CLASIFICACIÓN DE LOS ESTIMADOS DE COSTOS	69
2.3.1.	Metodología de clasificación	70
2.3.2.	Definiciones de las características de los estimados de costos	71
2.3.3.	Relaciones y variaciones de las características	73
2.3.4.	Matriz de los estimados de costos para la construcción	77
2.3.5.	Cálculo de la precisión del estimado	80
2.4.	ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO CIUDAD NUEVA FUERABAMBA	81
2.4.1.	Antecedentes del proyecto	81
2.4.2.	Ubicación y clima del proyecto	82
2.4.3.	Alcance del proyecto	82
2.4.4.	Características del tipo de proyecto	83
2.4.5.	Características del contrato	84
2.4.6.	Clases de estimados del proyecto	87
2.5.	PROCEDIMIENTO Y MÉTODOS DE ESTIMACIÓN	89
2.5.1.	Método determinístico de estimación de costos	89
2.5.2.	Método estocástico de estimación de costos	91
2.6.	ESTIMACIONES DEL SALDO	96
2.6.1.	Costo a la fecha	97
2.6.2.	Estimado del saldo	97
2.6.3.	Cambios en el proyecto	98
2.7.	ASPECTOS GENERALES DE LOS CAMBIOS	99
2.7.1.	Importancia de los cambios en los proyectos	99
2.7.2.	Definiciones generales	99
2.7.3.	Como manejar los cambios	102
2.8.	SISTEMA DE CONTROL DE CAMBIOS	104
2.9.	TREND	105
2.9.1.	Definición de Trend	106
2.9.2.	Ciclo de vida del Trend	106
2.9.3.	Categorías de Trends	107
2.9.4.	Proceso simplificado de aprobación de Trends	109
2.10.	POTENCIAL ORDEN DE CAMBIO Y ORDEN DE CAMBIO	112
2.10.1.	Proceso simplificado de aprobación de PCOs y COs	112
2.11.	PROCESO DE REUNIONES, REGISTRO DE INFORMACIÓN Y RESPONSABILIDADES	114

2.11.1.	Reunión semanal de Trend, PCO y CO	114
2.11.2.	Responsabilidad funcional de procesos	114
2.11.3.	Diagrama de registro de información	116
2.12.	APLICACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE CAMBIOS AL PROYECTO CIUDAD NUEVA FUERABAMBA	117
2.12.1.	Identificación de Trends, PCOs y DLBs	117
2.12.2.	Origen de las PCOs y ejemplos de estimados de Trends, PCOs y DLBs	118
2.12.3.	Registro de Cambios o LOG de cambios	120
2.12.4.	Flujogramas para el control de cambios	120
CAPÍTULO III: SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN Y CONTROL DE CAMBIOS		121
3.1.	IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS	121
3.1.1.	Aplicación de la constructabilidad y el Lean Design	122
3.1.2.	Identificación de alternativas para excavaciones profundas	126
3.2.	METODOLOGÍAS PARA EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	130
3.2.1.	Método de evaluación del costo	131
3.2.2.	Método de la ponderación lineal o scoring	134
3.2.3.	Método del proceso analítico jerárquico (AHP)	140
3.2.4.	Método del criterio no tradicional del capital invertido (NCIC)	143
3.3.	SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN Y CONTROL DE CAMBIOS	147
3.3.1.	Necesidad de la aplicación de SIGCC	148
3.3.2.	Propuesta de sistema integrado de gestión y control de cambios (SIGCC)	149
3.4.	APLICACIÓN DEL SIGCC AL PROYECTO NUEVA FUERABAMBA	152
3.4.1.	Formato de Trade Off propuesto	152
3.4.2.	Aplicación del formato Trade Off en el proyecto	154
CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN DEL SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN Y CONTROL DE CAMBIOS		158
4.1.	TÉCNICA DE VALOR GANADO (EVT)	159
4.1.1.	Definición de términos clave	159
4.1.2.	Medidas de rendimiento	160
4.1.3.	Proyecciones	162
4.2.	EVALUACIÓN DEL SIGCC CON LA TÉCNICA DE VALOR	163

	GANADO	
4.2.1.	Definición de términos clave	164
4.2.2.	Medidas de eficiencia	167
4.2.3.	Proyecciones y relación de valores	168
4.2.4.	Beneficios y evaluación del sistema integrado	169
4.3.	EVALUACIÓN DEL SIGCC AL PROYECTO NFB	175
4.3.1.	Aplicación a un caso teórico del proyecto NFB	175
4.3.2.	Evaluación del contrato de movimiento de tierras	188
4.3.3.	Evaluación del contrato de viviendas	190
4.3.4.	Gráficas de valor ganado	192
	CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	193
5.1.	CONCLUSIONES	193
5.2.	RECOMENDACIONES	196
	BIBLIOGRAFÍA	200
	ANEXOS	203

RESUMEN

En la presente Tesis se ha desarrollado una propuesta de Sistema Integrado de Gestión y Control de Cambios para proyectos de construcción. Esta propuesta se ha aplicado en diferentes proyectos de edificaciones entre los que resalta la construcción de la Ciudad Nueva Fuerabamba. Esta propuesta de sistema busca integrar la gestión de alternativas de valor con el control de cambios, para lo cual se ha desarrollado una serie de procedimientos y terminologías que permiten un control y análisis minucioso de los cambios a lo largo del ciclo de vida de un proyecto.

El proyecto Ciudad Nueva Fuerabamba es un proyecto fast track, por lo que se tuvo que definir una línea base muy difusa sobre la cual se realizarían una serie cambios conforme se vaya desarrollando la ingeniería y construcción. Esta línea base por tener una naturaleza tan dinámica exige la implementación de un sistema que permita controlar los cambios de tal forma que se pueda saber en todo momento cual es el estado del proyecto en avances, costos y plazos; así como poder estimar cuales son las proyecciones a fin de obra.

En cualquier proyecto la implementación de este sistema consiste en proponer y realizar cambios a la línea base con fines de reducir costos y plazos o mejorar el rendimiento y la calidad del producto. Por otro lado se busca minimizar los impactos negativos que podría generarse producto de un cambio que se hace necesario por una omisión en el alcance o por un error en las consideraciones iniciales de la línea base. En cualquiera de los dos casos se ha propuesto promover los cambios que nacen de un comparativo de alternativas, luego pasan a ser tendencias a futuro de un posible cambio que luego debe pasar a discusión de ambas partes para finalmente llegar a un acuerdo de cual será el impacto del cambio en la línea base. Por ello todos los cambios propuestos deberán significar que el costo del cambio es menor que el beneficio obtenido; y por otro lado que el cambio que es necesario será analizado para que su impacto negativo sea el menor posible.

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

AC	: Actual Cost o Costo Real
ACWP	: Actual Cost of Work Performed o Costo Real del Trabajo Realizado
AHP	: Analytical Hierarchy Process o Proceso de Análisis Jerárquico
B	: Budget o Presupuesto de la Línea Base
BAC	: Budget at Completion o Presupuesto proyectado a fin de obra
BCWP	: Budgeted Cost of Work Performed o Costo Presupuestado del Trabajo realizado
BCWS	: Budgeted Cost of Work Scheduled o Costo Presupuestado del Trabajo Programado
CC	: Cost Code o Código de Costo
CII	: Construction Industry Institute
CO	: Change Order u Orden de Cambio
EAC	: Estimate at Completion o Estimado a fin de Obra
ETC	: Estimate to Complete o Estimado del saldo
EV	: Earned Value o Valor Ganado
FAC	: Forecast at Completion o Predicción a fin de Obra
FTC	: Forecast to Complete o Predicción del Saldo
LB	: Línea Base
LCC	: Life Cycle Cost o Costo del Ciclo de Vida
LCI	: Lean Construction Institute
MADA	: Multiattribute Decision Analysis o Análisis de Decisión Múltiple Atributo
MODA	: Multiple Objective Decision Analysis o Análisis de Decisión Múltiple Objetivo
MPC	: Matrix of Pairwise Comparisons o Matriz de comparación de pares
NCIC	: Non - Traditional Capital Investment Criteria o Criterio No Tradicional del Capital Invertido
NFB	: Nueva Fuerabamba
PCO	: Potencial Change Order o Potencial Orden de Cambio
PMBOK	: Project Management Body of Knowledge

PMI	: Project Management Institute
PV	: Planned Value o Valor Planeado
SIGCC	: Sistema Integrado de Gestión y Control de Cambio
TB	: Trend Budget o Presupuesto de las Tendencias
TIR	: Tasa Interna de Retorno
TRD	: Trend o Tendencia
VAN	: Valor Actual Neto
WLC	: Whole Life Cost o Costo a lo largo de la Vida

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1	: Principales Clases de Métodos MADA	47
Tabla 1.2	: Atributos y sub atributos. ASTM, E06.25 y ASTM E06.81 y E06.25	48
Tabla 1.3	: Índices Aleatorios	53
Tabla 1.4	: Escala de Saaty	54
Tabla 2.1	: Matriz genérica de la clasificación de estimación de costos	71
Tabla 2.2	: Matriz de la clasificación de estimación de costos para la construcción	77
Tabla 2.3	: Parámetro de definición del alcance del proyecto. Categoría B	80
Tabla 2.4	: Parámetro de precio de suministro de materiales. Categoría C1	80
Tabla 2.5	: Parámetro de precio de instalación. Categoría C2	81
Tabla 2.6	: Principales Entregables del Proyecto NFB	83
Tabla 2.7	: Contratos del proyecto NFB	87
Tabla 2.8	: Estimado Clase 4 de los 12 contratos	88
Tabla 2.9	: Estimado Clase 2 de los 12 contratos	89
Tabla 2.10	: Estimado de Eliminación de material de derrumbe	90
Tabla 2.11	: Estimado de Instalación de Tubería HDPE	91
Tabla 2.12	: IP de MO para partidas críticas de viviendas proyecto NFB	95
Tabla 2.13	: IPs meta de MO partidas críticas de viviendas NFB	96
Tabla 2.14	: Fuentes de origen de Trends	109
Tabla 2.15	: Documentos que originan cambios	119
Tabla 2.16	: Documentos para sustento de cambios	120
Tabla 3.1	: Alternativas de estabilización de excavaciones profundas	128
Tabla 3.2	: Costos directos de alternativas	128
Tabla 3.3	: Plazos estimados totales de alternativas	128
Tabla 3.4	: Cumplimiento de requisitos para métodos MADA	129
Tabla 3.5	: Estimación de Costo mensual dependiente del plazo	129
Tabla 3.6	: Estimación de Costo Indirecto	130

Tabla 3.7	: Estimación de Costo total	130
Tabla 3.8	: Atributos económicos y no económicos	135
Tabla 3.9	: Alternativas de costos de alquiler de encofrado metálico	136
Tabla 3.10	: Alternativas de costos de encofrado (inc/madera y otros)	136
Tabla 3.11	: Resultados de análisis de costos	137
Tabla 3.12	: Ponderación de atributos con la escala de Saaty del 1 al 9	137
Tabla 3.13	: Escala verbal para comparación de atributos	138
Tabla 3.14	: Rating de satisfacción de atributos para cada alternativa	138
Tabla 3.15	: Ponderación de alternativas según atributos	139
Tabla 3.16	: Homologación y evaluación integral de alternativas	139
Tabla 3.17	: Estimados de alternativas en acero y concreto armado	144
Tabla 3.18	: Matriz de decisión por alternativas	145
Tabla 3.19	: Comparaciones respecto al peor caso compuesto	145
Tabla 3.20	: MPCs de las alternativas de concreto y acero	146
Tabla 3.21	: Vectores escalados de diferencias respecto al CWC	146
Tabla 3.22	: Análisis de Alternativas de aislamiento térmico en muros	155
Tabla 3.23	: Análisis de Alternativas de aislamiento térmico en terrazas	156
Tabla 4.1	: Listado de Contratos del Proyecto NFB	178
Tabla 4.2	: Lista de Facility/Subfacility/Frente del Proyecto NFB	180
Tabla 4.3	: Lista de Disciplinas del Proyecto NFB	180
Tabla 4.4	: Lista de Commodities del Proyecto NFB	181
Tabla 4.5	: Proceso de Cálculo del BAC para J-300-RE-TER	183
Tabla 4.6	: Proceso de Cálculo del TB para J-300-RE-TER	184
Tabla 4.7	: Proceso de Cálculo del ETC para J-300-RE-TER	185
Tabla 4.8	: Precisión del Cálculo ETC para J-300-RE-TER	186
Tabla 4.9	: Proceso de Cálculo del FTC para J-300-RE-TER	187
Tabla 4.10	: Consolidación de valores para J-300-RE-TER	188
Tabla 4.11	: Componentes del Valor Ganado de Movimiento de Tierras	189

Tabla 4.12 : Indicadores e índices de gestión de Movimiento de Tierras	190
Tabla 4.13 : Componentes del Valor Ganado de Viviendas	191
Tabla 4.14 : Indicadores e índices de gestión de viviendas	192

LISTA DE FIGURAS

Fig.1.1	: Sistema de valor del cliente	19
Fig.1.2	: Modelo genérico del proceso Gestión de Valor	21
Fig.1.3	: El Proceso de Gestión de Valor	22
Fig.1.4	: La palanca de la calidad	23
Fig.1.5	: La palanca del valor	24
Fig.1.6	: Oportunidades de Gestión de valor	25
Fig.1.7	: Estrategia de impacto en el proyecto	27
Fig.1.8	: Constructabilidad en etapas del proyecto	33
Fig.1.9	: Lean Project Delivery System LPDS	34
Fig.1.10	: Proceso de la fase de Definición del Proyecto	38
Fig.1.11	: Herramienta QFD	40
Fig.1.12	: Pasos Lean Design	41
Fig.1.13	: Selección de Insumo para un proyecto de Edificaciones	43
Fig.1.14	: Jerarquía de selección del mejor edificio	49
Fig.1.15	: Jerarquía de selección del mejor componente del edificio	49
Fig.1.16	: Jerarquía de selección del mejor material del edificio	50
Fig.1.17	: Jerarquía de selección de la mejor locación del edificio	50
Fig.1.18	: Jerarquía de atributos y subatributos	58
Fig.2.1	: Diagrama de Flujo de Control de Ordenes de Cambio	64
Fig.2.2	: Tendencias de IPs acumulados	95
Fig.2.3	: Estimado del Saldo y estimado proyectado a fin de obra	96
Fig.2.4	: Componentes del estimado del saldo	97
Fig.2.5	: Cambios a lo largo de un proyecto	98
Fig.2.6	: Proceso contractual de Cambios. Como manejar los cambios	104
Fig.2.7	: Sistema de Control de Cambios Proyecto NFB	104
Fig.2.8	: Identificación de Trends	110
Fig.2.9	: Árbol de registro de información	116
Fig.3.1	: Esquema con cimientos corridos para profundidad 1.50m	132
Fig.3.2	: Esquema con platea armada para profundidad 1.50m	132
Fig.3.3	: Esquema con platea no armada para profundidad 1.50m	133
Fig.3.4	: Gráfica para cimentación Techo Propio de 8 pisos TP850	133
Fig.3.5	: Gráfica para cimentación Techo Propio de 12 pisos	134

TP1250		
Fig.3.6	: Esquema General de Jerarquías	141
Fig.3.7	: Matriz de decisión de 3x4	141
Fig.3.8	: Cálculo del Vector de Prioridad Global	142
Fig.3.9	: Prioridad de atributos de selección y score de alternativas	142
Fig.3.10	: Gráfica de sensibilidad de alternativas respecto los criterios	143
Fig.3.11	: Esquema de jerarquías para selección de sistema	144
Fig.3.12	: Gráfica de diferencias de valores totales implicados	147
Fig.3.13	: Esquema de Procesos de la etapa de Trade Off	151
Fig.3.14	: Modelos a escala de fibrablock y tecnopor D18	155
Fig.3.15	: Alternativas de aislamiento con EMMEDUE y tecnopor	156
Fig.3.16	: Alternativas con ladrillo pastelero y sin aislamiento	157
Fig.4.1	: Curva de valor ganado tradicional en la gestión de costos	163
Fig.4.2	: Curva de valor ganado modificado para la gestión de cambios	169
Fig.4.3	: Análisis del control de los cambios en el margen del contratista	170
Fig.4.4	: Ahorro debido a cambios con ingeniería de valor	171
Fig.4.5	: Costos a la fecha con $CPI < 1$ y $SPI < 1$	172
Fig.4.6	: Costos a la fecha con $CPI < 1$ y $SPI > 1$	173
Fig.4.7	: Costos a la fecha con $CPI > 1$ y $SPI < 1$	173
Fig.4.8	: Costos a la fecha con $CPI > 1$ y $SPI < 1$	174
Fig.4.9	: WBS de construcción del proyecto Nueva Fuerabamba	177
Fig.4.10	: Gráfica de CPI-SPI Bulleye	192

INTRODUCCIÓN

La presente tesis de pre-grado es una propuesta desarrollada en base a la experiencia adquirida en diferentes proyectos de edificaciones. Sin embargo su aplicabilidad puede extenderse a cualquier tipo de proyecto de construcción.

Está tesis es de especial interés para todo aquel que está involucrado en la gestión de proyectos y específicamente en la ingeniería de costos. En esta tesis se tratan temas de interés como la optimización de los diseños con ingeniería de valor y la correcta evaluación de alternativas. Así como también las buenas prácticas para llevar un control de avances y costos para un proyecto que presenta muchos cambios de alcance, lo cual lo hace ideal para proyectos tipo fast track.

El principal objetivo de esta tesis es proponer un sistema que permita generar cambios con ingeniería de valor y llevar un correcto control de los cambios que se realizan a una línea base que se entiende que debe ser dinámica.

En el primer capítulo, se desarrolla el marco teórico en el que se ha basado toda la metodología propuesta para implementar el sistema integrado de gestión y control de cambios en cualquier proyecto de construcción. Entre las principales teorías en las que se basa el sistema propuesto se encuentran el Diseño Sin Pérdidas; la constructabilidad; la gestión y la ingeniería de valor; y la teoría decisiones.

En el segundo capítulo se ha desarrollado toda la teoría para el control de cambios y su aplicación en el proyecto Nueva Fuerabamba. Además se presentan la metodología y procedimientos recomendados para implementar el sistema en otros proyectos. En este capítulo se presenta el ciclo de vida de los cambios en un proyecto durante su proceso de evaluación y aprobación. También se hacen importantes definiciones de términos que podrían servir como referencia para ordenar los tipos de cambios que se presentan en un proyecto.

En el Tercer capítulo se desarrolla la aplicación de cuatro metodologías para la selección de alternativas con atributos múltiples, entre las que resaltan el método

financiero, el método de ponderación lineal o scoring, el proceso de análisis jerárquico (AHP) y finalmente el método del criterio no tradicional de inversión de capital (NCIC). Es importante mencionar que todas estas metodologías han sido aplicadas en proyectos reales que fueron evaluados en diferentes etapas como son la etapa de licitación, construcción, diseño y planificación. Así mismo se dan algunas sugerencias para realizar mejoras con ingeniería de valor a proyectos de edificaciones.

Finalmente en el cuarto y último capítulo se desarrolla la metodología de evaluación de un proyecto en el cual se realizan cambios constantemente a la línea base con el objetivo de mejorarla o mitigar las desviaciones del presupuesto. La metodología propuesta se basa en la teoría del valor ganado, a la cual se le ha agregado las componentes que describen a los cambios en un proyecto.

CAPÍTULO I: GESTIÓN DE ALTERNATIVAS

En el sector construcción los proyectos se enfrentan a múltiples problemas a lo largo de su ciclo de vida. Sin embargo muchas veces se comete el error de solo prestarle atención a la eficiencia en la ejecución, dejando de lado la mejora continua de la ingeniería del proyecto en las otras etapas.

Contrariamente a lo que normalmente se hace en la práctica, las mayores ventajas que se pueden obtener en un proyecto son aquellas en las que se optimiza el proyecto desde sus etapas más tempranas como son las etapas de planeamiento y diseño. Por ello en este capítulo se presenta los principales conceptos referentes a las filosofías, metodologías y herramientas existentes que buscan optimizar los proyectos desde las etapas iniciales del mismo, considerando la participación de los principales involucrados desde las etapas tempranas y buscando desterrar la idea de la única alternativa de solución al diseño de un proyecto.

1.1. GESTIÓN DE VALOR E INGENIERÍA DE VALOR

1.1.1. CONCEPTOS BÁSICOS DE VALOR

“El Valor se basa en alcanzar un balance entre la satisfacción de muchas diferentes necesidades y los recursos usados en hacerlo. A menos recursos usados o la mayor satisfacción de la necesidad, mayor es el valor¹.” A un nivel estratégico, puede expresarse en términos de costos vs beneficios, parámetros vs objetivos, gastos vs necesidades, o inversión vs ingresos.

A un nivel técnico, valor puede definirse en términos de desempeño dividido entre el costo donde el alto desempeño y bajo costo son considerados como un buen valor. Pero un bajo desempeño y un alto costo son considerados como un mal valor. Alcanzar un buen valor requiere nivelar una serie de parámetros en conflicto para alcanzar una óptima posición.

¹ DIXON, Miles. “Project Management Body of knowledge”. Cuarta Edición. Association for Project Management (APM). Reino Unido, 2000.

El término valor tiene múltiples significados pero para el interés de esta tesis, se entenderá como el costo/beneficio de tomar una opción. El “Best Value” o “Mejor Valor” es no sólo mantener los costos bajo control en la construcción, sino de buscar el crecimiento del valor a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto. Esta búsqueda de valor debe estar presente desde la idea inicial, hasta el uso y operación del mismo, asegurando dar el máximo valor al cliente con el uso efectivo de técnicas y herramientas.

Existen múltiples técnicas para mejorar un proyecto como son:

- El benchmarking
- Gestión del riesgo y del valor
- Predicción del precio
- Costo a lo largo de toda la vida del proyecto

Otros temas como la gestión de la operación, evaluaciones post-venta y gestión del mantenimiento, que sólo eran importantes para el cliente ahora son vitales para todos los miembros del equipo de diseño y construcción.

En el caso de las edificaciones, estas proveen la infraestructura para algunos aspectos sociales o comerciales de la actividad del hombre, y como bienes físicos, son productos durables que requieren de una gestión durante su ciclo de vida. La efectividad de la gestión del proyecto consiste en buscar la coincidencia entre estos productos o edificios y sus usuarios.

Sistema de valor del cliente

Cada vez hay más clientes de la industria de la construcción que están buscando innovadoras alternativas a la forma en que sus proyectos son planeados, diseñados y entregados para facilitar sus estrategias de negocio. Ellos buscan un método estructurado para administrar su proceso de proyecto dentro del contexto de su estrategia organizacional de negocio. A este método estructurado se le conoce como “sistema de valor del cliente”. Un sistema de valor involucra a las personas que hacen juicios sobre el mejor valor (best value).

Decisiones estratégicas y tácticas son auditadas contra el sistema de valor del cliente en etapas objetivo a través del desarrollo y vida de un proyecto. La exploración de un sistema de valor del cliente permitirá la apreciación de decisiones en un número de niveles clave, las cuales pueden estar relacionadas con los sectores de manufactura, servicios y construcción:

- Definición del planeamiento y negocio estratégico.
- Planeamiento del proyecto y el establecimiento de sistemas.
- Definición del servicio y partes componentes del proyecto.
- Operaciones y uso.

El valor corporativo define los requerimientos de valor que existen a un nivel corporativo dentro de la organización del cliente que tiene diversas estructuras organizacionales. A este nivel los requerimientos clave buscarán alinear los proyectos con las misiones y objetivos corporativos.

El valor del negocio es usado para definir los requerimientos que existen a nivel de unidad de negocio o a nivel de una entidad única de negocio que no forma parte de una amplia organización corporativa. Dependiendo de la estructura organizacional del cliente, existirá un requerimiento de alinear los proyectos con las misiones y objetivos de las unidades de negocio.

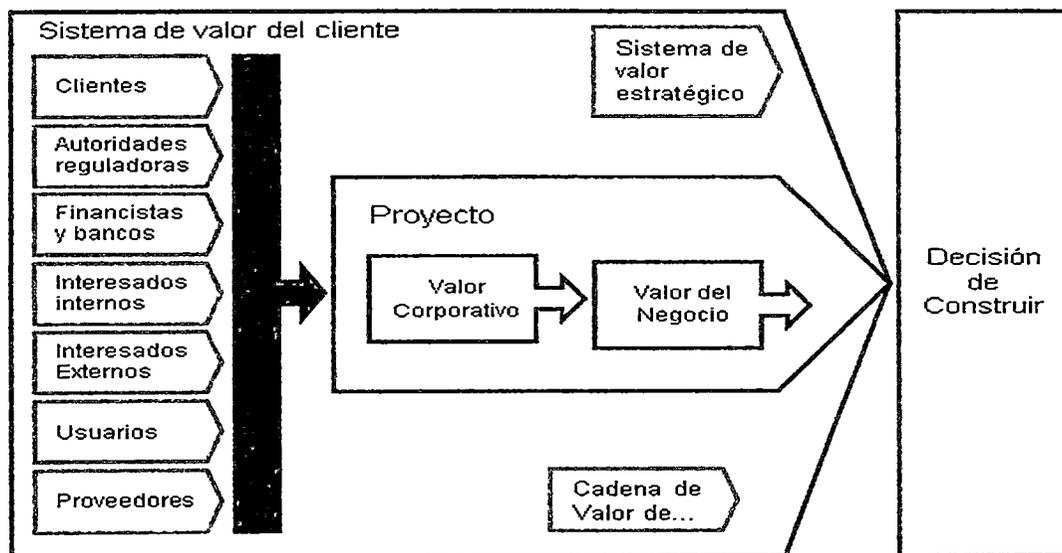


Fig. 1.1. Sistema de valor del cliente. (Adaptación Standing, 1999).

1.1.2. GESTIÓN DE VALOR

“Gestión del valor es una actividad basada en el trabajo en equipo y se relaciona con hacer explícito el paquete de beneficios de toda la vida que el cliente busca en su proyecto o proyectos al costo adecuado”.² La gestión de valor tiene un enfoque al negocio, es estratégico, y está relacionado con asegurar que el negocio y la técnica de los proyectos estén bien definidos desde un inicio.

Gestión del Valor es un significado estructurado de “mejorar decisiones de negocio: incrementando la efectividad y potenciando la competitividad”³. Esto se refiere sobre todo al proceso de identificar los temas clave y fijar objetivos en términos de criterio de éxito, identificando los equipos y procesos necesarios.

La gestión de valor está relacionada con la optimización de los temas estratégicos, generación de alternativas de acción y su evaluación. Generalmente la gestión de valor consiste en una serie de talleres estructurados, facilitados por un especialista en la gestión de valor.

La procura puede tener problemas generalmente debido a la falta de aportes de los contratistas en la formación de valor para el proyecto. El punto clave está en el rol que tiene el contratista en el proceso de entrega de proyectos. El contratista usa su capital intelectual para proveer innovación e ideas para operar en un mercado competitivo y de esta forma gana ventaja competitiva. El contratista además gestiona el riesgo en beneficio del cliente durante la construcción y obtiene una utilidad por eso en comparación de un profesional que recibe un pago por su servicio.

“Los contratistas no están en el mercado para proveer capital intelectual como un servicio a la industria y por ello los se ven reacios a cruzar esta frontera y ejercer un servicio de consultoría en el sistema de valor de sus clientes.”⁴

² KELLY, John. “Best Value in construction”. Primera Edición. Editorial Bacckwell Science. Reino Unido, 2002.

³ DIXON, Miles. “Project Management Body of knowledge”. Cuarta Edición. Association for Project Management (APM). Reino Unido, 2000.

⁴ KELLY, John. “Best Value in construction”. Primera Edición. Editorial Bacckwell Science. Reino Unido, 2002.

La gestión de valor ha sido utilizada cada vez más para maximizar los beneficios de un proyecto, en favor del cliente. La inversión puede definirse en términos de capital u otro tipo de ingreso y el beneficio de retorno pueden medirse en términos sociales, económicos o comerciales. La gestión de valor ha sido definida como un servicio de solución de problemas de forma proactiva y creativa. Esto involucra el uso de un equipo estructurado y multidisciplinario para hacer explícito el sistema de valor del cliente utilizando el análisis de funciones para exponer la relación entre el tiempo, costo y calidad.

El proceso de Gestión de Valor

Una estructura genérica para el ejercicio de la gestión de valor está representada en la figura inferior.

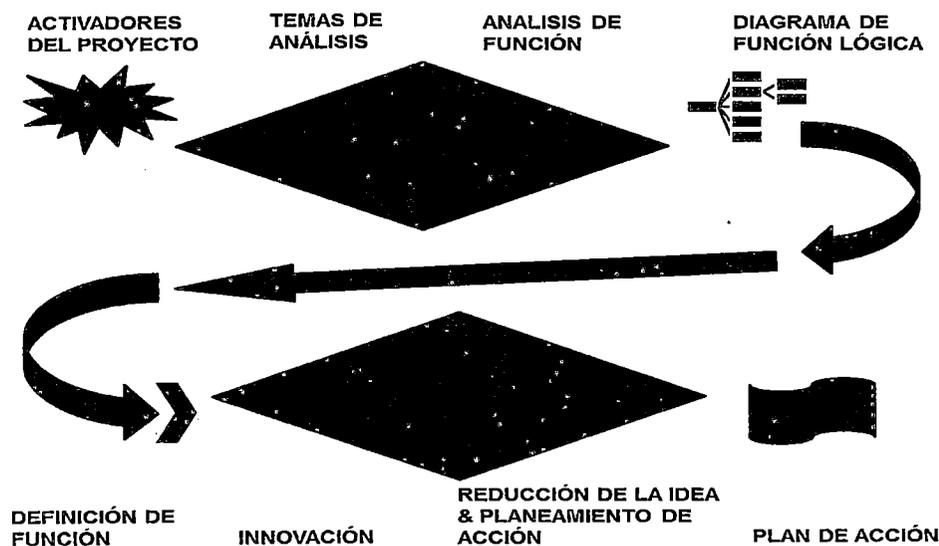


Fig. 1.2. Modelo genérico del proceso Gestión de Valor. (Kelly, 2002)

Los “Activadores” son aquellos que incentivan el ejercicio de la gestión de valor, ejemplos pueden ser nuevas legislaciones, una nueva oportunidad para comercializar un producto, la solución de un problema social, el planeamiento de una compleja operación de construcción o simplemente un sobrevalorado presupuesto que necesita ser ajustado.

Cualquiera sea el activador el primer paso en el proceso de gestión es compartir información para generar “temas de análisis”. Estos temas o problemas son

analizados según su importancia para el proyecto y esto lleva a la siguiente etapa del proceso que es el “análisis de la función”. La función es definida como una actividad característica o acción para la cual una cosa existe. La “definición de función” es un paso importante ya que las funciones proveen los cimientos y catalizadores para soluciones innovadoras. Si no se conoce la función de algo es muy complicado innovar.

La “innovación” es el siguiente paso en el proceso de gestión de valor. Por ello es importante conocer la función ya que de acuerdo a eso se proponen opciones innovadoras. Por ejemplo si la función de un muro es demarcar un límite de terreno bastaría con colocar un cerco vivo con arbustos. Por otro lado si el muro busca ser una división de tabiquería, bastaría con construir un muro de drywall. Sin embargo si el muro es un elemento estructural en un edificio, es necesario que este muro esté preparado para recibir cargas sísmicas y de gravedad.

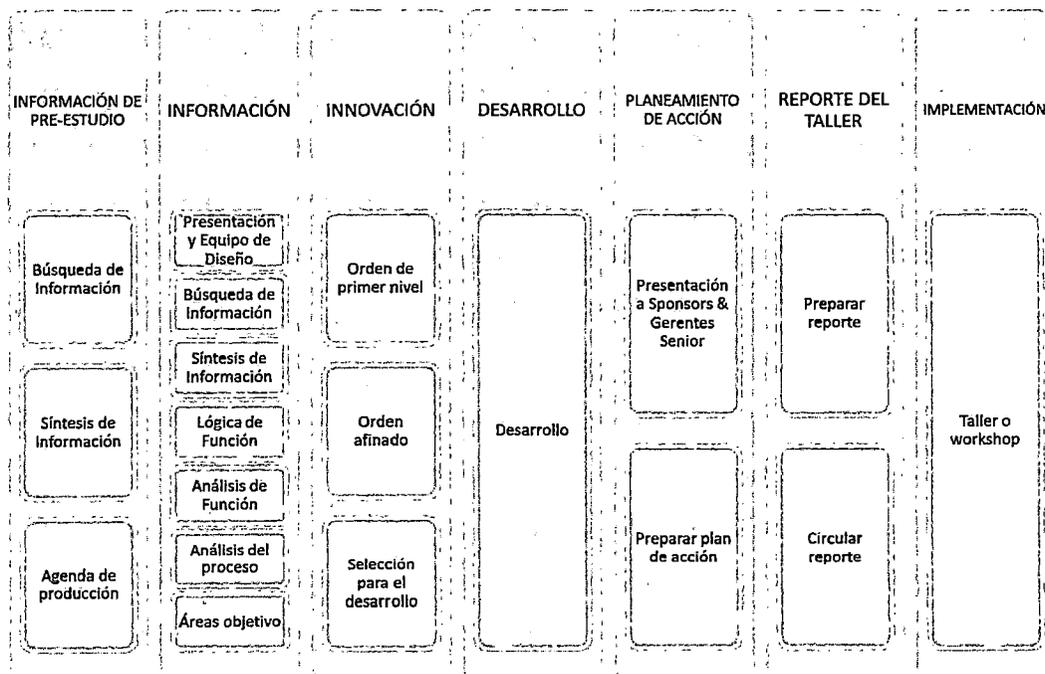


Fig. 1.3. El Proceso de Gestión de Valor. (Kelly, 2002)

La etapa de innovación en un ambiente de equipo es más parecida a llevar a cabo una lluvia de ideas. La lluvia de ideas y propuestas es un ejercicio similar al análisis de temas o cuestiones y es normalmente seguido por una reducción estructurada en el número de ideas resultando una lista de aquellas que

claramente son ideas ganadoras. Un análisis de ideas ganadoras seleccionará a aquellas que liderarán un “plan de acción”.

La palanca de la calidad y la palanca del valor

La palanca de la calidad es una representación del esfuerzo requerido en las cuatro etapas genéricas en el desarrollo de un proyecto, para alcanzar un crecimiento medible en la calidad del producto o servicio en concordancia con los requerimientos del sistema de valor del cliente. Es más fácil obtener un incremento medido en calidad mediante ejercer presión en una etapa estratégica de planeamiento en lugar que en una etapa de operación. Esto explica que para un programa estructurado de gestión de valor de un proyecto la presión sea ejercida en todo punto de oportunidad de generar valor. Sin embargo los mejores beneficios se presentarán en las etapas iniciales del proyecto.

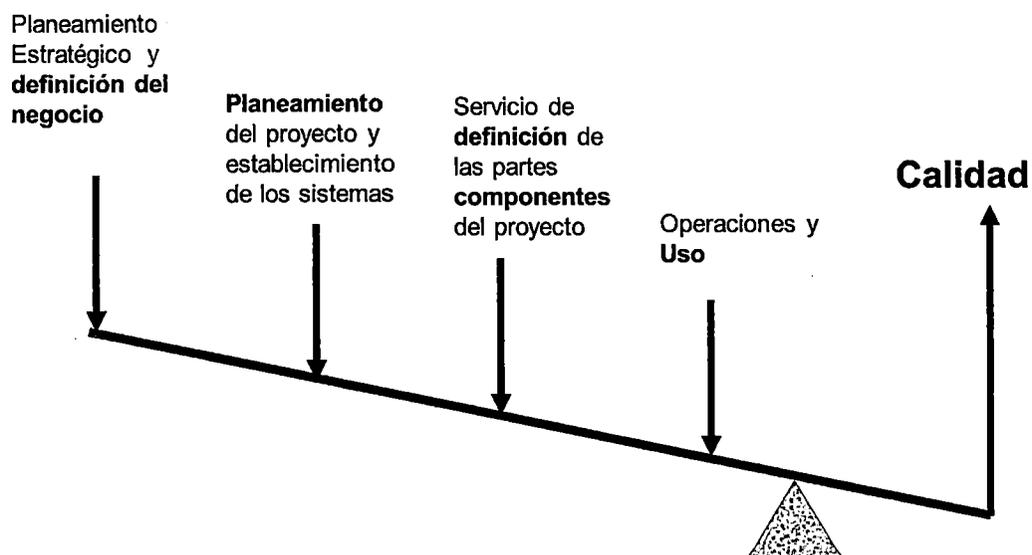


Fig. 1.4. La palanca de la calidad. (Kelly, 2002)

Al igual que la palanca de calidad existe la palanca del valor, que es una adaptación que busca mostrar la importancia del momento en el que se aplica una mejora del valor en el ciclo de vida de un proyecto. En este caso son tres los puntos importantes para generar valor, estos son el planeamiento, la ingeniería y la revisión del proyecto.

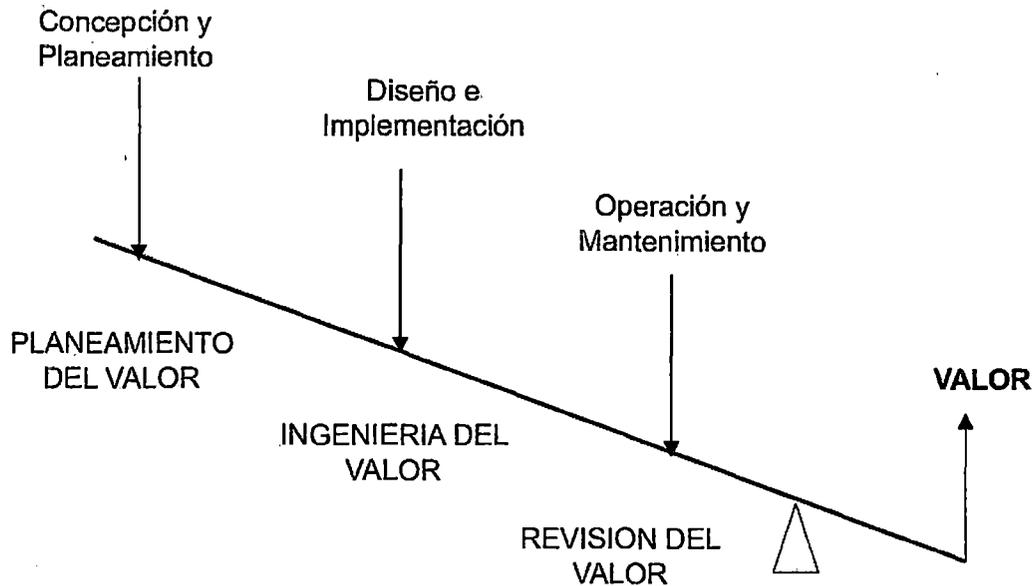


Fig. 1.5. La palanca del valor. (Kelly, 2002. Adaptación de Winston Davis)

El benchmarking internacional de la gestión de valor

Los factores críticos para el éxito de la gestión de valor incluyen:

- Equipos multidisciplinarios / combinación de habilidades apropiadas.
- La habilidad del facilitador de la gestión de valor.
- El acercamiento estructurado al proceso de gestión de valor.
- Un grado de conocimiento de gestión de valor por parte de los participantes.
- Presencia de los que toman las decisiones en los talleres.
- Hacer dueños a los participantes del resultado del proceso de Gestión de valor.
- Preparación prioritaria del taller de gestión de valor.
- Análisis Funcional.
- Soporte de la Gestión de valor de los participantes y gerentes senior.
- Un plan de implementación.

Oportunidades para la gestión de valor

En construcción existen cuatro oportunidades donde el proceso de gestión de valor puede ser empleado para alcanzar el máximo efecto en cualquier proyecto durante el ciclo de vida. Estos son:

- El workshop de pre-brief.
- El workshop de brief.
- El workshop de diseño conceptual.
- El workshop de ingeniería de detalle.

Es bien conocido que las etapas 1,2 y usualmente la 3 pueden ser combinadas como una revisión del brief en un ejercicio denominado “Charette”. Briefing es el proceso de juntar, analizar, y sintetizar información necesaria en los procesos de edificar para informar la toma de decisiones y la implementación de decisiones. Esto implica enfocarse en el proyecto a dos niveles: el briefing de estrategias y del proyecto. El briefing estratégico es la identificación de la principal misión o meta del proyecto antes de tomar la decisión de construir. El briefing del proyecto, involucra juntar factores concernientes a la construcción del proyecto, comprendiendo el contexto dentro en el cual el diseño busca el uso óptimo y la expresión estética. Se entiende por “Charette” un intenso esfuerzo por resolver un problema de diseño o arquitectónico dentro de un tiempo limitado. Este esfuerzo tiene 3 etapas: escuchar a los dueños e involucrados; imaginar la propuesta y dibujar rápido los bosquejos del diseño. En el Anexo 1.1 se puede ver un ejemplo de Taller o “workshop” del proyecto NFB.

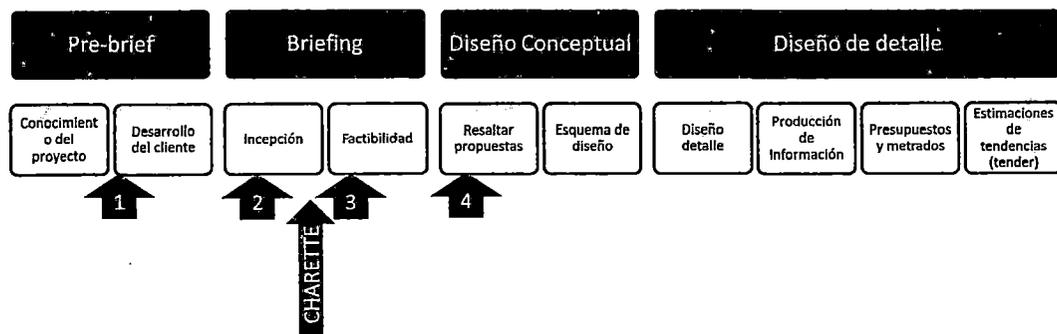


Fig. 1.6. Oportunidades de Gestión de valor. (Adaptado de Royal Institute of British Architects)

1.1.3. INGENIERÍA DE VALOR

“Ingeniería de valor, es una ramificación de la gestión de valor. Es una actividad basada en el trabajo en equipo y está relacionada con hacer explícito el paquete de beneficios de toda la vida que un cliente busca de su entrega técnica del proyecto”.⁵ La ingeniería de valor es táctica y asegura la correcta entrega de proyectos técnicos durante las fases de diseño y construcción para alcanzar el negocio del proyecto.

Mientras la gestión de valor está relacionada con la optimización de temas estratégicos, la Ingeniería de valor está relacionada con la optimización de temas conceptuales, técnicos, operacionales y configuración de aspectos del valor.

“Ingeniería de valor es la aplicación estructurada de una serie de técnicas probadas durante las fases de un proyecto donde los productos están siendo desarrollados. La Ingeniería de valor involucra un alcance formal para mejorar las soluciones de un producto, es alcanzada a través de un equipo de trabajo en un ambiente de taller, usando un plan de trabajo basado en la resolución de problemas”⁶.

La ingeniería de valor tiene su fundamento en el sector manufacturero de Norte América. Inicialmente llamado análisis de valor, el termino ingeniería de valor es un término común en Norte América y fue formalizado en el titulo de la Sociedad Americana de Ingenieros de Valor. El concepto de ingeniería de valor comenzó a fines de 1940 cuando materiales estratégicos de corta duración, forzaron el considerar alternativas que relazaran la misma función. Pronto se descubrió que muchas de las alternativas tenían la misma o mejor calidad a un menor costo, generándose así la primera definición de análisis de valor, siendo: “El Análisis de valor es una organizada forma de proveer las funciones necesarias al menor costo”⁷.

⁵ KELLY, John. “Best Value in construction”. Primera Edición. Editorial Bacckwell Science. Reino Unido, 2002.

⁶ DIXON, Miles. “Project Management Body of knowledge”. Cuarta Edición. Association for Project Management (APM). Reino Unido, 2000.

⁷ KELLY, John. “Best Value in construction”. Primera Edición. Editorial Bacckwell Science. Reino Unido, 2002.

El análisis de valor siempre ha sido visto como un ejercicio de validación del costo que no afecte la calidad del producto. Sin embargo, se ha reconocido que muchos productos tienen costos innecesarios incorporados por diseño. Generándose así la segunda definición de análisis de valor, siendo: “El Análisis de Valor es una organizada forma de identificar y eliminar los costos innecesarios donde se entiende por costo innecesario un costo que no aporta utilidad, durabilidad, calidad, apariencia, ni ninguna de las características que quiere el cliente⁸.” Ingeniería de valor es comúnmente vista como una subdivisión de la gestión de valor como se ve en la imagen inferior.

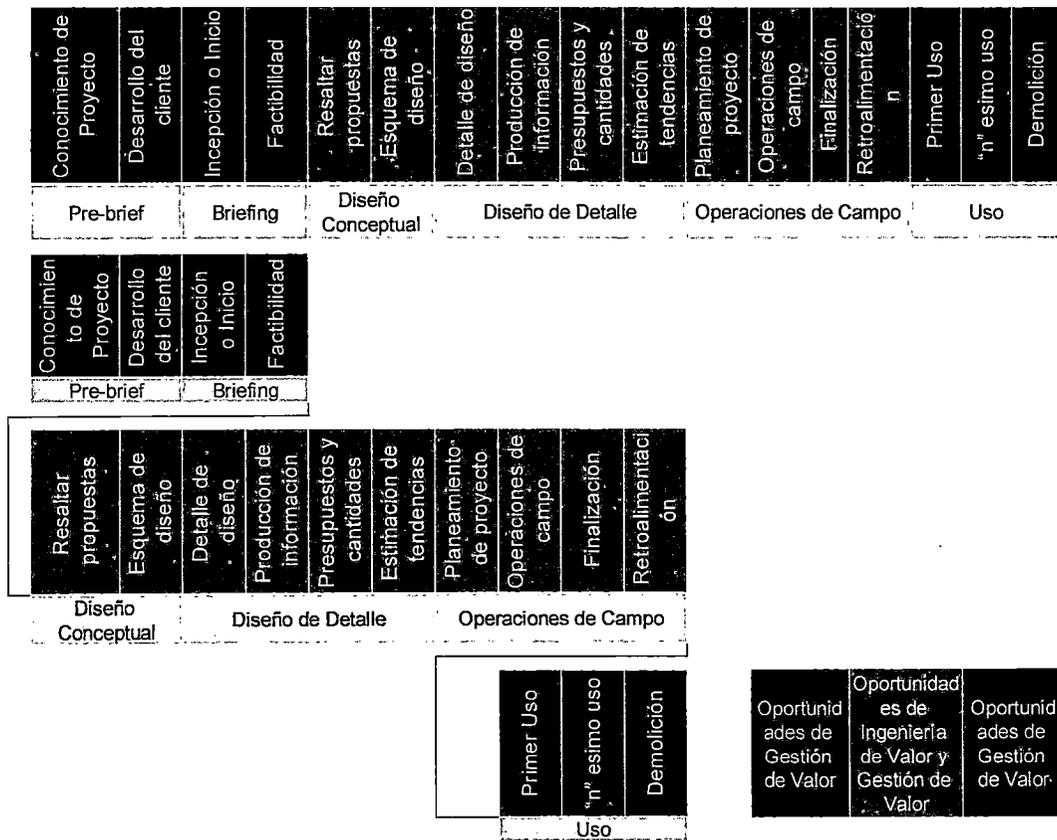


Fig. 1.7. Estrategia de impacto en el proyecto. (Kelly, 2002. Adaptación del autor)

Desde un inicio, el análisis de valor fue visto como un ejercicio en equipo. En 1954 Fuerza Naval del Departamento de Defensa de Estados Unidos implementó un programa formal de análisis de valor. Fue en este momento en el que el nombre cambió a ingeniería de valor, esto fue por una razón

⁸ KELLY, John. "Best Value in construction". Primera Edición. Editorial Backwell Science. Reino Unido, 2002.

administrativa ya que los ingenieros fueron considerados como el personal más indicado para este trabajo.

Las oportunidades de Ingeniería de valor comienzan en una etapa cuando el proyecto puede ser definido en términos de sus elementos y componentes y finalizan con la terminación física del proyecto. Las oportunidades de gestión de valor comienzan al inicio del proyecto y continúan a través de toda la vida del proyecto.

Para la contratación temprana se requiere que la gestión de valor sea usada en todas las etapas del desarrollo del proyecto e involucra un compromiso del equipo del cliente, los usuarios de la edificación o facilidad, el equipo de diseño, el contratista y los líderes responsables de las partes más importantes del desarrollo de proyecto.

En el Anexo 1.2 se presenta un resumen de los pasos que se deben seguir para aplicar la metodología de la ingeniería de valor.

1.2. CONSTRUCTABILIDAD

1.2.1. CONCEPTOS GENERALES

Una de las definiciones más conocidas de Constructabilidad es la del Construction Industry Institute (CII), la cual es "el uso óptimo del conocimiento y la experiencia de la construcción en el planeamiento, la ingeniería, la procura y las operaciones de campo para alcanzar todos los objetivos del proyecto"⁹.

Otra de las definiciones más aceptadas es la del Construction Industry Research and Information (CIRIA), la cual explícitamente dice que "la constructabilidad es la extensión en la cual el diseño de un edificio facilita la construcción."¹⁰

⁹ Construction Industry Institute (CII). "Constructability Task Force". CII. Estados Unidos, 1986.

¹⁰ Construction Industry Research and Information Association (CIRIA). "Buildability: an assessment". Inglaterra, 1983.

La principal ventaja de la inclusión del conocimiento y la experiencia de la construcción en el planeamiento y el diseño de un proyecto es que esto puede traer como resultados la reducción del costo instalado y mejorar la seguridad durante la construcción. La constructabilidad debe ser un objetivo importante en todas las etapas del proyecto y los diseñadores juegan un papel primordial para alcanzar los niveles más altos de constructabilidad.

La Ingeniería de valor no puede reemplazar la constructabilidad, tiene diferentes objetivos y se dan en diferentes etapas. El principal objetivo de la Ingeniería de valor, es reducir el costo del ciclo de vida de una edificación (life-cycle cost), mientras que la constructabilidad se concentra en la optimización del proceso de construcción. La ingeniería de Valor es normalmente ejecutada durante la etapa de diseño. Un programa efectivo y formal de constructabilidad comienza durante la etapa de planeamiento conceptual y continúa durante toda la construcción.

Como toda herramienta nueva la principal causa de la falta de constructibilidad es la carencia de bases de datos que pueda ser accesible para la toma de decisiones de diseño en el momento adecuado. "El conocimiento debe estar fácilmente accesible para los diseñadores para mejorar el desarrollo del proyecto"¹¹. Por ello en esta tesis se busca dar algunos ejemplos de la aplicabilidad de la constructabilidad en la selección de alternativas y la toma de decisiones de diseño en el Capítulo III.

1.2.2. PRINCIPIOS DE CONSTRUCTABILIDAD

Los fundamentos de constructabilidad del (CII) están enmarcados en un conjunto de 17 principios que se aplican a todas las fases de un proyecto como: al planeamiento conceptual, diseño, procura y operaciones de campo.

O' Connor ha presentado y analizado siete conceptos para mejorar la constructabilidad durante las fases de ingeniería y procura de un proyecto. Estos conceptos promueven los cronogramas basados en la construcción, configuraciones simples de diseño, estandarización de elementos, modulación y prefabricados en los diseños, con los cuales se puede facilitar la fabricación, el

¹¹ M. Fisher, C.B. Tatum. "Characteristics of design-relevant constructability knowledge". ASCE. Estados Unidos, 1997.

transporte y la instalación. Estos conceptos también buscan la accesibilidad del personal, los materiales y los equipos de construcción. Por último buscan facilitar la construcción en climas adversos.¹²

O' Connor del CII propone que los 17 principios se puedan agrupar en 7 grupos:

- Involucrar al personal de construcción en todas las etapas del proyecto.
 - Un programa formal de constructabilidad está hecho como una parte integral de los planes de ejecución del proyecto.
 - El planeamiento temprano del proyecto involucra activamente el conocimiento y experiencia en construcción.
 - El personal de construcción está involucrado en desarrollar la estrategia de contratación del proyecto.
 - Los participantes del equipo de proyecto, responsables de la constructabilidad deben ser identificados en las etapas tempranas del proyecto.
- Utilizar cronogramas que sean sensibles a la construcción.
 - Los cronogramas del proyecto son sensibles a los requerimientos de construcción.
 - Los cronogramas de diseño y procura son sensibles a la construcción.
- Modulación y prefabricación.
 - Los alcances de Ingeniería básica consideran mayor uso de métodos como modulación y prefabricación.
 - Diseños con modulación y prefabricación están preparados para facilitar la fabricación, transporte e instalación.
- Estandarización.
 - Los elementos de diseño están estandarizados incluyendo el máximo uso de los estándares de fabricación y componentes estandarizados.
- Diseños que faciliten la eficiencia de la construcción.
 - Los diseños son configurados para hacer posible la eficiencia en la construcción considerando temas como la simplicidad, la

¹² J.T. O Connor. "Constructability concepts for engineering and procurement." ASCE. Estados Unidos, 1997.

flexibilidad, la secuencia de instalación, la habilidad y disponibilidad de la mano de obra.

- La eficiencia de la construcción está considerada en el desarrollo de especificaciones incluyendo la revisión previa de las especificaciones por el personal de construcción.
 - Los diseños promueven la accesibilidad a la construcción del personal, los materiales y los equipos.
 - Los diseños facilitan la construcción bajo climas adversos.
 - El diseño y la secuencia de construcción facilita el cambio e inicio del sistema.
- Utilizar métodos innovadores de construcción.
- Los layouts de obra promueven la eficiencia de la construcción (ejemplo considerar espacios para el almacenamiento y plantas de prefabricados y espacios eficientes de acceso.
 - Métodos innovadores de construcción son usados como secuencias innovadoras de tareas en campo, o el uso de sistemas temporales de construcción, o el uso de equipos innovadores.
- Utilizar tecnología avanzada de computación.
- Tecnologías avanzadas de información como modelamiento por computadora en 3D o el uso de notebooks en campo.

De forma similar se puede hacer una agrupación de los principios de constructabilidad pero según su aplicabilidad en las diferentes fases del proyecto.

1. Fase de Planeamiento Conceptual:

- a. Integración: Un programa formal de Constructabilidad está hecho parte integral del plan de ejecución del proyecto.
- b. Conocimiento Constructivo: El planeamiento temprano del proyecto involucra activamente el conocimiento y experiencia en la construcción.
- c. Equipo experto: El personal de construcción está involucrado en desarrollar la estrategia de contratación del proyecto.
- d. Programa: Los programas del proyecto son sensibles a la construcción y sus requerimientos.

- e. Los alcances de diseño básico consideran mayores métodos de construcción como modulación y prefabricación.
- f. Las distribuciones en planta de obra promueven la eficiencia de la construcción (por ejemplo adecuar los espacios para almacenajes de materiales, plantas de prefabricados, y eficientes espacios eficientes para accesos a la obra).
- g. Los miembros del equipo del proyecto, responsables de la constructabilidad son identificados tempranamente en el proyecto.
- h. Avanzadas tecnologías de información como modelos 3D en computadora o computadoras notebook en campo.

2. Fase de Diseño y Procura

- a. Programas de diseño y procura son sensibles a la construcción.
- b. Los diseños están configurados lograr la eficiencia en la construcción considerando temas como la simplicidad, la flexibilidad y la secuencia de instalación. Así como la habilidad y disponibilidad de la mano de obra.
- c. Elementos de diseño son estandarizados, considerando el máximo uso de estándares de fabricación componentes estandarizados.
- d. La eficiencia en la construcción está considerada en el desarrollo de especificaciones incluyendo la revisión previa de las especificaciones por los especialistas en construcción.
- e. Diseños modulados/prefabricados son preparados para facilitar la fabricación, transporte e instalación.
- f. Los Diseños promueven la accesibilidad a la obra del personal, los materiales y los equipos.
- g. Los diseños facilitan la construcción bajo climas adversos.
- h. Los diseños y la secuencia constructiva facilitan la rentabilidad e inicio de una instalación.

3. Fase de Operaciones en campo

- a. Métodos innovadores de construcción son utilizados como secuencias constructivas innovadoras, o el uso de sistemas constructivos temporales, o uso innovador de equipos.

Por otro lado el CIRIA identifica también 7 principios generales de la constructabilidad:

- Llevar a cabo a través de investigación y diseño.
- Planeamiento para los requerimientos esenciales de producción en campo.
- Planeamiento para una secuencia práctica de operaciones de construcción.
- Planeamiento para simplificar el ensamblaje y las secuencias lógicas de las especialidades.
- Detalle para máxima repetición y estandarización.
- Detalle para tolerancias alcanzables.
- Especificar materiales robustos y adaptables.

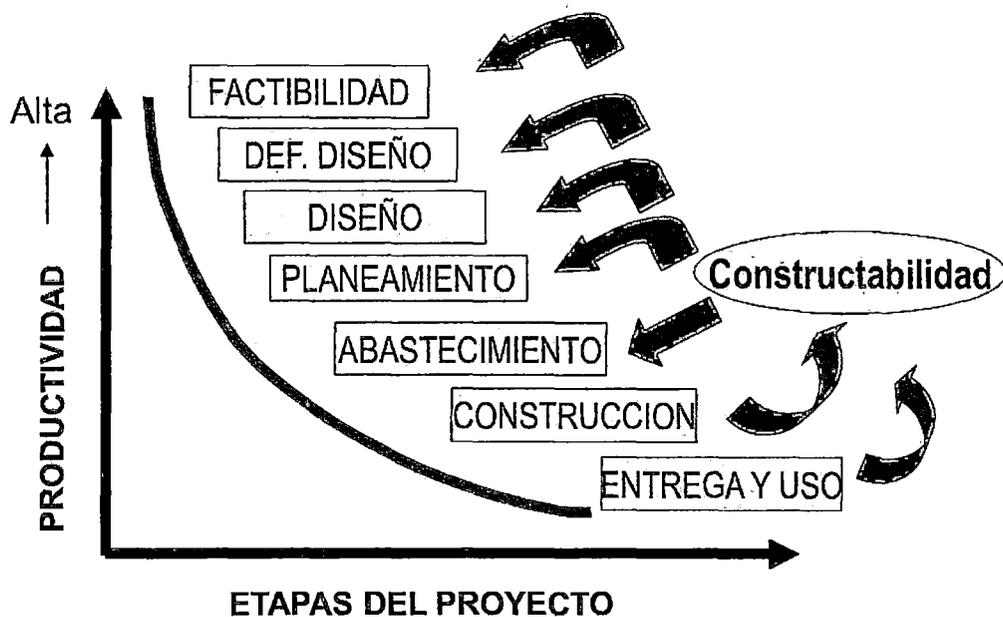


Fig. 1.8. Constructabilidad en etapas del proyecto (Construction Industry Institute, 1996)

En el Anexo 1.3 se presenta un resumen de los principales retos y barreras de aplicar la constructabilidad en los proyectos. Así mismo la importancia de la participación de los contratistas especialistas en la elaboración de la ingeniería de detalle de los proyectos.

1.3. LEAN PROJECT DELIVERY SYSTEM

1.3.1. CONCEPTOS GENERALES

Lean Project Delivery System (LPDS) o en español conocido como Sistema de Entrega de Proyectos Sin pérdidas es una nueva y mejor forma de diseñar y construir edificaciones, desarrollada por el Lean Construction Institute (LCI). Este modelo del LCI está compuesto por 15 módulos, 11 de los cuales están organizados en 5 triadas o fases interrelacionadas que van desde la definición del proyecto hasta el diseño del suministro, la procura, el ensamblaje y el uso. Además se cuenta con 2 módulos de control de la producción y un módulo adicional de trabajo estructurado, todos concebidos para trabajar en todas las fases del proyecto. Por último está el módulo de post ocupación, el cual vincula el fin de un proyecto con el inicio del siguiente.

Lean Project Management (LPM)

Lean Project Delivery System (LPDS)

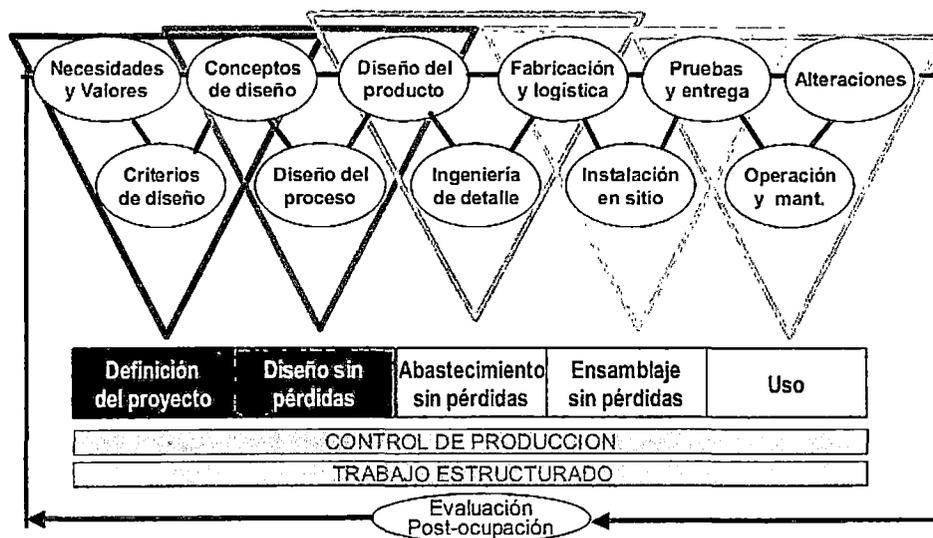


Fig. 1.9. Lean Project Delivery System LPDS. (Pablo Orihuela, 2000. Adaptado del LCI)

El sistema de entrega de proyectos “Lean” aplica los principios de la manufactura a la construcción con herramientas que facilitan la planificación y el control, maximizando el valor y minimizando las pérdidas a lo largo del proceso de diseño, planeamiento y construcción.

Pérdidas (LPDS).

1.3.2. LAS FASES DEL LPDS

Las 5 fases que forman el LPDS y su composición son las siguientes:

- La Definición del Proyecto o Project Definition que está compuesta de los módulos: Definición de las necesidades y valores, Criterio de Diseño, y Diseño Conceptual.
- El Diseño Sin pérdidas o Lean Design que consiste del Diseño conceptual, Diseño del Procesos, y Diseño del Producto.
- Abastecimiento Sin pérdidas, o Lean Supply consiste en el Diseño del producto, Ingeniería de Detalle, y Fabricación/Logística.
- Ensamblaje Sin pérdidas o Lean Assembly que consiste en Fabricación/Logística, Instalación, y Pruebas/Puesta en Marcha o entrega.
- El Uso que está compuesto por pruebas y puesta en marcha; operación y mantenimiento;

Adicionalmente existen módulos que no forman parte de estas 5 fases del proyecto pero que si tienen participación a lo largo de todas estas fases. Estos módulos son:

- El Control de Producción consiste en el control del Flujo de Trabajo y el control de las unidades de producción.
- La estructuración del trabajo y la evaluación Post Ocupación son módulos individuales.

1.3.3. CARACTERÍSTICAS DEL LPDS

El LPDS se desarrollará como una filosofía, un conjunto de funciones interdependientes, reglas para la toma de decisiones, procedimientos para la ejecución de funciones, y como ayudas y herramientas de implementación. El dominio para el LPDS está definido por la intersección de proyectos y sistemas de producción. Las características principales del LPDS son:

- El proyecto es estructurado y administrado como un proceso que genera valor.
- Los interesados en las líneas de mando inferiores están involucrados en el planeamiento y diseño a través de todos los equipos funcionales.

- El control de proyecto tiene la tarea de ejecutar en oposición a la confianza en la detección de la variabilidad después del hecho.
- Los esfuerzos de optimización están enfocados en hacer el flujo de trabajo confiable en lugar de enfocarse solo en la mejora de la productividad.
- Las técnicas de “jalar” son usadas para gobernar el flujo de materiales e información a través de las redes de los colaboradores especialistas.
- Capacidad e inventario de buffers son usados para absorber la variabilidad.
- Bucles de feedback son incorporados en todos los niveles, dedicados a ajuste rápido del sistema.

1.3.4. ESTRUCTURACIÓN DEL TRABAJO

“Estructuración del Trabajo” es un término creado por el LCI para indicar el desarrollo de operación de diseño del proceso en alineamiento con el diseño del producto, la estructura de cadena de suministros, la designación de recursos, y esfuerzos de diseño para el ensamblaje. El propósito de la estructuración del trabajo es hacer el flujo de trabajo más confiable y rápido mientras se entrega valor al cliente.

La estructuración del trabajo es el nivel más fundamental del proceso de diseño, y responde a las siguientes interrogantes:

- ¿En qué paquetes se asignará el trabajo al especialista de la unidad de producción (UP)?
- ¿Cómo los paquetes de trabajo serán secuenciados a través de varios UPs?
- ¿En qué paquetes el trabajo será liberado de un UP al siguiente UP?
- ¿Dónde se necesitarán y como deberán ser dimensionados los buffers?
- ¿Cuándo se harán, los diferentes paquetes de trabajo?

Las decisiones de la estructuración del trabajo son hechas en todas las fases del proyecto.

1.3.5. CONTROL DE LA PRODUCCIÓN

“Last Planner” es el sistema del LCI para el control de la producción, el cual gobierna la ejecución del plan y se extiende a través de todas las fases del proyecto. Se debe entender por “Control” a la acción de asegurar que se cumpla el futuro deseado más que identificar las diferencias entre el plan y lo real.

En este módulo se busca el control del flujo de trabajo y el control de las unidades de producción. El control del flujo de trabajo se logra a través del proceso del lookahead. El control de la unidad de producción se logra a través del plan de trabajo semanal.

El planeamiento inicial pertenece a las fases de definición del proyecto y diseño del proyecto. Uno de los productos del planeamiento inicial es cronograma general o “master schedule”. El “master Schedule” sirve para propósitos específicos; por ejemplo demostrar la factibilidad de completar el proyecto en la fecha deseada. Esos propósitos específicos no requieren un alto nivel de detalle, que usualmente es inapropiado por la incertidumbre del futuro.

Los Master Schedules son expresados a nivel de hitos o milestones, típicamente por fases. Las fases del Schedule alimentan las ventanas del lookahead, usualmente de 3 a 12 semanas en duración. El proceso del Lookahead hace que las tareas del Schedule estén listas para su asignación. Tales tareas son ubicadas en la reserva de tareas trabajables o workable backlog.

Las tareas son programadas para iniciar solo si el planificador o planner está seguro de que la pueden terminar a tiempo. Las tareas programadas están listas para aparecer en plan semanal cuando están libres de restricciones. El proceso del lookahead genera alertas tempranas de problemas para que haya mas tiempo para resolverlos.

Los planes semanales están generados por la selección de tareas del workable backlog. En el proyecto se debe buscar actividades de calidad, que son aquellas que están bien definidas, están en la secuencia apropiada, y dimensionadas de acuerdo a la capacidad de producción. El porcentaje de tareas completadas (PPC) es evaluado y las razones por las cuales no se completaron son identificadas y se le analizan sus causas raíces. Se identifican estas causas para tomar acciones y prevenir que se vuelvan a dar.

1.3.6. DEFINICIÓN DEL PROYECTO

La Definición del Proyecto es la primera fase en LPDS y está compuesta de tres módulos: Determinar propósitos (Necesidades y valores de los interesados), convirtiendo esos propósitos en un criterio para el diseño del producto y del proceso, y generando diseños conceptuales en los que los propósitos y criterios puedan ser evaluados y desarrollados. En breve los 3 módulos consisten en lo siguiente:



Fig. 1.10. "Proceso de la fase de Definición del Proyecto". (Glenn Ballard, 2000)

1. **Identificación de las Necesidades del Cliente**, para lo cual se puede usar la herramienta llamada "Despliegue de la Función de Calidad", que es una técnica que busca traducir la voz del cliente en requerimientos técnicos para los involucrados en un proyecto. Esta herramienta se explicara mas adelante en este capítulo de la tesis.
2. **Recopilación de Información** de diferentes fuentes como:
 - Evaluaciones post ocupación: que consiste en encuestas realizadas después de un tiempo a los ocupantes de una edificación, para poder recopilar sus impresiones respecto al edificio luego de su entrega.
 - Requerimiento de los involucrados y de la Norma vigente. Se tiene recopila información como requerimientos municipales, estadísticas de rentabilidades, etc.
3. **Reuniones de Definición del Proyecto**, en estas reuniones deben participar todos los involucrados en el proyecto (inversionistas, arquitecto, ingeniero estructural, ingeniero electricista, ingeniero sanitario, ingeniero de suelos, ingenieros constructores, proveedores clave, representantes de ventas, etc.) con los cuales se forma equipos multidisciplinarios.

El proceso a través de estos tres módulos es necesariamente iterativo, y no necesita seguir una secuencia específica, a pesar de que los propósitos parecen

ser el punto lógico de inicio. Lo que es importante es alinear los tres módulos. Solo así se puede pasar a la fase de Diseño Lean. Pero aun así se puede regresar a la definición del proyecto y mejorar los propósitos, criterios, o conceptos. Tal mejoramiento debe hacerse siempre que agregue valor y haya suficiente tiempo y dinero para hacer el cambio. El ciclo a través de los tres módulos se hace para revelar a los interesados las consecuencias de sus deseos y para revelar más y diferentes posibilidades de generación de valor que pudieron ser concebidos con anterioridad. Esto se convierte en una negociación en la que se ve el costo/beneficio de un trade off o alternativa.

La definición del proyecto se hace mejor de forma coordinada, con la inclusión de los interesados. Los interesados típicamente incluyen al cliente, usuarios de la facilidad, agencias gubernamentales, diseñadores, fabricantes, instaladores, operadores, encargados de mantenimientos y asociaciones vecinas. Puede haber clientes multicabezas, que pueden incluir la administración, la ingeniería, el mantenimiento, usuarios finales, y otros más.

Costos y estimaciones de la duración del proyecto se integraran con la producción de la definición del proyecto, en lugar de hacerlos luego de que la definición del proyecto esté terminada. Un costo objetivo del proyecto será establecido para que la facilidad sea diseñada. De otra forma el cliente tomará una decisión sin importar el costo dentro de la definición del proyecto.

Se producirá el criterio de diseño tanto para el proceso como para el producto. Múltiples diseños conceptuales serán generados y evaluados. Cuando sea apropiado, mas de una alternativa será llevada a la fase de diseño Lean.

La toma de decisiones debe incluir a los clientes ya los principales interesados, es decir a los especialistas en diseño, a los especialistas en construcción, proveedores de materiales, equipos, y servicios; operadores de las facilidades, encargados de mantenimiento, y usuarios; representantes financieros, aseguradoras, entidades reguladoras e inspectores.

Se pasa de la fase de Definición del Proyecto a Diseño Lean cuando hay un alineamiento entre:

- Las necesidades del cliente y las demandas de los interesados

- Criterio de diseño del producto y el proceso
- Diseño conceptual

En el Anexo 1.4 se presenta un resumen de la herramienta QFD (Quality Function Deployment), que es importante conocer para mejorar la definición del proyecto.

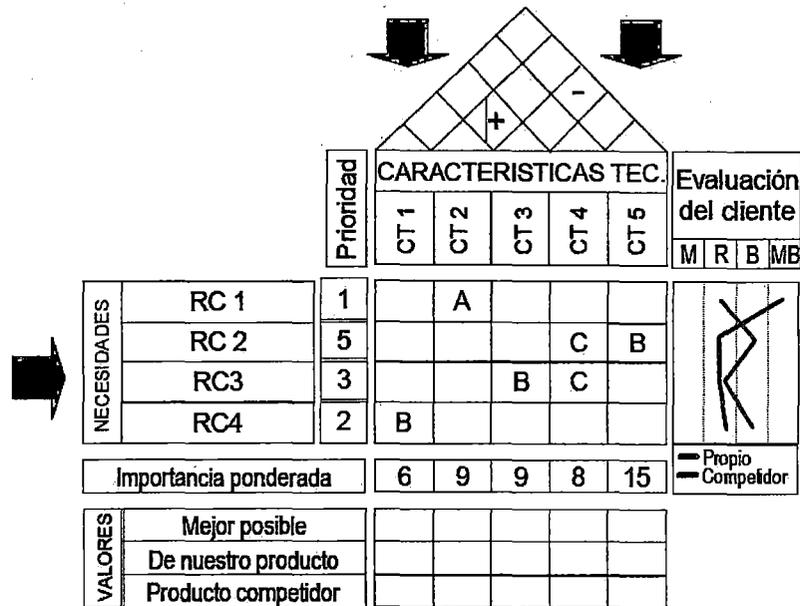


Fig. 1.11. "Herramienta QFD". (Pablo Orihuela, 2000)

1.3.7. DISEÑO LEAN

La fase de Diseño Lean desarrolla el diseño conceptual desde la Definición del Proyecto hasta el Diseño del Producto y del Proceso, de forma consistente con el criterio de diseño producido por la Definición del Proyecto.

Decisiones del diseño del producto y del proceso son hechas con una visión de las necesidades del cliente así como del criterio de diseño. De existir una oportunidad para incrementar el valor al cliente con una mejora de la satisfacción de las necesidades del cliente, y si hay suficiente tiempo y dinero, la definición del proceso será reenganchada para alinear necesidades, criterio, y conceptos de diseño.

Decisiones de diseño del producto y el proceso son hechas de forma simultánea sin importar que primero se produzca un diseño para el producto, y luego se produzca un diseño satisfactorio para el proceso fabricación del producto.

LOS PASOS DEL LEAN DESIGN

La fase del Lean Design se puede resumir en el esquema de procesos líneas abajo. Así mismo se hace una breve descripción de los pasos:

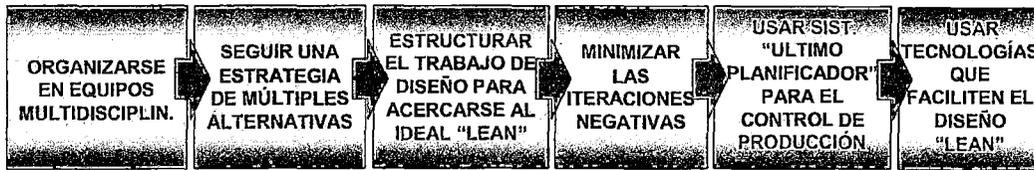


Fig. 1.12. "Pasos Lean Design". (Pablo Orihuela, 2000)

1. **Organizarse en equipos multidisciplinarios.**
2. **Seguir una estrategia basada en múltiples alternativas,** se debe estudiar varias opciones para elegir la más conveniente, no solo teniendo en cuenta el costo sino también otros criterios como la calidad.
3. **Estructurar el trabajo de diseño para acercarse al ideal "Lean".** Se debe estructurar el trabajo a través de herramientas como diagramas de flujo, diagramas de tiempo, así también debemos tomar en cuenta el diseño simultáneo del proceso y del producto.
4. **Minimizar las iteraciones negativas.** Se propone el uso de técnicas "pull". El trabajo debe peticionarse y no se debe empujar "push" el trabajo acumulándolo a otro especialista sin que el especialista lo haya solicitado, pues generarán iteraciones (modificaciones) negativas que dilatarán el proyecto.
5. **Usar el sistema del "Último planificador" para el control de producción.** Se debe utilizar medios de control durante la etapa de diseño del proyecto, como listas de tareas, especificaciones de trabajo, checklist, etc. El LPDS utiliza un indicador llamado PPC (Porcentaje de Planificación cumplida) y es usada durante la construcción, sin embargo también se puede utilizar para el diseño, midiendo el porcentaje del cumplimiento de actividades de diseño sobre un cronograma previamente acordado, tales como tramites de licencias de construcción, estudios de mercado, aprobación de anteproyecto, etc.

1.3.8. LAS OTRAS FASES

ABASTECIMIENTO LEAN

La fase de suministro Lean consiste en la ingeniería de detalle del diseño de un producto producido en el Diseño Lean, luego la fabricación u compra de componentes y materiales, y la gestión logística de las entregas e inventarios.

Todas las decisiones referentes a la ingeniería, producción, o entrega de materiales y componentes son hechas con el objetivo de maximizar el valor para el cliente.

Los modelos en 3D son usados para la ingeniería de detalle. Cuando sea posible, la fabricación será directamente conducida por modelos en 3D.

Herramientas colaborativas de diseño serán usada para integrar entradas desarrolladas en diferentes plataformas en un único modelo. El diseño del proceso alcanzará tipos de buffers, ubicación, y dimensiones.

Se aplicará las técnicas del Lean Manufacturing para los talleres de fabricación. Es en esta fase donde el proyecto esta físicamente vinculado a las cadenas de suministros y existe interdependencia del proyecto.

Un objetivo del proceso de diseño es minimizar los inventarios, dimensionarlos correctamente para el flujo de variabilidad que no pueda ser eliminada. Esta fase pasa a Ensamblaje Lean una vez las entregas en sitios empiezan.

ENSAMBLAJE LEAN

El ensamblaje Lean comienza con la primera entrega de herramientas, mano de obra, materiales o componentes en obra y termina cuando se hace la entrega del producto al cliente.

Un asunto clave es la coordinación de entregas para asegurar el cumplimiento de las tareas a tiempo. Un objetivo es aproximar que los materiales pueden llegar con facilidad a tiempo. Se desarrollan técnicas de inspección en tiendas y en obra.

1.4. GESTIÓN DE ALTERNATIVAS

Se ha revisado extensamente las principales filosofías, metodologías, y herramientas existentes en este primer capítulo para poder servir de base teórica de la aplicación de esta tesis a la “Gestión de alternativas de valor”.

En esta tesis entenderemos a la Gestión de Alternativas de valor, a la identificación, evaluación y selección de alternativas de los diferentes componentes de un proyecto. Se puede entender por componentes de un proyecto a todas las características que merecen una evaluación, respecto a una cantidad discreta de alternativas, que justamente alcancen un equilibrio entre los requerimientos de todos los involucrados; así un costo y plazo adecuados. Los componentes pueden ser sistemas, estructurales, insumos, tipos de procesos etc.

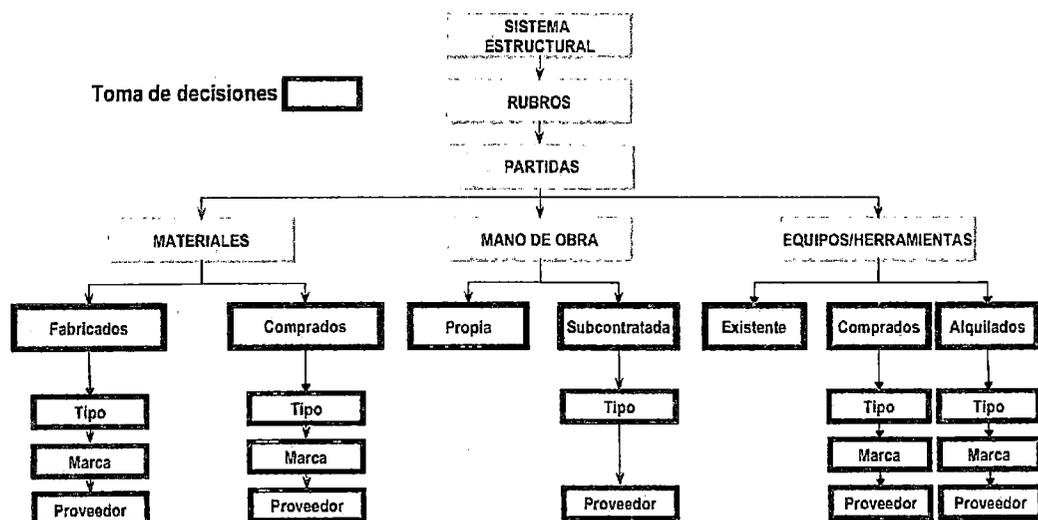


Fig. 1.13. “Selección de Insumo para un proyecto de Edificaciones”. (Karem Ulloa, 2009)

Las componentes de un proyecto pueden ser seleccionados de diferentes formas. Un ejemplo para una edificación puede ser primero seleccionar el sistema estructural, luego seleccionar por rubros (Mano de Obra, Materiales y equipos) su origen, tipo, marca, y proveedor. A continuación podemos ver una propuesta selección de insumos.

En este capítulo se hará una revisión de las teorías herramientas existentes para la selección de alternativas basados en evaluaciones cualitativas y cuantitativas de atributos múltiples. Esto servirá de base para poder desarrollar la aplicación un sistema integrado de control de cambios. Luego de seleccionar las mejores

herramientas se procederá a aplicarlas en proyectos reales en el capítulo tres de esta tesis.

1.4.1. MÉTODOS DE DECISIÓN POR ANÁLISIS MULTIATRIBUTO PARA LA EVALUACIÓN COMPONENTES DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN

Los métodos de “Decisión por Análisis Multiatributo” o “Multiattribute Decision Analysis” (MADA) consideran atributos no financieros (cuantitativos y cualitativos) en adición a las medidas de valor financiero cuando se evalúan alternativas para un proyecto. Es necesario utilizar métodos MADA para evaluar decisiones relacionadas a alternativas de inversión en edificaciones cuando los atributos no financieros son importantes.

Existen muchas clases de métodos para realizar MADA. Dos de los métodos más sofisticados a son el “Proceso Analítico por Jerarquías” o “Analytical Hierarchy Process” (AHP) y el “Criterio No Tradicional de Inversión de Capital” o “Non-traditional capital investment criteria (NCIC). Otro método nada sofisticado pero muy aplicado es el “Scoring” o “Ponderación Lineal”. En esta tesis los tres métodos serán aplicados en el capítulo III para la evaluación de alternativas.

El método AHP tiene cuatro fortalezas: que es bien conocido y bien estudiado en la literatura existente; incluye un proceso eficiente de ponderación por comparación por pares, incorpora una jerarquía de las descripciones de los atributos; y su uso es facilitado por la existencia de softwares.

El método NCIC es conocido por sus cuatro fortalezas: fue diseñado en respuesta a algunas de las críticas al AHP que aparecen en la literatura existente; incluye un proceso eficiente de ponderación por comparación por pares; incorpora una jerarquía en las descripciones de los atributos para mantener un número de parejas de comparación que sea manejable; desarrolla “puntuaciones” para alternativas que son denominadas en términos monetarios, haciendo de otra forma una valorización de los atributos y permitiendo así que los resultados puedan incorporarse en un análisis tradicional de valor económico.

ANÁLISIS DE DECISIÓN MULTIATRIBUTO (MADA)

Para la toma de decisiones de inversión de capital usualmente se evalúan las alternativas usando medidas económicas tradicionales como valor neto, costo del ciclo de vida, o tasa interna de retorno. Estos métodos incorporan el flujo de costos y beneficios de una inversión en una sola medida de valor del proyecto.

Una característica común de las medidas de valor económico es que consideran solo beneficios monetarios y costos monetarios asociados con las alternativas de inversión. Esto significa que para ser incluido en el análisis económico, los atributos positivos y negativos de las alternativas deben ser denominadas en términos de dinero como beneficios y costos monetarios.

Además de estas evaluaciones monetarias existen las alternativas de inversión en proyectos de construcción que se pueden considerar importantes, pero que no se pueden expresar fácilmente en términos monetarios. Algunos ejemplos de características que son importantes en la selección de una alternativa de edificación son la locación/accesibilidad, la seguridad del lugar, la facilidad del mantenimiento, la calidad del ambiente acústico y visual, y la imagen al público y ocupantes. Aunque estas características son importantes para los usuarios de un edificio, no hay una forma obvia de expresarlas en términos monetarios.

Características no financieras pueden ser cualitativas o cuantitativas. Características, no financieras cuantitativas son aquellas que son medibles o cuantificables, pero que requieren de un juicio para volverlas a términos monetarios. Por ejemplo las estadísticas policiales son cuantificables en medidas de seguridad, pero no una técnica de acuerdo global para uniformizar la data en términos monetarios.

Los impactos cualitativos son imprácticos, imposibles o muy costoso de medir. La estética de un edificio puede afectar la productividad del trabajador, por ejemplo, pero cuantificar su impacto es muy complicado. Debido a que características no financieras pueden ser muy importantes, se necesita de un método que tome en cuenta los atributos de esta naturaleza cuando se elige entre múltiples alternativas. La clase de métodos que pueden considerar los

beneficios y costos no monetarios son los Análisis de decisión Multi-atributo (MADA). Los métodos MADA pueden enfrentar tres tipos de problemas: selección de alternativas, ranking de alternativas, o elección la mejor alternativa.

ELEMENTOS DE UN PROBLEMA MADA

Los cuatro elementos o características comunes a todo problema MADA son:

- Un conjunto finito de alternativas (generalmente pequeño). Se distingue de los problemas “Análisis de decisión Multiobjetivo” o “Multiobjective Decision analysis” (MODA), que involucran el diseño de la mejor alternativa considerando las opciones dentro de un conjunto de restricciones de diseño.
- Tradeoffs de los atributos. No solo una alternativa muestra el valor preferido para todos los atributos.
- Unidades inconmensurables. Los atributos no tendrán generalmente las mismas unidades. De hecho, algunos de los atributos pueden ser imprácticos, imposibles o muy costos de medir.
- Decisión de Matricial. Un problema MADA puede caracterizarse generalmente por una decisión matricial. Esta matriz indica un conjunto de alternativas y un conjunto de atributos a ser considerados.

PRINCIPALES METODOS MADA

En el cuadro mostrado a continuación se pueden apreciar 14 clases de métodos MADA. La lista incluye, un rango de métodos muy amplio; que van desde una simple ponderación lineal hasta un sofisticado método de cálculo que requiere de asistencia de un computador. Solo se han considerados aquellos métodos que se consideran prácticos para los problemas del mundo real.

En la primera columna aparecen los nombres de los métodos, en la segunda si es útil para identificar alternativas, ponderar alternativas, escoger una alternativa preferida o más de una alternativa. En la tercera columna se identifica si el método es compensatorio o no. Se entiende por métodos compensatorios a aquellos que incorporan atributos entre alto desempeño y bajo desempeño en el análisis. Aquellos donde no son denominados “no compensatorios”. En muchos casos, el que toma la decisión puede ver que al menos el alto

desempeño relacionado a un atributo puede al menos parcialmente compensar el bajo desempeño relativo a otro atributo en particular si en un primer análisis general ha eliminado alternativas que fallaron en alcanzar un requerimiento mínimo de desempeño.

Tabla. 1.1. "Principales Clases de Métodos MADA". (Gregory A. Norris, 1995)

Nombre del método	Propósito	Compensatorio o no compensatorio	Información Requerida adicional a Matriz de decisión	
			Sobre Atributos	Sobre Alternativas
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Dominante	Identificar	N/A	ninguna	ninguna
Maximin	Ranking, Seleccionar	No compensatorio	ninguna	ninguna
Maximax	Ranking, Seleccionar	No compensatorio	desempeño mínimo para cada atributo	ninguna
Conjuntivo	Identificar	No compensatorio	desempeño mínimo para cada atributo	ninguna
Disyuntivo	Identificar	No compensatorio	rankings de importancia ordinal	ninguna
Léxico Grafico	Ranking, Seleccionar	No compensatorio	rankings de importancia ordinal	ninguna
Léxico Grafico Semi Ordenado	Ranking, Seleccionar	No compensatorio	rankings de importancia ordinal	ninguna
Eliminación por aspectos	Seleccionar	No compensatorio	rankings de importancia ordinal y desempeño mínimo para cada atributo	ninguna
Método de Asignación Lineal	Identificar, Ranking y seleccionar	Parcialmente compensatorio	"pesos" de importancia cardinal	evaluaciones ordinales y ratings de desempeño
Ponderación Aditiva (Incluye AHP)	Identificar, Ranking y seleccionar	Compensatorio	"pesos" de importancia cardinal	evaluaciones ordinales y ratings de desempeño
Producto Ponderado	Identificar, Ranking y seleccionar	Compensatorio	"pesos" de importancia cardinal	evaluaciones ordinales y ratings de desempeño
NCIC	Identificar, Ranking y seleccionar	Compensatorio	comparaciones por pares de diferencias con respecto a los valores de la línea base, respecto a pares de atributos, para cada atributo.	
TOPSIS	Identificar, Ranking y seleccionar	Compensatorio	"pesos" de importancia cardinal	evaluaciones ordinales y ratings de desempeño
Distancia del Objetivo	Identificar, Ranking y seleccionar	Compensatorio	"pesos" de importancia cardinal	evaluaciones ordinales y ratings de desempeño

Los métodos requieren diferentes cantidades y tipos de información de los atributos y alternativas, más allá de la información básica incluida en la matriz de

decisión. Algunos métodos no requieren información adicional además de la de la matriz de decisión. Otros métodos requieren “pesos” cardinales de importancia de los atributos y puntuaciones cardinales de desempeño de las alternativas con respecto a los atributos. Las columnas 4 y 5 muestran si la información es suficiente o se requiere información adicional.

ATRIBUTOS PARA EVALUACIONES DE EDIFICACIONES

La tabla mostrada a continuación de atributos y sub atributos que los decisores típicamente consideran importantes en la elección de edificaciones, sirve de base para un conjunto de atributos elegidos para el desarrollo de un modelo MADA para la comparación de alternativas en edificaciones.

Tabla. 1.2. “Atributos y sub atributos. ASTM, E06.25 y ASTM E06.81 y E06.25” (ASTM, 1994)

ATRIBUTO	SUB ATRIBUTO
Estética	Imagen que el dueño quiere proyectar
	Atractivo del diseño dentro y fuera
Funciones de la Edificación	Layout
	Espacio (para oficinas/almacenamiento/reuniones/entrenamiento)
	Estacionamientos
Durabilidad	Planta industrial
Económicos	Costos del presupuesto inicial
	Costos del ciclo del vida, beneficios netos, tasa interna de retorno
	Costos de Operación y Mantenimiento
Impactos Ambientales	
Flexibilidad en funcionalidad, uso y disposición	
Información Tecnológica	Proveedores y distribuidores de energía
	Telecomunicaciones y infraestructura de computación
Locación	Aceptación de los clientes, consumidores, o usuarios
	Aceptación del staff (necesidad de reubicación)
Disponibilidad habitacional	
Operación y mantenimiento	Requerimientos sencillos de operación
	Requerimientos sencillos de mantenimiento
Confiabilidad	
Seguridad	Protección durante y fuera de las horas normales de trabajo y visitas
Ambiente acústico y visual	Privacidad y ruido ambiental
	Luz y brillo
	Condiciones de control del ocupante
	Vista al exterior
Ambiente térmico y calidad del aire	Calidad del aire
	Condiciones de control del ocupante
	Temperatura, humedad, ventilación
Transporte	Disponibilidad, costo, y conveniencia de transporte público y privado del lugar
	Eficiencia y fácil movilidad de la gente en el lugar

Los atributos y sub atributos considerados en la tabla provienen de dos fuentes: uno es la lista de factores de serviciabilidad del ASTM subcomité E06.25 y el segundo es el conjunto de experiencias y sugerencias de los subcomités del ASTM E06.81 y el E06.25.

TIPOS DE DECISIONES RELACIONADAS A EDIFICACIONES

Existen cuatro tipos de decisiones MADA de elección relacionadas a edificaciones: elección de edificaciones, elección de componentes de edificaciones, elección de materiales para edificaciones, y elección de la ubicación de edificaciones (sea para negocio o para viviendas). A continuación se muestra para cada tipo de decisión la meta, la selección de atributos, y sus jerarquías.

Elección de Edificaciones- Para edificios públicos



Fig. 1.14. "Jerarquía de selección del mejor edificio". (Gregoy A. Norris, 1995)

Elección de componentes



Fig. 1.15. "Jerarquía de selección del mejor componente del edificio". (Gregoy A. Norris, 1995)

Elección de materiales



Fig. 1.16. "Jerarquía de selección del mejor material del edificio". (Gregoy A. Norris, 1995)

Elección de ubicación

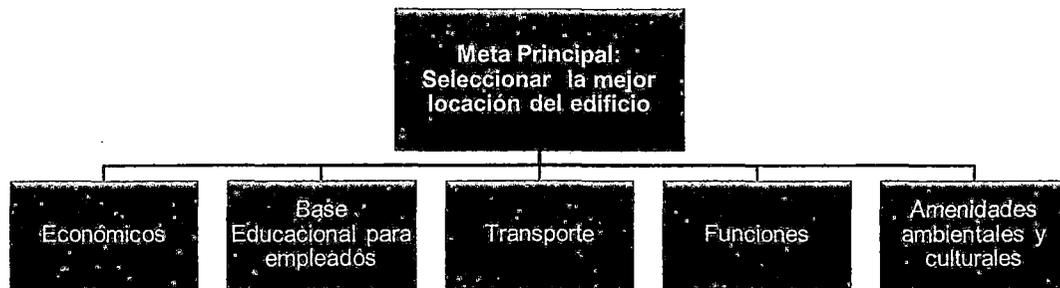


Fig. 1.17. "Jerarquía de selección de la mejor locación del edificio". (Gregoy A. Norris, 1995)

MÉTODO SCORING

El método del Scoring es una manera rápida y sencilla para identificar la alternativa preferible en un problema de decisión multicriterio. Las etapas del método son las siguientes:

1. Identificar la Meta general del Problema.
2. Identificar las Alternativas.
3. Listar los criterios a emplear en la toma de decisión.
4. Asignar una ponderación para cada uno de los Criterios.
5. Establecer en cuanto satisface cada alternativa a nivel de cada uno de los criterios.
6. Calcular el Score para cada una de las alternativas.
7. Ordenar las alternativas en función al score. La alternativa con el score más alto representa la alternativa a recomendar.

Modelo para Calcular el Score: $S_j = \sum_i w_i r_{ij}$

Dónde:

r_{ij} = rating de la alternativa j en función del criterio i

w_i = ponderación para Criterio i

S_j = Score para la alternativa j

MÉTODO DEL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO (AHP)

El Analytical Hierchy Process (AHP) es un alcance particular al método de Ponderación aditiva. En resumen, la puntuación de una alternativa es igual a la suma ponderada de los ratings cardinales de evaluación y preferencia, donde los pesos son por importancia asociadas a cada atributo. Las puntuaciones cardinales para cada alternativa pueden ser usadas para ordenar, evaluar, o elegir una alternativa.

El método AHP es un procedimiento diseñado para cuantificar juicios u opiniones gerenciales sobre la importancia relativa de cada uno de los criterios en conflicto empleados en el proceso de toma de decisiones.

Las 8 etapas del método son las siguientes:

- (1) Descomponer el problema de Decisión en una jerarquía de elementos interrelacionados, identificando: (a) a la Meta general, (b) los Criterios ($i=1,2,\dots,m$) y (c) las alternativas posibles ($j=1,2,\dots,n$).

Para cada uno de los $2m^n$ Criterios repetir las etapas (2) a (5)

- (2) Desarrollar la Matriz de Comparación por Pares (MCP) de alternativas para cada uno de los criterios estableciendo el rating de importancia relativa entre ambas Alternativas consideradas. El Rating se establece a partir de la siguiente escala:

1= igualmente preferida

3= moderadamente preferida

5 = fuertemente preferida

7 = muy fuertemente preferida

9 = exactamente preferida

Pueden asignarse los valores intermedios 2, 4, 6,8. Un rating recíproco (ej. 1/9, 1/7, 1/5, 1/3,...) se aplica cuando la segunda alternativa es preferida a la primera. El valor 1 es siempre preferido a la comparación de una alternativa con sí misma.

- (3) Desarrollar la Matriz Normalizada (MCN) dividiendo cada número de una columna de la Matriz de Comparación por Pares por la suma total de la columna.
- (4) Desarrollar el Vector de Prioridad para el Criterio calculando el promedio de cada fila de la Matriz Normalizada. Este promedio fila representa el vector de Prioridad de la Alternativa con respecto al criterio considerado.
- (5) La consistencia de las opiniones utilizadas en la Matriz de Comparación por pares puede ser determinada a través del cociente de consistencia (RC). Un CR inferior a 0.1 es considerado aceptable. Para aquellos casos en que $CR > 0.10$, las opiniones y juicios deberán ser reconsiderados.
- (6) Luego de que la secuencia (2)-(3)-(4)-(5) ha sido ejecutada para todos los criterios, los resultados obtenidos en (4) son resumidos en una Matriz de Prioridad (MP), listando las Alternativas por fila y los Criterios por Columna.
- (7) Desarrollar u a Matriz de Comparación de Criterios por pares de manera similar a lo que se hizo para las Alternativas en (2)-(3)-(4).
- (8) Desarrollar un Vector de Prioridad Global multiplicando el vector de prioridad de los Criterios (7) por la Matriz de prioridad de las Alternativas (6).

Determinación del Cociente de Consistencia:

1. Para cada Línea de la Matriz de Comparación por pares, determinar una suma ponderada en base a la suma del producto de cada celda por la prioridad de cada alternativa correspondiente.
2. Para cada Línea, dividir su suma ponderada por la prioridad de su Alternativa correspondiente.
3. Determinar la media λ_{max} del resultado de la etapa (2).
4. Calcular el índice de consistencia para cada alternativa: $CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$
5. Determinar el índice RI de la Tabla Siguiete:

Tabla. 1.3. "Índices Aleatorios" (Saaty, 1988)

Total de Alternativa (n)	Índice Aleatorio (RI)
3	0.58
4	0.90
5	1.12
6	1.24
7	1.32
8	1.41

6. Determinar el Cociente de Consistencia (CR): $CR = CI/RI$

Estructuración del Modelo Jerárquico

En esta etapa debemos desglosar el problema en sus componentes relevantes. En una jerarquía funcional, los sistemas complejos se descomponen en sus partes contribuyentes, de acuerdo con sus relaciones esenciales. Cuando se construye una jerarquía se deben incluir suficientes detalles relevantes para describir el problema de la forma más completa posible. Para lograr esto se debe realizar un análisis de los elementos constituyentes así como de sus relaciones casuales.

Los pasos a seguir para la estructuración del modelo jerárquico son:

1. Identificar el problema central
2. Definición del Objetivo
3. Identificación de Criterios y sub-criterios
4. Identificación de Alternativas factibles

Emisión de los juicios y Evaluaciones

En esta etapa evalúan las alternativas por medio de comparaciones binarias (de a pares) para cada uno de los criterios establecidos. El decisor expresa su preferencia asignando un valor numérico a cada comparación. El AHP dispone

de una escala creada por el mismo Saaty que mide los juicios emitidos por el decisor.

Los juicios pueden ser emitidos, por ejemplo, por especialistas en el área involucrada. También pueden reflejar la opinión de un grupo de personas. En este caso, se debe realizar un promedio geométrico de todas las opiniones emitidas por los miembros del grupo.

En base a las evaluaciones binarias hechas por el decisor se construye una matriz de Comparación por Pares para cada criterio o sub-criterio establecido.

Tabla. 1.4. "Escala de Saaty" (Saaty, 1988)

ESCALA NUMERICA	ESCALA VERBAL
1	Ambos son de igual importancia
3	Moderada importancia de un elemento sobre otro
5	Fuerte importancia de un elemento sobre otro
7	Muy fuerte importancia de un elemento sobre otro
9	Extrema importancia de un elemento sobre otro
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes
Incrementos de 0.1	Valores intermedios de la graduación mas fina de 0.1

Una vez construida la matriz se procede a normalizar la misma. Uno de los procedimientos de normalización más usados consiste en dividir cada número de una columna de la Matriz de Comparación de Pares por la suma total de la columna.

Luego se realiza un promedio aritmético de cada línea de la matriz normalizada y obtenemos un vector de prioridad para cada criterio.

Analizar consistencia de las opiniones vertidas

La inconsistencia surge cuando algunos juicios de la Matriz de Comparación de Pares se contradicen con otros. Al emitir juicios uno hace comparaciones redundantes para mejorar la validez de la respuesta. Dado que los que responden pueden estar poco seguros o hacen malas apreciaciones al comparar algunos de los elementos, los juicios de una matriz puede que no sean

consistentes. La consistencia es importante, debido a que una baja consistencia puede ser un síntoma de la aleatoriedad de los juicios. Por otra parte, el mundo no es perfectamente consistente, la inconsistencia es parte de la realidad. Igualmente podemos concluir que es deseable que nuestros juicios posean un nivel de inconsistencia bajo.

MÉTODO NO TRADICIONAL DEL CRITERIO DE INVERSIÓN DE CAPITAL (NCIC)

El método involucra comparaciones por parejas en el desempeño de ganancias (sobre una alternativa línea base) de un grupo de atributos, para una alternativa dada. Uno de los atributos debe ser medido en unidades monetarias. Estas comparaciones son combinadas para estimar valores monetarios atribuidos a cada desempeño de ganancia, y estos valores son sumados para uniformizar el valor total implicado para cada alternativa. Esto significa que los valores pueden ser usados para seleccionar alternativas, ordenar alternativas, o para evaluar alternativas.

El método "Nontraditional capital Investment Criteria" (NCIC) es un método MADA que se considera en el grupo de los métodos "valor total implicado" o "total implied value".

Métodos "Total Implied Value"

NCIC fue desarrollado por Boucher y MacStravic como una alternativa al método AHP. NCIC proporciona puntuaciones en unidades de valor presente monetario, en lugar de producir puntuaciones sin unidades.

Boucher y MacStravic desarrollo NCIC haciendo una serie de modificaciones al AHP en lugar de iniciar de cero.

Puntuaciones Cardinales de Alternativas

Los métodos TIV desarrollan puntuaciones cardinales numéricas para caracterizar el valor total implicado en cada alternativa. Las puntuaciones de valor total implicado, V_i (para cada alternativa, $i=1, \dots, m$), puede luego ser

usado para evaluar las alternativas, para identificar un subconjunto de alternativas preferidas, o para seleccionar la alternativa más preferida.

Pesos no cardinales de los atributos

La importancia de los atributos depende de cada alternativa. Por ello, los métodos TIV no usan pesos para caracterizar la importancia de los atributos o sub atributos.

Acumulables

Los incrementos separados de valor son sumables. El valor total implicado de una alternativa es definida como la suma de incrementos de valores asociados con el desempeño relativo a cada uno de los atributos en la jerarquía.

$$V_i = \sum_{j=1}^n v_{ij}$$

Características del NCIC

Comparaciones por parejas

Para cada par de atributos siendo comparadas, la decisión responde a la pregunta ¿Qué tan valioso es el desempeño de una alternativa respecto al atributo "A" con respecto al atributo "B"?

Método del Eigenvalor Principal

Como el AHP, NCIC usa el método del eigenvalor principal para convertir a la matriz de comparación en un vector de pesos. Boucher y MacStravic recomendaron usar el mismo método propuesto por Saaty en el AHP.

Jerarquía

Como AHP, el método NCIC permite dividir los atributos por jerarquías en grupos de atributos y sub atributos. A diferencia del AHP, NCIC permite jerarquizar los atributos de manera diferente para alternativas diferentes. Esto significa que si un atributo es importante solo para una de las alternativas, entonces solo se deberá incluir en la jerarquía definida para esa alternativa y no para el resto.

Incrementos de valor implicado

NCIC incluye cálculos que convierten los vectores de los pesos de alternativas en incrementos de valor implicado (v_{ij}). El NCIC usa el atributo "beneficios (monetarios) anuales" para que los incrementos de valor sean expresados en términos monetarios.

Especificando una alternativa de línea base

Al inicio de un análisis MADA con NCIC, se debe definir una alternativa de línea base con respecto al cual se juzgaran las demás alternativas. Para cada alternativa, se evaluará los incrementos de valor adicionados o restados por cada diferencia entre la alternativa y la línea base.

Uso de la jerarquía en NCIC

Existen dos diferencias en el uso de la jerarquía entre el método AHP y el NCIC. Primero, que uno o más atributos pueden ser relevantes para uno o algunas alternativas. NCIC permite construir una jerarquía de atributos diferente para cada alternativa (si es necesario), donde la jerarquía de cada alternativa solo contiene aquellos atributos que suman o restan valor a la alternativa.

Segundo, NCIC requiere que cada jerarquía contenga un atributo llamado "beneficios anuales". Este atributo se refiere a la suma de todos los beneficios anuales (descontándoles los costos) que pueden ser expresados directamente en términos monetarios. Los beneficios y costos son medidos respecto a la alternativa línea base. Los beneficios anuales se convierten en el atributo numérico durante las fases finales de un análisis NCIC. El valor agregado por las otras alternativas es expresado en unidades monetarias de beneficios anuales.

Comparaciones por parejas

Las suposiciones para el desarrollo de las matrices de comparación de parejas (MPCs) del NCIC son idénticas a las del AHP. Sin embargo la naturaleza de las preguntas de comparación es distinta.

En AHP, se hace comparación por parejas de atributos en términos de su importancia relativa, y de alternativas en términos de preferencia respecto a cada

atributo. En NCIC, se hace una separación de un conjunto de parejas de comparación de atributos para cada alternativa. En NCIC, se compara los incrementos de valor atribuido de forma separada en la cual una alternativa difiere de la alternativa línea base.

Si un atributo está compuesto de una serie de sub atributos, luego el valor incremental de un atributo es igual a la suma de valores incrementales de los valores asociados de sus sub atributos. Por esta razón, solo los atributos finales de una jerarquía deben incluirse en la comparación de parejas en NCIC. Los atributos finales son aquellos que se encuentran la punta más extrema (fondo) de cada rama de la jerarquía. Sería los casilleros sombreados del árbol mostrado a continuación.

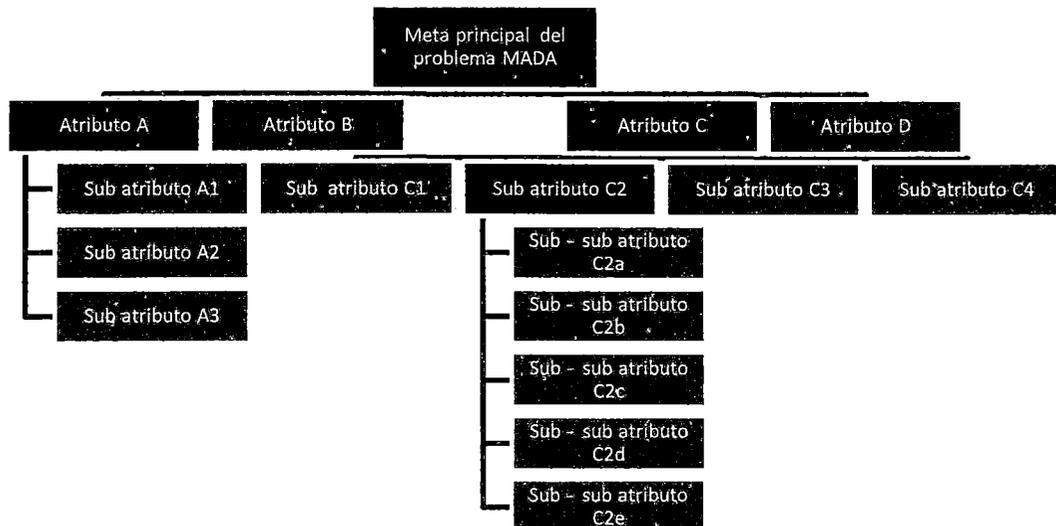


Fig. 1.18. "Jerarquía de atributos y subatributos". (Gregoy A. Norris, 1995)

Cálculo de valores incrementales

Las MPCs en NCIC contienen la comparación de decisiones del que emite el juicio, para una alternativa dada, el valor de las diferencias entre la alternativa línea base con respecto a un par de atributos. La alternativa "i" difiere de la alternativa línea base con respecto a los atributos j y k. Cada uno de estas diferencias añade o substraer un incremento de valor (v_{ij} y v_{ik} respectivamente) para la alternativa i. El objetivo de NCIC es graficar las decisiones del juez acerca de cada uno de estos incrementos de valor, para cada alternativa. En

lugar de preguntar al que toma las decisiones estos incrementos de valor directamente, NCIC le pide al juez que haga comparaciones por parejas de cada incremento de valor asociado con la pareja de atributos.

CAPÍTULO II: CONTROL DE CAMBIOS

Casi todos los proyectos sufren de cambios respecto a su definición original, al menos una vez durante toda su evolución. Los cambios pueden ser propuestos por cualquiera de los interesados asociados al proyecto. Un cambio puede ser inevitable o altamente necesario, pero de la misma forma puede ser innecesario o inútil. Es esencial que cualquier propuesta de cambio para el proyecto sea formalmente controlado.

El equipo de control y gestión de proyectos, debe revisar los cambios totalmente antes de que sean aprobados para su ejecución. Su impacto en todos los aspectos debe ser totalmente documentado y eficientemente comunicado. El proyecto debe tener un efectivo sistema de control de cambios en operación y el profesional de la gestión de proyectos debe estar familiarizado con su operación.

Es por ello que en este capítulo se estudiará el sistema de control de cambios y su aplicación en los proyectos tipo EPC y fast track. Para ello se ha elegido el proyecto Ciudad Nueva Fuerabamba.

2.1. ASPECTOS GENERALES

2.1.1. DEFINICIÓN DE CAMBIOS

Los cambios son alteraciones o variaciones del alcance del trabajo y/o el cronograma. Por ello pueden ser revisiones al diseño, a los procesos y a los diferentes componentes de un proyecto. Estos ocurren cuando el alcance del trabajo cambia o cuando el cliente revisa los requerimientos para el proyecto. Ocasionalmente, existen cambios por regulaciones legales que pueden impactar en las decisiones tempranas del diseño.

Los cambios pueden ocurrir si la etapa de diseño conceptual ha sido inadecuada, o la organización del cliente no es administrada efectivamente para dar instrucciones consistentes y a tiempo. Bajo estas circunstancias, el gerente de proyecto debe discutir los cambios propuestos con el cliente y estar de acuerdo en que el curso de acción que se va a tomar.

Alternativamente, el cliente debe reservar la correcta variación del alcance del proyecto a una etapa tardía en el diseño para preservar la flexibilidad. Como sea, mientras el equipo de diseño y construcción entienda la flexibilidad que es requerida y el cliente acepte los costos resultantes y la incertidumbre, una buena relación de trabajo se puede mantener.

Una buena comunicación del cliente a todo el equipo de diseño y construcción es esencial para asegurar que ellos aprecien las razones por las cuales existe la incertidumbre del cliente y sus decisiones tardías. De otra forma, la moral sufrirá de las frustraciones de intentar alcanzar metas irracionales.

Es importante entender que los cambios no son algo negativo; siempre y cuando sean cambios que van a agregar valor al proyecto en su definición original. Esto implica que todo cambio debe ser bien recibido siempre que el costo del cambio sea menor que el beneficio del mismo.

2.1.2. DEFINICIÓN DE CONTROL

Existen muchas definiciones de control pero para esta tesis se asumirá la siguiente definición propuesta por el AACE Internacional.

Se entiende por Control a:

- Acción de gestionar, y pre planear para alcanzar el resultado deseado o tomar medidas correctivas sobre el proceso monitoreado.
- Tomar acciones correctivas a tiempo. El control ocurre si el monitoreo y la estimación de actividades indican un resultado final indeseado es probable de ocurrir y que un final diferente es posible.
- Proceso de comparar el desempeño actual con el desempeño planificado, analizando las diferencias, y tomando acciones apropiadas de corrección.¹

2.1.3. DEFINICIÓN DE CONTROL DE CAMBIOS

¹AACE International. "Cost Engineering Terminology, TCM Framework: General Reference". AACE International Recommended Practice. Estados Unidos, 2010.

Según el AACE Internacional se entiende por Control de Cambios o Change Control a:

- Proceso de aceptar o rechazar cambios a la línea base del proyecto. La falta de control de cambios es uno de las causas más comunes del vacío en los alcances del proyecto o "scopecreep".
- Proceso de implementar procedimientos que aseguren que los cambios propuestos son evaluados apropiadamente y, si son aprobados, incorporarlos en el plan del proyecto. Cambios incontrolados son las causas más comunes de retrasos y fracasos en los proyectos.
- El proceso de reducción de riesgos, de aceptar o rechazar cambios a la línea base del proyecto, basados en un criterio predeterminado o puntos de activación "Trigger points".²

En el control de cambios, debe liderar con tres problemas independientes:

- Cambios o variaciones, que pueden tener sus orígenes en una solicitud del cliente o de una ineficiente interpretación de las necesidades del mismo. En el segundo caso está muy relacionados con una poca o nula comunicación a nivel transversal entre el cliente y su equipo de diseño.
- Desarrollo deficiente del diseño, producto de falta de evaluación de alternativas en las cuales participen el equipo completo del proyecto. Es decir por la ausencia de personal clave como los especialistas en construcción, los subcontratistas, los principales proveedores y el mismo cliente.
- Un requerimiento de campo para información o RFI (Request for Information), producto de indefiniciones en los entregables del diseño. Con diseños complejos o intrincados es muy complicado detallar todos los aspectos de un proyecto en papel y pueden existir ocasiones donde un detalle puede necesitar ser resuelta con el equipo de campo. Un dibujo puede ser resuelto o confirmado con una instrucción confirmada por el equipo de diseño. El punto importante es que la decisión debe ser hecha rápidamente para permitir que el trabajo continúe. Si un gran problema de detalle de diseño necesita ser resuelto de esta forma, entonces la gestión del proceso de diseño ha fallado. Un diseñador con

²AACE International. "Cost Engineering Terminology, TCM Framework: General Reference". AACE International Recommended Practice. Estados Unidos, 2010.

la responsabilidad de tomar decisiones ejecutivas debe basarse en la información de campo o en una investigación acelerada del tema.

Cada uno debe ser claramente separado y su efecto en el proceso de diseño debe ser entendido y evaluado. Estos temas pueden ser un potencial problema para los procesos de diseño y construcción. Si los tipos de cambios no son claramente identificados, la confusión puede seguir, porque cada fuente tiene diferentes consecuencias de costos para las partes.

2.1.4. PROCEDIMIENTOS Y SISTEMAS DE CONTROL DE CAMBIOS

La necesidad para una variación puede ser originada por el cliente, consultores de ingeniería, especialistas o contratistas. El procedimiento puede variar ligeramente en cada caso, pero siempre se deben controlar y el efecto de cualquier cambio debe ser entendido y aceptado por el cliente. También, cualquier variación al contrato, una vez identificado, debe ser evitado a no ser que se entiendan y acepten todas las consecuencias por todas las partes antes que la orden de cambio sea un problema. La necesidad principal es identificar la fuente de los requerimientos de cambios y establecer su importancia material y contractual.

Dependiendo de la naturaleza del proyecto y el problema, puede haber una necesidad de obtener una información de los especialistas y un formal "Request for Proposal" (RFP) o "Requerimiento de Propuestas". Los RFP definen el alcance de la propuesta del cambio y sugerencias de cómo deberían ser resueltas y acondicionadas en el diseño.

La evaluación de opciones es un problema complejo por el efecto, no solo en el diseño, sino también en otros diseñadores y en su trabajo. También deben ser considerados los efectos ocultos en el proceso de suministro y fabricación. El equipo completo de diseño debe evaluar el plazo y costo de cada opción. Una evaluación formal y selección de proceso debe ser adoptada para una correcta decisión de aceptar o no el cambio.

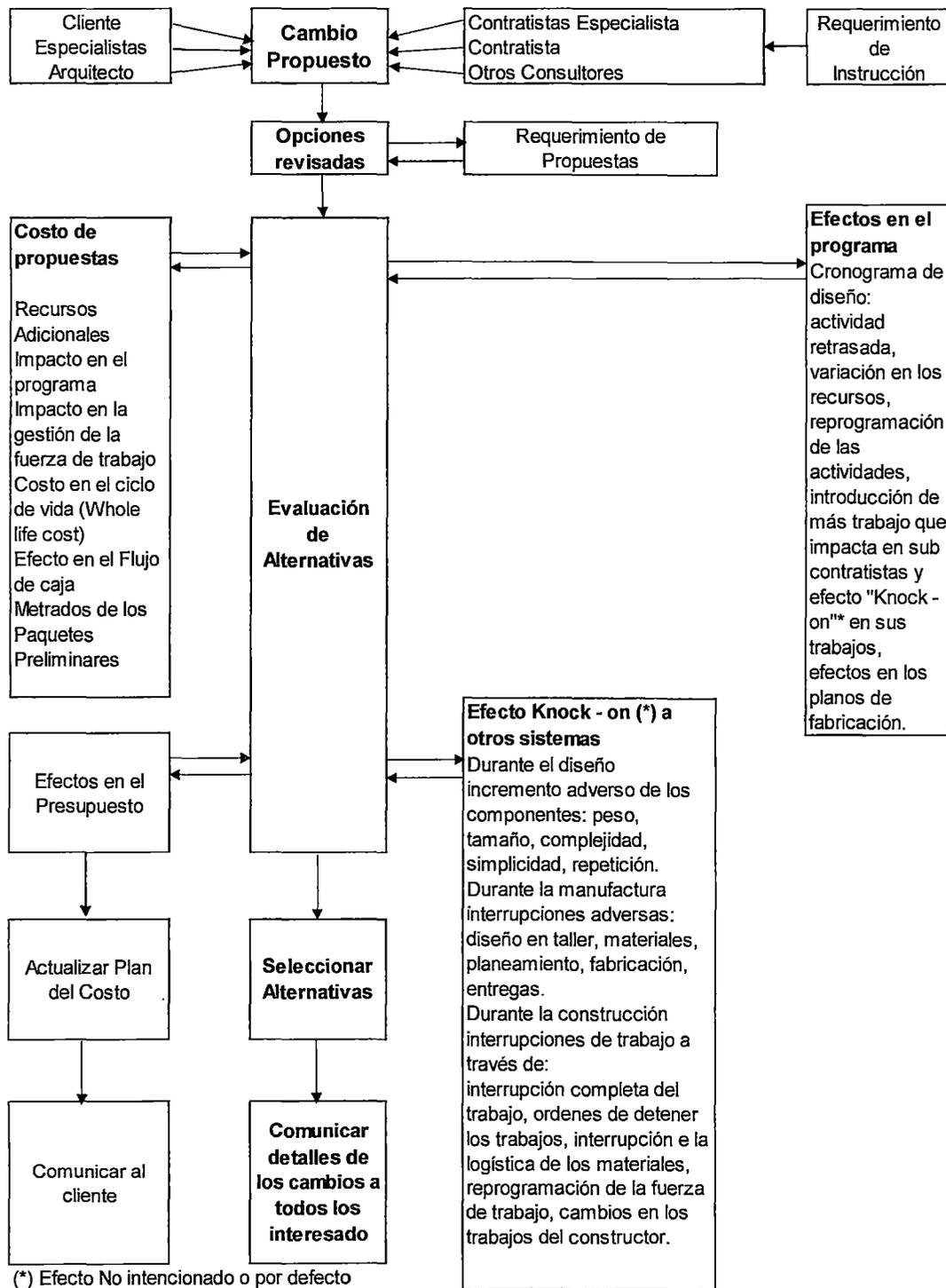


Fig. 2.1. Diagrama de Flujo de Control de Ordenes de Cambio. (Collin Gray, 2001)

Es común que los cambios pequeños sean aprobados al momento que van sucediendo y que los cambios grandes sean considerados más cuidadosamente. Se debe tener cuidado con esta estrategia, cuando muchos cambios pequeños pueden tener un efecto mayor que unos pocos cambios mayores. Es esencial evitar cambios incidentes y continuos. Todos los cambios deben ser identificados

y se debe comunicar a todos los afectados, en una forma clara y ambiciosa, conociendo las implicaciones en el costo y el avance del proyecto.

2.2. TIPOS DE PROYECTOS Y MODALIDADES DE CONTRATACIÓN

2.2.1. TIPOS DE PROYECTOS SEGÚN LA ESTRATEGIA DE PROCURA

Cuando todos los factores que influyen en el proyecto han sido identificados y los requerimientos del proyecto han sido analizados, la estrategia final del proyecto debe ser desarrollada. Es probable que exista más de una forma de alcanzar exitosamente los requerimientos del proyecto. Por ello que la estrategia de la Procura del Proyecto muchas veces define el tipo de Proyecto. Las principales estrategias de procura definen los siguientes tipos de proyectos:

Tradicional (Diseño-Concurso-Construcción)

Bajo una estrategia de procura tradicional, el diseño debería completarse antes que los concursantes sean invitados a participar en la contratación de la construcción. Como resultado, y asumiendo que los cambios no son introducidos, los costos de construcción pueden determinarse con una precisión razonable antes que la construcción inicie.

El contratista asume la responsabilidad y los riesgos financieros por los trabajos de construcción mientras que el cliente toma la responsabilidad y el riesgo por el desempeño del equipo de diseño. Por ello, si los trabajos del contratista son retrasados por una deficiencia del equipo de diseño, el contratista buscará una recompensa por parte del cliente por los costos adicionales y/o más tiempo para completar el proyecto (ampliaciones de plazo). Por otra parte, el cliente puede buscar recuperar estos costos del equipo de diseño responsable, si la negligencia puede ser probada.

Una de las características o ventajas de este tipo de proyectos es que los clientes pueden influir en el desarrollo del diseño para que sea compatible con sus requerimientos porque tiene una relación contractual directa con el equipo de diseño. Cuando la construcción comienza, el cliente tiene usualmente una

relación única contractual con el contratista general, y por ello es capaz de influir (pero no controlar) el proceso de construcción a través del único punto de contacto.

Esta estrategia puede fallar en cierto grado si se hace algún trabajo antes de que el diseño este completo. Tal acción puede resultar en muchos cambios post-contratación los cuales pueden retrasar el progreso de los trabajos e incrementar los costos. El problema de esta forma de contratación es que no se puede aprovechar del input de la constructabilidad del contratista.

Contratos por medidas o a precios unitarios

Es aquel contrato en el cual la suma queda establecida con precisión al completarse la construcción, cuando la remeida de las cantidades de trabajo es llevada a cabo y luego son valorizadas a un precio unitario acordado. Se utiliza este tipo de contratos cuando los trabajos requeridos no pueden ser medidos con precisión debido a la indefinición de las cantidades. El uso más efectivo de estos contratos es cuando el trabajo ha sido sustancialmente diseñado pero el detalle final no se ha completado. Con una tendencia de costos basados en esquemas y una lista de cantidades aproximadas se obtiene un presupuesto satisfactorio.

Estos contratos permiten al cliente acortar el programa del diseño, estimación y construcción pero usualmente con el resultado de falta de precisión en el precio en la etapa de contratación porque las cantidades aproximadas reflejen la falta de información en lo que exactamente se va a construir en la etapa estimación.

Gestión de la construcción (Por administración)

Bajo esta estrategia, el cliente no asigna la responsabilidad a un solo contratista. En su lugar, el cliente contrata al equipo de diseño y a un gerente de construcción con una utilidad o remuneración para programar y coordinar el diseño y construcción; así como para mejorar la constructabilidad del diseño. El trabajo de construcción es llevado a cabo por contratistas especializados por contrataciones directas con el cliente por distintos rubros o paquetes de trabajo.

El gerente de construcción supervisa el proceso de construcción y coordina con el equipo de diseño. Con esta estrategia de contratación, el diseño y la construcción se pueden traslapar. Como esto acelera el proyecto, la gerencia de construcción es conocida como la estrategia "fast track". A pesar de que el tiempo para completar el proyecto puede reducirse, la precisión del precio no es alcanzada hasta que el diseño y construcción han avanzado hasta el punto en el que todos los rubros o paquetes de trabajo se han definido. Esta estrategia ha sido usada predominantemente en proyectos grandes y complejos. Es particularmente recomendable para proyectos donde existe un alto grado de innovación de diseño.

Gestión de contratación

Con esta estrategia de procura, el gerente de contrato está enganchado al cliente para administrar el proceso de construcción y se le paga una utilidad. El contratista general o gerente de contratos es responsable de todos los trabajos de construcción y tiene un vínculo contractual con todos los contratistas de los trabajos. El contratista general, es responsable de todos los trabajos sin la necesidad de realizar ninguno de los trabajos. El cliente contrata al equipo de diseño y asume el riesgo de los retrasos producto de alguna falla en el diseño. La gestión de contratación es una estrategia fast-track.

Diseño, Construcción y Gestión (EPCM)

Una estrategia de diseño y gestión es similar a la gestión de contratación. Bajo un contrato de diseño y gestión, al contratista se le paga por administrar y asumir la responsabilidad, no solo por los trabajos de los contratistas, sino también por el equipo de diseño. Este tipo de proyectos también utilizan la estrategia fast-track.

Diseño y construcción (EPC)

Bajo una estrategia de diseño y construcción, un solo contratista asume el riesgo y responsabilidad por diseñar y construir el proyecto, para obtener una utilidad por una suma alzada. Es una estrategia fast-track. La construcción puede

comenzar antes del diseño detallado esté completado, pero a riesgo del contratista. Al transferir el riesgo al contratista, el cliente pierde un poco el control del proyecto. Cualquier requerimiento del cliente, que no esté específicamente detallado en los documentos iniciales, constituirá un cambio o variación del contrato.

2.2.2. MODALIDADES DE CONTRATACIÓN EN PROYECTOS

Un contrato es un acuerdo legal entre dos o más partes. Los proyectos pueden tener diferentes modalidades de contratación, y muchos de ellas pueden ser combinaciones e incluir acuerdos particulares. Sin embargo entre las principales modalidades de contratación en proyectos podemos nombrar:

- (1) Un costo por contrataciones más una utilidad, en esta modalidad el contratista acuerda financiar los servicios del cliente y los materiales al costo actual, más una utilidad acordada por los servicios. Este tipo de contrato es empleado más frecuentemente cuando el alcance de los servicios a ser provistos no está bien definido.
 - a. Costo más un porcentaje de gastos generales y una utilidad: el cliente pagará todos los costos según definiciones del contrato, más “gastos generales y utilidad” a un porcentaje específico de los costos de trabajo que el cliente estará pagando directamente. Este tipo de contratos generalmente es usado para servicios de ingeniería.
 - b. Costo más utilidad fija: el cliente paga costos como se define en el contrato. Los gastos generales son reembolsables según el costo de la mano de obra y considerados como parte del costo. Adicionalmente al costo y los gastos generales, el cliente paga una cantidad fija como utilidad del contratista.
 - c. Costo más una suma fija: el cliente paga costos definidos por el contratista más una suma fija que cubre los costos no reembolsables y provee además una utilidad.
 - d. Costo más un porcentaje de utilidad: el cliente paga todos los costos, más un porcentaje para el uso de la organización del contratista.

- (2) Los contratos del tipo precio fijo son aquellos donde el contratista acuerda financiar los costos de servicios y materiales a un precio específico, posiblemente con un acuerdo mutuo de acuerdo a una cláusula de escalas. Este tipo de contratos son comúnmente empleados cuando el alcance de los servicios a proveer están bien definidos.
- a. Suma Alzada: el contratista acuerda realizar todos los servicios especificados por el contrato por una cantidad fija. Una variante de este tipo puede incluir un acuerdo de llave en mano donde el contratista garantiza la calidad, cantidad y el beneficio en el proceso de una planta o una instalación.
 - b. Precio unitario: al contratista se le pagará según acuerdo de un precio unitario por los servicios desempeñados. Por ejemplo, horas de trabajo técnico se pagarán por precio unitario pactado. Usualmente el trabajo de campo es asignado a un subcontratista por el contratista general en un precio unitario base menor al que percibirá el contratista general.
 - c. Máxima garantía (Precio objetivo): un contratista acuerda realizar todos los servicios como se definen en el contrato garantizando que el total de costo del cliente no excederá una cantidad estipulada como monto máximo. Usualmente, este tipo de contratos contienen acuerdos especiales de ahorros compartidos para proveer de incentivos al contratista a minimizar los costos bajo el máximo estipulado.
 - d. Bonos y Penalidades: un arreglo especial de contrato entre el cliente y el contratista donde al contratista se le asegura una bonificación, usualmente acordada como un monto fijo, por cada día el proyecto es completado según un cronograma específico y/o por debajo de un monto específico, y acuerda pagar una penalidad similar por cada día que se alcance después de la fecha o por encima del costo pactados como máximo.

2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS ESTIMADOS DE COSTOS

Para el desarrollo de esta sección del capítulo de la tesis se ha considerado la práctica recomendada del AACE Internacional, en la Clasificación de Estimación de Costos que provee los lineamientos para la aplicación de los principios generales de la clasificación para evaluar la estimación de costos en proyectos.

Evaluar la estimación de costos en un proyecto típicamente involucra estimaciones para inversión de capital, y excluye evaluaciones de operación y evaluaciones del ciclo de vida.

El sistema de Clasificación de Estimación de Costos:

- Provee conceptos comunes entendibles de clasificación de costos en proyectos, sin importar el tipo de empresa o industria.
- Usa el grado de definición del proyecto como una característica principal para categorizar las clases de estimaciones.
- Refleja las practicas generalmente aceptadas en la profesión de la ingeniería de costos.

Este sistema intenta mejorar la comunicación entre los involucrados con la preparación, evaluación y uso de la estimación de costos en proyectos. Varios de los que utilizan la estimación de costos en proyectos malinterpretan la calidad y valor de la información disponible para preparar estimaciones de costos, los variados métodos empleados durante el proceso de estimación, el nivel de precisión esperado de las estimaciones, y el nivel de riesgo asociado con las estimaciones. Este sistema de clasificación busca ayudar a involucrarse con las estimaciones en proyectos para evitar malinterpretaciones de los varios tipos de estimaciones de costos.

2.3.1. METODOLOGÍA DE CLASIFICACIÓN

Existen muchas características que pueden utilizarse para categorizar los tipos de estimaciones de costos. Las características más significativas son el grado de definición de proyecto, la metodología de estimación, el esfuerzo y tiempo necesario para preparar la estimación. La principal característica para el sistema es el grado de definición del proyecto.

Los niveles discretos de definición del proyecto usados para clasificación de estimaciones corresponden a las fases típicas y puertas de evaluación, autorización, y ejecución usualmente usada por los interesados del proyecto durante un ciclo de vida del proyecto.

Se han establecido cinco clases de estimación de costos. Mientras el nivel de definición del proyecto es un espectro continuo, se determinó en base al benchmarking de las prácticas de la industria a cinco categorías discretas que son comúnmente usadas.

La designación de clases de estimación de costos recibe denominaciones desde un Clase 1 hasta un Clase 5. Una estimación de costos Clase 5 es para el nivel más bajo de definición del proyecto, y un Clase 1 está cerca a la definición y maduración completa del proyecto. Esta clasificación arbitraria considera que la estimación de costos es un proceso donde las estimaciones son preparadas sucesivamente hasta que una estimación final cierra el proceso.

Tabla. 2.1. "Matriz genérica de la clasificación de estimación de costos". (AACE, 2010)

CLASE DE ESTIMADO	Característica Principal	Características secundarias			
	NIVEL DE DEFINICIÓN DEL PROYECTO Expresado como % de la definición completa	FIN DE USO Propósito típico del estimado	METODOLOGÍA Metodo típico de estimación	RANGO ESPERADO DE PRECISIÓN Rango típico +/- relativo al índice 1 (a)	ESFUERZO DE PREPARACIÓN Grado típico de esfuerzo relativo a índice de menor costo de 1 (b)
Clase 5	0% a 2%	Vistazo general o Factibilidad	Estocático o de Juicio	4 a 20	1
Clase 4	1% a 15%	Estudio conceptual o Factibilidad	Principalmente Estocástico	3 a 12	2 a 4
Clase 3	10% a 40%	Autorización de presupuesto, o control	Mezclado, pero principalmente estocástico	2 a 6	3 a 10
Clase 2	30% a 70%	Control o Concurso/ Tendencias (Tender)	Principalmente Determinístico	1 a 3	5 a 20
Clase 1	50% a 100%	Revisión de Estimación o Concurso / Tendencias (Tender)	Determinístico	1	10 a 100

Notas: (a) Si el rango del índice del valor "1" representa +10/5%, luego índice de valor de 10 representa +100/-50%.

(b) Si el valor del índice de costo de "1" representa 0.005% de los costos del proyecto, entonces un índice de valor de 100 representa 0.5%

2.3.2. DEFINICIONES DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS ESTIMADOS DE COSTOS

Nivel de Definición del proyecto (Característica principal): Esta característica está basada en el porcentaje completado de la definición del proyecto (de forma general podemos decir que se refiere al porcentaje completado de la ingeniería). El nivel de definición del proyecto define la maduración o la extensión y tipos de entradas de información disponible para el proceso de estimación. Tales entradas incluyen la definición del alcance del proyecto, documentos de requerimientos, especificaciones, planes del proyecto, planos, cálculos, experiencias de proyectos pasados, información de reconocimiento en campo, y otro tipo de información que pueden desarrollar o definir el proyecto. Cada industria tendrá un conjunto típico de entregables que son usados para sustentar el tipo de estimaciones usado en la industria. El conjunto de entregables se vuelve más definido y completo conforme el nivel de definición del proyecto avanza.

Fin de uso (Característica secundaria): Las varias clases (o fases) de las estimaciones de costos preparados para un proyecto usualmente tienen diferentes usos o propósitos. Así como el nivel de definición del proyecto aumenta, el fin del uso del estimado usualmente aumenta desde una evaluación estratégica y estudios de factibilidad hasta autorizaciones para fondos y presupuestos y hasta para control de costos en proyectos.

Metodología de estimación (Característica secundaria): Metodologías de estimación caen dentro de dos categorías: estocásticas y determinísticas. En los Métodos estocásticos, las variables independientes usadas en los algoritmos de estimación de costos no son generalmente otra cosa más que una directa medición de las unidades que están siendo estimadas. Las relaciones de estimación de costos usadas en los métodos estocásticos son usualmente sujetas a conjeturas. Con los métodos determinísticos, las variables independientes son más o menos una medida definitiva del ítem a ser estimados. Una metodología determinística no está sujeta a conjeturas significativas. Conforme el nivel de definición del proyecto aumenta, la metodología de estimación tiende a pasar de métodos estocásticos a determinísticos.

Rango esperado de precisión (Característica Secundaria): El rango de precisión de un estimado es un indicador del grado de variación del costo real de un proyecto respecto a su costo estimado. La precisión es tradicionalmente expresada como un rango de porcentaje +/- alrededor de un punto estimado luego de haber aplicado las contingencias, con un nivel de confiabilidad de que el costo real estará dentro de este rango (las medidas +/- son una útil simplificación, considerando que el costo real tiene diferentes distribuciones de frecuencias para diferentes tipos de proyectos). Conforme el nivel de definición del proyecto aumenta, la precisión esperada de las tendencias mejorará, reflejándose en un rango de variación +/- más estrecho.

Se debe notar que en la Tabla 2.1, los valores en la columna de rango de precisión + o - no son porcentajes, pero en su lugar representan un valor índice relativo al mejor rango como un índice de valor de 1. Si, para una industria en particular, un estimado Clase 1 tienen un rango de precisión de +10/-5 por ciento, luego un estimado Clase 5 en la misma industria tienen un rango de precisión +100/50 por ciento, asumiendo un valor índice de 10 para este clase.

Esfuerzo para preparar el estimado (Característica Secundaria): El nivel de esfuerzo para preparar un estimado dado es un indicador del costo, tiempo, y recursos requeridos. El costo medido del esfuerzo es típicamente expresado como un porcentaje de los costos totales del proyecto para un proyecto de un tamaño determinado. Conforme el nivel de definición del proyecto aumenta, la cantidad de esfuerzo para preparar un estimado aumenta, así como lo hace el costo relativo al costo total del proyecto. El esfuerzo para desarrollar los entregables no está incluido en las métricas del esfuerzo, solo están incluidos los costos para preparar el estimado mismo.

2.3.3. RELACIONES Y VARIACIONES DE LAS CARACTERÍSTICAS

Existe una gran cantidad de relaciones complejas que pueden ser expuestas respecto a las características dentro de la clasificación de estimados. La principal tendencia de como las características secundarias varían con el nivel de definición del proyecto fue desarrollado en el punto anterior. Esta sección explora esas tendencias a más detalle. Típicamente, existen similitudes en las características secundarias entre un estimado y el siguiente, pero en ninguna situación existirá variaciones en el uso, metodología, precisión y esfuerzo.

El nivel de definición del proyecto es el conductor de las otras características. Típicamente, todas las características secundarias tienen el nivel de definición del proyecto como un determinante principal. Mientras las otras características son importantes para categorizar, estas carecen un consenso total. Por ejemplo, la propuesta de un estimador puede ser el presupuesto de otro estimador. Característica como la precisión y la metodología pueden variar marcadamente de una industria a otra, e inclusive de un estimador a otro dentro de una misma industria.

Nivel de definición del proyecto: Cada proyecto (o grupo de industria) tendrá un grupo típico de entregables que son usados para sustentar una clase dada de estimado. La disponibilidad de estos entregables está directamente relacionada al nivel alcanzado en la definición del proyecto. Cada industria tiende a concentrarse en un elemento de definición del proyecto que conduce la madurez del nivel del estimado. Por ejemplo los proyectos arquitectónicos tienden a estar enfocados en la estructura.

Uso final: mientras existen usos comunes de un estimado para diferentes interesados, el uso siempre es relativo a la identidad de los interesados. Por ejemplo, el dueño de una compañía puede usar un estimado de una clase determinada para sustentar los fondos de su proyecto, mientras que un contratista puede usar la misma clase de estimado para presentar una propuesta de licitación. No es raro encontrar interesados categorizando sus estimados según el uso por títulos como “presupuesto”, “estudio de factibilidad”, o “propuesta para licitar”. Dependiendo de la perspectiva y necesidades, es importante entender que todos estos nombres se le pueden dar a un estimado de la misma clase (basados en la característica primaria del nivel de definición del proyecto).

Metodología de estimación: como se mencionó anteriormente, metodologías de estimación caen dentro de dos categorías: métodos estocásticos y determinísticos. Los métodos estocásticos usualmente involucran modelamientos simples o complejos basados en relaciones inferidas o estadísticas entre los costos y parámetros programáticos y/o técnicos. Los

métodos determinísticos tienden a ser mediciones directas de unidades de ítems multiplicadas por unidades de costo conocidos o factores conocidos de la experiencia. Es importante darse cuenta que cualquier combinación de métodos puede encontrarse en cualquiera de las clases de estimados. Por ejemplo, si un método estocástico es conocido por ser preciso, sea usado en lugar de un método determinístico inclusive cuando hay suficiente información basados en el nivel de definición del proyecto para sustentar un método determinístico. Puede deberse también al menor esfuerzo requerido para preparar un estimado usando métodos estocásticos.

Rango de precisión esperado: el rango de precisión de un estimado es dependiente de un número de características de la información del estimado y del proceso de estimación. La extensión y maduración de la información de entrada es medida como un porcentaje completado (y relativo al nivel de definición del proyecto) y un determinante importante para determinar la precisión. Sin embargo, existen factores además de la información disponible que también afectan importantemente la precisión de las estimaciones. Principalmente entre estos factores se encuentran el estado de tecnología en el proyecto y la calidad de la información de referencia para la estimación de costos.

Estado de tecnología en el proyecto: la tecnología varía considerablemente entre industrias, y afecta la precisión de la estimación. El estado de la tecnología usado hace referencia principalmente a singularidad técnica y programática y complejidad del proyecto. Para un proyecto "único en su tipo" hay un menor nivel de confiabilidad que la ejecución del proyecto será exitosa (inclusive si todo es igual). Generalmente existe un mayor confianza para los proyectos que repiten las prácticas pasadas. Proyectos para los cuales la investigación y desarrollo son elaborados simultáneamente con la preparación de la estimación son particularmente de bajos niveles esperados de precisión.

Calidad de la información de referencia para la estimación de costos: la precisión depende también de la calidad de la información y datos históricos referentes al costo. Es posible tener un proyecto con prácticas comunes en tecnología, pero con poca información histórica de costos disponible referente a proyectos

utilizando ese tipo de tecnología. Además, el proceso de estimación típicamente emplea un número de factores para ajustarse a las condiciones del mercado, la locación del proyecto, consideraciones ambientales, y otras condiciones que son difíciles de evaluar. La precisión del estimado será mejor cuando se haya verificado la información empírica y las estadísticas son empleadas como una base para el proceso de estimación, en lugar de consideraciones asumidas.

En resumen, la precisión de la estimación generalmente se relacionará con la clasificación de la estimación (y por ende con el nivel de definición del proyecto), siendo igual con el resto. Sin embargo, rangos específicos de precisión variarán típicamente según la industria. También, la precisión de cualquier estimado dado no está ajustada o determinada por la categoría de su clasificación. Variaciones significativas en la precisión de un estimado son posibles si cualquiera de los determinantes de la precisión, tales como la tecnología, la calidad de la información referente a costos, la calidad del proceso de estimación, y la habilidad y conocimiento del estimador varían. La precisión no está necesariamente determinada por la metodología usada o el esfuerzo empleado.

Esfuerzo para preparar un estimado: El esfuerzo para preparar un estimado es usualmente determinado por la extensión de la información de entrada disponible. El esfuerzo normalmente aumenta conforme la cantidad y complejidad de los entregables de definición del proyecto también aumenta. Sin embargo, con una metodología eficiente de estimación en proyectos repetitivos, esta relación puede ser menos marcada. Por ejemplo, existen herramientas de combinación diseño/estimación en los procesos industriales que usualmente pueden automatizar mucho del proceso de diseño y estimación. Estas herramientas pueden generar entregables y estimados Clase 3 a partir de los parámetros más básicos para tipos de proyectos repetidos.

También, en cada clase de estimado, la preparación de costos en diferentes industrias variará de forma marcada. Métricas de la preparación de costos normalmente excluyen el esfuerzo de preparar los entregables de definición del proyecto.

2.3.4. MATRIZ DE LOS ESTIMADOS DE COSTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN

Las cinco clases de estimados son presentados en la Tabla 2.1 para las características identificadas. Solo el nivel de definición del proyecto determina la clase del estimado. Las otras cuatro características son características secundarias que generalmente están relacionadas con el nivel de definición del proyecto, como se discutió en el punto anterior. La matriz genérica provee un sistema de alto nivel para la clasificación de estimados que no es para una industria en específico. Sin embargo se pueden hacer aplicaciones o adaptaciones de la matriz para industrias específicas. Solo el nivel de definición del proyecto provee un sistema de clasificación para el estimado.

Tabla. 2.2. "Matriz de la clasificación de estimación de costos para la construcción". (AACE, 2010)

CLASE DE ESTIMADO	Característica Principal	Características secundarias			
	NIVEL DE DEFINICIÓN DEL PROYECTO Expresado como % de la definición completa	FIN DE USO Propósito típico del estimado	METODOLOGÍA Método típico de estimación	RANGO ESPERADO DE PRECISIÓN Rangos bajos y altos típico de variación (a)	ESFUERZO DE PREPARACIÓN Grado típico de esfuerzo relativo a índice de menor costo de 1 (b)
Clase 5	0% a 2%	Vistazo general o Factibilidad	Estocástico o de Juicio	L: -20% a -50% H: +30% a +100%	1
Clase 4	1% a 15%	Estudio conceptual o Factibilidad	Principalmente Estocástico	L: -15% a -30% H: +20% a +50%	2 a 4
Clase 3	10% a 40%	Autorización de presupuesto, o control	Mezclado, pero principalmente estocástico	L: -10% a -20% H: +10% a +30%	3 a 10
Clase 2	30% a 70%	Control o Concurso/ Tendencias (Tender)	Principalmente Determinístico	L: -5% a -15% H: +5% a +20%	5 a 20
Clase 1	50% a 100%	Revisión de Estimación o Concurso / Tendencias (Tender)	Determinístico	L: -3% a -10% H: +3% a +15%	10 a 100

Notas: (a) El estado de la tecnología del proceso y la disponibilidad de la información referencial de costos aplicable afectan el rango marcadamente. El valor +/- representa la variación porcentual típica de los costos reales respecto al costo estimado después de la aplicación de las contingencias (típicamente al 50% de confiabilidad) para un alcance dado.
(b) Si el valor del índice de costo de "1" representa 0.005% de los costos del proyecto, entonces un índice de valor de 100 representa 0.5%. El esfuerzo para preparar el estimado es altamente dependiente según el tamaño del proyecto y la calidad de la información y herramientas para la estimación.

Para proyectos de industria de la construcción se propone utilizar la matriz de la Tabla 2.2. De esta tabla podemos ver también las cinco clases de estimados, las cuales son:

Estimado Clase 5

(Nivel típico de definición del proyecto requerido: >0% a 2% de la definición total del proyecto)

Estimados Clase 5 son generalmente preparados basados en información muy limitada, y subsecuentemente tiene rangos amplios de precisión. De esta forma, algunas compañías y organizaciones han elegido determinar que debido las indefiniciones inherentes de la información, estos estimados no pueden ser clasificados en de una forma sistemática y convencional. Los estimados Clase 5, debido a los requerimientos de fin de uso, pueden ser preparados dentro de una cantidad muy pequeña de tiempo y con poco esfuerzo. Estimados clase 5 son preparados con propósitos de planeamiento estratégico de negocios, tales como estudios de mercado, evaluaciones iniciales de viabilidad, evaluaciones de esquemas alternativos, evaluación de proyectos, estudios de locación de proyectos, evaluación de recursos necesarios y presupuestos, planeamiento de capital en amplio rango, etc.

Estimado Clase 4

(Nivel típico de definición del proyecto requerido: 1% a 15% de la definición total del proyecto)

Estimados Clase 4 son generalmente preparados basados en información limitada y subsecuentemente tienen rangos algo amplios de precisión. Son típicamente usados para identificación de proyectos, determinación de factibilidad, evaluación conceptual, y aprobación de presupuestos preliminares. Los estimados Clase 4 son preparados para un cierto número de propósitos, como planeamiento estratégico detallado, desarrollo de negocios, identificación de proyectos en etapas más desarrolladas, análisis de esquemas de alternativas, confirmación de la factibilidad técnica y/o económica, y para presupuestos preliminares de aprobación o aprobaciones de etapas en los proyectos.

Estimado Clase 3

(Nivel típico de definición del proyecto requerido: 10% a 40% de la definición total del proyecto)

Estimados Clase 3 son generalmente preparados para formar las bases de presupuestos de autorización, apropiaciones, y/o fondos. Los estimados Clase 3 son típicamente preparados para sustentar requerimientos de fondos para proyectos completos, y ser el primer "estimado de control" de la fase del proyecto contra el cual el costo actual y los recursos serán monitoreados para variaciones del presupuesto. Estos estimados son usados como presupuesto hasta que sean reemplazados por estimados más detallados. En muchas organizaciones, un estimado Clase 3 puede ser el último estimado requerido y pueden formar solo las bases para el control de costos/cronograma.

Estimado Clase 2

(Nivel típico de definición del proyecto requerido: 30% a 70% de la definición total del proyecto)

Estimados Clase 2 son generalmente preparados para formar una línea base detallada para control con la cual es monitoreado todo el trabajo en términos de control de costo y avance. Para los contratistas, esta clase de estimados son usualmente usadas como estimación para propuestas que establecen un valor contractual. Los estimados Clase 2 son típicamente preparados como líneas base detallada de control contra las cuales los costos reales y recursos serán monitoreados para las variaciones del presupuesto, y formar parte del control de cambios/variación del programa.

Estimado Clase 1

(Nivel típico de definición del proyecto requerido: 50% a 100% de la definición total del proyecto)

Estimados Clase 1 son generalmente preparados para partes discretas o secciones del total del proyecto en lugar de generar este nivel de detalle para todo el proyecto. Las partes del proyecto estimadas con este nivel de detalle son típicamente usadas por los subcontratistas para sus propuestas, o por los dueños para revisar estimaciones. El estimado actualizado está usualmente

referenciado al vigente estimado de control y se vuelve la nueva línea base para el control de costos /programa del proyecto. Estimados Clase 1 son preparados por partes del proyecto para comprometer un estimado justo o revisar un estimado y compararlo con los estimados propuestos del contratista, o evaluar/disputas de reclamos. Los estimados Clase 1 son típicamente preparados para formar parte del programa de control de cambios/variaciones del proyecto. Pueden ser usados para evaluar propuestas, para sustentar las negociaciones de un vendedor/contratista, o para evaluar reclamos y resolución de disputas.

2.3.5. CALCULO DE LA PRECISION DEL ESTIMADO

Existen metodologías basadas en experiencias, en el cual se pueden aplicar criterios para determinar el porcentaje de variabilidad del estimado trabajado. Se determina el uso de esta metodología con la inclusión de los parámetros:

Tabla. 2.3. "Parámetro de definición del alcance del proyecto. Categoría B". AECOM 2010.

Código	Tag	Descripción - Categoría B	%
0	0		0%
1	A	Ingeniería nivel de diseño Aprobado para Construcción	2%
2	B	Ingeniería nivel de ingeniería de detalle	5%
3	C	Ingeniería a nivel de diseño preliminar	10%
4	D	Ingeniería nivel de diseño conceptual	20%
5	E	Planos, especificaciones de experiencias previas	30%
6	F	Información de proyectos anteriores de similar alcance	35%
7	G	Obtenido de ratios de proyectos pasados	50%

Tabla. 2.4. "Parámetro de precio de suministro de materiales. Categoría C1". AECOM 2010.

Código	Tag	Descripción - Categoría C1	%
0	0		0%
1	A	Suministro definido dentro del contrato	2%
2	B	Cotización cerrada dentro del proyecto	5%
3	C	Cotización preliminar	10%
4	D	data historica de <1 año de antigüedad	15%
5	E	data historica de >1 año de antigüedad	20%
6	F	Información de proyectos anteriores de similar alcance	25%
7	G	Obtenido de ratios de proyectos pasados	35%

Tabla. 2.5. "Parámetro de precio de instalación. Categoría C2". AECOM 2010.

Código	Tag	Descripción - Categoría C2	%
0	0		0%
1	A	Definido dentro de un contrato de proyecto	2%
2	B	Cotización cerrada dentro del proyecto	5%
3	C	Cotización preliminar	10%
4	D	data historica de <1 año de antigüedad	15%
5	E	data historica de >1 año de antigüedad	20%
6	F	Información de proyectos anteriores de similar alcance	25%
7	G	Obtenido de ratios de proyectos pasados	35%

Una vez definidos los parámetros del presupuesto estas se combinan bajo la siguiente relación matemática.

$$AT = ST \sqrt{B^2 + C_1^2} + IT \sqrt{B^2 + C_2^2}$$

Dónde:

- AT Precisión total
- ST Suministro estimado total
- IT Instalación estimada total
- B Categoría de alcance
- C₁ Categoría de precios de suministro.
- C₂ Categoría de precios de instalación

Una vez definido el proyecto con las categorías indicadas líneas arriba se plantea el cálculo de la precisión incorporando el formato del presupuesto al formato de cálculo de precisión (ANEXO 2.1) , obteniéndose así la precisión de la estimación ejecutada. En el (ANEXO 2.8) se ha hecho una adaptación del método explicado líneas arriba para su aplicación en el proyecto NFB.

2.4. ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO CIUDAD NUEVA FUERABAMBA

2.4.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO

La minera Xstrata Tintaya S.A. es dueño de la concesión minera para la exploración y explotación del yacimiento "Las Bambas" que se extiende sobre 35,000 hectáreas que cubren parte de las provincias de Cotabambas y Grau en la región Apurímac. Las reservas mineras de Las Bambas se calculan en 1,130,000 toneladas de mineralización de cobre. Dichas reservas se encuentran debajo de la comunidad de Fuerabamba, por lo cual los habitantes de las 18

comunidades campesinas de Fuerabamba aprobaron ser trasladados a la nueva ciudad ubicada en la provincia de Cotabambas, y bautizada como Nueva Fuerabamba.

2.4.2. UBICACIÓN Y CLIMA DEL PROYECTO

El proyecto está ubicado a aproximadamente 15 km al sur de las Bambas, localizado entre las comunidades de Chila y Choaquere en el Distrito de Chalhuahuacho, Provincia de Cotabambas, Departamento de Apurímac a 3,800 metros sobre el nivel del mar. Este sector de la cordillera peruana presenta un clima de condiciones severas de frío extremo durante la mayor parte del año y de intensas lluvias durante los meses de noviembre a marzo. (ANEXO 2.2)

2.4.3. ALCANCE DEL PROYECTO

El proyecto consiste en la construcción de una ciudad para la reubicación de 436 familias (441 en la actualidad) en la zona de Choaquere, debido al inicio de las operaciones del proyecto minero LAS BAMBAS.

El alcance del total proyecto es la ingeniería, procura y construcción de toda la ciudad según el WBS del proyecto (ANEXO 2.3). El alcance de la construcción tiene entre sus principales entregables:

Tabla. 2.6. "Principales Entregables del Proyecto NFB". (Elaborado por el autor)

FRENTE	ENTREGABLE	DETALLES
Edificios Residenciales	441 Viviendas de concreto armado	Aislamiento térmico, techo metálico, cobertura tipo teja andina, drywall, acabados seco y húmedos, carpintería de madera y metálica, IIEE, IISS
	217 Viviendas del tipo 2A	500 m2 de terreno y 248m2t
	4 Viviendas del tipo 2B	500 m2 de terreno y 248m2t
	32 Viviendas del tipo 2C	500 m2 de terreno y 248m2t
	2 Viviendas de tipo 3A	500 m2 de terreno y 248m2t
	84 Viviendas de tipo 3B	500 m2 de terreno y 248m2t
	59 Viviendas del tipo 1R	250m3 de terreno y 115m2t
	43 Viviendas de tipo 2R	250m3 de terreno y 115m2t
Muros y Estructuras Exteriores	Cerco Frontal para las 441 viviendas	Muro de albañilería armada, con puertas metálicas
	Invernadero para 339 viviendas (terrenos de 500m2)	Estructura de Madera con cobertura agrofilm
	Depósitos para 339 viviendas (terrenos de 500m2)	Depósitos prefabricados de drywall
	Cercos perimetral en cierre de manzanas	Cerco de cierre de 53 manzanas en albañilería armada
	Cercos medianeros entre lotes	9,835ml de muros medianeros entre lotes

Tabla. 2.6. “Principales Entregables del Proyecto NFB”. (Elaborado por el autor)

FRENTE	ENTREGABLE	DETALLES
Edificios No Residenciales	Institución Educativa Primaria y Secundaria	Con capacidad para 420 alumnos en secundaria y 350 alumnos en primaria. Área de terreno de 11,648m ² y 5,311m ² de área techada.
	Centro de Educación Inicial	Con capacidad para 150 alumnos. Área de terreno de 1,884m ² y 859m ² de área techada.
	Taller Ocupacional	Con capacidad para 180 alumnos. Área de terreno de 833m ² y 2,434m ² de área techada.
	Cuna o Wawawasi	562m ² y 1,573m ² de área techada.
	Puesto de Auxilio rápido	Con dos calabozos. Área de terreno de 578m ² y 700m ² de área techada.
	Centro de Salud	Categoría I-4 según norma del MINSU. Área de terreno de 1,919m ² y 3,946m ² de área techada.
	Losas Deportivas	13 unidades ubicadas en toda la ciudad.
	Relleno Sanitario	Con capacidad para 73,934m ³ de relleno sanitario. Área de terreno de 126,683m ² y 76m ² de área techada.
	Cementerio (Adicional)	Con capacidad para 404 sepulturas y 256m ² de fosa común.
Infraestructura y Facilidades	Redes Eléctricas Primarias	Con 12 Subestaciones con potencias desde los 25kva hasta los 250kva. Además 13.7 km de cables.
	Redes Eléctricas Secundarias	9.6 km de cables en baja Tensión
	Captación	Con un caudal de diseño de 25l/s.
	Línea de conducción	Conecta la captación con el desarenador-PTAP- Estación de bombeo. Es una tubería de HDPE SDR 26 (PN6) de 200mm y de 220ml de longitud.
	Reservorio de agua	Reservorio de Concreto armado de 350m ³ de capacidad.
	Redes de distribución de agua	543 ml de Tubería PVC PN 10 DN 160, 110 ml de Tubería PVC PN 10 DN 110 y 128ml de Tubería HDPE PN 10 DN 160mm
	Estación de bombeo	Con sistema de capacidad de 45m ³
	Redes colectoras de desagüe	9,953ml de tuberías de PVC SN4 DN 200mm
	Línea de descarga a cuerpo receptor	1.7km de tubería HDPE DN 200mm y 1.5km de tubería PVC DN 250mm
	PTAP	Capacidad para 2000 personas
	PTAR	Capacidad para 2000 personas
Habilitación Urbana	Plataformas de cimentación	Corte y relleno de ingeniería para 441 lotes de viviendas.
	Pavimentos y veredas	Pavimentos (Tratamiento superficial bicapa y base granular de 0.2m), veredas, rampas y escaleras.
	Muros de contención	Muros de Contención de Concreto Armado
	Sistema de Drenaje	9 líneas de descarga con tuberías de HDPE, canal de coronación y rápida. Cunetas, canaletas y cruces de vías
	Señalización	Señalización vertical y horizontal
	Paisajismo	Sembrio de pasto y arboles de la zona
	Bandejón Central	02 Miradores, 01 Anfiteatro y mobiliario urbano en parques
Planta de Agregados y Concreto	Planta de agregados	
	Planta de Concreto premezclado	

En el Anexo 2.4 se presentan los planos de los principales alcances del proyecto y en el Anexo 2.5 se presenta un registro fotográfico de los entregables ejecutados hasta la fecha en el proyecto NFB.

2.4.4. CARACTERÍSTICAS DEL TIPO DE PROYECTO

El Proyecto EPCM Ciudad Nueva Fuerabamba (NFB) es parte del macro proyecto LAS BAMBAS, y el encargado de su gestión es la empresa transnacional Bechtel; empresa que ha confiado el proyecto EPC a la constructora GyM S.A. Esto significa que Bechtel se encarga de la gestión integral del proyecto, mientras que GyM se encarga de la ingeniería, procura y construcción del mismo. Además de ser un proyecto EPC, es un proyecto Fast Track, en el cual se comenzó la construcción con menos del 5% del desarrollo de la ingeniería de detalle. Esto significa que las fases de diseño y construcción tienen un traslape muy significativo. Esto ha sido posible gracias a que la etapa de movimiento de tierras empezó de forma paralela al desarrollo de la ingeniería de detalle de la Ciudad y además se completaba la ingeniería misma del movimiento de tierras con una ingeniería de acompañamiento.

2.4.5. CARACTERÍSTICAS DEL CONTRATO

El contrato de este proyecto hace responsable a GyM de la ingeniería, procura y construcción de la Ciudad Nueva Fuerabamba, mediante la modalidad de un contrato reembolsable. El contrato reembolsable es muy similar a un contrato por administración; sin embargo este contrato cuenta con muchas particularidades que lo diferencian.

El cliente asumirá los pagos de todos los costos del proyecto que puedan ser sustentados mediante facturas y que son imputables a la ejecución del proyecto. Es decir el cliente asume la responsabilidad de pagar todos los gastos en los que incurra el contratista para la ejecución del proyecto. Sin embargo existen costos que no son reembolsables como los equipos de protección personal, materiales consumibles y las herramientas manuales. Se entiende que para estos costos el cliente solo reconocerá el pago de una tarifa flat de \$1.00 por cada hora hombre consumida en la ejecución del proyecto. Todos los otros costos son pagos presentando el sustento de facturas aprobadas.

Por otra parte el cliente se encarga del suministro directo del combustible para el proyecto. Es por ello que en todas las estimaciones del proyecto el costo del combustible es considerado cero. Así mismo para las estimaciones se ha fijado tarifas estándar que son reembolsables pero que por temas de estimación se ha

pactado como tarifas promedio. Por ejemplo el costo de transporte de personal a obra o "bussing" se fijó inicialmente como \$0.68 por cada hora hombre. Así mismo se fijaron tarifas promedio para el pago de sueldos del personal Staff; fijándose \$30 por cada hora hombre de personal staff profesional (ingenieros, gerentes, administradores, etc) y \$10 por cada hora hombre de personal técnico (cadistas, metradistas, laboratoristas, etc). Tanto el transporte del personal como el pago de sueldos de personal staff son costos reembolsables pero para criterios de estimación se fijaron estos ratios promedio para la elaboración de estimados. Es importante mencionar estos criterios ya que la utilidad se calcula en función a estos estimados y la utilidad no es un reembolsable.

En el contrato aparecen dos términos que definen la utilidad del contratista. Estos dos términos son el "profit" y el "Overhead".

El "profit" no es más que la utilidad que se le reconoce al contratista por sus trabajos, y se definió como el 3.96% del costo directo más el costo indirecto ($3.96\% \times (CD + CI)$), si existen trabajos adicionales se calculará el profit de la misma forma como fue definido.

Por otro lado el "overhead" es un costo o gasto inherente al desempeño de una operación, que no puede ser identificado o identificado con una parte del trabajo, producto o entregable, y por ello debe ser fijado de forma arbitraria pero basado en ser un valor equitativo. Se entiende que es un gasto independiente del volumen de la producción. En nuestra terminología se podría entender como un costo indirecto y que formaría parte de los gastos generales. Sin embargo el overhead no forma parte de estos gastos generales, son más bien unos honorarios que cobra la empresa por la administración de los trabajos y son independientes del volumen de la producción. El Overhead cubre gastos corporativos generales, gastos de sucursal de oficina, amortización y los gastos de funcionamiento de negocio. El Overhead se ha definido en el proyecto como un costo por hora hombre manual y no manual (\$0.80 por hh manual, \$10.0 por hora staff no profesional y \$20.5 por hora staff profesional), estos valores sirvieron inicialmente para definir un monto por Overhead el cual después del cálculo quedo como fijo, el Overhead variara solo si existen trabajos adicionales.

Es muy importante que tanto el profit y el overhead se calculan en función a un estimado y no en función a los que realmente costo el proyecto y a las horas que realmente se utilizaron para ejecutar el proyecto. Esto implica que si se ejecuta a menor costo, ese ahorro no significa una sobreutilidad para el contratista, así mismo con las horas hombre. Por otro lado un ahorro en costo y horas hombre significa un mejor margen para el proyecto. El estimado de la línea base se fijará cuando la ingeniería de detalle permita realizar el estimado.

Como bonificaciones, tenemos un bono por eficiencia en el cual si el contratista consigue culminar las obras con un consumo menor de horas de trabajo que las previstas en el Presupuesto Base (Clase 4), el Propietario reconocerá a una Utilidad por Eficiencia equivalente al 15% del valor de las horas de trabajo manuales ahorradas más los costos de alimentación, hospedaje y transporte asociados con ese ahorro de horas.

Como penalidades, se tiene que si en caso las horas hombres consumidas excedieran el 120% de las establecidas en el estimado línea base, el overhead de las horas hombre adicionales se pagarán como el 50% de las tarifas establecidas anteriormente; es decir \$0.40/hh manual, \$5/hh staff técnico y \$10.25/hh staff profesional. Por otro lado no se pagará overhead adicional siempre y cuando las horas hombre estén dentro del rango del 100% y el 120%.

Cabe aclarar que este Monto Fijo de Overhead No-Manual no variara en tanto que el total de las horas no-manuales estén dentro del rango del 120% del total de horas establecidas en el Presupuesto Base. Por tanto, entre el rango de 100% al 120% de horas establecidas en el Presupuesto Base no se pagará Overhead no-manual adicional. Para mayor claridad, el Overhead Manual Adicional solo se pagará por las horas en exceso del rango de 120% del total de horas establecidas en el Presupuesto Base, siempre que dicho exceso no sea consecuencia de pérdidas de productividad atribuibles al contratista. Por otro lado, si el total de las horas de trabajo no-manuales exceden el 20% de incremento sobre el Presupuesto Base, el Overhead No-Manual Adicional por las horas en exceso de dicho 20% se calculará usando las tarifas de USD \$10,25 y USD \$5,00 para las horas de trabajo no-manual de profesionales y técnicos, respectivamente.

Finalmente cabe resaltar que el proyecto fue dividido en 12 contratos que agrupaban alcances similares. Sin embargo esta división de contratos solo se realizó para poder aprobar con mayor facilidad montos más pequeños que un solo monto total en un sólo contrato. Los contratos del proyecto son:

Tabla. 2.7. “Contratos del proyecto NFB”. (Elaborado por el autor, basado en el Contrato Marco)

ID	Código de Contrato	NFB Project (CyM Scope)	Proyecto NFB (Alcance CyM)
A	25648-220-HC6-WA00-00001	Detail Engineering	Ingeniería de detalle
C	25648-220-HC1-HP00-00002	GyM EPCM Services	Servicios EPCM de GyM
J	25648-220-HC2-CE00-00001	Earthmovement	Movimiento de Tierras
M	25648-220-HC2-AK00-00002	Non Residential Buildings	Edificios No Residenciales
H	25648-220-HC2-AK00-00001	Houses	Viviendas
B	25648-220-HC2-GA00-00001	Freight	Tráfico y Logística
F	25648-220-HC2-AK00-00004	Houses (exterior structures and walls)	Estructuras exteriores y cercos en viviendas
E	25648-220-HC2-UA00-00001	Construction Camp	Campamento de Construcción
L	25648-220-HC2-AK00-00003	Utilities (Electricity, Sewage, Water Treatment Plants)	Facilidades (Electricidad, Desagüe, agua, Plantas de tratamiento)
K	25648-220-HC2-CS00-00001	Road pavements, sidewalks, drainage, landscaping, temporary facilities & houses earthmovement	Pavimentos, veredas, drenajes, paisajismo, facilidades temporales y movimiento de tierras para lotes de viviendas
D	25648-220-HC5-GA00-00001	Transportation	Transporte de personal
G	25648-220-HC2-DB00-00001	Batch Plant	Planta de agregados y concreto

2.4.6. CLASES DE ESTIMADOS DEL PROYECTO

El proyecto concilió un monto contractual como línea base con un estimado Clase 4 con una precisión del +/- 20%; pero se acordó que esta línea base sería reemplazada por un nuevo estimado Clase 2 con una precisión +/- 5%. Este estimado Clase 2 debería reemplazar al estimado inicial cuando el avance de la ingeniería y la definición del proyecto permitieran realizar un estimado de este nivel de precisión. Por acuerdo de ambas partes se acordó presentar el estimado

Clase 2 cuando la ingeniería llegará al 70% del avance. Esto se determinó mediante el % de planos presentados respecto al total de planos del alcance de la ingeniería. Sin embargo cabe aclarar que la precisión es sólo respecto a los alcances estimados en el presupuesto, lo que significa que se presentarían calificaciones y consideraciones (allowances) para poder definir un presupuesto y el alcance que este estimado esta costéando. En el ANEXO 2.6 se puede ver el análisis que mensualmente se hacía en el proyecto NFB para verificar el avance de la ingeniería.

El estimado Clase 4 se muestra en la tabla 2.8 y el detalle de los estimados por contratos se muestra en el ANEXO 2.7.

Tabla. 2.8. “Estimado Clase 4 de los 12 contratos”. (Elaborado por el autor)

ITEM	NOMBRE DEL CONTRATO	COSTO DIRECTO	PROFIT	OVERHEAD	VENTA
1	Contrato de Servicios de Ingeniería y Arquitectura	5,845,509.86	217,382.62	753,742.52	6,816,635.00
2	Contrato EPCM	31,554,580.00	1,173,451.00	-	32,728,031.00
3	Contrato de Movimiento de Tierras	25,382,210.60	1,334,864.59	4,628,445.12	31,345,520.31
4	Contrato de Construcción de Edificios No Residenciales	10,482,386.55	389,818.99	1,351,638.46	12,223,844.00
5	Contrato de Construcción de Viviendas	38,827,604.06	1,446,121.56	5,014,211.38	45,287,937.00
6	Contrato de Servicio de Tráfico y Logística	11,852,480.78	440,769.71	1,528,303.51	13,821,554.00
7	Contrato de Construcción de Muros y Estructuras Exteriores	4,729,806.18	175,891.87	609,878.95	5,515,577.00
8	Contrato de Campamento de Construcción	14,753,287.84	552,530.85	1,915,818.31	17,221,637.00
9	Contrato de Construcción de Facilidades de Obra	14,724,518.61	556,415.94	1,929,289.45	17,210,224.00
10	Contrato de Construcción de Caminos, Pavimentos, Aceras, Drenajes, Áreas Verdes e Instalaciones Temporales	16,258,464.43	687,001.46	2,382,076.11	19,327,542.00
11	Contrato de Servicio de Transporte de Personal	5,477,069.91	203,681.06	706,234.03	6,386,985.00
12	Contrato de Producción y Suministro de Agregados y Concreto Premezclado	22,539,865.29	838,211.71	2,906,375.00	26,284,452.00
		202,427,784.11	8,016,141.36	23,726,012.84	234,169,938.31

El estimado Clase 2 se muestra en la tabla 2.9 y el detalle de los estimados por contratos se muestra en el ANEXO 2.8. Así mismo se puede ver el análisis de precisión de este estimado.

Tabla. 2.9. "Estimado Clase 2 de los 12 contratos". (Elaborado por el autor)

ITEM	NOMBRE DEL CONTRATO	COSTO DIRECTO	PROFIT (USD)	OVERHEAD (USD)	VENTA (USD)
1	Contrato de Servicios de Ingeniería y Arquitectura	8,092,652	320,469	889,663	9,302,784
2	Contrato EPCM	57,174,234	2,264,100		59,438,333
3	Contrato de Movimiento de Tierras	126,178,792	4,996,680	13,871,423	145,046,895
4	Contrato de Construcción de Edificios No Residenciales	17,446,200	690,870	1,917,942	20,055,012
5	Contrato de Construcción de Viviendas	55,286,472	2,189,344	6,077,900	63,553,716
6	Contrato de Servicio de Tráfico y Logística	20,796,248	823,531	2,286,229	23,906,008
7	Contrato de Construcción de Muros y Estructuras Exteriores	9,033,756	357,737	993,123	10,384,616
8	Contrato de Campamento de Construcción	20,601,273	815,810	2,264,794	23,681,877
9	Contrato de Construcción de Facilidades de Obra	13,700,569	542,543	1,506,167	15,749,279
10	Contrato de Construcción de Caminos, Pavimentos, Aceras, Drenajes, Áreas Verdes e Instalaciones Temporales	40,518,681	1,604,540	4,454,408	46,577,628
11	Contrato de Servicio de Transporte de Personal	22,734,719	900,295	2,499,334	26,134,348
12	Contrato de Producción y Suministro de Agregados y Concreto Premezclado	20,719,811	820,505	2,277,825	23,818,141
		412,283,407	16,326,423	39,038,807	467,648,637

2.5. PROCEDIMIENTO Y METODOS DE ESTIMACIÓN

Como se revisó en el punto anterior las estimaciones pueden usar dos métodos de estimación de costos. Estos dos métodos son el método determinístico y el método estocástico.

2.5.1. MÉTODO DETERMINÍSTICO DE ESTIMACIÓN DE COSTOS

Es un método que no contempla la existencia de la incertidumbre y que busca modelos matemáticos simples que al ingresarle las mismas entradas siempre producirán las mismas salidas. Este método considera que a pesar de la incertidumbre, todo está regido por reglas físicas predeterminadas y el azar es un efecto aparente. De los modelos se obtiene un único valor por un método matemático que puede estar basado en la experiencia (método empírico). Este tipo de métodos requieren mayor cantidad y calidad de información de entrada, por lo tanto se requiere de mayor esfuerzo para su utilización. Generalmente son muy precisos pero esto depende de la calidad de la información de la calidad del modelo matemático utilizado. Conforme el nivel de definición del proyecto aumenta, la metodología de estimación tiende a pasar de métodos estocásticos a determinísticos.

Aplicación del método determinístico para la estimación del Costo de Eliminación de Botaderos Temporales Sector Sur Proyecto NFB

En esta aplicación del método se ha calculado el costo de eliminar a un botadero (DME-14) el material excedente producto del derrumbe en el Sector 5 del talud de la Ciudad NFB. Para ello se ha calculado el volumen efectivo de los volquetes para el tipo de material proveniente de la excavación de la ciudad. Para ello se ha hecho un muestreo del volumen efectivo eliminado de los botaderos temporales ubicados en la ciudad. Luego se ha calculado los tiempos de carguío y descarga utilizando una serie de equipos de carguío, pero finalmente se ha seleccionado arbitrariamente a una excavadora 330 para el cálculo del costo de carguío de material a eliminar. Posteriormente se calculado la distancia de transporte así como el volumen total a transportar según planos. Finalmente mediante un modelo matemático se ha calculado el rendimiento de las partidas de transporte de material a eliminar, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla. 2.10. “Estimado de Eliminación de material de derrumbe”. (Elaborado por el autor)

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio (USD)	Parcial (USD)
01	ELIMINACIÓN DE MATERIAL DE DERRUMBE PROYECTO NFB				249,827.50
01.01	TRANSPORTE DE MATERIAL EXCEDENTE				238,563.40
01.01.01	Carguío de Material Excedente	m3	52,390.95	0.49	25,671.57
01.01.02	Transporte de material excedente hasta 1km	m3km	52,390.95	2.01	105,305.81
01.01.03	Transporte de material excedente a mas 1km	m3km	185,493.14	0.58	107,586.02
01.02	ELEMENTOS DE PROTECCION PERSONAL Y HERRAMIENTAS MANUALES				11,264.10
01.02.01	EPP + Herramientas manuales	hh	10,727.71	1.05	11,264.10
COSTO DIRECTO					US\$ 249,827.50

El detalle completo del método determinístico se puede revisar en el (ANEXO 2.9)

Aplicación del método determinístico para la estimación del Costo de la instalación de una tubería no perforada de HDPE

En el Micro Relleno Sanitario para el Campamento 2000 del proyecto NFB se requiere construir un sistema de sub drenaje, para lo cual se deberá instalar un sub dren tipo francés de 60ml y una tubería de HDPE no perforada de 60ml.

Para esta aplicación se estudiará sólo el suministro e instalación de la tubería no perforada de 60ml de longitud.

Los métodos determinístico se basan en modelos matemáticos y métodos empíricos (basados en la experiencia); por ello en esta aplicación se hará uso del “First Running Studies” que no es otra cosa más que hacer una prueba en campo de los rendimientos reales en las condiciones reales del terreno. Para ello se ha estudiado los rendimientos del proceso de instalación de tuberías de PVC DN 200mm. Las actividades de zanja son muy similares a la de nuestra actividad a estimar; sin embargo los rendimientos de instalación misma son analizados por separado por tratarse de una tubería de HDPE.

Mediante un análisis detallado de la información técnica se procede a realizar un estimado determinístico de los costos analizando tres posibles alternativas de uniones para las tuberías de HDPE. Los resultados son los siguientes:

Tabla. 2.11. “Estimado de Instalación de Tubería HDPE”. (Elaborado por el autor)

Item	Descripción	Und.	Precio (USD)	UNIÓN POR TERMOFUSIÓN		UNIÓN BRIDADA		UNIÓN MECÁNICA	
				Metrado	Parcial (USD)	Metrado	Parcial (USD)	Metrado	Parcial (USD)
01	SISTEMA DE SUB DRENAJE				6,152.39		6,358.49		6,200.54
01.01	Suministro de Tubería de HDPE	m	0.93	60.00	55.80	60.00	55.80	60.00	55.80
01.02	Accesorios HDPE	gib	23.30	1.00	23.30	1.00	23.30	1.00	23.30
01.03	Instalación de tubería, prof < 1.50m	m	51.92	10.00	519.20	10.00	519.20	10.00	519.20
01.04	Instalación de tubería, prof < 2.00m	m	83.09	30.00	2,492.70	30.00	2,492.70	30.00	2,492.70
01.05	Instalación de tubería, prof < 2.50m	m	118.68	20.00	2,373.60	20.00	2,373.60	20.00	2,373.60
01.06	Servicio de Termofusión	und	38.77	5.00	193.85				
01.06	Unión bridada	und	82.44			5.00	412.20		
01.06	Unión mecánica	und	51.06					5.00	255.30
01.07	EPP + Herramientas manuales	hh	1.05	470.42	493.94	458.75	481.69	457.75	480.64
COSTO DIRECTO					US\$ 6,152.39		US\$ 6,358.49		US\$ 6,200.54
				US\$/ml	102.54	US\$/ml	105.97	US\$/ml	103.34

Este tipo de metodologías son sustentables y auditables por basarse en un modelo matemático y su precisión será función de la calidad del modelo y de la información. Como se puede apreciar en esta aplicación se puede utilizar para hacer comparativos en los cuales la variación de alternativas es mínima (3%). El detalle completo del método determinístico se puede revisar en el (ANEXO 2.10)

2.5.2. MÉTODO ESTOCÁSTICO DE ESTIMACIÓN DE COSTOS

Es un método que contempla la existencia de la incertidumbre y que busca modelos matemáticos más complejos, con mayor cantidad de variables y elementos ajenos al modelo determinístico aproximándose a un modelo probabilístico o de enfoque estocástico. Un proceso es estocástico cuando su comportamiento es no determinista, en la medida que el subsiguiente estado del sistema está determinado tanto por las acciones predecibles del proceso como por elementos aleatorios. No obstante cualquier desarrollo temporal (sea determinístico o esencialmente probabilístico) que pueda ser analizable en términos de probabilidad merece ser denominado como un proceso estocástico. Generalmente los métodos estocásticos se utilizan para estimados de menor precisión y requieren menos calidad de información y por ende un menor esfuerzo.

Método estocástico en la estimación de costos en Edificaciones

Consiste en la planificación de la estadística mediante el registro de ratios y la clasificación adecuada de los mismos según el tipo de edificaciones para la elaboración de estimados.

Un ratio es un valor referencial al cual tienden determinados proyectos cuando se les compara con alguna unidad de medida. Cuando identificamos proyectos similares y los clasificamos dentro de un mismo tipo de obra, los ratios calculados bajo la misma unidad de medida y dentro de un marco similar de consideraciones, tienden a un rango de valores, esta tendencia de valores se puede evidenciar en el (ANEXO 2.11). Entonces clasificando bien una estructura nos permitirá comparar bien, bajo condiciones similares. En el (ANEXO 2.12) se adjunta una propuesta para la clasificación de los proyectos de edificaciones. Los ratios pueden darnos diferentes tipos de información como:

- Ratios de costos: \$/m² techado, \$/ml en cercos, carreteras, etc, \$/departamento, \$/estacionamiento, etc. (ANEXO 2.11).
- Ratios de metrados: m³ de concreto /m² techado, m²/encofrados / m² techado, etc. (ANEXO 2.11).
- Ratios de rendimientos: hh / m³ de concreto, hh / kg de acero, etc. (ANEXO 2.11).

Cada vez es más frecuente que los clientes soliciten estimados para sus proyectos cuando aún no tienen planos desarrollados, y en el mejor de los casos planos de arquitectura de anteproyecto. Por ello es conveniente saber cómo estimar por ratios los costos de un proyecto (método estocástico).

Para estimar por ratios el costo de un proyecto debemos:

- Identificar cual es el tipo de proyecto a estimar, si es un Edificio de oficinas o de departamentos, centro comercial, colegio, hospital, etc.
- Trabajar como referencia comparativa con los registros históricos de los proyectos similares.
- Identificar cuáles son las variables del proyecto, analizarlos y evaluar si vale la pena su corrección

Los ratios no deben ser aplicados ciegamente por el usuario. El presupuesto tiene partidas que no dependen necesariamente del área techada de la edificación. Al margen de haber identificado el tipo de estructura se deberán corregir o analizar ciertos valores. Los principales valores que deben ser analizados para la estimación por ratios son: la planta, el número de sótanos, la altura de los entresijos, las fachadas y el área libre.

- La planta de una edificación: si un proyecto de edificación tiene la misma área techada pero diferente perímetro, esto impacta directamente en el ratio. La forma de una edificación puede hacer variar considerablemente el costo final del proyecto. Por ende todas las partidas relacionadas con el contorno de la edificación, deben ser corregidas como por ejemplo: los muros pantalla en la excavación de sótanos; la vestidura exterior de la fachada como solaques y tarrajes; los de las fachadas como muros cortina; etc. En el (ANEXO 2.13) se puede analizar esta influencia esta variable en el ratio de costo de la edificación.
- La incidencia de los sótanos en una edificación, dos proyectos similares en áreas techadas iguales pero con diferentes cantidades de sótanos tendrán ratios significativamente diferentes. Una mayor cantidad de sótanos genera un mayor costo de movimiento de tierras; sin embargo el costo del tratamiento de las fachadas se disminuye. El ratio final de un

proyecto, pondera el ratio de los sótanos con el ratio de los pisos superiores. Un sótano tiene acabados más económicos y los pisos superiores tienen acabados más caros. Es por esto que la incidencia de los sótanos puede distorsionar el ratio final de una edificación. En el (ANEXO 2.14) se puede analizar esta influencia esta variable.

- Altura de los entrepisos. Si un proyecto maneja varias alturas, es importante saber cuáles son sus porcentajes de incidencia respecto al área techada total, tener información de la altura promedio de la edificación, para corregir no solo factores de metrados relacionados con los elementos verticales, sino también precios unitarios para dichas partidas. En el (ANEXO 2.15) se puede analizar esta influencia esta variable.
- Fachadas compartidas, es una variable que se debe tener en cuenta especialmente para los condominios o departamentos en los cuales se comparten las áreas comunes para una cantidad de departamentos por planta. En el (ANEXO 2.16) se puede analizar esta influencia esta variable.
- Área libre de una edificación, para esto es necesario que adicionalmente al ratio de las obras exteriores respecto al área techada, contemos con un registro del área libre del proyecto y el ratio de las obras exteriores respecto a esta área. En el (ANEXO 2.16) se puede analizar esta influencia esta variable.

Aplicación del método estocástico para la determinación de costos, rendimientos y metrados en proyectos de edificaciones

En el Anexo 2.17 se puede apreciar una serie de registros de ratios de costos, rendimientos y metrados de edificaciones en proyectos reales ejecutados. Estos ratios pueden servir de base para estimaciones rápidas de proyectos similares, haciendo previamente un análisis de las particularidades del proyecto a estimar.

Aplicación del método estocástico para determinación de rendimientos de mano de obra (IP MO) en el proyecto NFB

En el (ANEXO 2.18) se muestra el registro de las principales actividades que se realizan en el frente de edificios residenciales en el proyecto NFB. Para poder realizar una estimación futura lo que se debe hacer es tomar una productividad promedio que se obtiene de dividir la cantidad de horas hombre acumuladas a la fecha entre la cantidad de avance acumulado a la fecha. Por ejemplo para las partidas más críticas del frente de viviendas se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla. 2.12. "IP de MO para partidas críticas de viviendas proyecto NFB". (Elaborado por el autor)

PARTIDAS DE CONTROL	UND	AVANCE	HORAS HOMBRE	IP ACUMULADO REAL
		ACUMULADO REAL	ACUMULADO REAL	
Colocación de Concreto	m3	8,912.85	33,412.16	3.75
Encofrado	m2	67,286.00	123,685.02	1.84
Acero de Refuerzo	kg	636,636.42	75,131.52	0.12

Sin embargo si hacemos un análisis de las tendencias de los IPs acumulados podemos obtener los siguientes resultados de la gráfica:

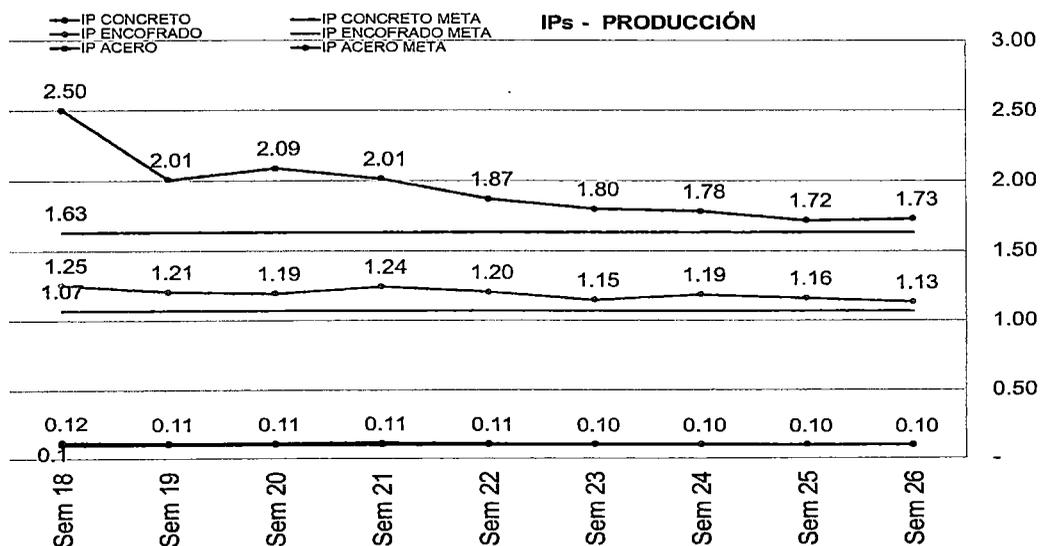


Fig. 2.2. Tendencias de IPs acumulados. (Elaborado por el autor)

En la Figura 2.2 se puede apreciar que existe una tendencia para los valores acumulados de los IPs de estas partidas. Por ello el mejor valor para realizar una estimación futura es tomar el IP meta que es el valor hacia el cual tienden los IPs acumulados. Como resultado se obtiene los siguientes IPs metas para estas 3 partidas:

Tabla. 2.13. "IPs meta de MO partidas críticas de viviendas NFB". (Elaborado por el autor)

PARTIDAS DE CONTROL	UND	IP ACUMULADO	IP META
Colocación de Concreto	m3	3.75hh/m3	1.63 hh/m3
Encofrado	m2	1.84 hh/m2	1.07 hh/m2
Acero de Refuerzo	kg	0.12hh/Kg	0.10 hh/kg

Aplicación del método estocástico para la determinación de rendimientos de equipos (IP EQ) en el proyecto NFB

En el (ANEXO 2.19) se muestra el registro de los IPs de equipos para el frente movimiento de tierras del proyecto NFB. Además en el (ANEXO 2.20) se muestra la forma en la que se utiliza esta información estadística como base para la estimación de futuros costos de las partidas de en las que la incidencia de los equipos es mayor a la incidencia de la mano de obra, esto se puede ver en los trabajos de movimiento de tierras como plataformados, carreteras, etc.

2.6. ESTIMACIONES DEL SALDO

Para una buena gestión de costos en un proyecto es muy importante poder hacer una correcta estimación de la proyección de costos del Proyecto a fin de obra (estimate at completion) considerando tanto el costo acumulado en a la fecha de evaluación (actual cost) como el costo proyectado del saldo del proyecto (estimate to complete).

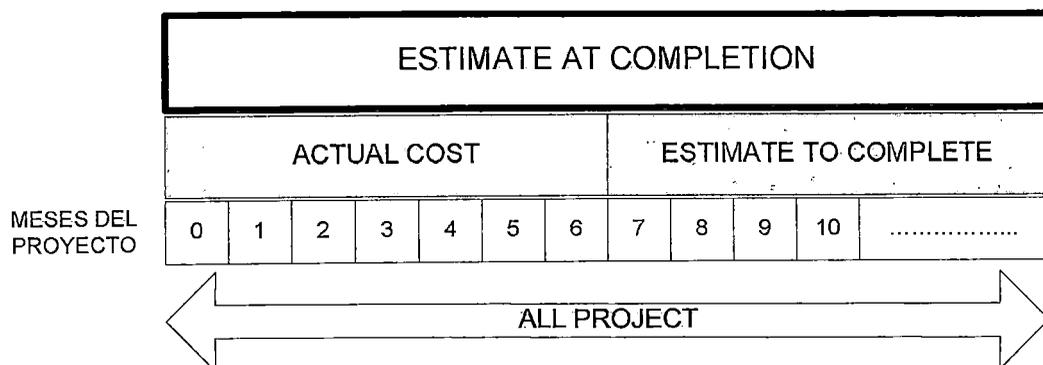


Fig. 2.3. "Estimado del Saldo y estimado proyectado a fin de obra". (Elaborado por el autor)

Las estimaciones están conformadas por un resumen de futuros estimados a través de dos componentes. Estos componentes son el estimado del saldo (estimate to complete) y los cambios en el proyecto (trends, potenciales órdenes de cambio, ordenes de cambio) los que deben tener una codificación tal que permita filtrar según las características de la estructura de control del proyecto.

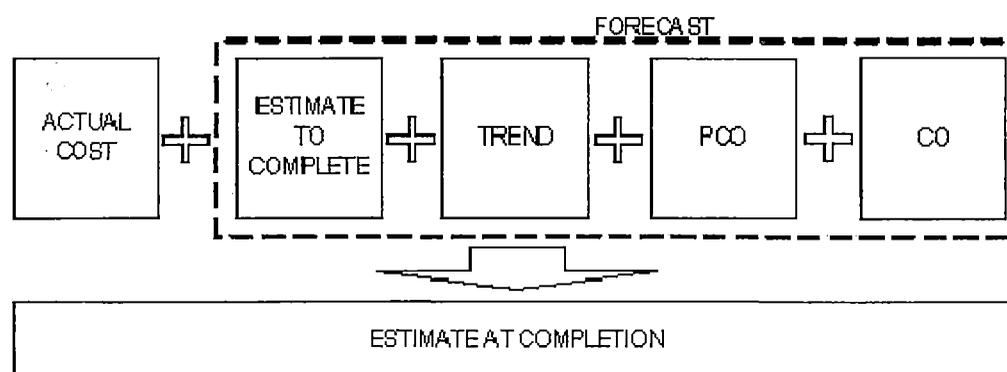


Fig. 2.4. "Componentes del estimado del saldo". (Elaborado por el autor)

2.6.1. COSTO A LA FECHA

Se define como el costo real efectuado a la fecha en el proyecto, y es el costo real del trabajo realizado que corresponde a los costos directos e indirectos realmente asignados y registrados en los controles del contratista y que son susceptibles de auditoría por parte del cliente. El costo real a la fecha se compara contra el valor ganado (costo previsto acumulado) para sacar los índices de eficiencia (CPI).

$$CPI = \frac{BCWP}{ACWP}$$

BCWP, Costo previsto del trabajo realizado

ACWP, Costo actual del trabajo realizado

2.6.2. ESTIMADO DEL SALDO

Es el primer componente del costo proyectado del saldo (estimate to complete) que corresponde al costo previsto según la línea base del proyecto, el que se

define de acuerdo a la información disponible del proyecto (Para el caso del proyecto Ciudad NFB, esta corresponde a la línea base determinada con el estimado Clase 4).

2.6.3. CAMBIOS EN LOS PROYECTOS

Un cambio es toda variación o alteración de los alcances del proyecto, y/o el programa para culminar el proyecto. Estos cambios deben ser de conocimiento o aprobación de cliente, quien a su vez define los alcances y consideraciones en coordinación con el contratista con la finalidad de elaborar la estimación correcta.

La estimación de los costos asociados a los cambios del proyecto comprende el segundo componente de un forecast. Debe entenderse por forecast a un estimado y predicción de las condiciones futuras y eventos basados en información y conocimiento disponible al momento del forecast.³ Cuando con respecto a los requerimientos de recursos, considerando condiciones futuras y eventos, se realiza un de estimado de estos recursos y su costo.

Cabe mencionar que los cambios deben ser identificados de forma anticipada, pero luego deben controlarse hasta la finalización del mismo y a lo largo de toda su ejecución. Las fuentes de los cambios a identificar son principalmente el cliente y el entorno.

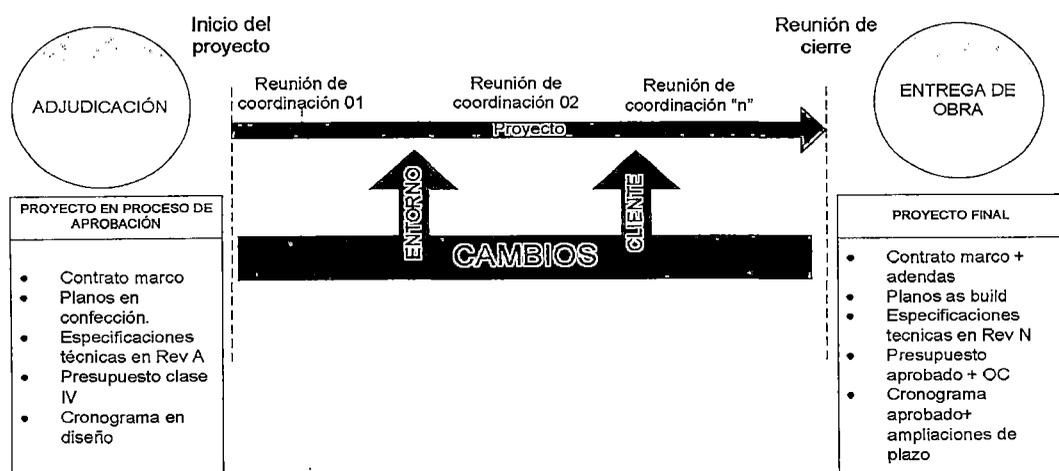


Fig. 2.5. "Cambios a lo largo de un proyecto". (Elaborado por el autor)

³ AACE International. "Cost Engineering Terminology, TCM Framework: General Reference". AACE International Recommended Practice. Estados Unidos, 2010.

Para mantener actualizado el alcance del proyecto de forma efectiva se hace necesaria la implementación de un sistema de control de cambios que formalice y permita proteger el costo del contrato. El desarrollo completo de la estimación del saldo de un proyecto y forecast será estudiado al detalle en el Capítulo IV.

2.7. ASPECTOS GENERALES DE LOS CAMBIOS

2.7.1. IMPORTANCIA DE LOS CAMBIOS EN LOS PROYECTOS

Es importante establecer los pasos a seguir en un proceso de cambios con Avisos de Cambio para luego incorporar la determinación del precio y los ajustes del programa a través de una Orden de Cambio. En el proyecto NFB existe una "Cláusula de Cambio dirigido", lo que implica que el contratista no tiene derecho a rechazar la realización y debe proceder con el trabajo si necesidad de que se haya definido previamente los detalles; es por ello que siempre se requiere que una orden de cambio sea procesada. Las órdenes de cambios son de especial importancia para el proyecto NFB ya que si no son firmadas por ambas partes (Cliente-Contratista) el segundo no podría cobrar las utilidades correspondientes a los trabajos considerados órdenes de cambio.

Las órdenes de cambio se deben usar para documentar la resolución de modificaciones efectuadas. Es decir las modificaciones dentro o fuera del alcance general del trabajo.

Las Órdenes de Cambio, permiten al propietario compensar al contratista de forma equitativa (en tiempo y dinero) cuando no es posible llegar a un acuerdo de forma inmediata. Las Órdenes de Cambio deberán ser utilizadas para modificaciones al contrato o para cambiar las condiciones del contrato en un acuerdo bilateral.

2.7.2. DEFINICIONES GENERALES

Cambio: es una modificación al trabajo, tiempo o método de desempeño que ha sido autorizado por la cláusula de "Cambios" dentro o fuera del alcance del

contrato. Un cambio dirigido es aquel en donde al contratista se le impone que proceda con un trabajo, independientemente del resultado del impacto comercial que surja del cambio.

Aviso de Cambio (AC): es un documento emitido por el Propietario que notifica al contratista de un cambio de contrato ya sea potencial o dirigido efectuado a través de Avisos de Cambio Dirigido del Propietario que afectan el costo o el tiempo de desempeño y obligan al Propietario a compensar al contratista, pero que no entrega financiamiento para el pago. Son cambios iniciados por el propietario que pueden transmitir planos, instrucciones, revisiones, incrementos reducciones dentro del alcance general del contrato. El aviso de Cambio requiere que el contratista le confirme al Propietario los ajustes en tiempo y/o costo en caso existan. También requiere que el contratista presente su propuesta respecto a los ajustes de tiempo y/o costos.

Solicitud de Aviso de Cambio (SAC): es una solicitud por el contratista para una Orden de Cambio del Propietario debido a diferencias en las condiciones de terreno, cambio constructivo o eventos similares que ameriten la emisión de un Aviso de Cambio.

Solicitud de Aviso de Cambio (SAC): es una solicitud por el contratista para una Orden de Cambio del Propietario debido a diferencias en las condiciones de terreno, cambio constructivo o eventos similares que ameriten la emisión de un Aviso de Cambio.

Potencial Orden de Cambio (PCO): es un documento del propietario que aprueba el impacto en tiempo y/o costo del cambio propuesto. La firmarán las diferentes áreas del proyecto según los niveles de aprobación acordados. Éstas evaluarán, observarán y/o condicionarán la resolución de aprobación de un Aviso de Cambio ó Propuesta de Cambio. La aprobación de una o más PCO dará paso a la emisión de una Orden de Cambio (OC).

Orden de Cambio (CO): es un documento del propietario que representa la resolución técnica y comercial de un Cambio de Contrato. Una Orden de Cambio describe el alcance, precio, programa y método de pago de un cambio. Puede

ser acordada y firmada por ambas partes, o en caso de ser autorizada por los términos del contrato, emitida de manera unilateral representando la determinación del Propietario de un ajuste equitativo.

Propuesta de cambio (PC): es un ajuste propuesto al precio y/o plazo de ejecución del contrato como respuesta a un Aviso de Cambio del Propietario o cualquier otra circunstancia en la cual el contratista considere que un ajuste en el precio o en periodo de desempeño es necesario. Las propuestas deberán estar de acuerdo con los requerimientos del contrato para la determinación del precio.

Instrucción para proceder (IPP): es un documento del propietario en el cual se le ordena al contratista a proceder con el trabajo definido a pesar de la falta de acuerdo en relación a si el trabajo se encuentra o no dentro del alcance del contrato, o aquel en el que ambas partes acuerdan que existe un impacto comercial, pero en donde no han llegado a un acuerdo en el precio adecuado y en el ajuste del programa. La necesidad de una Instrucción para proceder surge cuando el contratista afirma que ese trabajo debería ser compensado como un cambio (tiempo y/o dinero adicional) o que un ajuste equitativo debería ser mayor que el propuesto por el Propietario, aunque la posición del Propietario es que el trabajo se encuentra dentro del alcance del trabajo y por lo tanto no está sujeto a una Orden de Cambio, o que el ajuste equitativo es que menor que aquel afirmado por el contratista. La Instrucción para proceder instruirá al contratista que separe los costos asociados con el trabajo descrito en la instrucción. Este trabajo deberá ser administrado y monitoreado como un trabajo descrito en la instrucción. Este trabajo deberá ser administrado y monitoreado como un trabajo de cuenta de administración pendiente de resolución si el trabajo es un Cambio en el Contrato o si el ajuste equitativo propuesto por el Propietario es adecuado.

Trabajo extra (EW): es un trabajo que le es solicitado al contratista y que acuerda realizar que se encuentra fuera del alcance general del contrato. El Propietario no puede emitir una Orden de Cambio directa si el trabajo cambiado estuviera fuera del alcance de trabajo contemplado originalmente por las partes. Este acuerdo con el contratista de Trabajo Adicional es formalizado en una Enmienda que defina el alcance, términos de pago y programa.

2.7.3. COMO MANEJAR LOS CAMBIOS

Un Aviso de Cambio (ANEXO 2.21) es preparado por el propietario y éste incluirá toda la información relacionada, planos y documentos que se encuentre disponible al momento de su emisión. Los Avisos de Cambio que autorizan proceder con el trabajo requieren de la autorización del compromiso.

Cada Aviso de Cambio tendrá numeración correlativa y será ingresada en el Registro de Avisos de cambio (ANEXO 2.22). El Aviso de Cambio aprobado será enviado al contratista. Todos los envíos al contratista tendrán una carta con numeración correlativa. El (ANEXO 2.27) es una lista de Verificación de los Avisos de Cambio que incluye los requisitos clave que deben ser abordados en los Avisos de Cambio.

Se deberá requerir que el contratista responda a cada Aviso de Cambio. Todas las respuestas del contratista, ya sean acuses de recibo sin comentarios, desacuerdo con el Aviso de Cambio o contraofertas del contratista, deberán ser ingresadas en el Registro de Avisos de Cambio. Este registro deberá ser actualizado regularmente con el estado de Avisos de Cambio que se encuentran abiertos, y será necesario un seguimiento de aquellos en los cuales nos se tiene respuesta.

El propietario deberá entregar un identificador de rastreo único a todas las propuestas que han sido presentadas por el contratista (como respuesta a los Avisos de Cambio, propuestas no solicitadas y reclamaciones). Cada propuesta deberá ser ingresada en un Registro de Propuestas/Reclamaciones (ANEXO 2.23) que es requerido en cada contrato. El (ANEXO 2.29) es una lista de Verificación de las propuestas del contratista que aborda los requisitos clave que deben ser considerados en las propuestas del contratista.

La evaluación de las propuestas se llevará a cabo con la emisión del documento Potential Change Order (ANEXO 2.25) que requiere de las firmas de aprobación de los distintos departamentos del propietario en el sitio del proyecto (ingeniería, Control de proyectos, contratos, construcción y la gerencia del propietario) para

dar curso a la emisión de una Orden de Cambio. La PCO permitirá al propietario hacer un seguimiento de un potencial cambio, y podrá eventualmente observar, corregir o negociar para finalmente aprobar o rechazar los elementos de cambio mencionados en el documento.

Una vez que las propuestas del contratista son negociadas y se acuerdan los ajustes, deben ser incorporados al contrato, a través de una Orden de Cambio (ANEXO 2.24). Incluso si el Aviso de Cambio es resuelto sin costo ni impacto en el programa, deberá ser ingresado al contrato a través de una Orden de Cambio sin costo ni impacto en el programa.

Cada Orden de Cambio debe tener un número correlativo único que es ingresado en un registro de órdenes de cambio (ANEXO 2.26) para cada contrato. Es importante que las referencias cruzadas en los registros se encuentren completas para asegurar que un cambio pueda ser rastreado desde su inicio (Aviso de Cambio o propuesta) a su incorporación en una Orden de Cambio. El (ANEXO 2.28) es una lista de verificación de Órdenes de Cambio que cubre los requisitos clave que deben abordarse para las Órdenes de cambio.

Pueden surgir situaciones en donde al contratista le sea instruido efectuar un cambio/trabajo en disputa a falta de acuerdo mutuo. En dichos casos, el propietario emitirá una instrucción para proseguir al contratista, requiriendo que el contratista realice el trabajo a la espera de un acuerdo final. En dichos casos, el trabajo que está siendo realizado debe ser claramente definido. De la misma manera la documentación completa debe mantenerse para registrar los costos e impacto en el programa. Si hay un acuerdo final posterior por costos adicionales para este trabajo, éste deberá ser incorporado en el contrato a través de una Orden de Cambio. En caso de ser necesario, se podrá emitir una Orden de cambio unilateral para modificar el precio o el tiempo de realización según lo determine el propietario.

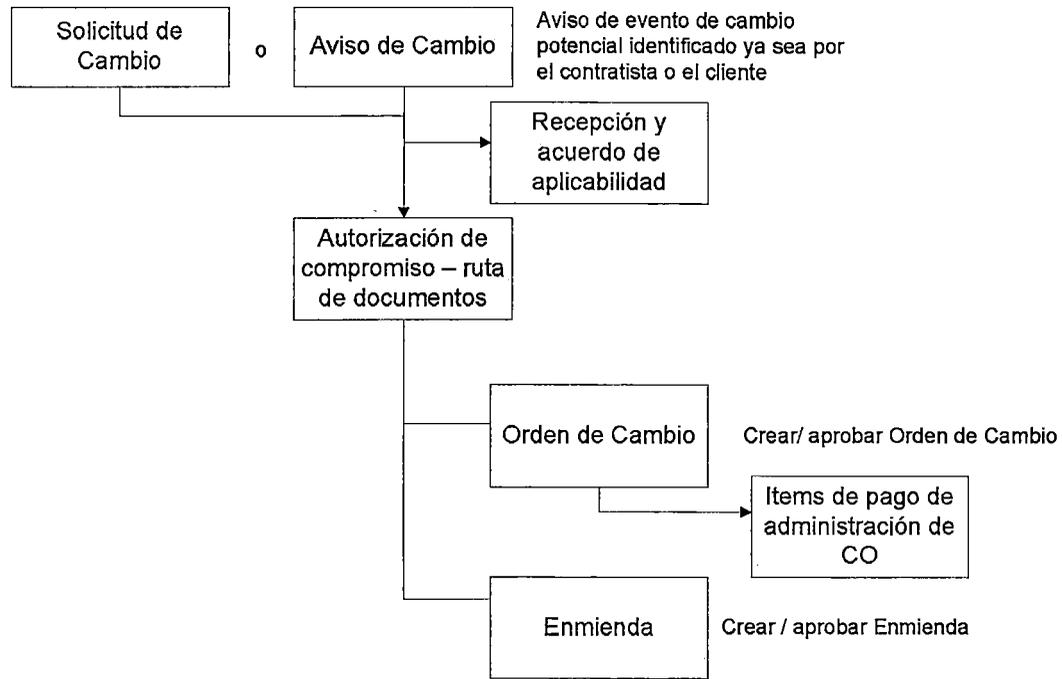


Fig. 2.6. "Proceso contractual de Cambios. Como manejar los cambios". (Elaborado por el autor)

2.8. SISTEMA DE CONTROL DE CAMBIOS

Una vez identificada un cambio y este se haga efectivo debe pasar por 03 fases: Trend, Potencial orden de cambio, y orden de cambio.

SISTEMA DE MANEJO DE TREND Y CO

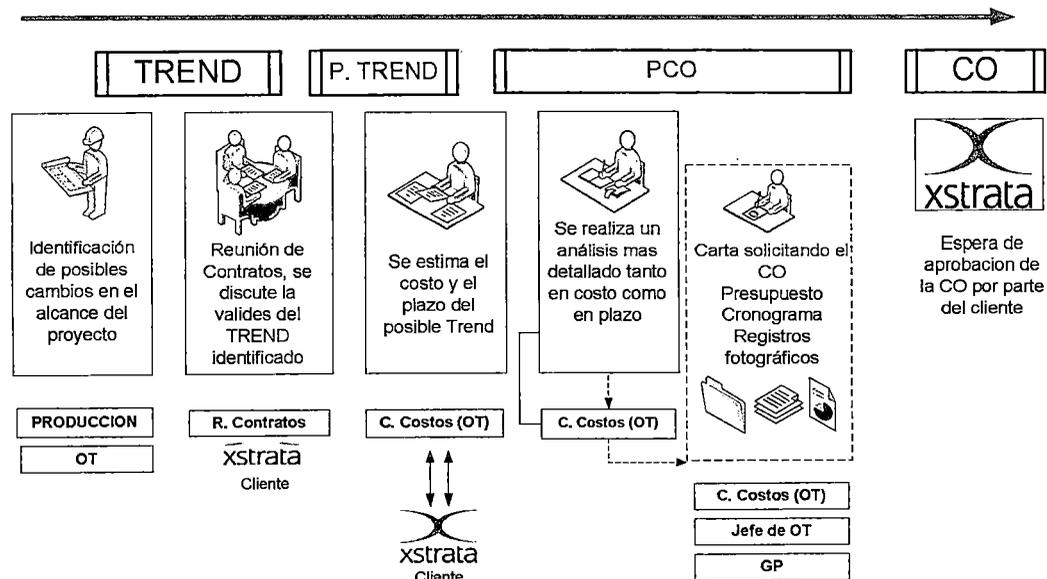


Fig. 2.7. "Sistema de Control de Cambios Proyecto NFB". (Elaborado por el autor)

2.9. TREND

La definición de trend, es todo aquel cambio que cause directa e indirectamente un aumento o disminución en el costo y plazo requerido para la ejecución de toda o alguna parte del trabajo, estos cambios pueden ser o no respaldadas por documentación física o electrónica emitida por el cliente, entendiéndose que estas hayan sido generadas en su origen por este.

En control de proyectos, es una tendencia general de eventos, condiciones, desempeño, etc. En el sistema de gestión de cambios, un trend es el primer indicio de una potencial orden de cambio que debe ser monitoreada y tratada adecuadamente. Un trend puede ser identificada como una desviación (normalmente no reembolsable) o un cambio (que normalmente es reembolsable en tiempo y/o costo).⁴

El trend nace a partir de lo un posible escenario que se puede dar según las decisiones que se tomen al momento de identificar el trend. A diferencia de un riesgo uno puede determinar que un trend se concrete o no; sin embargo uno puede gestionar los riesgo pero no controlarlos. Los trends pueden pasar luego a ser potenciales órdenes de cambio o desviaciones de la línea base. Las desviaciones de la línea base (DLB) son generalmente omisiones en las estimaciones realizadas y por ello no generan utilidad. Por otro lado los trends también pueden pasar a ser Potenciales Órdenes de Cambio (POC), que si generan utilidad por ser entregables que se encuentran fuera del alcance de la línea base. Para el caso del proyecto se entiende que las DLBs no generan profit y overhead pero las PCOs si permiten cobrar esta utilidad.

Por ejemplo si por omisión no se consideró en el estimado Clase 4 la señalética del campamento del proyecto y no se excluyó la propuesta el estimado de los recursos para estos trabajos, entonces no se tiene derecho a cobrar profit y OH por estos trabajos ya que son una DLB de un mismo alcance. Por otro lado si se solicita un trabajo de obras de arte para ayudar a la comunidad de Chila en el

⁴ AACE International. "Cost Engineering Terminology, TCM Framework: General Reference". AACE International Recommended Practice. Estados Unidos, 2010.

proyecto NFB, esto está claramente fuera del alcance del proyecto y por ello se debe reconocer una utilidad por estos trabajos adicionales o extraworks (EW).

Se enmarcan dentro del alcance de los trend todos aquellos cambios generados en mejora del proyecto que no hayan sido consideradas en el lanzamiento de la propuesta inicial y que constituyen una desviación al presupuesto línea base, así mismo aquellas solicitudes del cliente que por su naturaleza son consideradas Extra Works.

2.9.1. DEFINICIÓN DE TREND

Los cambios que pueden resultar en un cambio neto o nulo para el presupuesto total del proyecto o para el plazo final del mismo, son considerados trends. Los Trends son desviaciones del presupuesto del proyecto que no pueden ser clasificados como cambios en el alcance, pero son atribuibles a la evolución del proyecto (precios, fluctuaciones en el consumo de las cantidades, cambios de diseño, rendimientos de la mano de obra, etc.) que son considerados necesarios para alcanzar el alcance actual del proyecto⁵. Las reglas para reconocer un trend son:

- Los Trends no cambian el presupuesto original
- Los Trends se balancean a cero. Un incremento o decremento en la contingencia o en el margen nivelan los cambios causados por el trend en el presupuesto.
- La diferencia de un cambio de alcance es que el costo de este cambio es equivalente o igual al cambio en el presupuesto original o línea base.

2.9.2. CICLO DE VIDA DEL TREND

El ciclo de vida del trend es como este pasa de un estatus a otro. Definir este estatus es importante para definir el financiamiento del mismo. Todo Trend puede tener dos estatus:

⁵ BECHTEL UNIVERSITY. "Trend Program – Fomat & Types". Bechtel University, 2010.

- **Trend Potencial:** es un ítem que ha enfrentado un posible impacto en costo y/o tiempo pero requiere discusión y/o desarrollo antes de su presentación en la reunión de Trends.
- **Trend Resuelto:** es cualquier trend revisado durante la reunión de trends con una acción a tomar definida. La resolución de un Trend puede incluir como decisión que ninguna acción es requerida, en tal caso la identificación y descripción son mantenidas en el log solo como informativo. Los Trends resueltos que tienen un impacto en el costo y/o plazo son llevados al siguiente nivel en el programa de gestión de cambios, es decir pasan a ser potenciales órdenes de cambio.

Todos los trends son finalmente resueltos como aprobados o cancelados y pueden tener tres resoluciones potenciales:

- **Trend aprobado:** es aprobado para su inclusión en el proyecto. Además se aprueba para definir que puede recibir fondos de las contingencias del presupuesto o del margen del proyecto.
- **Trend Cancelado:** no está autorizado, y ninguna acción es tomada sobre este. Sin embargo la descripción del trend se mantiene en el registro para información.
- **Trends no resueltos:** incluye a aquellos trends que no han sido aprobados para su inclusión en el forecast del proyecto y requieren una acción para resolver o cancelar al trend.

2.9.3. CATEGORÍAS DE TRENDS

Los Trends pueden clasificarse como tendencias o “desviaciones de la línea base” que van fluctuando a lo largo del proyecto debido a diversas causas. Cuando finaliza el proyecto y se tiene un costo real finalmente se obtienen las brechas en el costo del proyecto. Esta brecha está compuesta por la suma de los cambios y los trends sabiendo que la suma de las fluctuaciones de los trends con las fluctuaciones en las contingencias y el margen deben sumar cero. Los trends según el tipo de desviaciones se pueden clasificar en dos categorías:

- a. **Categoría 1: Desviaciones de la Línea Base no imputables al contratista o al cliente (DLBs)**

- **Precio:** debidos fluctuaciones en los precios del mercado de los materiales y los subcontratos.
- **Materiales a granel:** por el uso de más o menos materiales debido a cambios en las condiciones consideradas al inicio del proyecto.
- **Rendimientos de la Mano de Obra:** por diferencias en la productividad de la mano de obra debido a condiciones impuestas. Por ejemplo por una imposición de contratación de personal local.
- **Tarifas de mano de obra:** por fluctuaciones en la mano de obra ajenas a las impuestas legalmente. Esto hace referencia a bonificaciones especiales, premios por permanencia en el proyecto, pagos especiales al personal local, etc.
- **Otros indirectos:** son desviaciones causadas por imposición de tarifas, pagos de derechos, pagos de seguro no considerados, etc.

b. Categoría 2: Desviaciones de la Línea Base imputables al contratista o al cliente (DLBs)

- **Desviación por Estimación:** aparecen por omisiones en el estimado o por errores en el cálculo de los estimados. Están asociados a un error humano del estimador.
- **Desviación por Alcance:** por omisiones en los entregables del alcance o por consideraciones erradas respecto al alcance. Falta de equipos, de materiales, especificaciones incorrectas, etc.
- **Desviación por cronograma:** por aceleración o retraso de trabajos, ampliaciones de plazos no sustentables.
- **Filosofía de Construcción:** por temas de constructabilidad resultado de un cambio en los métodos de construcción. Por ejemplo por cambio de concreto in situ por premezclado, por uso de prefabricados, etc.
- **Re trabajos por deficiencias en la ingeniería:** por deficiencias en los entregables de ingeniería. Por ejemplo incompatibilidades en tre las disciplinas de diseño, por cambios innecesario en los planos.
- **Optimización y afinamiento de ingeniería:** son un resultado de bucles innecesarios que buscan optimizar y afinar la ingeniería. Quita libertad al especialista en constructor para optimizar el diseño.

- **Rendimientos en la construcción:** por desviaciones en los rendimientos de las cuadrillas de construcción por una mala estimación. Por ejemplo se aplica el rendimiento de unas condiciones de terreno a otras o las condiciones climáticas de una zona a otra.
- **Tarifas de Mano obra:** por una omisión o una mala consideración de las tarifas estimadas.

2.9.4. PROCESO SIMPLIFICADO DE APROBACIÓN DE TRENDS

a. Identificación y registro en el formato Log de Trend.

Esta se da mediante la revisión de la documentación emitida por el cliente (Cartas, Actas de reunión, Formato de requerimiento de recursos, Instrucciones de campo aprobadas por el cliente, RFIs de respuesta del cliente, documentos electrónicos). La identificación de trends tiene como fuentes de origen:

Tabla. 2.14. "Fuentes de origen de Trends". (Elaborado por el autor)

INGENIERIA:
✓ Modificación y rediseño de ingeniería desarrollada.
✓ Estudios adicionales fuera de los alcances del contrato.
✓ Diseño de obras complementarias fuera del alcance del contrato.
✓ Otros
PROCURA:
✓ Cambios de precios de mercado.
✓ Servicios adicionales solicitados por el cliente.
✓ Condiciones locales de comercio.
✓ Suministro de materiales a solicitud del cliente.
✓ Otros.
CONSTRUCCIÓN:
✓ Construcción de obras adicionales fuera del alcance del contrato.
✓ Servicios de mantenimiento prestados fuera del área del proyecto.
✓ Cambios en procesos constructivos por cambio de materiales.
✓ Requerimiento de recursos solicitados por el cliente.
✓ Otros.

Estas identificaciones se registran en un formato de registro de trends como el mostrado en el (ANEXO 2.32) aplicado en el proyecto NFB. En este formato se registran la fecha de identificación del trend, contratista, contrato afectado, correlativo de trend, descripción del trend identificado, costo asociado al trend,

apreciación de impacto en el programa, toma de acciones a desarrollar, colaborador responsable, fecha de compromiso.

Este registro determinará el tiempo de desarrollo de la estimación, y se designará al personal responsable de la estimación quien se encargara de la recopilación de información y de un primer estimado donde se muestre los alcances y variables a considerar, los que serán expuestos en reunión semanal de trend. (ANEXO 2.32)



Fig. 2.8. "Identificación de Trends". (Elaborado por el autor)

La interacción con las áreas de ingeniería, Procura y construcción se define de la siguiente manera:

Ingeniería: Reportes semanales de identificación de cambios, reunión interna de coordinación, envío de estimaciones preliminares sobre cambios generados en Ingeniería.

Procura: Reunión semanal interna de comunicación e identificación de cambios generados en el área, recopilación de información de alcance y sustento de cambios.

Construcción: Reunión semanal interna de comunicación e identificación de cambios generados en las áreas de producción, calidad, seguridad, administración, recopilación de información de alcance y sustento de cambios.

b. Reunión semanal de coordinación (RSC)

Se define semanalmente una reunión de coordinación, entre el contratista y el cliente, donde se discuten diferentes temas relacionados a los cambios del proyecto, alcances, criterios y consideraciones de estos. Esta reunión está dividida en tres partes las cuales se detallan en el ítem 2.10.1

c. Conciliación de criterios entre el contratista y el cliente para generar la estimación

Se realiza en RSC en su primera parte, en la que se discute los trends identificados durante la semana transcurrida y se uniformizaran alcances, criterios, consideraciones para su estimación.

Previo a la RSC se definirán reuniones de coordinación internas de acuerdo a la importancia y naturaleza de la estimación donde se definirán:

- ✓ Alcances de la propuesta.
- ✓ Impactos comerciales.
- ✓ Análisis de riesgos y oportunidades.
- ✓ Identificación de consultas al cliente.
- ✓ Visitas de campo.
- ✓ Tiempos de desarrollo de ingeniería.
- ✓ Tiempos de procura.
- ✓ Tiempo de ejecución.
- ✓ Otros.

d. Presentación de Potencial Trend (Potential Trend) al cliente

Una vez determinado los alcances de los trend, la presentación de estos se desarrollara en el lapso máximo de seis días (06) posterior a la RSC para lo cual se designa un responsable del desarrollo de la estimación quien será encargado de determinar y plasmar los alcances en la hoja de estimación de trend. Está hoja no es nada más que un formato de presupuesto con partidas y metrados estimados.

e. Proceso de aprobación de Potencial Trend (Potential Trend)

Transcurrido el proceso de identificación, conciliación de criterios, presentación del potencial trend, esta ingresa en un periodo de revisión detallada por parte del cliente, quien podrá determinar a su juicio la aprobación y pase a potencial orden de cambio, observarla para su revisión, o rechazarla.

Sin embargo cualquiera sea la determinación del cliente estas deben quedar registradas en la hoja de registro de trend.

2.10. POTENCIAL ORDEN DE CAMBIO Y ORDEN DE CAMBIO

El PCO se define como el presupuesto detallado elaborado con fines de determinar el costo y plazo de un trabajo definido previamente como trend, el que ya ha sido discutido en RSC y que determina la distribución del monto presentado en los contratos afectos a este PCO.

Este PCO contiene un resumen sobre el origen de precios, la naturaleza de contratación y su afectación en el plazo de ejecución línea base. Una PCO es el paso anterior a la generación de una orden de cambio, y que ya cuenta con aprobación de las áreas pertinentes del cliente.

2.10.1. PROCESO SIMPLIFICADO DE APROBACIÓN DE PCOs Y COs

a. Identificación y registro de PCOs

Una vez realizada la RSC, en la que se definen los potencial trend aprobados, estas son consideradas como potencial change order, y deben formar parte del registro de PCOs (ANEXO 2.33), sin contener los montos estimados hasta que estas sean presentadas formalmente al cliente.

El registro de PCOs debe contener como información mínima N° del contrato, Nombre del contrato, Código del contrato, Correlativo de PCO, código PCO N°, Título de la PCO, Descripción de la PCO, Fecha de entrega al cliente, Monto estimado, Afectación al plazo, Observaciones, sin que estas sean limitativas, podrá incrementarse información que sea importante y que por su importancia se relevante a la PCO.

b. Revisión de Potencial Orden de Cambio (Potential Change Order – PCO) entre el contratista y el cliente

Una vez definidos los alcances, criterios y consideraciones de los potencial trend, y determinadas las aprobaciones de pase a PCO, se discute la presentación de las potencial change order, correspondientes a la determinación del costo final, sus plazos considerados y la revisión de los sustentos anexos. El cliente bajo estos criterios podrá observar y/o determinar su presentación formal mediante carta.

c. Conciliación de Criterios entre el contratista y el cliente para generar PCO (Plazo y costo)

Se realizan en la parte C de la RSC, se podrá definir el plazo a considerar tomando como referencia la línea base del cronograma

d. Presentación de Potencial Orden de Cambio PCO al cliente

Una vez definida la conciliación de criterios se procede a la presentación formal de la PCO, la que debe contener la información necesaria para su identificación y determinación inmediata, esta información consiste en:

- ✓ Formato de Potencial Change order (PCO)
- ✓ Hoja de presupuesto, análisis de precios unitarios, hoja de insumos, calculo de costos indirectos.
- ✓ Consideraciones del presupuesto.
- ✓ Anexos

e. Proceso de aprobación de la Potencial Orden de Cambio (PCO)

Se realiza previa evaluación de la potential change order del cliente posterior a la RSC, en sus diferentes instancias donde se podrán generar observaciones, y/o aprobaciones de las diferentes áreas responsables del cliente.

f. Generación de CO y registro en Log de Orden de Cambio (Change Order – CO)

Una vez culminada la hoja de ruta de la Potencial change order por las diferentes instancias esta toma el valor de Change Order, el que ya tiene valor legal y podrá ser incorporado al contrato. El registro de COs debe contener como

información resumida y debe estar dividida por Contrato, y debe contener la información siguiente: N° de orden de cambio, Descripción de la orden de cambio, Fecha de formalización por parte del contratista y cliente, Monto de la orden de cambio (ANEXO 2.34).

2.11. PROCESO DE REUNIONES, REGISTRO DE INFORMACIÓN Y RESPONSABILIDADES

2.11.1. REUNIÓN SEMANAL DE TREND, PCO Y OC

Esta reunión está dividida en tres partes, donde se discuten la identificación de los Trend, la presentación de las propuestas potencial trend, presentación de potenciales ordenes de cambio y presentación de Órdenes de cambio.

Parte A:

Se discute la idoneidad de los trend identificados, y se determina su validez o no, determinados por los alcances del presupuesto base y las consideraciones del contrato. Se determina además los alcances, consideraciones y criterios a usar para la estimación de los trend aprobados para su posterior desarrollo de la estimación correspondiente. En esta parte de la RSC se establece el nombre de la persona responsable de la estimación y el plazo de entrega de esta.

Parte B:

Se expone las estimaciones de los trend aprobados ante el cliente, quien a su vez podrá discutir, observar, determinar los alcances y las consideraciones planteadas, estas quedaran registradas en un acta de RSC y serán determinantes para su desarrollo en una potencial trend.

Parte C:

Se discute la presentación de las potencial change order, correspondientes a la determinación del costo final, sus plazos considerados y la revisión de los sustentos anexos. El cliente bajo estos criterios podrá observar y/o determinar su presentación formal mediante carta.

2.11.2. RESPONSABILIDAD FUNCIONAL DE PROCESOS

✓ **Director de Proyecto/Gerente de proyecto**

Es el responsable de la aprobación del informe del control management del proyecto. Se encarga de direccionar hacia el área de oficina técnica la información proveniente del cliente, que pueda representar solicitud de cambio generada por el cliente, mediante comunicaciones internas, cartas, actas de reunión.

✓ **Jefe de oficina técnica**

Responsable de realizar la evaluación inicial sobre la condición de trend o no, emite comunicación indicando “pertinente” ó “no pertinente”
Responsable de implementar y mantener el presente procedimiento.

✓ **Jefe de presupuestos**

Responsable de hacer cumplir el presente procedimiento, convoca a reuniones de coordinación interna sobre PCOs identificados en las áreas de ingeniería, procura y construcción. Convoca y lleva a cabo las reuniones de coordinación semanal (RCS) entre el cliente y contratista.
Identifica y propone al líder responsable del desarrollo de trend, PCOs y OC, correspondientes al área, lleva el control de los registros de trend, PCOs, y OCs, a emitir al cliente

✓ **Asistente de presupuestos – estimador**

Recopila la información correspondiente a los trend identificados, genera rol de consultas, registra las consideraciones y/o criterios a usar en la estimación de trend, genera plantilla presupuestal de inicio, prepara y/o recopila información sobre rendimientos, elabora análisis de precios unitarios.
Emite estimación de potencial trend y los expone en reunión semanal de coordinación (RSC).
Los asistentes de presupuestos tienen la obligación de registrar y ubicar la información trabajada en las carpetas correspondientes creadas para este fin.

✓ **Técnico de metrados**

Asiste al área proporcionando estimación de cantidades y metrados correspondientes a los trend identificados, registra y ubica la información procesada en las carpetas de destino correspondientes.

2.11.3. DIAGRAMA DE REGISTRO DE INFORMACIÓN

La información desarrollada correspondiente a los trend, Potenciales ordenes de cambio, ordenes de cambio, debe ser almacenada en la carpeta creada para este fin, el que tendrá la estructura mostrada en la figura N° 06, la que tendrá como mínimo la estructura mostrada.

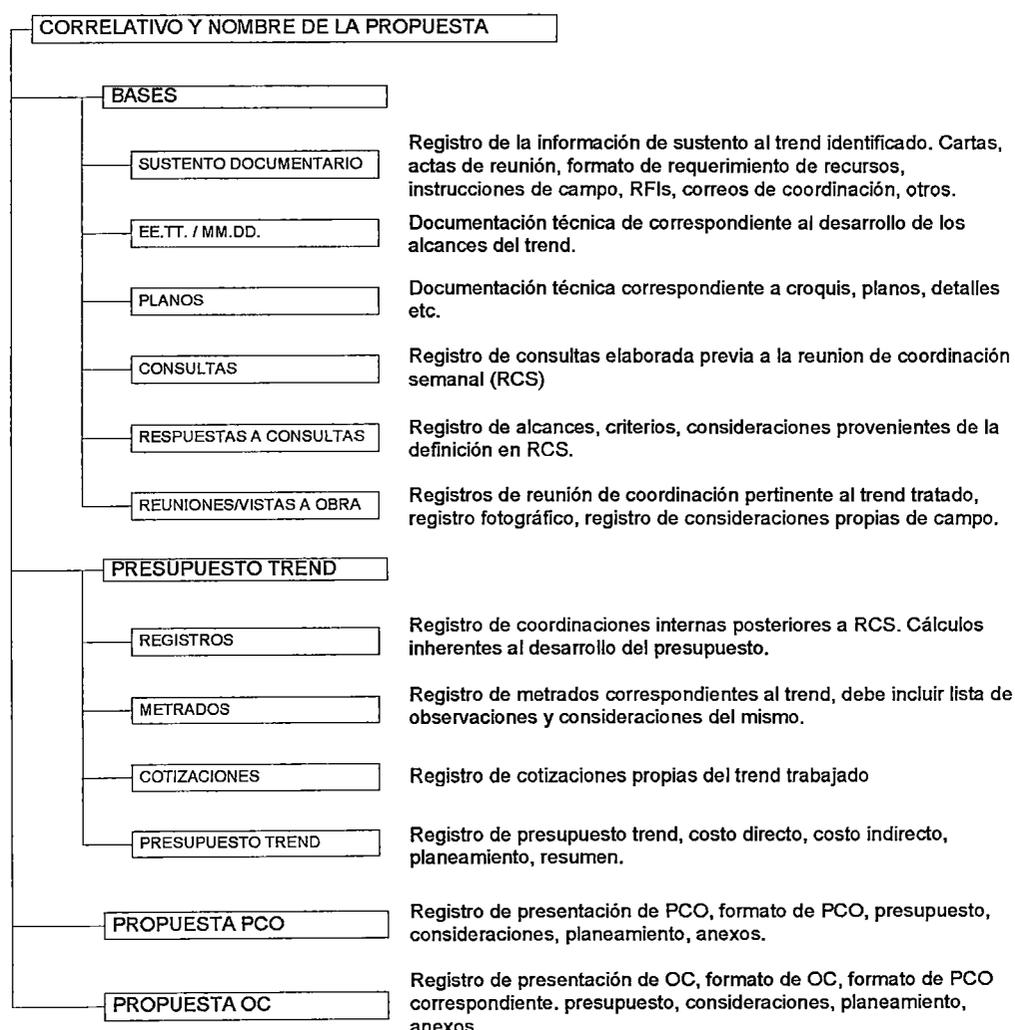


Fig. 2.9. "Árbol de registro de información". (Elaborado por el autor)

2.12. APLICACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE CAMBIOS AL PROYECTO CIUDAD NUEVA FUERABAMBA

2.12.1. IDENTIFICACIÓN DE TRENDS, PCOS Y DLBS

El inicio del proceso de gestión de cambios generalmente tiene su origen en la identificación oportuna de los Trends para luego algunos pasar a ser Potenciales Órdenes de Cambio (PCO) y el resto convertirse solo en Desviaciones de la Línea Base (DLB). Por ello es muy importante saber identificar los Trends y también identificar después si se convertirán en Potenciales Órdenes de Cambio. Si bien los trends pueden pasar a ser PCOs, muchas PCOs nacen directamente como tales sin primero ser Trends.

Es por ello que en este punto de la tesis se revisarán ejemplos de Trends identificados en el proyecto NFB y clasificándolos en sus diferentes categorías y subcategorías (ANEXO 2.35). Así mismo se a listado una serie de PCOs y DLBs y se explica las razones por las cuales se les definió con estas denominaciones. (ANEXO 2.36). La definición de muchas de estas denominaciones y clasificaciones se determina en las reuniones semanales de coordinación (RSC) o reuniones de trends y PCOs.

Es muy importante identificar las PCOs porque son estas las que permiten ganar una utilidad adicional a la definida en la línea base. Esto debido a que para cualquier PCO va asociado el reconocimiento de un cambio en el alcance contractual y por ello debe ir asociado a una correspondiente utilidad.

Por otro lado es importante identificar las DLBs porque permiten identificar cuáles son las causas que están desviando el costo real a la fecha del costo previsto a la fecha. Así mismo nos permite poder realizar mejores estimados del saldo, al haber identificado las desviaciones principales. Así mismo nos permite identificar porque el margen de la obra se reduce para el contratista. Pero lo más importante de identificar las DLBs es que nos permite tomar acción sobre ellas y eliminar o mitigar su impacto en el costo y el plazo del proyecto.

Como se puede apreciar en el ejemplo modelado en el (ANEXO 2.37) si las DLBs aumentan, el efecto que produce es una reducción en el margen. Sin embargo si se reduce o eliminan las DLBs no produce un aumento en el margen pero mantiene de alguna forma el margen inicial. Por otro lado el aumento de PCOs no aumenta el margen pero si aumenta la utilidad final del proyecto.

Finalmente se puede notar que esto aplica siempre y cuando la utilidad sea una tasa fija, es decir en el caso del proyecto NFB esto aplicaría para el profit pero no necesariamente para el Overhead. Esto debido a que el Overhead es una función de las horas hombre; por ello si las PCOs no incluyen mano de obra y más bien son solo suministro de materiales, el margen se reduce. Por otro lado si la mano de obra es muy densa y el costo de materiales es muy bajo entonces el margen aumenta.

Esto significa que para el contratista le conviene más ejecutar una PCO por la construcción de muros de albañilería que por solo transportar material de cantera con un volquete. Esto se debe a que el margen está definido por el $((3.96\% \times (CD + CI) + \$0.8xhh)/(CD + CI + Profit + Overhead))$. Esto significa que para la primera PCO el margen será mayor porque tienen mucha participación de mano de obra y el segundo por el contrario muy poca.

2.12.2. ORIGEN DE LAS PCOS Y EJEMPLOS DE ESTIMADOS DE TRENDS, PCOS Y DLBS

Las PCOs tienen diferentes orígenes, como por ejemplo los trends (Tendencias), los formatos de requerimiento de recursos (FR), los Formatos de requerimientos de materiales ó Field Material Requisition (FMR), los requerimientos de información a ingeniería (RFI), y las instrucciones de campo (IC). Sin importar cual sea el origen del cambio, si se va a presentar un estimado de profit y overead deberá sustentarse con un presupuesto que estime un costo y una cantidad de horas hombre.

En la tabla que se muestra a continuación se puede ver un resumen de los documentos que dan origen a una PCO.

Tabla. 2.15. “Documentos que originan cambios”. (Elaborado por el autor)

DOCUMENTO	DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN Y CONTENIDO	ANEXO
FR	FIELD REQUISITION (Formato de Requerimiento de Recursos)	Es un formato para solicitar recursos para un trabajo que puede ser una OC o una DLB. Además debe ir acompañado de una serie de hojas de control diario de recursos (HCDR). Esta HCDR solo sirve como control no sirve de sustento para presentar un presupuesto. El presupuesto debe ser presentado para sustentar el cálculo de la utilidad de forma equitativa según contrato. El requerimiento lo puede hacer tanto el contratista como el cliente: - Si lo genera el Cliente es un aviso de cambio. - Si lo solicita el contratista es una solicitud de Aviso de Cambio. En este documento se debe definir: - Si es OC o DLB - Cual es la acción a tomar. Ejecución, alquiler, compra, etc. - Se debe describir de forma detallada el alcance del trabajo a realizar. Se debe colocar cantidades referenciales de trabajos a realizar. - Debe estar firmado por los autorizados de ambas partes.	ANEXO 2.38
FMR	FIELD MATERIAL REQUISITION (Formato de Requerimiento de Materiales)	Es un formato de requerimientos de materiales por parte del cliente. Se debe colocar cantidades exactas de suministro y si es posible precios ya pactados o definidos.	ANEXO 2.39
RFI	REQUEST FOR INFORMATION (Requerimiento de Información)	Es una solicitud de información al área de ingeniería. Se debe definir si involucra un cambio en el costo o el tiempo. Además se le deba clasificar adecuadamente según el EDT del proyecto.	ANEXO 2.40
IC	INSTRUCCIÓN DE CAMPO	Es una propuesta de cambio al diseño elaborada por el área de producción. Debe ser validada por el área de ingeniería, para dar confirmación a proceder.	ANEXO 2.41

Así mismo en la tabla que se muestra a continuación se puede ver diferentes estimados emitidos para sustentar los distintos cambios (en sus diferentes etapas). Estos documentos sirven para sustentar en el caso de ser Órdenes de cambio el profit y overhead que corresponden por el trabajo realizado.

Tabla. 2.16. “Documentos para sustento de cambios.” (Elaborado por el autor)

DOCUMENTO DE CAMBIO	DESCRIPCIÓN	SUSTENTO	ANEXO
TREND	Mejoramiento de la Ciudad	SKETCH de Diseño	ANEXO 2.42
DLB	Stand By por desabastecimiento de combustible	Registro de Horas	ANEXO 2.43
PCO	Plataformado para cancha deportiva en Chila	RFI / FR	ANEXO 2.44
CO	Micro Relleno Sanitario	RFI / FR	ANEXO 2.45

2.12.3. REGISTRO DE CAMBIOS O LOG DE CAMBIOS

En los ANEXOS 2.32, 2.33 y 2.34 se mostraron una propuesta de LOG para registrar adecuadamente los cambios que se pueden presentar en el proyecto. Sin embargo en esta sección de la tesis se presentará un nuevo formato de LOG que permite consolidar todos los cambios y registrarlos de forma adecuada para poder filtrar y utilizar la información de forma ágil cuando sea requerido. En el ANEXO 2.46 se muestra esta nueva propuesta de LOG para el registro de los cambios (TREND, PCO y DLB) en el proyecto NFB.

2.12.4. FLUJOGRAMAS PARA EL CONTROL DE CAMBIOS

Para poder resumir todo el proceso que involucra el control de cambios, se ha desarrollado como parte la presente tesis tres flujos que permiten resumir todo el proceso de control de cambios para este y/u otros proyectos de características similares. Los tres procesos principales seleccionados para resumir el control de cambios son:

- Flujo de Solicitud de Información. ANEXO 2.47
- Flujo de Ordenes de Cambio. ANEXO 2.48
- Flujo de Gestión de TREND y PCO. ANEXO 2.49

CAPÍTULO III: SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN Y CONTROL DE CAMBIOS

Para poder gestionar y controlar realmente los cambios no basta con identificarlos conforme se van presentando a lo largo de la ejecución del proyecto. La verdadera gestión de cambios se presenta cuando el que gestiona el proyecto propicia los cambios desde las etapas más tempranas del proyecto. Es decir que los cambios que más impactarán positivamente en el proyecto son aquellos que se realizan en las etapas tempranas y son propiciados por los gestores del proyecto.

La regla “1/10/100” de Crosby (1979), que consideraba el impacto de los costos de no calidad en un proyecto, expone que cuando se hace un cambio durante la etapa de pre-diseño su impacto sería de \$1 para el proyecto. Sin embargo, si estos cambios no se identificaban a tiempo, estos costarían como \$10 durante la etapa de diseño y como \$100 si se espera hasta la construcción. Extendiendo este concepto a la post ocupación, el costo de un re-trabajo para implementar cambios no identificados con anticipación, pueden costar como \$1000.¹

Para poder elaborar un verdadero sistema de gestión y control de cambios no basta solo con identificar los cambios y sus impactos; sino también es necesario tener las herramientas apropiadas para generar cambios o alternativas en las etapas indicadas. Por ello en este capítulo se presentarán las principales metodologías para identificar, evaluar y seleccionar alternativas en las etapas tempranas del proyecto así como en las etapas posteriores. Con estas herramientas se podrá finalmente plantear un Sistema Integral de Gestión y Control de Cambios (SIGCC).

3.1. IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS

El primer paso para un SIGCC es poder generar alternativas en las diferentes etapas del proyecto, especialmente en las más tempranas. Por ejemplo para una edificación nos podemos centrar en identificar alternativas del tipo de edificación,

¹ Tilley, Paul A. “Design and Documentation Quality problems – A Lean thinking opportunity”. Primera Edición. Queensland University of Technology (QUT). Australia, 2005.

sus componentes y sus materiales. Así mismo podríamos identificar alternativas para el tipo de sistema estructural, para los diferentes rubros, para las partidas, para los recursos y finalmente para los insumos. Por ello a continuación se desarrollará el proceso de identificación de alternativas, para luego pasar al proceso de evaluación y finalmente al proceso de ponderación y selección de alternativas.

3.1.1. APLICACIÓN DE LA CONSTRUCTABILIDAD Y EL LEAN DESIGN

El Lean Design nos indica que uno de sus pasos es la ingeniería basada en múltiples alternativas, lo que nos quiere decir que debemos desterrar la práctica de la única solución y prevenir la toma de decisiones prematuras.²

Otro paso importante del Lean Design es el trabajo estructurado que involucra el diseño simultáneo del proceso y del producto; así como considerar todas las etapas del proyecto para la selección de alternativas.³

Basados en estos dos pasos básicos del Lean Design y en los 17 principios de constructabilidad se procederá a explicar algunas aplicaciones de estos criterios en proyectos reales de edificaciones, que posteriormente servirán para identificar alternativas a lo largo de las etapas del proyecto, sea factibilidad, diseño, procura o ejecución.

Participación de los contratistas especializados (subcontratas) desde el diseño inicial

Muchas veces los diseñadores tratan de producir planos muy completos y luego los contratistas especializados los transforman en dibujos que puedan ser utilizados para la construcción. Sin embargo, los diseñadores no hacen un buen trabajo y es necesario realizar cambios en los diseños por suposiciones incorrectas y otras decisiones inadecuadas. La práctica recomendada consiste

² BALLARD, Glenn. "The Lean Project Delivery System: An Update". Lean Construction Journal. Lean Construction Institute (LCI). Estados Unidos, 2008.

³ BALLARD, Glenn. "The Lean Project Delivery System: An Update". Lean Construction Journal. Lean Construction Institute (LCI). Estados Unidos, 2008.

en que los diseñadores produzcan mejores esquemas de diseño y deleguen el detallado a los contratistas especializados.⁴

En el proyecto de una edificación residencial se pudo observar como los detalles presentados por el proyectista para las ventanas y mamparas no eran recomendables, ni económicos para su real ejecución. Por ello se tuvieron que realizar muchos cambios a sugerencia de los contratistas. Los cambios fueron referentes a longitudes muy largas para perfiles muy esbeltos, sistemas de operación (corredizas, pivotantes, proyectantes, etc.) que no correspondían a las dimensiones propuestas, entre otros muchos inconvenientes que se pudieron encontrar a la propuestas del proyectista. Los detalles de estos inconvenientes se pueden revisar al detalle en el Anexo 3.1.

Participación de los proveedores principales desde el diseño inicial

Es muy común que las especificaciones hechas por los proyectistas muchas veces produzcan problemas en la etapa de construcción debido a la especificación de materiales discontinuados o cuya adquisición es muy complicada. Para utilizar materiales alternativos es necesario que su uso sea aprobado por el diseñador, pero este proceso produce retrasos en la obra. Justamente la principal participación de los proveedores empezaría durante la producción de los detalles constructivos y especificaciones; y no recién durante la etapa de construcción.

En el mismo proyecto anterior se habían especificado los pisos Cerámico Celima Botticino Nose de 40x40 en todos los baños de los departamentos y el Celima rustico estructurado Beige de 30x30 para las áreas comunes. Sin embargo estos dos modelos ya tenían tiempo de haber sido discontinuados. Pero por no consultar con los proveedores se especificó como única alternativa. Afortunadamente este problema se identificó en la etapa de presupuesto por lo que se pudo realizar el cambio a otra alternativa. De no haber ocurrido así y la identificación del problema se hubiera dado durante la ejecución y hubiera podido generar retrasos en algunas actividades la obra.

⁴ TOMMELEIN, Gil. "Contribution of specialty contractor knowledge to early design". 8va Conferencia del Internacional Group for Lean Construction. Brighton, Reino Unido, 2000.

Flexibilidad en los diseños para facilitar la construcción

Según el CII, los diseños deben configurarse para facilitar la construcción eficiente considerando temas como la flexibilidad.⁵ En un proyecto es importante que su arquitectura sea lo suficientemente flexible para permitir alternativas de diseño que faciliten su construcción con prefabricados. Por ejemplo en un proyecto de un edificio para oficinas se diseñó inicialmente con un sistema de losas macizas y aligeradas tradicionales. Sin embargo en la etapa de licitación se propuso ejecutarlo con el sistema de prelosas por lo que se debería realizar algunos cambios al diseño inicial. Estos cambios fueron bien recibidos por el cliente ya que representaban un ahorro en el tiempo de entrega final del proyecto, por lo cual finalmente el proyectista realizó el cambio de diseño y posteriormente se ejecutó con estos cambios. En el Anexo 3.1 se puede revisar el detalle de estos cambios.

Flexibilidad para facilitar los cambios de uso de la edificación

De igual forma que la flexibilidad del diseño debe facilitar la construcción, también debe facilitar los posibles cambios de uso que podría tener la edificación. Por ejemplo en una edificación antigua que por ciertos motivos nunca llegó a terminarse y por ende tampoco a ocuparse, tenía como uso inicial el de oficinas. Sin embargo luego se propuso realizar algunos cambios y finalmente utilizarlo como un edificio de consultorios y laboratorios. Si la arquitectura no hubiera sido lo suficientemente flexible estos cambios no hubieran sido posibles. Este es un caso común en los edificios residenciales que sólo pueden utilizarse para viviendas. Los detalles de este proyecto pueden revisarse en el Anexo 3.1.

Los diseños deben facilitar el mantenimiento

Los tres factores más importantes que deben ser considerados durante el diseño para un mantenimiento adecuado y seguro son: los accesos para las inspecciones, el fácil mantenimiento externo y el fácil mantenimiento de los

⁵ JEARGES, George. "Benefits of constructability on construction projects". Journal of Construction Engineering and Management. 2001

servicios. El diseño debe permitir el acceso seguro para la inspección de los sistemas y componentes de la edificación que requieran mantenimiento. Además, es importante pensar en la manera como se realizará el mantenimiento para evitar molestar a los usuarios mientras este se realice.⁶

En el proyecto de una edificación residencial se concibió instalar una mampara de doble altura en la caja de las escaleras de los dúplex. Sin embargo este diseño complica mucho su limpieza para la etapa de ocupación. Si bien este es un cambio que no impacta al contratista debemos pensar en el proyecto no solo en su etapa de construcción sino a lo largo de toda su vida. Es por ello que el subcontratista especialista propuso cambiar el diseño para facilitar su mantenimiento pensando en el bienestar de los ocupantes. El detalle de esta alternativa de diseño se presenta en el Anexo 3.1.

Proceso de retroalimentación para la mejora continua

Para lograr el éxito en la implementación de un programa de mejora de continua es necesario crear una base de datos con ideas sobre constructabilidad. Es importante realizar un proceso de retroalimentación que evite que se cometan los mismos errores proyecto tras proyecto.⁷

En la misma edificación residencial anteriormente mencionada se proyectó utilizar puertas cortafuego de 2.40m de altura, sin embargo en un proyecto anterior de la misma inmobiliaria, el mismo proyectista y el mismo contratista se había realizado el cambio de las dimensiones de todas las puertas de 2.40m a 2.10m, pues era mas económico hacerle un dintel que pagar el costo de la puerta de mayor altura. Esta puerta de 2.40m no solo necesitaba más material, sino por ser más pesada también requería de más bisagras y un mejor refuerzo en el marco, lo que elevaba considerablemente el costo. El detalle del cambio se puede ver en el Anexo 3.1.

Diseñar proyectos que sean fáciles de demoler

⁶ GRAY, Colin & HUGHES, Will. "Building design management". Department of Construction Management & Engineering, The University of Reading. Butterworth Heinemann, Reino Unido, 2001.

⁷ JEARGES, George. "Benefits of constructability on construction projects". Journal of Construction Engineering and Management. 2001

Se debe considerar en el diseño lo que sucede con la edificación luego de cumplir la etapa de servicio, pues el impacto negativo al medio ambiente producido por los desechos de demoliciones y de la construcción de nuevas edificaciones es substancial, y que podría evitarse o reducirse si se incrementara el uso de materiales y elementos reutilizables y reciclables en las edificaciones. Así mismo es necesario desarrollar conocimiento para obtener diseños que sean "fáciles de demoler".⁸

En el proyecto de consultorios mencionado anteriormente se deseaba realizar algunas modificaciones, las cuales consistían en demoler toda la tabiquería de ladrillos de arcilla, así como los parapetos y las escaleras de concreto. Luego todas las tabiquerías serían remplazadas por drywall. Además las escaleras de concreto serían remplazadas por escaleras metálicas. Estos cambios aparentemente sencillos se vuelven muy complicados en su ejecución por las características del edificio, como son su gran altura, su cercanía a la vía pública, su ocupación en los sótanos, el poco espacio para colocar equipos de izaje y la complejidad del acceso de los equipos, así como complejidad para la eliminación del desmonte producto de la demolición. Definitivamente es un edificio que no se diseñó para simplificar su demolición. El detalle de este proyecto se puede revisar en el Anexo 3.1.

3.1.2. IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EXCAVACIONES PROFUNDAS

En los proyectos de edificaciones es muy común realizar excavaciones profundas para la construcción de sótano. Es responsabilidad del contratista realizar la estabilización de los taludes asegurando la ejecución de estas excavaciones. Esto resulta un problema más aún cuando se tienen linderos colindantes con vecinos y calles. Por ello es de vital importancia realizar un buen estudio de suelos que luego permita realizar una buena ejecución de estas excavaciones.

⁸ CROWTHER, Philip. "Design for buildability and the deconstruction consequences". CIB Publication 272. Australia, 2002.

En la actualidad existen muchos métodos para estabilizar excavaciones verticales, sin embargo los métodos más difundidos en el país son: el tendido de taludes, las caladuras, y los muros pantalla. En Lima, por su buen suelo, se han usado por buen tiempo las caladuras inclusive para edificios con hasta 5 sótanos. Por otro lado desde finales de la década de los 90, se comenzaron a usar los muros pantalla con anclajes laterales. Este sistema es más seguro y actualmente se ha generalizado en casi todas las construcciones que tienen más de 2 sótanos.⁹

Sin embargo según el segundo paso del Lean Design debemos utilizar la ingeniería basada en múltiples alternativas, lo que implica que no debemos limitarnos a la única solución y buscar nuevas alternativas. Se debe dejar de lado el pensamiento de que como ya “esto ya lo hicimos de esta forma y nos funcionó, para que intentar algo diferente”. Es por ello que adicionalmente a los 3 métodos clásicos se están planteando nuevas metodologías para ejecutar la estabilización de las excavaciones profundas.

Para explicar el procedimiento de identificación de alternativas se utilizará de ejemplo un edificio en Lima de 4 sótanos, colindante con viviendas, una profundidad de excavación de 13.30m, un área a estabilizar de 2,350m², un área en planta de 1,760m² y un volumen de excavación de 25,766m³.

El primer paso es identificar todas las posibles alternativas y obtener información de cada una de ellas. En esta primera etapa no es muy importante aún tener características como costos y plazos para cada alternativa pero si toda la información técnica de cada uno, así como sus limitaciones o restricciones. Las alternativas planteadas son:

⁹ BALNCO, Antonio. “Sistema de Estabilización del terreno para el caso de excavaciones de edificios con sótanos: Caso especial de muros anclados”. ASOCCEM. Lima, 2010.

Tabla. 3.1. "Alternativas de estabilización de excavaciones profundas". (Elaborado por el autor)

Nº	ALTERNATIVA	RESTRICCIÓN
1	TENDIDO DE TALUDES	Ninguna
2	CALZADURAS	Por seguridad solo hasta 9m de profundidad.
3	ANCLAJES TEMPORALES	Necesita de un retiro para el talud
4	TABLESTACAS	Vibraciones pueden dañar estructuras vecinas.
5	TABLESTACAS TOP-DOWN	Vibraciones pueden dañar estructuras vecinas.
6	PANTALLA DE PILOTES IN SITU	Ninguna
7	PILOTES TOP-DOWN	Ninguna

De las alternativas presentadas, se han descartado cuatro alternativas por razones técnicas y por limitaciones respecto a su ubicación y entorno. Es importante poder realizar un primer filtro basándose en información que no requiere de mayor cálculo ni consumo de recursos pues permite reducir esfuerzos y tiempo en el análisis.

El siguiente paso es utilizar algún método económico de análisis para cuantificar costos y beneficios en términos monetarios. En este caso se ha hecho un análisis de costos de las alternativas. Los resultados son los siguientes:

Tabla. 3.2. "Costos directos de alternativas". (Elaborado por el autor)

Nº	ALTERNATIVA	COSTO (USD\$)
3	ANCLAJES TEMPORALES	623,266.73
6	PILOTES IN SITU	1,022,654.59
7	TOP DOWN - PILOTES IN SITU	813,291.60

El siguiente paso es identificar atributos no financieros que permitan continuar con el análisis. En este caso es de similar importancia que el costo, el ahorro en el plazo de ejecución. Por ello se ha planteado los siguientes resultados para el atributo cuantitativo no financiero correspondiente al plazo estimado de ejecución de todo el proyecto:

Tabla. 3.3. "Plazos estimados totales de alternativas". (Elaborado por el autor)

Nº	ALTERNATIVA	PLAZO TOTAL ESTIMADO (DÍAS CALENDARIOS)
3	ANCLAJES TEMPORALES	339
6	PILOTES IN SITU	333
7	TOP DOWN - PILOTES IN SITU	226

El siguiente paso es analizar si se puede utilizar algún método MADA (Multiattribute Decision Analysis), para continuar con la evaluación de alternativas. Los requisitos para utilizar un método MADA son cuatro y se resumen a continuación junto a los resultados para nuestro problema en análisis.

Tabla. 3.4. "Cumplimiento de requisitos para métodos MADA". (Elaborado por el autor)

Nº	REQUISITO	CUMPLIMIENTO
1	Número finito de alternativas	Sí
2	Alternativas con diferentes atributos	No
3	Unidades inconmensurables	No
4	Matriz de decisión	Sí

El primer requisito hace referencia al número de alternativas que no puede ser una función infinita sino un número discreto y generalmente pequeño. En este caso si se cumple ya que sólo son 3 alternativas.

El segundo requisito hace referencia a que ninguna de las alternativas es la mejor o la peor en todos los atributos pues sino no tiene sentido considerar esta alternativa en el análisis. Por este requisito se descarta la alternativa 6 pues tiene el mayor costo y sólo una diferencia de 6 días respecto al peor plazo.

El tercer requisito hace referencia a que los atributos de un problema MADA generalmente no son medibles en la misma unidad. De hecho algunos atributos pueden ser imprácticos, imposibles o muy costosos de medir. Si todos los atributos relevantes que caracterizan las alternativas pueden ser expresados en términos de costos y beneficios financieros, entonces la selección de la alternativa no requiere la aplicación de un método MADA. En el problema en análisis si es posible expresar el plazo en términos financieros en este caso en costos por gastos generales y servicios de obra que se pagan mensualmente. Sabemos que para un proyecto de las características del ejemplo se puede tener los siguientes resultados.

Tabla. 3.5. "Estimación de Costo mensual dependiente del plazo". (Elaborado por el autor)

DESCRIPCIÓN	UND	P.U (USD\$)
Servicios generales	mes	2,991.00
Gastos Generales	mes	41,358.06
Costo mensual	USD/mes	44,349.07

Tabla. 3.6. "Estimación de Costo Indirecto". (Elaborado por el autor)

Nº	ALTERNATIVA	Días calendarios	Meses	Costo (USD\$)
1	ANCLAJES TEMPORALES	390	13	576,537.9
2	TOP DOWN - PILOTES IN SITU	260	8.7	385,836.9
BRECHA TOTAL		USD	0.7	190,701.0

El último requisito es que todo problema MADA puede caracterizarse en una matriz de decisión. La matriz de decisión indica ambos conjuntos de alternativas y atributos considerados en el problema. En esta matriz existe una fila para cada alternativa y una columna para cada atributo. Es importante que la matriz de decisión incluya solo aquellos atributos que varían significativamente entre las alternativas.

Luego de haber revisado todos los requisitos concluimos por el tercer requisito que la mejor alternativa es la alternativa N°6 de los pilotes in situ con el sistema top-down y que no fue necesario emplear ningún método MADA. Esto se pudo concluir del cuadro a continuación.

Tabla. 3.7. "Estimación de Costo total". (Elaborado por el autor)

Nº	ALTERNATIVA	COSTO DIRECTO (USD)	COSTO INDIRECTO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
3	ANCLAJES TEMPORALES	623,266.73	576,537.9	1'199,804.64
6	TOP DOWN - PILOTES IN SITU	813,291.60	385,836.9	1'199,128.51

El detalle del análisis de identificación de alternativas para excavaciones profundas se encuentra en el Anexo 3.2. Cabe mencionar que la recomendación por la tan poca diferencia entre la alternativa N°3 y la N°6 es desarrollar estudios de costos mas detallados para finalmente desarrollar el proyecto con la mejor alternativa que definitivamente será cualquiera de las dos.

3.2. METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Para la evaluación y selección de alternativas se utilizarán los métodos económicos y los métodos MADA. Los métodos económicos consideran solamente beneficios y costos financieros asociados con alternativas de inversión. Para ser incluidos en un análisis económico, los atributos positivos y negativos de las alternativas deben ser denominados en términos de moneda. Por otro lado los métodos MADA consideran atributos no - financieros (cualitativos y cuantitativos). Las características cuantitativas no financieras son aquellas que son medibles o cuantificables, pero que requieren un juicio para traducirlas en dinero, por ejemplo el número de robos en un vecindario. Los atributos cualitativos son imprácticos, imposibles o muy costosos de medir, por ejemplo el impacto de la estética de un edificio en la productividad de su construcción.¹⁰

Debido a que las características no financieras pueden ser muy importantes, se necesitan métodos que tomen en cuenta los atributos de naturaleza general cuando se eligen alternativas. Los métodos que pueden considerar beneficios y desventajas no monetarios se les llaman Análisis de decisión Multiatributo (MADA).

3.2.1. MÉTODO DE LA EVALUACIÓN DEL COSTO

Existen muchos métodos de evaluación económica, por ejemplo costeo del ciclo de vida (life-cycle costing), costeo a lo largo de toda la vida (whole-life costing), ratio de beneficio-costos, ratio de ahorro-inversión, tasa interna de retorno, valor actual neto y valor de retorno. En esta tesis sólo se estudiará el método de análisis del costo de alternativas. En estos análisis se consideran principalmente todos los costos de ejecución sean directos y/o indirectos siempre que sean significativamente variables entre las alternativas en estudio.

Para explicar este método se ha tomado el caso de la evaluación y selección del tipo de cimentación superficial para edificios de 8 y 12 pisos con una arquitectura típica de departamentos de 50m² para el programa Techo Propio. La idea es sabiendo que la profundidad de cimentación puede ser una variable importante

¹⁰ NORRIS, Gregory & MARSHALL, Harold. "Multiattribute Decision Analysis Method for Evaluating Buildings and Buildings System". National Institute of Standards and Technology. EE.UU, 1995.

seleccionar en base al costo cual es la alternativa más conveniente para la cimentación de este tipo de edificios.

Para ello se han desarrollado los siguientes esquemas de diseños que permiten cuantificar en base a la profundidad de cimentación los metrados y posteriormente los presupuestos de las alternativas de cimentación. Para el análisis se han tomado tres tipos de cimentaciones: cimientos corridos, platea de cimentación armada y platea de cimentación no armada. Los esquemas a considerar son los que se muestran a continuación.

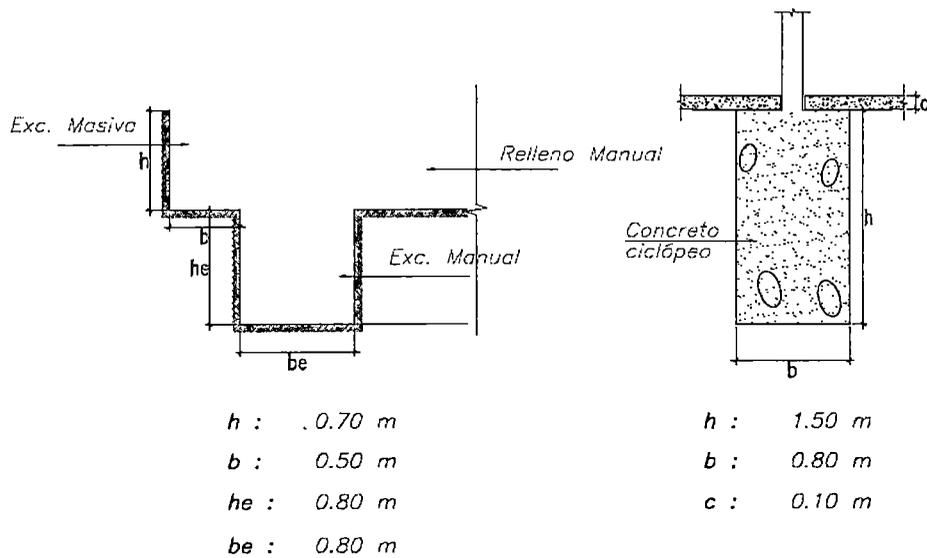


Fig. 3.1. Esquema con cimientos corridos para profundidad 1.50m. (Elaborado por el autor)

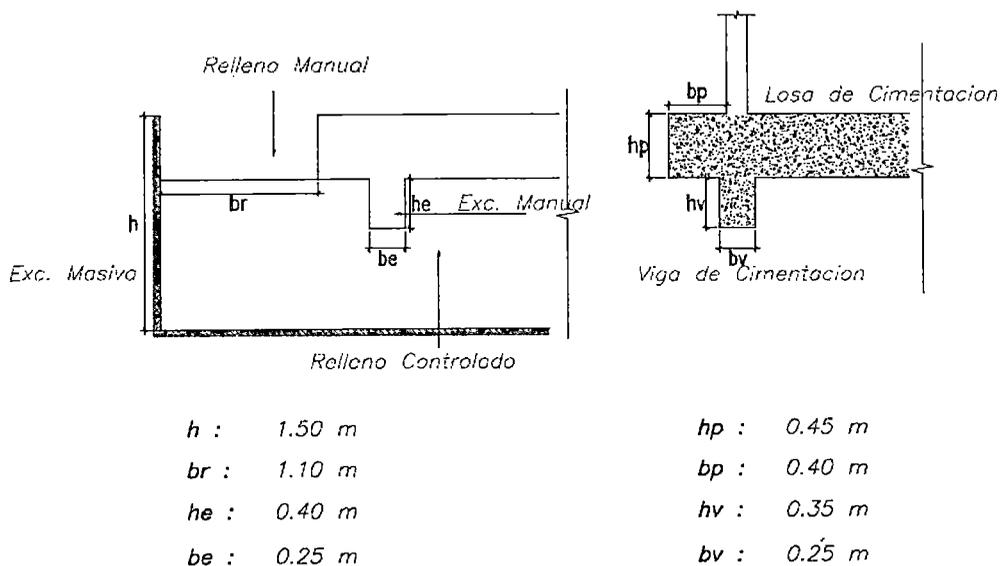


Fig. 3.2. Esquema con platea armada para profundidad 1.50m. (Elaborado por el autor)

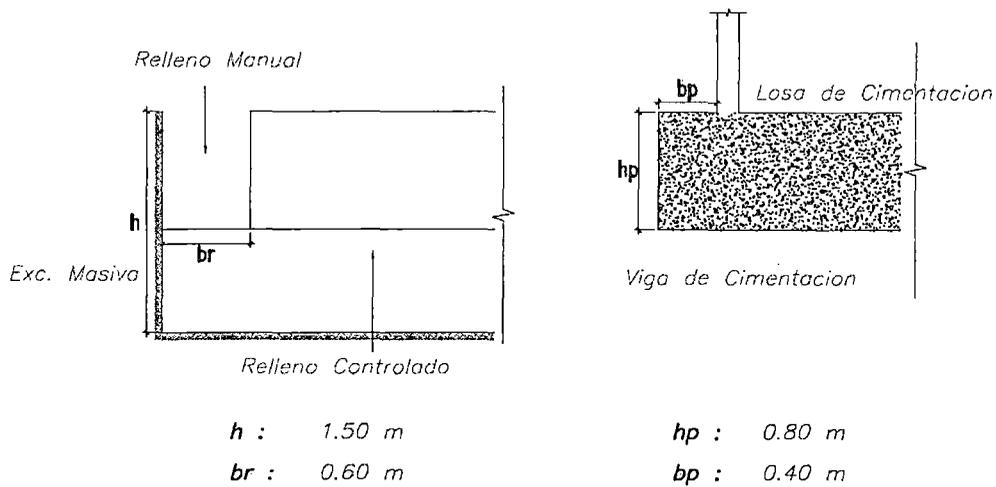


Fig. 3.3. Esquema con platea no armada para profundidad 1.50m. (Elaborado por el autor)

El análisis de los costos de las alternativas se realizó para la modulación de Techo Propio con torres de 8 pisos con departamentos de 50m² (TP850) y para la modulación de Techo propio con torres de 12 pisos con departamentos de 50m² (TP1250). Además por ser la profundidad de cimentación una variable en el diseño que aún no estaba definida, se optó por graficar los resultados de los costos para las tres alternativas en ambos casos. Los resultados se muestran a continuación y el detalle se puede revisar en el Anexo 3.3.

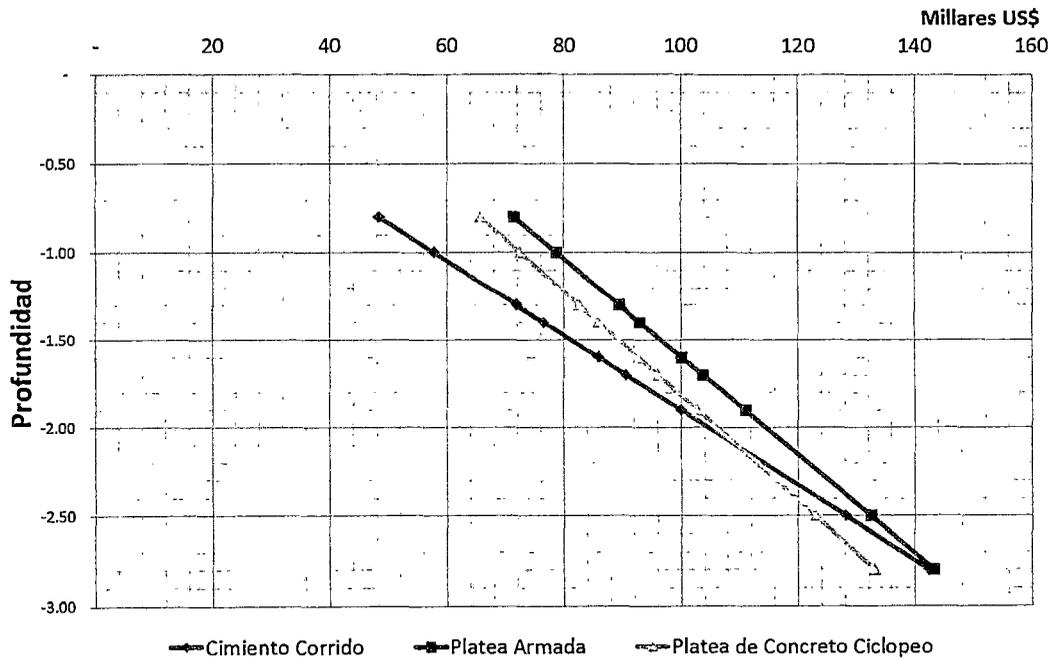


Fig. 3.4. Gráfica para cimentación Techo Propio de 8 pisos TP850. (Elaborado por el autor)

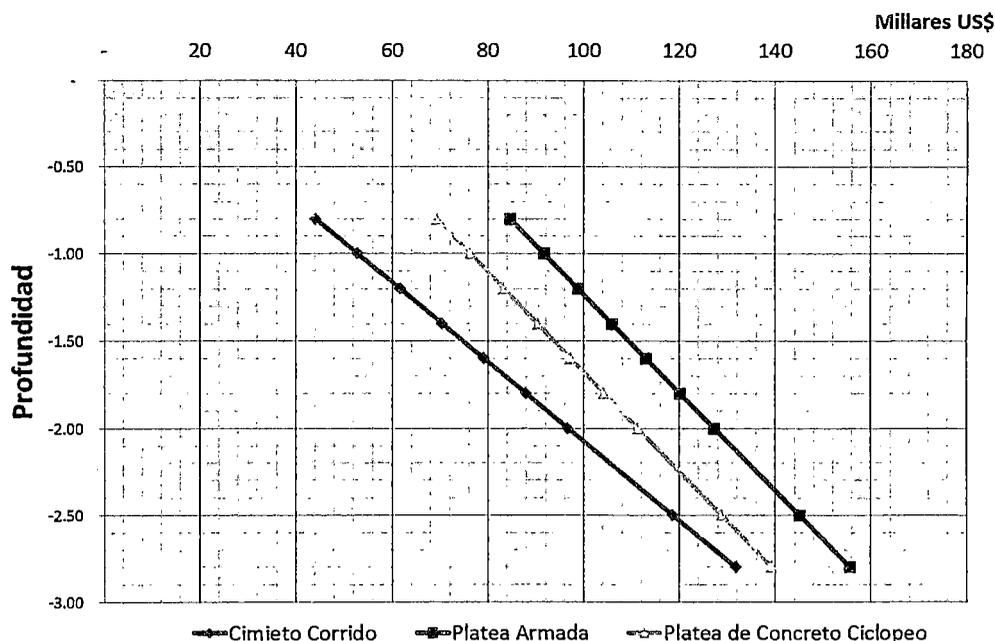


Fig. 3.5. Gráfica para cimentación Techo Propio de 12 pisos TP1250. (Elaborado por el autor)

De los resultados se concluye por el análisis de costos que para la cimentación del proyecto en estudio con una profundidad de cimentación entre 1.00m y 1.50m, la mejor alternativa es la de cimientos corridos.

3.2.2. MÉTODO DE LA PONDERACIÓN LINEAL O SCORING

En este caso se utilizarán conjuntamente el método económico y el método de ponderación lineal. Ambos métodos son cuantitativos y los resultados obtenidos de las dos evaluaciones anteriores deben juntarse para hacer una evaluación final; sin embargo la primera está expresada en dinero y la segunda en puntaje, por ello se deberá homologar ambas evaluaciones para poder sumarlas y obtener un valor que nos permita tomar una decisión. El método scoring consiste en asignar pesos cardinales de preferencia para cada atributo y ordenar las alternativas con respecto a cada atributo.

Para explicar este método se ha elegido una evaluación de alternativas en la etapa de procura y ejecución, pues la selección de alternativas no solo se debe dar en las etapas iniciales sino que debe continuar a lo largo del proyecto. Además el tercer paso del Lean Design nos indica que el trabajo debe ser estructurado, es decir que debe existir un diseño simultáneo del proceso y del

producto (ingeniería concurrente). Por todo esto se ha elegido como ejemplo para explicar esta metodología la evaluación y selección de un equipo de encofrado en alquiler, evaluación que se realiza al inicio de la ejecución del proyecto ya con una ingeniería definida. Además este ejemplo considera atributos propios del suministro como el costo de alquiler (producto) y atributos propios del proceso como son los costos de soluciones en madera, costo de los consumibles, costos de mantenimiento, la productividad, entre otros que dependen del proceso de encofrado.

Los criterios o atributos a considerar para cada metodología son los que se muestran a continuación:

Tabla. 3.8. "Atributos económicos y no económicos". (Elaborado por el autor)

ATRIBUTO	MÉTODO	COMENTARIO
Alquiler Equipo	Económico	Costo que cobra el proveedor de encofrados
Uso de Madera	Económico	Varía según el tipo de encofrado utilizado
Elementos de soporte	Económico	Elemento (no madera) como bloques de concreto
Consumibles	Económico	Varía según el tipo de encofrado utilizado
Limpieza	Económico	Varía según recomendaciones proveedor
Mantenimiento	Económico	Varía según requerimientos del proveedor
Perdidas y reposiciones	Económico	Equipos con mas piezas tienen mas pérdidas
Transporte (Fletes)	Económico	Depende del peso del equipo de encofrado
Productividad	Scoring	Equipos influyen en el rendimiento
Uso de Grúa	Scoring	Equipos mas pesados requieren más uso de grúa
Acabado	Scoring	Costos de enlucidos dependen del encofrado

El primer paso es calcular el costo de cada alternativa en base a todos los criterios económicos mostrados en el cuadro anterior. Para esto se ha realizado un planeamiento de la rotación de los encofrados. Es muy importante mencionar que el planeamiento influye mucho en el costo del encofrado y siempre es una variable de un proyecto a otro. En el ejemplo el proyecto es un edificio residencial de 17 pisos y 4 sótanos. En el Anexo 3.4 se puede revisar la influencia del planeamiento y la rotación del encofrado en diferentes tipos de proyectos.

Es importante mencionar que el costo de alquiler esta definido por las cotizaciones (proveedor), el planeamiento que define los tiempos de permanencia o tiempos de alquiler (planificador), los metrados que definen la cantidad de equipo a alquilar por juego (constructor), las especificaciones que

detallan el tiempo de desencofrado o tiempos tecnológicos y por ende definen el número de juegos necesarios (proyectista especialista). Toda esta información debe ser adecuadamente manejada para poder obtener un verdadero costo de alquiler que sea representativo por m² de encofrado. Además es importante poder ponderarlo y obtener un ratio de costo por m² de encofrado para englobar a todos los elementos a trabajar con encofrado metálico. Existen herramientas como las tecnologías BIM que pueden ayudar a trabajar toda esta información eficientemente. En el Anexo 3.4 se puede revisar al detalle todo el análisis de costo por m² del encofrado para cada alternativa así como un “paper” escrito por el autor que describe la aplicación de una herramienta BIM para poder ayudar a obtener la rotación de encofrado.

Los resultados del análisis de costos para el proyecto tomado de ejemplo son los mostrados a continuación.

Tabla. 3.9. “Alternativas de costos de alquiler de encofrado metálico”. (Elaborado por el autor)

	MUROS	COLUMNAS	PLACAS	LOSAS MACIZAS	LOSAS FIRTH	VIGAS	TOTALES
	2,529.98	456.23	32,706.08	4,030.20	11,935.51	4,204.76	55,862.76
Valores unitarios							
PERI	4.10	3.91	2.68	2.24	1.37	12.84	
Ulma	2.13	1.63	1.16	3.19	2.97	23.04	
HARSCO	2.24	2.00	1.45	2.43	1.68	11.64	
EFCO	3.60	4.25	1.58	4.13	3.10	22.23	
Montos totales							
PERI	10,368.35	1,782.14	87,768.10	9,027.50	16,316.25	53,973.72	179,236.06
Ulma	5,381.85	742.36	37,998.26	12,864.34	35,449.00	96,881.72	189,317.53
HARSCO	5,667.25	912.13	47,571.79	9,781.46	20,063.40	48,941.82	132,937.85
EFCO	9,119.21	1,941.16	51,679.66	16,624.93	37,029.85	93,471.41	209,866.21

Tabla. 3.10. “Alternativas de costos de encofrado (inc/madera y otros)”. (Elaborado por el autor)

	MUROS	COLUMNAS	PLACAS	LOSAS MACIZAS	LOSAS FIRTH	VIGAS	TOTALES
	2,529.98	456.23	32,706.08	4,030.20	11,935.51	4,204.76	55,862.76
Valores unitarios							
PERI	7.90	5.80	2.90	4.33	1.43	15.12	
Ulma	4.68	3.52	1.38	5.53	3.03	23.21	
HARSCO	5.48	3.89	1.67	4.76	1.74	16.29	
EFCO	5.90	6.14	1.79	6.46	3.16	22.40	
Montos totales							
PERI	19,984.21	2,644.05	94,785.24	17,455.36	17,009.10	63,583.60	215,461.56
Ulma	11,845.57	1,604.27	45,015.40	22,284.61	36,141.86	97,606.98	214,498.69
HARSCO	13,876.21	1,774.04	54,588.93	19,201.73	20,756.26	68,485.35	178,682.52
EFCO	14,936.38	2,803.06	58,696.80	26,045.19	37,722.71	94,196.67	234,400.82

Tabla. 3.11. "Resultados de análisis de costos". (Elaborado por el autor)

Nº	ALTERNATIVA	ENCOFRADO METÁLICO US\$/m2	ENCOFRADO METÁLICO (INC/MADERA Y OTROS) US\$/m2
1	PERI	3.21	3.86
2	ULMA	3.39	3.84
3	HARSCO	2.38	3.20
4	EFCO	3.76	4.20

Del último cuadro resultado del análisis de costos, el orden de preferencia de las alternativas es el siguiente: HARSCO, ULMA, PERI y EFCO.

Finalizado el análisis económico se procede al análisis por el método scoring. Para ello el primer paso es identificar la meta general del problema. En este caso es seleccionar el equipo de encofrados en alquiler.

El segundo paso es identificar las alternativas. En este caso las alternativas son las mismas que se identificaron en el método económico, es decir los proveedores PERI, ULMA, HARSCO y EFCO.

El tercer paso es listar los criterios a emplear en la toma de decisión. Estos criterios ya se identificaron en la Tabla 3.8.

El cuarto paso es uno de los más críticos pues consiste en asignar una ponderación para cada uno de los atributos. Según la escala propuesta por Saaty usando una escala numérica con equivalencias verbales, se ha asignado una ponderación ordinal a todos los atributos no financieros. Las ponderaciones de los atributos y la escala verbal para comparaciones de Saaty se muestran a continuación.

Tabla. 3.12. "Ponderación de atributos con la escala de Saaty del 1 al 9". (Elaborado por el autor)

ATRIBUTO	PONDERACIÓN (Wi)	COMENTARIOS
Productividad	5	Fuertemente más importante
Uso de Grúa	2	Entre igual y moderadamente más importante
Acabado	3	Moderadamente más importante

Tabla. 3.13. "Escala verbal para comparación de atributos". (Saaty,1988)

JUICIO VERBAL	EQUIVALENCIA NUMÉRICA
Extremadamente muy importante	9
Entre muy fuertemente y extremadamente muy importante	8
Muy fuertemente más importante	7
Entre fuertemente y muy fuertemente más importante	6
Fuertemente más importante	5
Entre moderadamente y fuertemente más importante	4
Moderadamente más importante	3
Entre igual y moderadamente más importante	2
Igualmente importante	1

El quinto paso consiste en establecer cuanto satisface cada alternativa a los diferentes atributos en estudio. Para establecer esto también se recurrirá a la escala numérica de Saaty. Al igual que se ponderó los atributos económicos por un criterio cuantitativo, se hará con los criterios de productividad basados en los costos de mano de obra por m² y uso de la grúa basados en los pesos de los encofrados por m². Sin embargo para establecer la ponderación del atributo del acabado de las superficies encofradas se utilizará un criterio cualitativo pues no hay una medición numérica que permita ponderar las alternativas. Los resultados de esta ponderación de alternativas se muestran en el cuadro a continuación.

Tabla. 3.14. "Rating de satisfacción de atributos para cada alternativa". (Elaborado por el autor)

Nº	ATRIBUTOS	PERI r ₁₁	ULMA r ₁₂	HARSCO r ₁₃	EFCO r ₁₄
1	Productividad	6	4	4	3
2	Uso de Grúa	7	2	6	9
3	Acabado	8	6	4	3

El sexto paso consiste en calcular la ponderación para cada alternativa. Esta ponderación numérica no tiene unidades pero nos permite ordenar las alternativas según los criterios o atributos con los que se hizo la evaluación. Los resultados de esta ponderación se detallan en el cuadro a continuación.

Tabla. 3.15. "Ponderación alternativas según atributos". (Elaborado por el autor)

Nº	ATRIBUTOS	PONDERACIÓN Wi	PERI	ULMA	HARSCO	EFCO
			r _{i1}	r _{i2}	r _{i3}	r _{i4}
1	Productividad	5	6	4	4	3
2	Uso de Grúa	2	7	2	6	9
3	Acabado	3	8	6	4	3
SCORE S_j			68	42	44	42

Del análisis con el método scoring se podría definir que la mejor alternativa es trabajar con los encofrados PERI. Sin embargo esta selección sería parcializada ya que no se está tomando en cuenta aún los resultados del método financiero.

El último paso es homologar ambos resultados ya que el primero se encuentra en dólares y el segundo no tiene unidades. Para pasar los costos a puntajes se usará la teoría propuesta por Shapira y Goldenberg que consiste en normalizar inversamente los costos.¹¹ Para los resultados de la evaluación no financiera se realizará una normalización directa. Los resultados son los mostrados a continuación.

Tabla. 3.16. "Homologación y evaluación integral de alternativas". (Elaborado por el autor)

ALTERNATIVAS	PERI	ULMA	HARSCO	EFCO
Evaluación Financiera	3.86	3.84	3.20	4.20
Normalización inversa	0.24	0.24	0.29	0.22
Evaluación Scoring	68	42	44	42
Normalización directa	0.35	0.21	0.22	0.21
Evaluación Integral	0.59	0.46	0.52	0.44

De evaluación integral se puede decir que la mejor alternativa es trabajar con los encofrados PERI para el proyecto en estudio. Finalmente la selección ha demostrado que no solo debe tomarse en cuenta atributos financieros sino los no financieros. Cabe mencionar que en el proyecto se utilizaron finalmente los encofrados PERI obteniéndose buenos resultados. El análisis al detalle del método se puede revisar en el Anexo 3.4.

¹¹ SHAPIRA & GOLDENBERG. "AHP-based equipment model for construction projects". Journal of Construction Engineering and Management. ASCE. EE.UU, 2005.

3.2.3. MÉTODO DEL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO (AHP)

El método de Proceso de Análisis Jerárquico ó Analytical Hierarchical Process (AHP) es una herramienta muy conocida para la toma de decisiones. Este método utiliza comparaciones por pares que permiten juicios verbales y mejoran la precisión de los resultados. Esta herramienta desarrollada por Thomas Saaty permite enfrentar complejos problemas de decisión; así como identificar y ponderar criterios y alternativas.

En este caso se utilizará el método AHP para seleccionar el mejor sistema estructural para construir unos estacionamientos subterráneos teniendo en cuenta que se desea tomar la decisión antes de desarrollar la ingeniería de detalle. Para ello se han planteado 3 alternativas, las cuales son: construir con prelosas, utilizar todos los elementos prefabricados de concreto o seguir con el sistema tradicional de vaciados in situ. Así mismo solo se tomará en cuenta algunos criterios que son críticos para el proyecto, los cuales son:

- Costo de Ejecución. Para este criterio se tienen unos estimados de poca precisión que solo pueden dar ordenes de magnitud en el costo.
- Plazo de Ejecución. Para esto solo se cuenta con cronogramas también referenciales que pueden dar órdenes de magnitud de los plazos reales de ejecución.
- El impacto que se generaría en los alrededores producto de la ejecución. Esto tomando en cuenta que los estacionamientos se encuentran debajo de autopistas en uso y muy cercanas a una vía principal.
- La seguridad y los potenciales riesgos de accidentes que se pueden presentar por el sistema constructivo adoptado. Si bien todos los riesgos son mitigables con un adecuado planeamiento y control de los procedimientos constructivos; también se debe tener en cuenta que según estudios, la seguridad se puede promover desde la etapa de diseño implementando un diseño que facilite los procedimientos seguros.¹²

¹² GAMBATESE, Jhon. "Improving Construction Safety Through a Project's Design: Implementing the concept in practice". ASCE. EE.UU, 2005.

Este proceso de análisis consiste básicamente en generar una matriz de decisión en la que las filas representan las alternativas y las columnas representan los atributos de evaluación. Para ello primero se debe realizar un árbol que representa por jerarquías como llegar al objetivo general a través de alguna alternativa que satisfaga los criterios identificados de mejor forma para lograr el objetivo. A continuación se muestran el esquema general de jerarquías y la matriz de decisión.

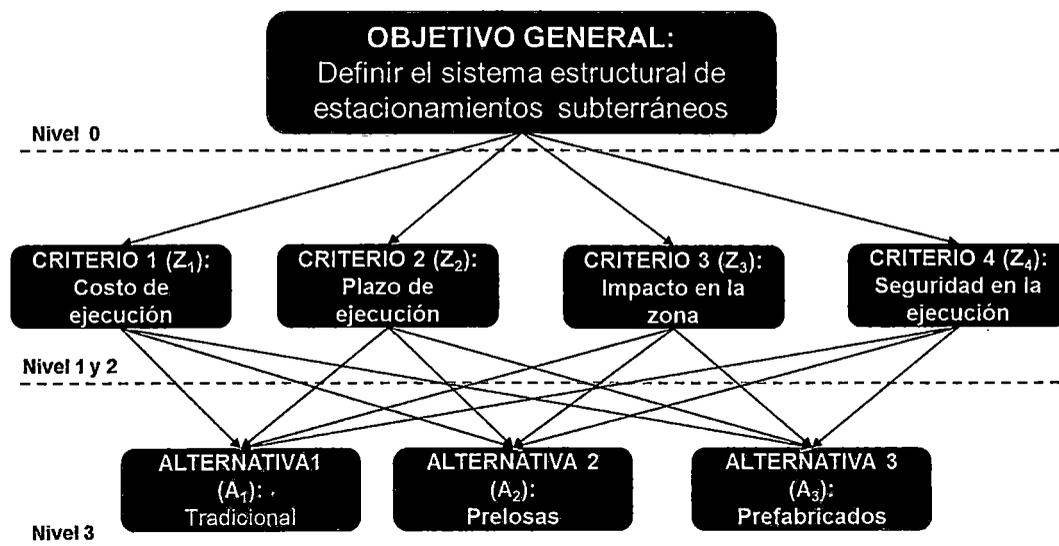


Fig. 3.6. Esquema General de Jerarquías. (Elaborado por el autor)

$$\begin{matrix}
 & Z_1 & Z_2 & Z_3 & Z_4 \\
 A_1 & (0.32 & 0.25 & 0.07 & 0.67) \\
 A_2 & (0.60 & 0.25 & 0.32 & 0.27) \\
 A_3 & (0.08 & 0.50 & 0.62 & 0.06)
 \end{matrix}$$

Fig. 3.7. Matriz de decisión de 3x4. (Elaborado por el autor)

Luego de definida la matriz de decisión debe asignarse una ponderación a los atributos de evaluación. Esto significa que al igual que para la matriz de decisión se hizo comparaciones entre las alternativas respecto al grado de satisfacción de cada uno de los criterios, en este caso se deberá realizar una ponderación de la importancia de los atributos para satisfacer el objetivo general. Usualmente estas evaluaciones se realizan de forma verbal y subjetiva mediante un juicio experto que puede basarse en técnicas como el método Delphi, encuestas o entrevistas con personas expertas en el tema. Sin embargo en muchas ocasiones es

recomendable hacer estudios que permitan realizar una ponderación más objetiva, como por ejemplo presupuestos, cronogramas generales, estudios de mercado, entre otros. A continuación se muestra la operación matricial que define el resultado final. De las operaciones concluimos que la mejor alternativa para las condiciones dadas es la alternativa 2 de construcción con prelosas.

$$\begin{matrix} & Z_1 & Z_2 & Z_3 & Z_4 & & Z \\ A_1 & (0.32 & 0.25 & 0.07 & 0.67) & \times & \begin{pmatrix} 0.57 \\ 0.22 \\ 0.07 \\ 0.13 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.33 \\ 0.46 \\ 0.21 \end{pmatrix} \\ A_2 & (0.60 & 0.25 & 0.32 & 0.27) & & \\ A_3 & (0.08 & 0.50 & 0.62 & 0.06) & & \end{matrix}$$

Fig. 3.8. Cálculo del Vector de Prioridad Global. (Elaborado por el autor)

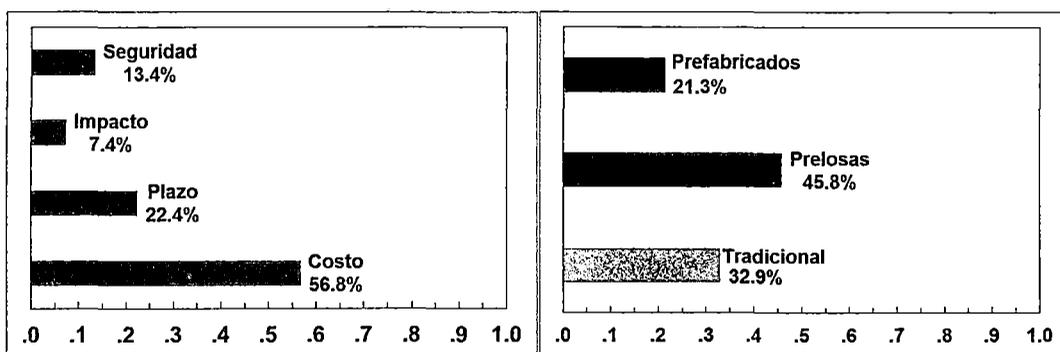


Fig. 3.9. Prioridad de atributos de selección y score de alternativas. (Elaborado por el autor)

En muchos problemas de decisión la importancia que se le asigna a los atributos de evaluación puede ser variable por ello es importante graficar cual es el impacto de los criterios en los resultados de la evaluación. Para ello se utiliza una grafica de sensibilidad en la que se puede ver la variación de las puntuaciones de las alternativas respecto a la variación de los atributos.

En la grafica a continuación se ve puede ver como la opción de prefabricados es muy sensible al plazo y al impacto en los vecinos. Así mismo como el método tradicional es muy sensible a la seguridad. Por otro lado las prelosas tienen un comportamiento constante a todas las variables pero con mayor sensibilidad al costo. La aplicación y cálculo al detalle con este método se puede revisar en el Anexo 3.5.

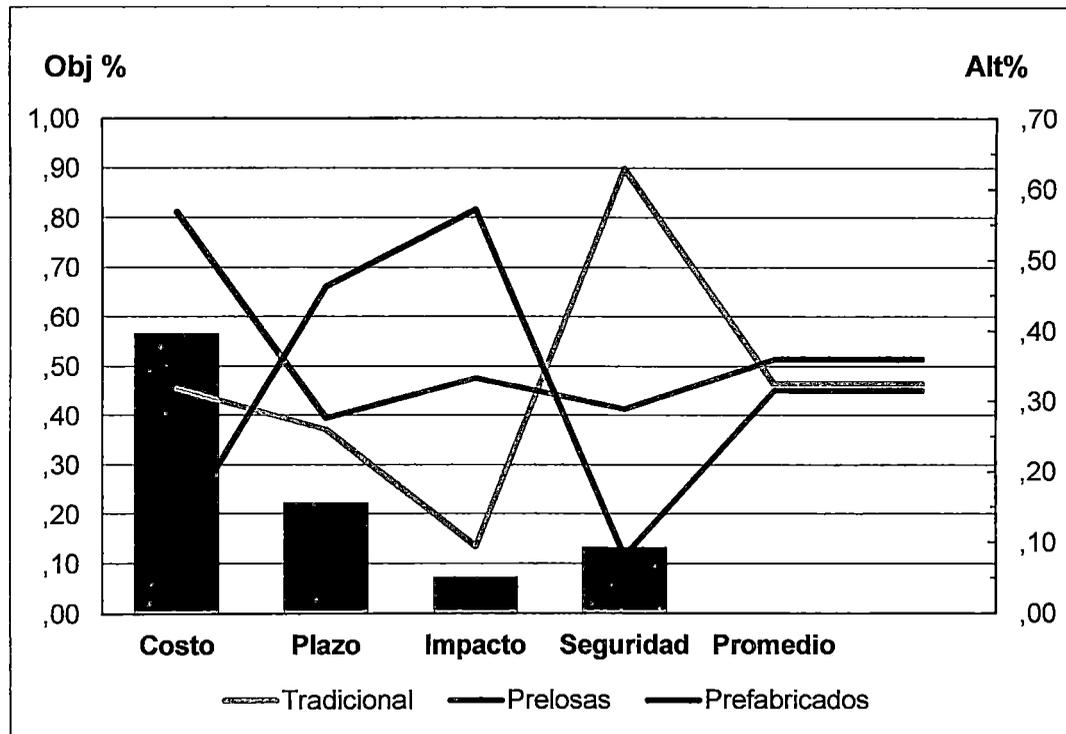


Fig. 3.10. Gráfica de sensibilidad de alternativas respecto los criterios. (Elaborado por el autor)

3.2.4. MÉTODO DEL CRITERIO NO TRADICIONAL DEL CAPITAL INVERTIDO (NCIC)

El método NCIC, por sus siglas en inglés de Nontraditional Capital Investment Criteria, proporciona una puntuación final en unidades de valor monetario, en lugar de producir "puntuaciones de preferencia" adimensionales. Es por esta característica que puede resultar de especial interés con respecto al método AHP. En esta tesis se realizará la aplicación del método NCIC para analizar cual es la mejor alternativa para el sistema estructural de un edificio de oficinas de arquitectura definida.

Para el ejemplo en estudio se sabe que es un edificio de 7 pisos y 4 sótanos, el cuál será utilizado para oficinas. Además que esta empresa tiene la ventaja de pertenecer a una corporación de empresas dedicadas a la ingeniería y construcción por lo que el principal objetivo del proyecto es generar un ahorro a lo largo del ciclo de vida del proyecto y no sólo durante la etapa de construcción. Por ello se ha decidido utilizar este método de análisis para seleccionar la mejor alternativa del sistema estructural para la construcción del edificio.

El primer paso a realizar es el esquema de jerarquías del problema de decisión. En este caso se tiene el objetivo de seleccionar el sistema estructural que genere más ahorros a lo largo del ciclo de vida del edificio y para ello se han considerado las principales etapas como criterios de evaluación. El esquema del problema se muestra a continuación.



Fig. 3.11. Esquema de jerarquías para selección de sistema. (Elaborado por el autor)

El siguiente paso es definir las alternativas de sistemas estructurales, en este caso se ha definido solo dos. La primera alternativa es desarrollar el edificio en concreto armado y la segunda en acero estructural. Como se ha definido todo en términos de ahorros se debe entender que esta medición se realizará respecto al monto previsto para ejecutar la construcción de este edificio, el cual asciende \$ 10'500,000.

Para elaborar la matriz de decisión se debe definir al menos un atributo en términos monetarios. En este caso el ahorro en la ejecución del cual dependerá indirectamente el ahorro en las demás etapas. Por ello se ha elaborado estimaciones de costos de la ejecución y se ha definido el desempeño de cada alternativa respecto a cada criterio. Los estimados y la matriz de decisión se presentan a continuación.

Tabla. 3.17. "Estimados de alternativas en acero y concreto armado". (Elaborado por el autor)

	ESTRUCTURA EN ACERO		ESTRUCTURA EN CONCRETO	
	Plazo : 14 meses		Plazo : 17 meses	
	Total US\$	Ratio US\$ / m2	Total US\$	Ratio US\$ / m2
COSTO DIRECTO	US\$ 8,819,753.96	505.77	8,306,560.11	476.34
GASTOS GENERALES	497,461.16	28.53	604,059.98	34.64
OVERHEAD + UTILIDAD	810,192.62	46.46	774,836.53	44.43
TOTAL PROYECTADO SIN IGV	US\$ 10,127,407.73	580.76	9,685,456.61	555.42

Tabla. 3.17. “Estimados de alternativas en acero y concreto armado”. (Elaborado por el autor)

	ACERO	CONCRETO
Presupuesto Inicial (USD)	10,500,000	10,500,000
Presupuesto Actual (USD)	10,127,408	9,685,457
Ahorro Proyectado (USD)	372,592	814,543
Ahorro Miles (USD)	372.6	814.5
% Ahorro	4%	8%

Tabla. 3.18. “Matriz de decisión por alternativas”. (Elaborado por el autor)

ATRIBUTOS	CONCRETO ARMADO	ACERO ESTRUCTURAL
Ahorro Ejecución (%)	8%	4%
Ahorro Diseño optimizado	Bajo	Moderado
Ahorro Mantenimiento	Alto	Bajo
Ahorro Reutilización	Bajo	Alto
Ahorro Demolición	Bajo	Alto

El siguiente paso consiste en realizar las diferencias respecto a la alternativa denominada “peor caso compuesto” o “composite worst case (CWC)”. Para ello se ha definido el peor caso para todos los atributos seleccionados, y en el caso particular de la ejecución se ha asumido el 75% del ahorro más bajo para asegurar que las diferencias sean positivas. Las comparaciones respecto al peor caso se presentan en el cuadro a continuación.

Tabla. 3.19. “Comparaciones respecto al peor caso compuesto”. (Elaborado por el autor)

ATRIBUTOS	PEOR CASO	CONCRETO VS PEOR CASO	ACERO VS PEOR CASO
Ejecución (%)	3%	5%	1%
Diseño	Bajo	Bajo	Moderado - Bajo
Mantenimiento	Bajo	Alto - Bajo	Bajo
Reutilización	Bajo	Bajo	Alto - Bajo
Demolición	Bajo	Bajo	Alto - Bajo

El siguiente paso consiste en la definición de las matrices de comparación por pares para finalmente obtener los vectores principales de cada matriz.

Tabla. 3.20. "MPCs de las alternativas de concreto y acero". (Elaborado por el autor)

CONCRETO ARMADO				ACERO ESTRUCTURAL					
	Ejecución	Mantenimiento	Vector Total	Ejecución	Diseño	Reutilización	Demolición	Vector Total	
Ejecución	1	9	1.80	Ejecución	1	4	3	2	1.89
Mantenimiento	1/9	1	0.20	Diseño	1/4	1	1/2	1/3	0.39
Suma	1.11	10.00		Reutilización	1/3	2	1	1/2	0.65
				Demolición	1/2	3	2	1	1.12
				2.08	10.00	6.50	3.83		

Finalmente el último paso consiste en determinar los vectores escalados en función al primer elemento del vector principal, que justamente es el criterio asignado en unidades monetarias. A continuación se presentan los vectores principales escalados y la gráfica de los resultados.

Tabla. 3.21. "Vectores escalados de diferencias respecto al CWC". (Elaborado por el autor)

Vector Principal Escalado	Multiplicado	Desempeño de la diferencia respecto al atributo monetario	Igual	Valores implicados de diferencias de atributos no monetarios
Mantenimiento	0.11	x	5%	= 0.6%
Suma de valores de atributos no monetarios respecto a CWC:				0.6%

Vector Principal Escalado	Multiplicado	Desempeño de la diferencia respecto al atributo monetario	Igual	Valores implicados de diferencias de atributos no monetarios
Diseño	0.20	x	1%	= 0.2%
Reutilización	0.34	x	1%	= 0.3%
Demolición	0.59	x	1%	= 0.6%
Suma de valores de atributos no monetarios respecto a CWC:				1.1%

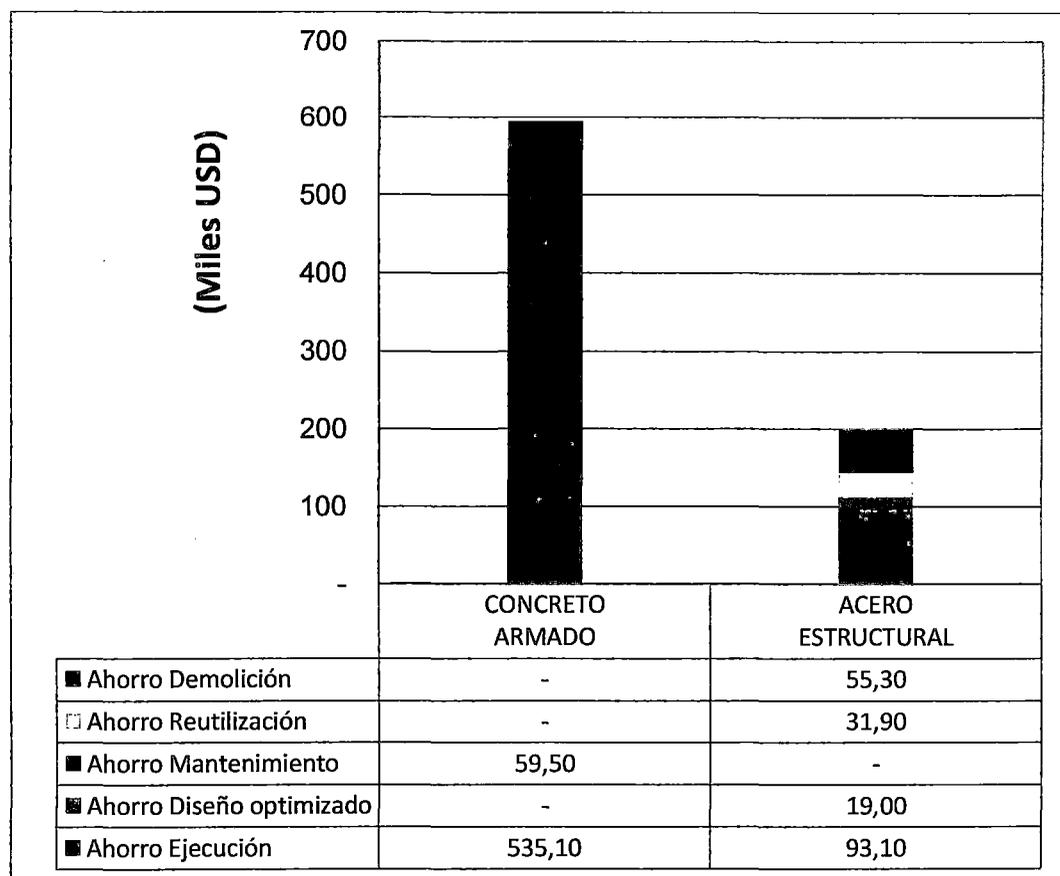


Fig. 3.12. Gráfica de diferencias de valores totales implicados. (Elaborado por el autor)

Finalmente podemos visualizar en la gráfica de diferencias de valores totales implicados, que la alternativa de concreto armado es la mejor a pesar de que la alternativa de acero estructural tiene varias ventajas identificadas no llega a mejorar el ahorro en la ejecución del edificio. Cabe resaltar que este método tiene excelentes resultados cuando los atributos no monetarios son una función del atributo monetario o primer atributo. La aplicación de este método se puede revisar al detalle en el Anexo 3.6.

3.3. SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN Y CONTROL DE CAMBIOS

El Sistema Integrado de Gestión y Control de Cambios (SIGCC) es una propuesta que integra el control de los cambios a lo largo de su vida (desde su aparición hasta el final de su ejecución de acuerdo al plan) y la gestión de alternativas. Se entiende por gestión de alternativas a la mejora a través de cambios con ingeniería de valor respecto a lo que se planificó en la línea base.

3.3.1. NECESIDAD DE LA APLICACIÓN DEL SIGCC

Problemas como presupuestos adicionales, ampliaciones de obra, altos costos de operación y mantenimiento son producto de un diseño y planificación deficiente. Muchas veces la poca planificación es presentada como la principal justificación para que se generen muchos cambios, y se piensa que estos cambios son justamente los causantes de que los proyectos acaben fuera del presupuesto y plazo inicialmente propuestos. Sin embargo la realidad es que los cambios no siempre deben tener un efecto negativo en el proyecto, especialmente si son cambios con gestión del valor, es decir que los cambios son positivos cuando el costo del cambio es menor que el beneficio que generará dicho cambio para el proyecto.

Por todo esto se han identificado las siguientes necesidades para aplicar un SIGCC:

- Muchos proyectos requieren iniciar la ejecución sin un tiempo adecuado de planificación. Esto ocurre con los proyectos fast track en los cuales el costo de ejecución es mucho menor al costo de no comenzar operaciones a tiempo. El OPEX es muy mayor al CAPEX.
- Los cambios son identificados inoportunamente por lo que generan impactos negativos en los compromisos de un proyecto.
- Los cambios no son controlados adecuadamente por lo que muchas veces no se puede identificar las causas. Por ello no se pueden eliminar y en el peor de los casos ni siquiera mitigar sus impactos.
- En la mayoría de proyectos los cambios aparecen pero no se generan. Es casi una regla que los cambios que aparecen tienen impactos negativos mientras que los que se generan tienen impactos positivos.
- En los proyectos con tiempos adecuados para la planificación se tiene la clara tendencia a no optimizar los diseños y no generar alternativas. Esto es un problema producto del tipo de contratación tradicional que separa a la etapa de diseño de la etapa de construcción.
- En el medio local no se conocen de herramientas adecuadas para identificar, analizar y seleccionar alternativas de valor en las diferentes etapas del ciclo de vida de un proyecto.

3.3.2. PROPUESTA DE SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN Y CONTROL DE CAMBIOS (SIGCC)

El SIGCC propuesto tiene como principal objetivo buscar que el costo y plazo final del proyecto no exceda a los previstos. En algunos proyectos con escasa planificación lo que se busca al menos es que el costo y el plazo finales no superen excesivamente lo planificado. En términos de valor ganado lo que busca el SIGCC es reducir la mínimo posible la variación de lo real respecto a lo planificado, sin la restricción de que esto implique que no se generen cambios en el proyecto. La premisa del sistema propuesto es que todo cambio debe ser bien recibido cuando genera valor al proyecto.

En el capítulo II se revisó a profundidad como controlar los cambios, entendiéndose por control a todo el proceso de identificación, registro, análisis para finalmente tomar medidas correctoras respecto a los cambios. Sin embargo este sistema de control no es suficiente para poder evitar el incumplimiento de metas en un proyecto. El complemento de este sistema de control es básicamente la gestión de alternativas de valor, que es justamente el tema desarrollado en la primera parte del capítulo III. Por ello la propuesta del SIGCC consiste en que los cambios se generen a partir de alternativas propuestas para luego sean controladas a lo largo del proyecto y que los costos que impliquen este cambio generen un valor final en el proyecto.

Para poder aplicar este sistema es necesario que los principales cambios se generen a través de un Trade Off. Un Trade Off es la situación que involucra perder una cualidad o aspecto pero ganar a su vez otra cualidad o aspecto. Esto implica la toma de una decisión pero con la total comprensión de las ventajas y desventajas de cada una de las opciones. Es justamente por ello que en el SIGCC un cambio debe nacer de un Trade Off para luego pasar a ser un Trend y luego continuar en el sistema de control de cambios como una Potencial Orden de Cambio y que luego de un acuerdo entre ambas partes se finalice el ciclo con la aprobación de una Orden de Cambio.

Los cambios según el SIGCC propuesto deben pasar por cuatro etapas, la cuales son: Trade Off, Trend, Potencial Orden de Cambio y Orden de Cambio. Sin embargo como ya se revisó en el segundo capítulo un cambio puede aparecer en cualquiera de las etapas es decir que no es una restricción que el cambio se genere directamente como una PCO si es algo inevitable o si simplemente no justifica su análisis por ser de muy bajo impacto.

ETAPA DE TRADE OFF

Un Trade Off, nace a partir de la identificación de una posibilidad de generar valor en lo planificado como línea base. En esta etapa se busca generar un cambio a través de la revisión de un alcance de la línea base que puede ser mejorado. Para ello se debe generar una gestión de alternativas que consiste en identificar alternativas, analizarlas y seleccionar la mejor. El último paso de esta etapa es presentar el Trade Off para ser evaluado por las gerencias y el cliente para finalmente pasar a la siguiente etapa del control de cambios.

La entrada de este proceso es el alcance de la línea base que puede optimizarse y generar un valor agregado para el proyecto. Para generar un valor agregado se debe realizar un cambio al alcance de la línea base, sea en una especificación, un diseño, un material, o un proceso.

Una vez recibida la entrada se procede con el proceso mismo del Trade Off que tiene a la vez cuatro pasos:

Identificar: Cualquier involucrado en el proyecto puede identificar una posibilidad de mejora. El área de ingeniería puede proponer posibles mejoras que optimicen cuantías u ahorros en los materiales. El ingeniero de campo puede proponer cambios que faciliten el proceso de instalación. El área de procura puede proponer el cambio de la especificación de un material que hay que importar con mucha anticipación por uno que se encuentra disponible en almacén. El ingeniero de costos puede proponer cambiar de un revestimiento de muro de pintura epóxica a papel mural si es que esto representa un ahorro y además genera valor al cliente. En resumen la identificación de cambios y posibles cambios es tarea de todos los involucrados en el proyecto.

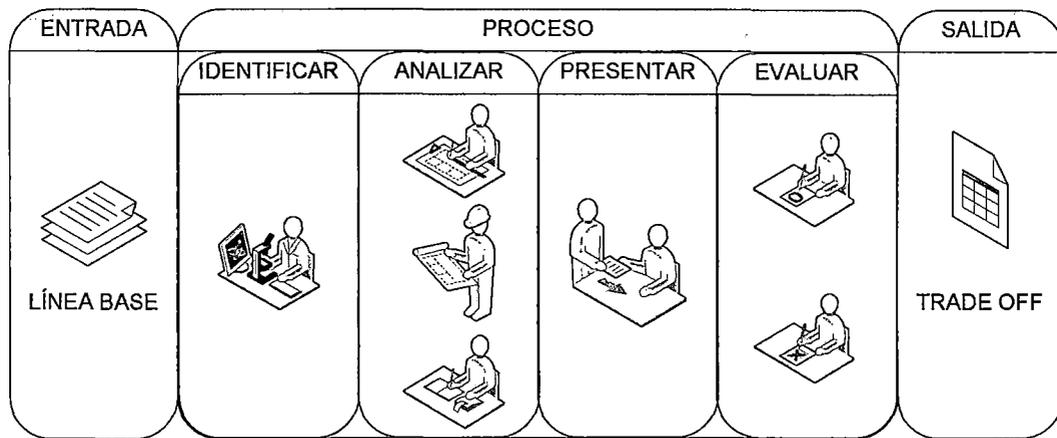


Fig. 3.13. Esquema de Procesos de la etapa de Trade Off. (Elaborado por el autor)

Analizar: En esta etapa se busca utilizar herramientas que permitan identificar, evaluar y seleccionar alternativas de valor. Basados en el Lean Design se debe buscar realizar las siguientes actividades durante el análisis de alternativas:

- Organizar equipos multidisciplinarios. Esto implica que se deben reunir todos los especialistas para identificar y evaluar las alternativas, ya que todos pueden aportar puntos de vista diferentes. Deben estar presentes como mínimo el área de ingeniería, producción y costos para poder seleccionar la mejor alternativa.
- Buscar una ingeniería basada en múltiples alternativas, desterrando la práctica de la única solución y prevenir las decisiones prematuras.
- Diseñar en simultáneo el producto y el proceso. Por este motivo es muy importante la presencia del constructor y el proyectista, ya que el primero es un especialista en el diseño de los procesos y el segundo un especialista en el diseño del producto. Adicionalmente debe estar presente el especialista en costos para buscar sintetizar ambos puntos de vista en una alternativa económica.

Presentar: En esta etapa se presentan los resultados del análisis realizado por el equipo multidisciplinario a las gerencias y posteriormente al cliente para que se evalúe el posible cambio por una mejor alternativa. Este paso es muy importante

ya que es la publicación de los resultados a todo el equipo de proyecto y es fundamental para la retroalimentación del análisis.

Evaluar: El último paso consiste en evaluar el análisis presentado, en esta etapa se acepta o rechaza el Trade Off. Si se acepta el análisis se procede con la siguiente etapa que es presentarlo como un Trend. Posteriormente el resto del ciclo del cambio se llevará de acuerdo a lo presentado en el capítulo anterior. Si el Trade Off es rechazado deberá igual registrarse para conocimiento de todos los involucrados. De esta forma todos podrán saber porque no se aceptó este cambio y así tener en cuenta que se realizó la evaluación correspondiente.

Finalmente la salida de este proceso es el Trade Off, que se registrará y continuará en el ciclo de control de cambios como Trend, PCO y CO. De no ser así simplemente se registrará para informativo.

Es justamente el proceso de Trade Off integrado al sistema de control de cambios el que genera el SIGCC propuesto. La generación de valor agregado e ingeniería de valor se da justamente en la etapa del Trade Off y luego el control de este cambio se da a través de todo el sistema de control de cambios anteriormente expuesto.

3.4. APLICACIÓN DEL SIGCC AL PROYECTO NUEVA FUERABAMBA

En el proyecto Ciudad Nueva Fuerabamba se propuso utilizar el SIGCC para lo cual se realizaron numerosos Trade Off que posteriormente continuaron su ciclo de vida como Trends, PCOs y COs.

3.4.1. FORMATO DE TRADE OFF PROPUESTO

Para el proyecto se diseñó un formato de Trade Off que considera los siguientes criterios de evaluación:

- Costo: Se evalúan los costos bajo un criterio proporcional y de experiencia, para esto es necesario contar con profesionales de

experiencia en el campo a evaluar, el que deberá proporcionar las ventajas y desventajas financieras de las alternativas evaluadas.

- **Tiempo:** Se evalúa la factibilidad en tiempo de las soluciones propuestas, se debe contar con profesionales que puedan definir el impacto de tiempo y su repercusión en el plazo integral del proyecto. Su evaluación requiere la conjunción de tiempos desde los tiempos de desarrollo de Ingeniería, tiempos de suministro de materiales (procura) y tiempos de ejecución.
- **Ventajas:** Estas se evalúan verificando un escenario integral de todos los aspectos internos y externos, las ventajas que estas alternativas proporcionan al proyecto y su misión con el aspecto externo.
- **Desventajas:** Se presentan los problemas que implicarían llevar a cabo una alternativa. Se tiene que ser concreto y hablar de certezas no de riesgos como posibilidades ya que existe otro punto especial para enunciarlos al detalle.
- **Riesgos:** Su verificación es uno de los puntos más importantes de este proceso, pues al ser un aspecto subjetivo toma importancia por su repercusión en el costo del proyecto. Se evalúan riesgos potenciales internos (desarrollo de ingeniería, suministro de materiales, ejecución de trabajos) y potenciales externos (aspectos sociales locales, aspectos políticos, religiosos, etc). Incertidumbre es un término para definir cosas verdaderamente desconocidas que podrían tener efectos positivos o negativos en el proyecto. Riesgos por otro lado se relaciona a un evento, del cual sus consecuencias en plazo y costo, así como la probabilidad de ocurrencia pueden ser estimadas.
- **Seguridad:** Podría definirse dentro del aspecto de riesgos, sin embargo la seguridad como especialidad es un aspecto esencial manejable dentro de los procesos propios del trabajo, cada trabajo a realizar tiene su correspondiente costo por el manejo de la seguridad integral e individual de sus participantes.

En el Anexo 3.7 se presenta el formato de Trade Off propuesto. Así mismo en el Anexo 3.8 se presenta el flujograma propuesto para la elaboración y presentación del mismo. En este formato de Trade Off sólo se deben mencionar criterios no monetarios, más no se realizará ningún cálculo ni ponderación o

calificación con estos criterios pues se consideran subjetivos si es que son emitidos por una sola parte del proyecto. Es preferible realizar sólo la evaluación económica considerando la mayor cantidad de puntos a favor y en contra de las alternativas dentro del cálculo económico y aquellos criterios importantes que no puedan ser incluidos bastarán con mencionarlos en los otros puntos para consideración del que toma las decisiones. En el caso del proyecto en estudio sólo se presenta el formato Trade Off con el análisis utilizando el método financiero y se mencionan los atributos que no se pudieron incluir en el análisis para que el cliente pueda realizar alguna ponderación adecuada. De lo experimentado en el proyecto se sabe que el método económico es el más objetivo y aceptado como válido para la toma de decisiones por lo que se ha decidido trabajar sólo con este método, sin embargo se menciona que el método scoring es muy sencillo de aplicar por lo que se hubiera podido incluir en el formato de Trade Off.

3.4.2. APLICACIÓN DEL FORMATO TRADE OFF EN EL PROYECTO

En el proyecto NFB se aplicó el formato de Trade Off propuesto en el cual se incluye el análisis económico de alternativas con el objetivo de seleccionar una alternativa que sirva para reemplazar un alcance de la línea base. Se decidió solo utilizar el análisis económico por las siguientes razones:

- Permitía agilizar la elaboración de análisis de Trade Off.
- Era muy objetivo y fácilmente auditable por cualquier involucrado.
- Presentaba criterios no monetarios adicionales de forma cualitativa pero no asignaba puntuaciones subjetivas hacia el cliente.

A continuación se presenta un breve resumen de los resultados obtenidos de los principales casos en los que se aplicó la técnica propuesta para generar cambios a la línea base en mutuo acuerdo de ambas partes (cliente-contratista). El detalle completo de los resultados se presenta en el Anexo 3.9.

AISLAMIENTO TÉRMICO DE MUROS PERIMETRALES

Como el proyecto se encuentra en un clima muy frío a más 3800 msnm y con temperaturas entre los -10°C y 10°C , el diseño de las casas debía prever el

aislamiento térmico de sus muros perimetrales por lo que en la línea base se definió utilizar un muro de 25cm con un aislamiento intermedio. Este muro tendría 10cm de concreto en la cara exterior, un aislamiento intermedio con fibrablock de 5cm y un muro interior de 10cm también de concreto armado. Sin embargo este material no alcanzaba los límites mínimos solicitados para asegurar el confort de los ocupantes por lo que se hacía necesario cambiar el tipo de aislamiento por otro mejor. Por ello se plantearon 4 alternativas adicionales de las cuales finalmente en base al análisis se definió trabajar con la alternativa 4 correspondiente al poliestireno expandido de densidad 18kg/m³ con una malla electrosoldada adicional como transferencia entre el concreto y el tecnopor. Esta decisión se fundamenta en que a pesar de ser la segunda alternativa más económica, era la más económica y técnicamente factible ya que constructivamente resultaba muy complicado que la plancha de tecnopor soporte los empujes laterales del concreto solo con bastones verticales de sostenimiento, por lo que finalmente se tuvo que descartar la alternativa 5 que era inicialmente la más económica.

Tabla. 3.22. "Análisis de Alternativas de aislamiento térmico en muros". (Elaborado por el autor)

I		II		III		IV		V	
Presupuesto Fibrablock (Contractual)		Tecnoblock D18		EMMEDUE (M2)		Poliestireno expandido D18 y 01 malla electrosoldada		Poliestireno expandido D18 y Bastones Verticales de sostenimiento (Xstrata)	
Costo US\$	6,629,889	Costo US\$	6,831,706	Costo US\$	7,712,540	Costo US\$	7,012,317	Costo US\$	6,837,147
○ 0.00%	-	○ 3.04%	201,817	○ 16.33%	1,082,651	○ 5.77%	382,428	○ 3.13%	207,258



Fig. 3.14. Modelos a escala de fibrablock y tecnopor D18. (Proyecto Parque Central)

AISLAMIENTO TÉRMICO DE TERRAZAS

Al igual que con los muros perimetrales de las viviendas, en las casas del tipo 1R se tuvo que evaluar la posibilidad de incluir un aislamiento térmico en las losas de las terrazas, ya que podría afectar la temperatura del ambiente inferior en el primer piso. En la línea base no se consideró ningún aislamiento térmico en las terrazas de las casas 1R por lo que finalmente no se cambiarían las expectativas de ningún involucrado de no ejecutarse el cambio. Sin embargo existía el riesgo de afectar el confort de los ocupante por lo se realizó el análisis respectivo. Para esto se identificaron 3 alternativas adicionales de las cuales se muestran a continuación.

Tabla. 3.23. “Análisis de Alternativas de aislamiento térmico en terrazas”. (Elaborado por el autor)

I		II		III		IV	
OPCIÓN 01: LINEA BASE (SIN AISLAMIENTO)		OPCIÓN 02: AISLAMINTO EMMEDUE		OPCIÓN 03: AISLAMIENTO TECNOPOR		OPCIÓN 04: AISLAMIENTO LADRILLO PASTELERO	
METRADO	PARCIAL	METRADO	PARCIAL	METRADO	PARCIAL	METRADO	PARCIAL
US\$	295,431.89	US\$	569,284.86	US\$	515,336.14	US\$	420,815.83
Delta US\$	-	US\$	273,852.97	US\$	219,904.25	US\$	125,383.94
Delta %	-	%	93%	%	74%	%	42%

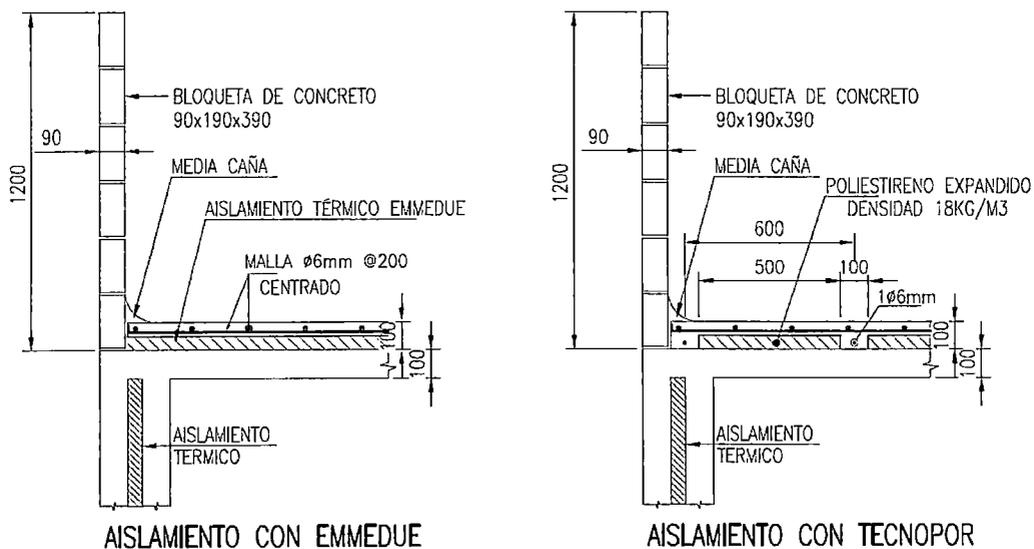


Fig. 3.15. Alternativas de aislamiento con EMMEDUE y tecnopor. (Elaborado por el autor)

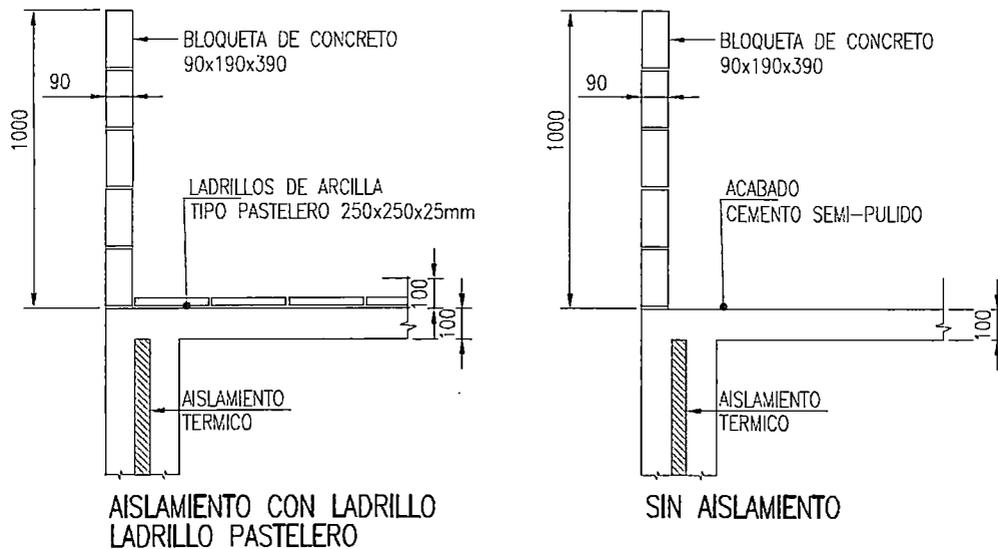


Fig. 3.16. Alternativas con ladrillo pastelero y sin aislamiento. (Elaborado por el autor)

Finalmente se decidió que era preferible verificar si realmente se afectaba mucho la temperatura al no aislar este techo. Los resultados del estudio indicaron que para elementos horizontales el aislamiento térmico propio de la losa de concreto era suficiente para mantener una temperatura adecuada para la sala que se ubicaba debajo de la terraza. Si bien era una temperatura mínima permisible se considero que el asilamiento perimetral si justificaba un mayor costo para proteger ambientes como los dormitorios, sin embargo podía haber una temperatura menor en los otros ambientes. Finalmente se decidió no incurrir en un costo que no agregaba valor. Se dice que no agrega valor porque al satisfacerse en exceso un requisito mínimo, el valor que genera este adicional de confort es menor que el costo en el que se incurre para mejorar esta característica.

OTRAS APLICACIONES DE IMPORTANCIA

Otras aplicaciones de importancia se pueden revisar al detalle en el Anexo 3.9, entre los que podemos mencionar:

- Selección de la mejor ubicación de la PTAP y PTAR de la ciudad.
- Selección del tipo de cimentación superficial de las viviendas.
- Selección del tipo de pavimento a utilizar, gracias al cuál se cambió el pavimento rígido por pavimento flexible con tratamiento superficial bicapa.

CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN DEL SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN Y CONTROL DE CAMBIOS

El sistema propuesto por el autor busca integrar la gestión de alternativas de valor con un sistema de control de cambios. Con esta integración se incentiva la generación de cambios positivos y se minimiza la aparición de los cambios negativos. Sin embargo de no poder eliminarse los cambios negativos por más que se identifiquen oportunamente, al menos se buscará controlarlos para minimizar sus impactos mediante la gestión de costos.

La gestión de costos se encarga principalmente de planificar, estimar y controlar los costos de los recursos necesarios para realizar una actividad, un paquete de trabajo, o una partida de control. Sin embargo una visión más amplia de la gestión de costos, considera los impactos que se generan en el producto final debido a las decisiones tomadas a lo largo de la vida del proyecto. Esta visión es la que se ha propuesto para la generación de alternativas de valor con el sistema integrado.

Al considerarse el efecto de las decisiones del proyecto sobre los costos durante el uso, mantenimiento y soporte del producto final, se podrá mejorar la toma de decisiones. Con esta mejora se busca reducir los costos y el plazo de ejecución, así como mejorar la calidad y eficiencia del producto final.

Los procesos considerados para la gestión de costos de un proyecto son la estimación, la elaboración del presupuesto y finalmente el control de los costos. El último busca las causas de las variaciones positivas y negativas, y forma parte del control Integrado de cambios. Por ello todo sistema de control de costo tiene dos herramientas principales:

- El sistema de control de cambios, que define los procedimientos por los cuales la línea base de costo puede ser modificada. Incluye los formularios, la documentación, los sistemas de seguimiento y los niveles de aprobación necesarios para autorizar los cambios. Este sistema ya se estudió a profundidad en el capítulo II.

- **Análisis de Medición del Rendimiento:** busca evaluar el desempeño del proyecto, la magnitud de las variaciones y las causas de las mismas. Para esta medición se utilizará la teoría del valor ganado y es el tema de estudio de este capítulo.

4.1. TÉCNICA DEL VALOR GANADO (EVT)

La técnica del valor ganado (EVT) compara el valor acumulativo del costo presupuestado del trabajo realizado (ganado) en la cantidad original del presupuesto asignada tanto con el costo presupuestado del trabajo planificado (programado) como con el costo real del trabajo realizado (real). Esta técnica es especialmente útil para el control de costos, la gestión de recursos y la producción.¹

4.1.1. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS CLAVE

Para poder relacionar los acrónimos originales propuestos por el PMI se presentaran los términos en inglés y su correspondiente traducción en español. Sin embargo se respetarán las nomenclaturas del idioma original para posteriores citaciones. Así mismo se hace la aclaración que las denominaciones corresponden a las terminologías propuestas por la ultima edición del PMBOK, pero se hará referencia a las nomenclaturas de las primeras ediciones solo como un tema informativo para aquellos que están más familiarizados con las primeras ediciones.

- **Actual Cost o Costo Real (AC):** Es el costo realmente incurrido en la realización del trabajo de una actividad o componente de la EDT durante un periodo determinado. Anteriormente conocido como "Actual Cost of Work Performed" (ACWP) o "Costo Real del Trabajo Realizado".
- **Budget o Presupuesto (B):** Es un costo objetivo basado en el planeamiento de los recursos requeridos para el alcance de un trabajo dado. Es usado para propósitos de medición y gestión. Generalmente se

¹ PMI. "Guía de los Fundamentos de la Dirección de Proyectos". Cuarta Edición. Project Management Institute (PMI). EEUU, 2008.

mantiene estático hasta que haya una variación del alcance del trabajo o se aprueben otros cambios.

- **Budget at Completion o Presupuesto a fin de proyecto (BAC):** Es el presupuesto total autorizado para completar el trabajo del alcance total del proyecto. Es igual a la suma de todos los costos directos más los costos indirectos. El BAC formará la medición del desempeño respecto a la Línea Base según este asignada y distribuida en el tiempo en concordancia con los requerimientos del programa del proyecto.
- **Earned Value o Valor Ganado (EV):** Es el valor presupuestado correspondiente al trabajo realmente completado de una actividad del cronograma o de un componente de la EDT durante un periodo determinado. Anteriormente conocido como "Budgeted Cost of Work Performed" (BCWP) o "Costo Presupuestado del Trabajo Realizado".
- **Estimate at Completion o Estimado a fin de Proyecto (EAC):** Es el costo total proyectado o previsto para un trabajo cuando su alcance definido ha sido totalmente completado. El trabajo puede corresponder a una actividad del cronograma o a un elemento de la EDT.
- **Estimate to Complete o Estimado del Saldo (ETC):** Es el costo adicional que se estima necesario para completar una actividad del cronograma o un componente de la EDT. Puede calcularse con técnicas de estimación o bien basados en los datos sobre el valor ganado.
- **Planned Value o Valor Planeado (PV):** Es el costo previsto o presupuestado para el realizar el trabajo programado de una actividad del cronograma o de un elemento de la EDT en un periodo determinado. Anteriormente conocido como "Budgeted Cost of Work Scheduled" (BCWS) o "Costo Presupuestado del Trabajo Programado".
- **Work Breakdown Structure (WBS) o Estructura de Descomposición del Trabajo (EDT):** Es una división jerárquica del trabajo del proyecto representando la descomposición del alcance del trabajo para designar responsables, hacerle seguimiento, y control.

4.1.2. MEDIDAS DE RENDIMIENTO

Es importante medir la eficiencia del proyecto para determinar la causa de una variación, la magnitud de la variación, y decidir si la variación requiere una

acción correctiva. La técnica del valor ganado usa la línea base de costo para evaluar el avance del proyecto y la magnitud de cualquier variación que se produzca. A partir de los valores PV, EV y AC se pueden obtener medidas de rendimiento para ver si el trabajo se está llevando de acuerdo a lo planificado. A continuación se presenta las medidas más comunes del rendimiento del trabajo.

- **Cost Variance o Variación del Costo (CV):** Es la diferencia algebraica del Valor Ganado (EV) y el Costo Real (AC). Un valor positivo indica que existe un ahorro en el costo y un valor negativo indica que se está gastando más de lo planificado. La fórmula es: $CV = EV - AC$
- **Schedule Variance o Variación del Cronograma (SV):** Es la medición del desempeño del cronograma en un proyecto. Es la diferencia algebraica entre el Valor Ganado (EV) y el Valor Planeado (PV). La fórmula es: $SV = EV - PV$
- **Variance at Completion (VAC):** Es la diferencia algebraica entre el Presupuesto a fin de Proyecto (BAC) y el Estimado a fin del Proyecto (EAC). La fórmula es: $VAC = BAC - EAC$.

Estos dos valores, CV y SV, pueden convertirse en índices de eficiencia que representen el rendimiento del costo y del cronograma de cualquier proyecto. Lo importante de estos índices es que permite comparar los resultados con diferentes actividades, paquetes de trabajo y proyectos de una misma organización o de diferentes organizaciones.

- **Cost Performance Index o Índice de Rendimiento del Costo (CPI):** Es la razón del EV entre el AC, que mide la eficiencia del costo. El ratio representa los costos presupuestados versus los costos reales del trabajo realmente completado. El valor del índice representa el desempeño del costo real en comparación con el planeado. Un valor igual a 1 significa que lo real es igual a lo planeado, un valor menor a 1 representa gasto y un valor mayor a 1 representa un ahorro. La fórmula es: $CPI = EV/AC$
- **Schedule Performance Index o Índice de Rendimiento del Cronograma (SPI):** Es la razón del EV completado entre el PV, describiendo que porción del cronograma planeado fue realmente completado. El valor del índice representa el desempeño actual del

cronograma en comparación con el plan. Un valor igual a 1 significa que es igual al plan, un valor menor a 1 indica un retraso y un valor mayor a 1 representa un adelanto. La fórmula es: $SPI = EV/PV$

4.1.3. PROYECCIONES

Las proyecciones se basan en las estimaciones del futuro del proyecto basándose en la información pasada del rendimiento hasta la fecha de la que se realiza la proyección. Estas proyecciones se realizan y actualizan constantemente de acuerdo al avance del proyecto. El objetivo de estas estimaciones es poder determinar cual es el costo de la cantidad de trabajo restante (ETC) y cual será el costo al final del proyecto (EAC).

Existen dos principales formas de estimar el saldo del proyecto (ETC) las cuales son:

- Realizar una nueva estimación en base a la información del rendimiento del proyecto y de cualquier información que pudiera influir en el futuro. Está es la forma más recomendada por ser la de mejor calidad y confiabilidad para hacer las proyecciones, por ello en la tesis también se ha trabajado con este método. La desventaja del método es que requiere de mayor tiempo, esfuerzo y consumo de recursos.
- La segunda forma de estimar el ETC es utilizar los valores del valor ganado para su estimación. Esta forma es rápida y de cálculo inmediato. Sin embargo no tiene la misma calidad ni confiabilidad que el método anterior. Las dos principales fórmulas de cálculo del ETC con este método son:
 - ETC basado en variaciones atípicas. Este enfoque se utiliza más frecuentemente cuando las variaciones actuales se consideran atípicas, y las expectativas son que no se producirán variaciones similares en el futuro. El ETC es la diferencia del BAC menos el valor acumulado del EV. La fórmula es: $ETC = BAC - EV$
 - ETC basado en variaciones típicas. Este enfoque se utiliza más frecuentemente cuando las variaciones actuales se consideran como típicas de las variaciones futuras. El ETC es una división en

la que el dividendo es igual al BAC menos el EV acumulado, y el divisor es el CPI acumulado.

Finalmente con el valor calculado del ETC, según el método que se crea más conveniente, se calcula el Estimado a fin del proyecto (EAC) como la suma algebraica del Costo Real acumulado a la fecha (AC) más el Estimado del Saldo (ETC).

A continuación se grafica en un vistazo todas las componentes de la gestión de costos en la curva de valor ganado.

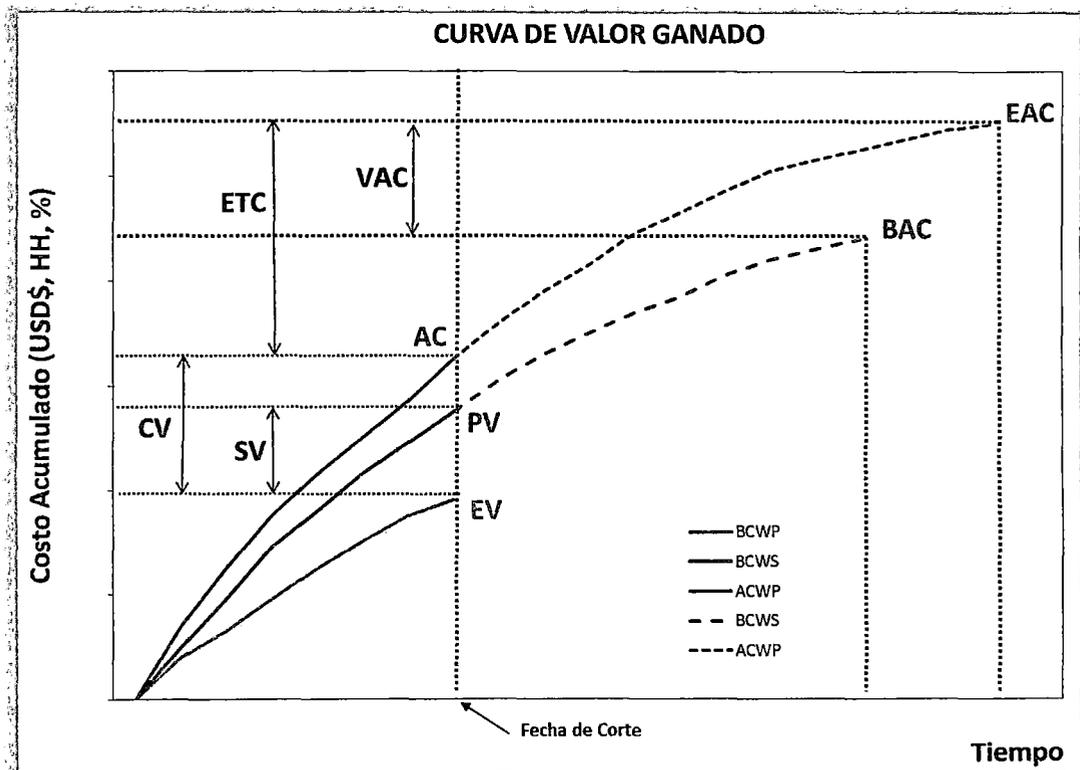


Fig. 4.1. Curva de valor ganado tradicional en la gestión de costos. (Elaborado por el autor)

4.2. EVALUACIÓN DEL SIGCC CON LA TÉCNICA DE VALOR GANADO

Para poder evaluar el SIGCC con la técnica de valor ganado, se deberán adicionar términos complementarios a los presentados. Estos nuevos valores permitirán incluir las diferentes etapas y estados de los cambios a lo largo de sus

vidas. Para poder hacer una correcta medición del rendimiento del proyecto se han incluido los cambios en sus diferentes estados, desde que se genera un Trade-Off hasta que llega a ser una Orden de Cambio (CO).

El objetivo del SIGCC consiste en gestionar cambios positivos, mediante la evaluación de alternativas con ingeniería de valor. Por ello a lo largo del avance del proyecto se debe constantemente evaluar el rendimiento del mismo y también realizar proyecciones que permitan saber cuanto se alejará el resultado final de lo planificado sino se toman acciones de forma oportuna. Estas acciones consisten en realizar cambios que minimicen los impactos negativos de las desviaciones de la Línea Base (LB) y además que se generen cambios a la misma LB que permitan reducir costos y tiempos de ejecución.

4.2.1. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS CLAVE

Para poder entender la forma de evaluación del SIGCC se debe presentar los principales valores que permiten determinar el estado del avance, el costo y el cronograma en un proyecto que ha implementado este sistema.

- **Línea Base (LB):** Es el plan aprobado originalmente para un proyecto, cuenta de control, paquete de trabajo o actividad). Además conforme avanza el proyecto está no se mantiene estática sino también se va actualizando de forma dinámica. Se dice que la nueva Línea Base (LB) del costo es la el Presupuesto Original o Budget (B) más o menos los costos de los cambios de alcance. Para facilitar el entendimiento de los conceptos la LB se mantendrá estática como el valor correspondiente al presupuesto original o Budget (B).
- **Change Order u Orden de Cambio (CO):** Es la suma algebraica de todos los costos previstos o asociados a los presupuestos de las órdenes de cambio. Estas órdenes de cambio están asociadas a los cambios de alcance aprobados por ambas partes. Es muy importante el que el sistema de control verifique si el cambio ha sido aprobado antes de incluirse en la línea base.
- **Budget at Completion o Presupuesto a fin de proyecto (BAC):** Este término tiene algunas variaciones respecto al estudiado anteriormente. El

valor del BAC es la suma algebraica de la Línea Base con todas las Órdenes de Cambio. La fórmula propuesta es: $BAC = LB + CO$

- **Planned Value o Valor Planeado (PV):** Es el costo presupuesto de los avances programados en un periodo de tiempo. Es importante mencionar que solo se consideran los costos de los avances correspondientes a los alcances aprobados de la Línea Base Original (LB) y de las Órdenes de Cambio (CO).
- **Earned Value o Valor Ganado (EV):** Es el costo presupuesto de los avances realmente completados. Sólo se consideran los avances aprobados correspondientes a los alcances de la Línea Base Original (LB) y las Órdenes de Cambio (CO).
- **Trends Ejecutados o en Ejecución (TRD):** Es el costo presupuestado de los trabajos realizados correspondientes a los Trends que ya iniciaron su ejecución o ya fueron terminados. Lo ideal es no iniciar ningún trabajo que no haya sido incluido en la Línea Base, lo que implica que cualquier cambio de alcance antes de ejecutarse debe aprobarse como Orden de Cambio (CO). Sin embargo en los contratos reembolsables y en los proyectos fast Track muchas veces el contrato exige al contratista que no se pueda negar a iniciar ningún trabajo así no forme parte del alcance inicial. Pero además queda aceptado que luego se deberá regularizar y acordar una compensación justa al contratista por dicho trabajo. Se mantienen como Trends justamente porque han iniciado con muchas indefiniciones en el alcance y aún no se puede estimar con precisión el costo total del cambio.
- **Potenciales Órdenes de Cambio Ejecutadas o en Ejecución (PCO):** Es el costo presupuestado de los trabajos correspondientes a las Potenciales Órdenes de Cambio que ya iniciaron su ejecución o ya fueron ejecutados. Generalmente este escenario se presenta porque el tiempo de aprobación de una PCO puede demorar mucho debido a que generalmente el proceso incluye una negociación previa. Sin embargo es necesario iniciar los trabajos de la PCO identificada para no generar impactos negativos en el programa.
- **Trend Budget (TB):** Es el presupuesto a fin de proyecto considerando el alcance de la Línea Base, las Órdenes de Cambio, los Trends y las Potenciales Órdenes de Cambio autorizados para sus ejecución pero

cuyo monto presupuestal aún no ha sido aprobado. Es un término creado para poder estimar como cambiará el BAC que se tiene a la fecha. Si los presupuestos de los Trends y Potenciales Órdenes de Cambio no cambiasen en el tiempo hasta su aprobación como Ordenes de Cambio entonces se cumpliría que el TB es igual al BAC. La fórmula es: $TB = BAC + TRD + PCO$

- **Valor Ganado* (EV*):** Es el valor presupuestado del trabajo realmente realizado considerando el alcance correspondiente al BAC y a los Trends (TRD) y Potenciales Órdenes de Cambio (PCO) en ejecución o ejecutados. Es el valor ganado correspondiente al avance correspondiente al alcance del Trend Budget (TB).
- **Estimate to Complete o Estimado del Saldo (ETC):** Es el costo estimado para completar el avance a la fecha de los alcances correspondientes a la Línea Base (LB), las Ordenes de Cambio (CO), los trends aprobados (TRD) y las Potenciales Órdenes de Cambio (PCO). En resumen es el estimado del costo para terminar los trabajos correspondientes al alcance del Trend Budget (TB).
- **Trends del Saldo (TRENDS):** Es el costo presupuestado para los trabajos previstos para los Trends que aún no han sido aprobados para su ejecución. Debido a que aún no ha sido aprobado el inicio de los trabajos, bajo ninguna circunstancia deberá generarse avances en estos trabajos y siempre formarán parte del saldo.
- **Potenciales Órdenes de Cambio del Saldo (PCOs):** Es el costo presupuestado para los trabajos previstos para las Potenciales Órdenes de Cambio que aún no han sido aprobados para su ejecución. Debido a que aún no ha sido aprobado el inicio de los trabajos, bajo ninguna circunstancia deberá generarse avances en estos trabajos y siempre formarán parte del saldo.
- **Forecast to Complete o Predicción del Saldo (FTC):** Es la estimación de posibles cambios que podrían darse en el futuro. La ejecución de estos cambios solo dependerán de las decisiones que se tomen respecto a estos. Por ello existe una incertidumbre respecto a si finalmente se concretarán o no estos cambios, por lo que se dice que es una predicción y no una estimación. La fórmula es: $FTC = ETC + TRENDS + PCOs$

4.2.2. MEDIDAS DE EFICIENCIA

De forma similar a lo propuesto en la técnica de valor ganado podemos hacer unos ligeros cambios a los indicadores de desempeño del proyecto para considerar los Trends y PCOs que se iniciaron pero que aún no se ha regularizado su inclusión en la Línea Base (LB). Los nuevos indicadores propuestos para complementar los presentados se presentan a continuación:

- **Cost Variance* o Variación del Costo* (CV*):** Es la diferencia algebraica del Valor Ganado* (EV*) y el Costo Real (AC). Un valor positivo indica que existe un ahorro en el costo y un valor negativo indica que se está gastando más de lo planificado. La fórmula es: $CV^* = EV^* - AC$
- **Schedule Variance o Variación del Cronograma (SV*):** Es la medición del desempeño del cronograma en un proyecto. Es la diferencia algebraica entre el Valor Ganado* (EV*) y el Valor Planeado* (PV*). La fórmula es: $SV^* = EV^* - PV^*$
- **Variance at Completion* (VAC*):** Es la diferencia algebraica entre el Presupuesto a fin de Proyecto (BAC) y la Predicción Proyectada a fin del Proyecto (FAC). La fórmula es: $VAC^* = BAC - FAC$.

Estos dos valores, CV* y SV*, pueden convertirse en índices de eficiencia equivalente a los presentados anteriormente.

- **Cost Performance Index* o Índice de Rendimiento del Costo* (CPI*):** Es la razón del EV* entre el AC, que mide la eficiencia del costo. El valor del índice representa el desempeño del costo real en comparación con el planeado. Un valor igual a 1 significa que lo real es igual a lo planeado, un valor menor a 1 representa gasto y un valor mayor a 1 representa un ahorro. La fórmula es: $CPI^* = EV^*/AC$
- **Schedule Performance Index* o Índice de Rendimiento del Cronograma* (SPI*):** Es la razón del EV* completado entre el PV, describiendo que porción del cronograma planeado fue realmente completado. Un valor igual a 1 significa que es igual al plan, un valor

menor a 1 indica un retraso y un valor mayor a 1 representa un adelanto.

La fórmula es: $SPI^* = EV^*/PV$

4.2.3. PROYECCIONES Y RELACIÓN DE VALORES

Existen cuatro valores relacionados directamente con las proyecciones que se deben realizar en todo proyecto. Estos valores son el ETC y el EAC, que permiten estimar las proyecciones del costo y el FTC y el FAC, que permiten predecir cual podría ser las proyecciones del costo. Las interpretaciones de estos valores se presentan a continuación:

- Primero están los valores que permiten proyectar cuál será el costo con el que se terminará el proyecto. Estos valores son el ETC que servirá para determinar el ya conocido EAC. El ETC se determina como el saldo de la Línea Base, más el saldo de las Órdenes de Cambio, más el saldo de los Trends y PCOs en ejecución y autorizados. El EAC es la suma algebraica del Costo Real Acumulado a la fecha (AC) y el estimado del saldo (ETC). La fórmula es: $EAC = AC + ETC$
- Segundo están los valores que permiten predecir el costo con el cuál podría terminar el proyecto. La diferencia con los valores anteriores es que estos son una predicción, ya que aún es incierto si llegado el momento se concretarán o no estos costos y solo dependerá de las decisiones que se tomen en el proyecto. Estos valores son el "Forecast to Complete" (FTC) y el "Forecast at Completion" (FAC). El FTC es la suma algebraica del ETC con los Trends sin ejecutar (TRENDS) y las Potenciales Ordenes de cambio sin ejecutar (PCOs). El FAC es la suma algebraica del Costo Real a la fecha (AC) y la predicción del saldo (FTC). La fórmula es: $FAC = AC + FTC$

A continuación se grafica en un vistazo todas las componentes de la gestión de costos en la curva de valor ganado considerando los nuevos componentes. Esta nueva gráfica permite entender mejor cual es la participación de los cambios, en sus diferentes estados, en la gestión de los costos del proyecto.

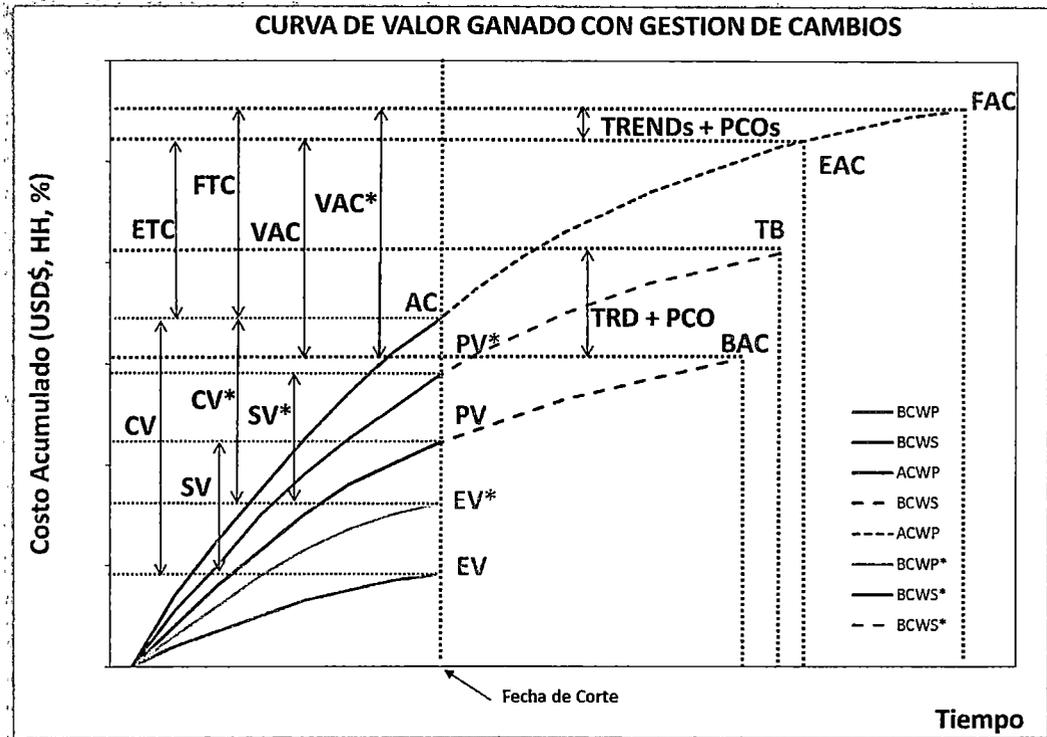


Fig. 4.2. Curva de valor ganado modificado para la gestión de cambios. (Elaborado por el autor)

4.2.4. BENEFICIOS Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA INTEGRADO

Para poder evaluar el Sistema Integrado de Gestión y Control de Cambios (SIGCC) se debe tener claro cuales son los beneficios de aplicar este tipo de sistema respecto a un simple Sistema de Control de Cambios. Un sistema de control de cambios generalmente está más enfocado al registro, documentación, seguimiento y aprobación de los cambios. Sin embargo si este no se integra a un sistema de gestión de alternativas, no se puede cerrar el círculo para que los cambios generen valor al proyecto. El sistema integrado gestiona cambios con la ayuda de técnicas de ingeniería del valor. También puede mejorar la toma de decisiones y permite reducir el costo y el tiempo de ejecución; así como mejorar la calidad y el rendimiento del producto entregable del proyecto.

Para la correcta evaluación del sistema integrado se ha propuesto considerar los principales beneficios del sistema. Se ha podido identificar cuatro grupos de beneficios, los cuales se presentan a continuación.

Beneficios respecto a la mejora del margen

En el capítulo 2 ya se explicó brevemente que un buen control de cambios permite incrementar el margen del contratista y reducir los costos del cliente.

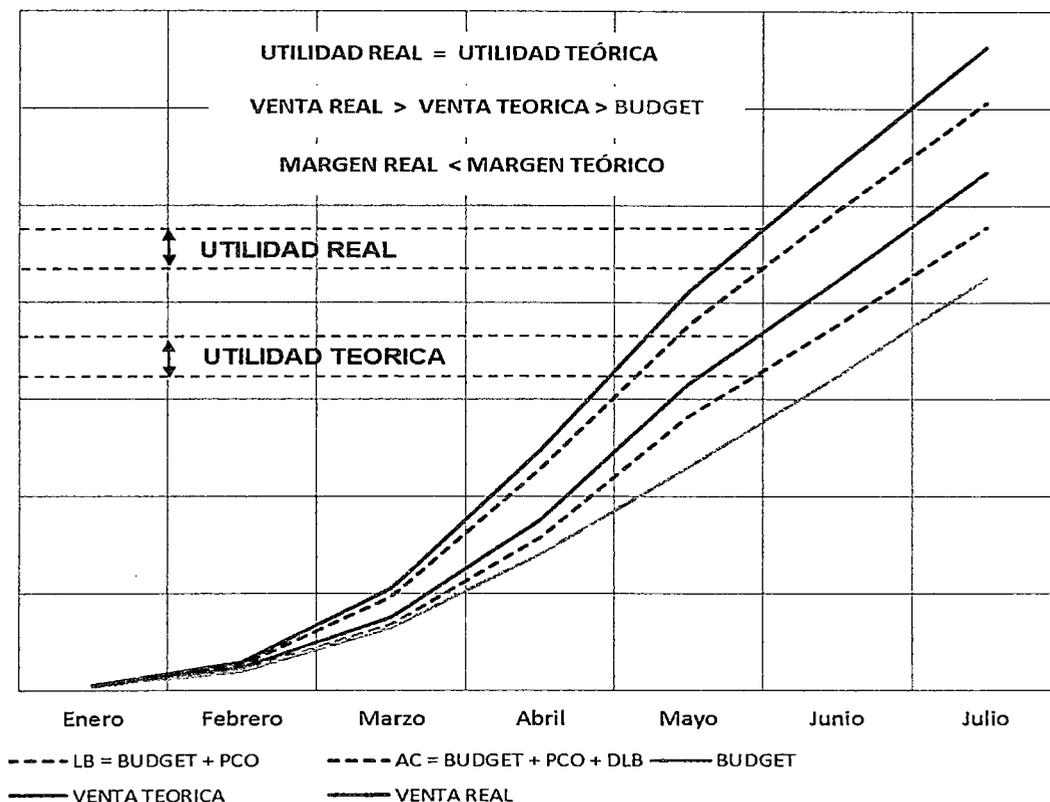


Fig. 4.3. Análisis del control de los cambios en el margen del contratista. (Elaborado por el autor)

Los principales beneficios encontrados respecto a la mejora del margen son:

- El correcto control de los cambios permite que un cambio de alcance sea registrado y sustentado como una Orden de Cambio (CO). El registro como CO permite actualizar la Línea Base (LB) por lo que también se genera un aumento en la utilidad proporcional al costo del nuevo alcance.
- Permite identificar y minimizar los sobrecostos producto de las desviaciones de la LB a través de herramientas de gestión del valor. Esto permite que los sobrecostos debido a omisiones de alcance, errores presupuestales, etc no reduzcan el margen del contratista de forma significativa y que los costos para el cliente se reduzcan con ingeniería de valor.

- El correcto control de los cambios permite identificar todas las Potenciales Órdenes de Cambio de forma oportuna para poder todas las desviaciones del costo estén sustentadas en un cambio de alcance. Esto permite mantener el margen previsto por el contratista.

Beneficios obtenidos en el avance a la fecha

La implementación de un SIGCC permite obtener beneficios en los avances a la fecha debido a un buen control y gestión de valor de los cambios. El objetivo general del sistema siempre es reducir la brecha acumulada a la fecha entre el valor ganado aprobado (EV) y el valor ganado con los cambios aún no regularizados pero en ejecución (EV*). Por ello se presentarán los beneficios separándolos en los casos en los que la brecha significa un ahorro en el costo previsto y en los cuales representa un sobrecosto.

- En el caso en el que $EV^* < EV$, esto significa que la gestión de valor ha permitido realizar cambios en la LB que han generado un ahorro respecto a lo previsto inicialmente. Este es el caso ideal y por lo que los beneficios relacionados son evidentemente: un ahorro para el cliente y una sobreutilidad para el contratista.

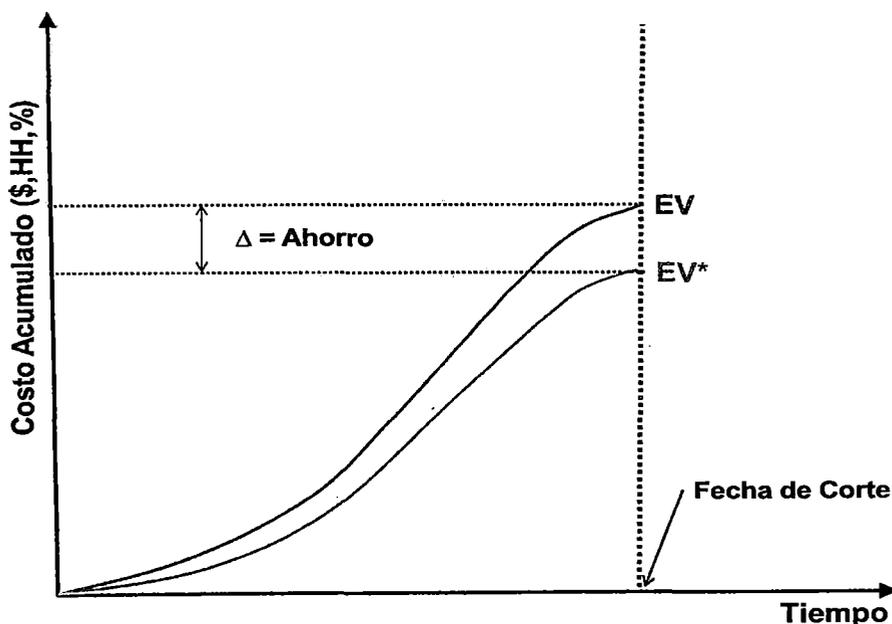


Fig. 4.4. Ahorro debido a cambios con ingeniería de valor. (Elaborado por el autor)

- En el caso en el que $EV^* > EV$, esto significa que el sobrecosto por nuevos alcances es mayor a los ahorros generados por la gestión de valor de la LB. En estos casos los beneficios identificados según las alternativas para reducir la brecha son:
 - Una alternativa para reducir la brecha del sobrecosto es buscar que el valor del EV^* se aproxime al valor del EV mediante la gestión de alternativas con valor. Sin embargo este valor no podrá reducirse a cero debido a que la brecha se debe a nuevos alcances. Este escenario es beneficioso para el cliente porque permite un ahorro en el costo del proyecto.
 - Otra alternativa para reducir el brecha del sobre costo es buscar que el valor del EV se aproxime al valor del EV^* mediante el control de los cambios para que todos puedan incluirse en la Línea Base con una CO antes de iniciar los trabajos. Este escenario es beneficioso para el contratista porque permite generar más venta y no reducir el margen que tenía previsto.

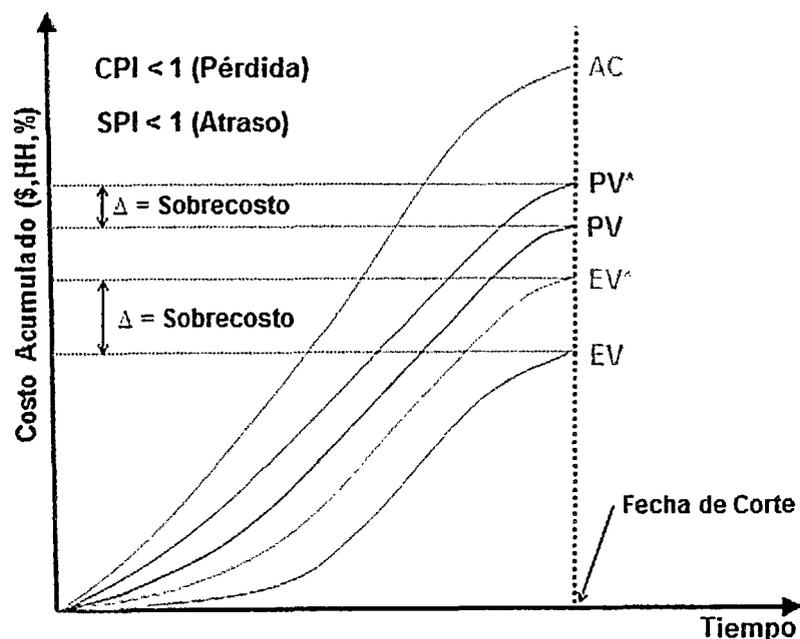


Fig. 4.5. Costos a la fecha con $CPI < 1$ y $SPI < 1$. (Elaborado por el autor)

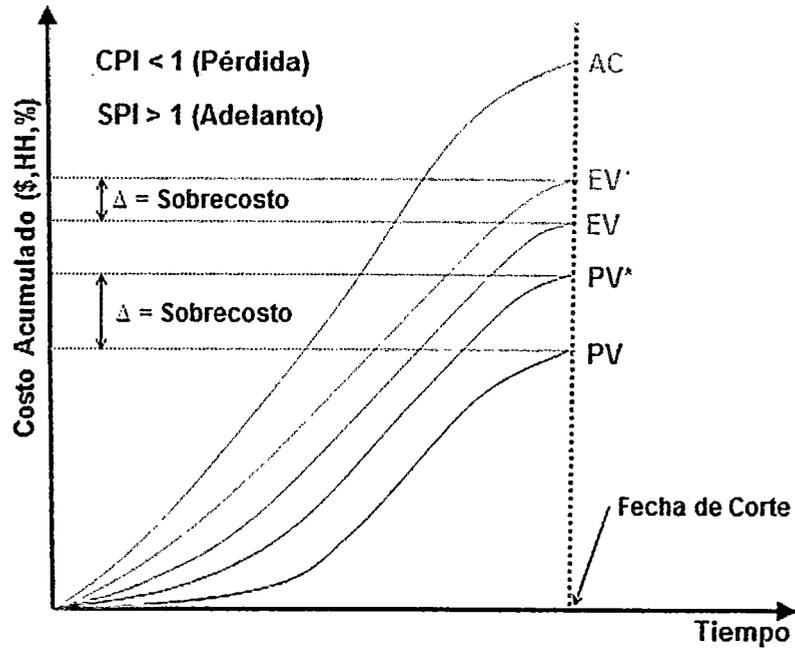


Fig. 4.6. Costos a la fecha con $CPI < 1$ y $SPI > 1$. (Elaborado por el autor)

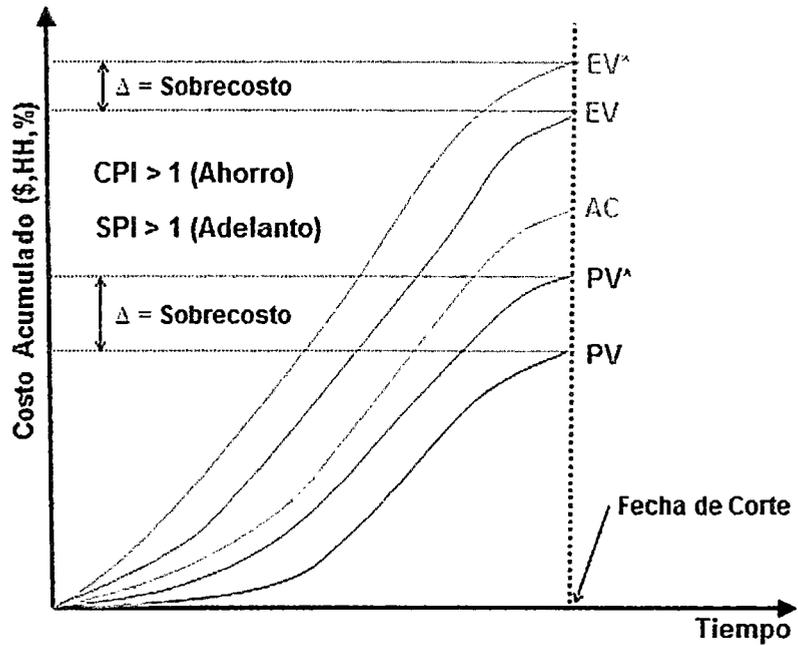


Fig. 4.7. Costos a la fecha con $CPI > 1$ y $SPI < 1$. (Elaborado por el autor)

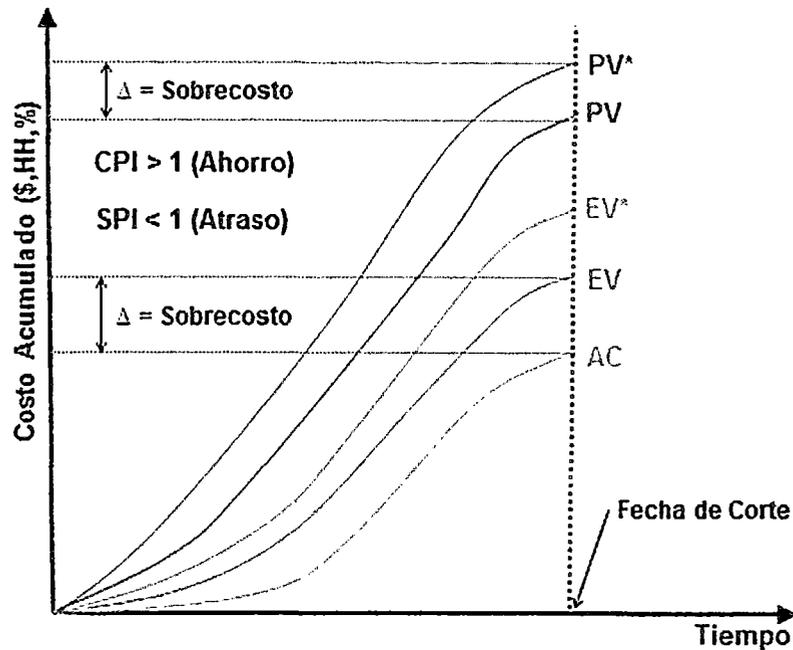


Fig. 4.8. Costos a la fecha con $CPI > 1$ y $SPI < 1$. (Elaborado por el autor)

Beneficios obtenidos a fin de proyecto

El principal objetivo del SIGCC a fin de proyecto es reducir la brecha entre el Trend Budget (TB) y el Budget at Completion (BAC). Los beneficios obtenidos de alcanzarse este objetivo son:

- Se podrá mantener el margen previsto al fijar la LB al inicio del proyecto. Esto se logrará haciendo el seguimiento a todas las PCOs y Trends que aparecen a lo largo del proyecto y asegurando que todas lleguen a ser Órdenes de cambio para actualizar la nueva Línea Base.
- Se evita que el TB no genere un sobrecosto que haga que proyecto se trunque antes de completado. Esto se logra con una verdadera gestión de alternativas que permite que todas las PCOs y Trends identificadas a oportunamente puedan analizarse para su mejor optimización.
- El buen control de los cambios permite que las desviaciones de la Línea Base que no forman parte del alcance se puedan sustentar adecuadamente. Esto permite reducir el impacto de las desviaciones por (omisiones de alcance, errores de presupuesto, etc).

Beneficios del Forecast a fin de proyecto

El principal objetivo del SIGCC en el Forecast a fin de proyecto es en las etapas iniciales del proyecto identificar la mayor cantidad de posibles cambios a futuro. Esto implicaría predecir que posibles cambios podrían impactar en proyecto generando cambios considerables en el costo. Los principales beneficios de poder alcanzarse este objetivo son:

- Al identificarse un gran sobre costo de forma oportuna al inicio del proyecto es posible que los Trends y PCOs identificados puedan evitarse si generan un impacto negativo y de no poder evitarse al menos aplicar la gestión de valor para poder minimizar los costos.
- Se podrán generar importantes ahorros a medida que se optimiza la ingeniería de los Trends y PCO a medida que avanza el proyecto y se definen mejor los alcances con ingeniería de valor.

Se podrá evaluar un buen funcionamiento del sistema si es que el VAC* comienza con un valor alto que se va reduciendo a medida que avanza el proyecto. Recordar que el $VAC^* = FAC - BAC$

4.3. EVALUACIÓN DEL SIGCC AL PROYECTO NFB

Para poder evaluar mejor el sistema propuesto se ha aplicado el SIGCC al proyecto Ciudad Nueva Fuerabamba. Sin embargo solo se pudo aplicar en su totalidad al contrato de Viviendas porque es el contrato más grande con un adecuado horizonte de inicio para realizar una correcta gestión de cambios. Por otro lado el contrato de movimiento de tierras se inicio sobre la marcha por lo que el tiempo para realizar una buena gestión de valor no fue suficiente y solo se pudo aplicar el sistema de control de cambios.

4.3.1. APLICACIÓN A UN CASO TEORICO DEL PROYECTO NFB

Se ha preparado un ejemplo de cálculo y análisis de los valores, indicadores e índices principales para la evaluación del SIGCC. Por ello se ha determinado solo analizar el caso de una cuenta de control o partida de control

correspondiente al contrato de Movimiento de Tierras del proyecto Ciudad Nueva Fuerabamaba (NFB).

El primer paso para realizar un buen análisis de valor ganado es organizar todo el trabajo. Esto significa que se debe realizar una buena Estructura de división del trabajo (EDT). Un buen EDT debe tener las siguientes características:

- Está orientado a entregables
- Todo trabajo que no está en el EDT está fuera del alcance
- Cada nivel inferior representa más detalle en la EDT
- Debe tener entregables bien definidos

Luego se deben asignar los costos a partidas de control que también estarán relacionadas a Códigos de Costo correspondientes para poder así analizar mejor los indicadores e índices del valor ganado. Luego los costos podrán filtrarse por partidas de control, códigos de costos, contratos y finalmente todo el proyecto. Esto permitirá poder realizar un buen análisis de la información. A continuación se presentan los principales pasos para poder determinar los valores, indicadores e índices de valor ganado en Código de costo del contrato de movimiento de tierras.

Definición de la estructura de descomposición del trabajo

La descomposición del Trabajo o WBS (Work Breakdown Structure), es el procedimiento de descomposición ordenado y escalonado enfocado hacia la entrega de trabajos identificados previamente. Esta estructura debe ser de pleno conocimiento del equipo de proyecto, para cumplir con los objetivos de este y crear los entregables requeridos, cada nivel descendente del WBS está representando con un detalle superior al precedente del trabajo del proyecto. El WBS es una herramienta fundamental en la gestión de proyectos.

El propósito de un WBS es organizar y definir el alcance total aprobado del proyecto según lo declarado en la documentación vigente. Su forma jerárquica permite una fácil identificación de los elementos finales, llamados "Work Package". Siendo un elemento exhaustivo en cuanto al alcance del proyecto, El

WBS sirve como la base para la planificación del proyecto. Todo trabajo a ser hecho en el proyecto debe poder rastrear su origen en una o más entradas del WBS.

El Nivel de detalle del WBS, no considera tamaños ni niveles de desglose, sin embargo se recomienda que este debe tener el detalle suficiente que permita monitorear adecuadamente el proyecto. A continuación se presenta un ejemplo de WBS, en el que se aprecia los niveles de detalle por cada paquete de trabajo.

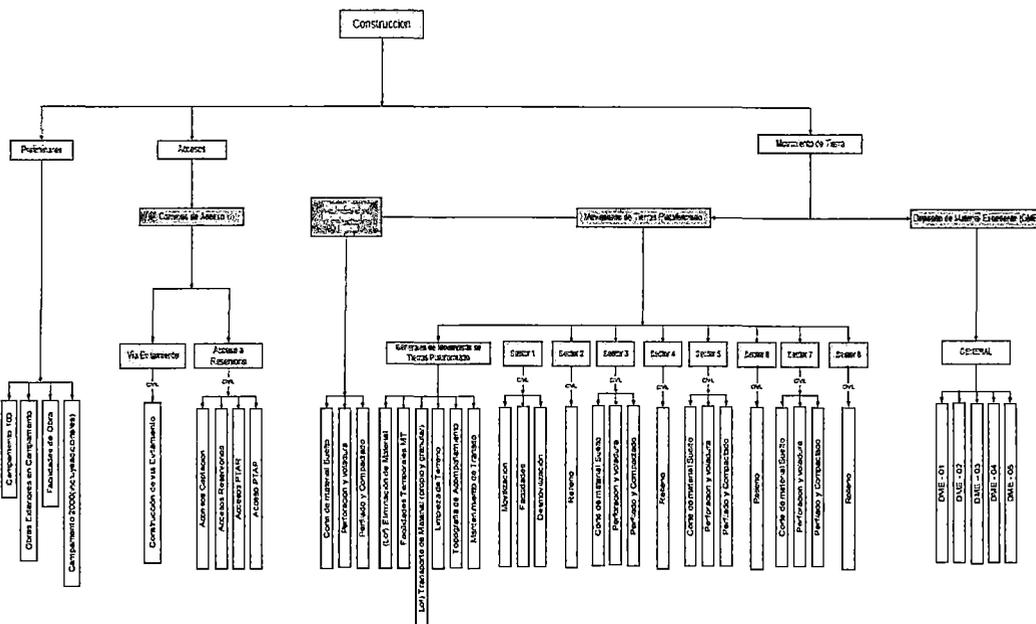


Fig. 4.9. WBS de construcción del proyecto Nueva Fuerabamba. (Elaborado por el autor)

Identificación y Control del WBS

Una vez definidos los conceptos y el desglose de los entregables del proyecto, se pueden identificar fácilmente los códigos con los que será sencillo el control del proyecto. El procedimiento de control de costos consiste en determinar Códigos de Costo o Cost Codes que permitirá agrupar Partidas de Control afines con el objetivo de poder realizar un mejor registro de los costos reales y poder relacionarlos con los costos previstos. Las Partidas de Control del Proyecto NFB y los Cost Codes con los que están relacionados se presentan en el Anexo 4.1.

Para efectos del proyecto NFB se ha elaborado una hoja de códigos de costo, los que están organizados de la siguiente manera:

- **Contratos**

Está definida por los doce contratos definidos de nuestro proyecto, las cuales definen el 100% del alcance del mismo, cada una de ellas enmarca entregables de diferente naturaleza y cada una de ellas con particularidades que se especifican en el ítem siguiente:

Tabla. 4.1. “Listado de Contratos del Proyecto NFB”. (GyM S.A.)

ID	Código de Contrato	Nombre de Contrato
A	25648-220-HC6-WA00-00001	Contrato de Servicios de Ingeniería y Arquitectura
C	25648-220-HC1-HP00-00002	Contrato EPCM
J	25648-220-HC2-CE00-00001	Contrato de Movimiento de Tierras
M	25648-220-HC2-AK00-00002	Contrato de Construcción de Edificios No Residenciales
H	25648-220-HC2-AK00-00001	Contrato de Construcción de Viviendas
B	25648-220-HC2-GA00-00001	Contrato de Servicio de Tráfico y Logística
F	25648-220-HC2-AK00-00004	Contrato de Construcción de Muros y Estructuras Exteriores
E	25648-220-HC2-UA00-00001	Contrato de Campamento de Construcción
L	25648-220-HC2-AK00-00003	Contrato de Construcción de Facilidades de Obra
K	25648-220-HC2-CS00-00001	Contrato de Construcción de Caminos, Pavimentos, Aceras, Drenajes, Áreas Verdes e Instalaciones Temporales
D	25648-220-HC5-GA00-00001	Contrato de Servicio de Transporte de Personal
G	25648-220-HC2-DB00-00001	Contrato de Producción y Suministro de Agregados y Concreto Premezclado

- **Facility / Subfacility / Frente**

Está definido por los entregables generales, identificados en el proyecto. Esta identificación corresponde al marco general de trabajos del proyecto y a su vez definen la naturaleza de los trabajos a ejecutar en esta. Se muestra el listado de entregables identificados en el proyecto, asignados por el código respectivo, estos a su vez se definen mediante las diferentes disciplinas las que se muestran en el ítem siguiente:

Tabla. 4.2. "Lista de Facility/Subfacility/Frente del Proyecto NFB". (GyM S.A.)

COST CODE	FACILITY/SUBFACILITY/FRENTE
CMP	CAMPAMENTO
CPE	CERCO PERIMÉTRICO
FMT	FACILIDADES DE MOVIMIENTO DE TIERRAS Y HABILITACIÓN URBANA
FVE	FACILIDADES DE VIVIENDAS Y EDIFICACIONES
INV	INVERNADEROS
LPA	LINEA PRINCIPAL
N00	NO APLICA
PAC	(570) PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP), (521) CAPTACIÓN
SPM	(450) SEÑALIZACIÓN, (460) PAISAJISMO, (470) MITIGACIÓN Y MEDIO AMBIENTE
000	(000) GENERALES
100	(100) PRELIMINARES
200	(200) ACCESOS
300	(300) MOVIMIENTO DE TIERRAS
400	(400) HABILITACIÓN URBANA
410	(410) PAVIMENTOS Y VEREDAS
420	(420) OBRAS DE ARTE
430	(430) COMUNICACIONES
440	(440) DRENAJE PLUVIAL
500	(500) INFRAESTRUCTURA
510	(510) INST. ELEC. - MEDIA Y BAJA TENSIÓN
511	(511) REDES PRIMARIAS
512	(512) REDES SECUNDARIAS
513	(513) PROTECCIÓN ATMOSFÉRICA
514	(514) GENERADORES ELÉCTRICOS
520	(520) RED DE AGUA POTABLE
521	(521) CAPTACIÓN
522	(522) LÍNEA DE CONDUCCIÓN

Tabla. 4.2. "Lista de Facility/Subfacility/Frente del Proyecto NFB". (GyM S.A.)

COST CODE	FACILITY/SUBFACILITY/FRENTE
523	(523) RESERVORIO DE AGUA
524	(524) REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA
525	(525) ESTACIONES DE BOMBEO
530	(530) RED DE ALCANTARILLADO
531	(531) REDES COLECTORAS DE DESAGUE
532	(532) ESTACIONES DE BOMBEO DE DESAGUE
533	(533) LÍNEA DE DESCARGA A CUERPO RECEPTOR
560	(560) PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL (PTAR)
570	(570) PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP)
580	(580) RELLENO SANITARIO
600	(600) EDIFICACIONES NO RESIDENCIALES
601	(601) INSTITUCIÓN EDUCATIVA PRIMARIA Y SECUNDARIA
603	(603) CENTRO DE EDUCACIÓN INICIAL
604	(604) TALLER OCUPACIONAL
611	(611) WAWAWASI
613	(613) PUESTO POLICIAL COMISARÍA
621	(621) CENTRO DE SALUD
664	(664) LOSAS DEPORTIVAS
700	(700) EDIFICACIONES RESIDENCIALES
988	ACTIVIDADES

- **Disciplinas**

Se definen por todas las especialidades constructivas, dentro de cada entregable, donde se puede identificar trabajos y tareas especiales y que requerirán recursos con ciertas características.

Tabla. 4.3. "Lista de Disciplinas del Proyecto NFB". (GyM S.A.)

COST CODE	DISCIPLINA
AQ	ARQUITECTURA
BT	BOTADEROS
CN	CANTERAS
CS	CUSCO
CT	CARGUÍOS Y TRANSPORTES
CV	CIVIL
EL	ELECTRICIDAD E INSTRUMENTACIÓN

Tabla. 4.3. "Lista de Disciplinas del Proyecto NFB". (GyM S.A.)

COST CODE	DISCIPLINA
ES	ESTRUCTURAS
ET	EXTERIORES
EX	EXCAVACIONES
GN	GENERALES Y PRELIMINARES
GO	GEOTECNICA
LI	LIMA
MA	MEDIO AMBIENTE
MC	MECÁNICA
NA	NO APLICA
OB	OBRA
RE	RELLENOS
SN	SANITARIA
TR	TRANSPORTES

- **Commodities**

Se enfoca a mostrar las especialidades de trabajo, y su consecuente identificación como paquete de trabajo en el que se encuentran actividades y tareas con igual o similar especialización, cada una de ellas define cualitativamente los especialistas, Mano de Obra, materiales, equipos a utilizar para la conclusión de estos paquetes.

Tabla. 4.4. "Lista de Commodities del Proyecto NFB". (GyM S.A.)

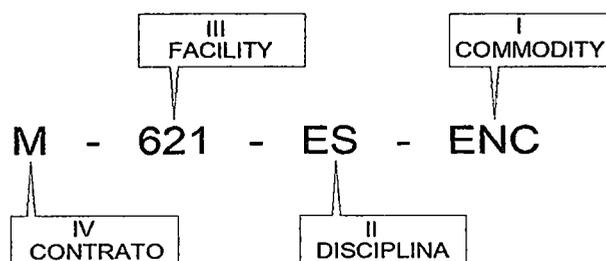
COST CODE	COMMODITY
ALB	ALBAÑILERIA Y ENLUCIDOS
ARQ	ARQUITECTURA
CAR	CARPINTERIAS
COB	PANELES Y COBERTURAS
DES	DESQUINCHE TALUDES ROCOSOS
EMH	EXCAVACION EN ROCA CON MARTILLO HIDRAULICO
EMS	EXCAVACION SUPERFICIAL MATERIAL SUELTO
ERF	EXCAVACION EN ROCA FIJA
ERS	EXCAVACION EN ROCA SUELTA
ETS	EXCAVACION SUPERFICIAL TOP SOIL
HBO	HABILITACION Y CIERRE DE BOTADEROS
LAB	LAB. Y EQUIPO

Tabla. 4.4. "Lista de Commodities del Proyecto NFB". (GyM S.A.)

COST CODE	COMMODITY
MEJ	MEJORAMIENTOS
PIN	PINTURAS Y REVESTIMIENTOS
PIS	PISOS
PN1	PROFESIONAL NIVEL I
PN2	PROFESIONAL NIVEL II
PN3	PROFESIONAL NIVEL III
PYC	PERFILADO Y COMPACTACION DE SUB-RASANTE
ENC	ENCOFRADO
TER	CONFORMACION TERRAPLEN
GEE	GASTOS GENERALES
PFT	PROFIT
OHD	OVERHEAD
EPP	EPP + HERRAMIENTAS
CMP	CAMPAMENTO
EWK	EXTRAWORK

Asignación de Códigos de Costo

Se refiere a la codificación que debe asignarse a cada partida del proyecto con la finalidad de identificar cada actividad dentro de un paquete de control. Cada partida tendrá su identificación de ubicación de contrato, facility/Subfacility / Frente, disciplina de la partida y el commodity, las que serán asignadas según el ejemplo siguiente:



La metodología apropiada para la asignación de código de costo siempre será iniciando desde la identificación del COMMODITY, se proseguirá con la identificación de la DISCIPLINA correspondiente, seguida de del FACILITY/SUB FACILITY/FRENTE y concluyendo con la identificación del contrato. El listado

completo de los Códigos de Costo y sus componentes se presenta en el Anexo 4.2.

Estimación del Presupuesto a fin de Proyecto

El Presupuesto a Fin de Proyecto es la suma algebraica de la Línea Base inicial más todas las Órdenes de Cambio aprobadas hasta el final del proyecto. La formula es: $BAC = LB + CO$.

Para el caso del Cost Code "J-300-RE-TER" correspondiente a la Conformación de terraplenes tenemos lo siguiente:

Tabla. 4.5. "Proceso de Cálculo del BAC para J-300-RE-TER". (Elaborado por el autor)

Item	COST CODE	DESCRIPCIÓN	UND	LINEA BASE			
				METRADO	PRECIO (USD)	PARCIAL (USD)	PARCIAL (HH)
1	J-300-RE-TER	Conformación de terraplén (material de préstamo)	m3	1,365,280.70	5.37	7,335,343.47	248,725.68
2	J-300-RE-TER	Conformación de terraplén (material propio mezclad)	m3	506,613.28	5.40	2,736,110.90	92,053.15

Item	COST CODE	DESCRIPCIÓN	UND	CHANGE ORDER			
				METRADO	PRECIO (USD)	PARCIAL (USD)	PARCIAL (HH)
3	J-300-RE-TER	Manejo de acopios temporales	m3	633,266.60	1.35	854,909.91	57,533.22

LÍNEA BASE + CHANGE ORDERS (BUDGET AT COMPLETE)							
ITEM	METRADO LB	METRADO CO	METRADO LB+CO	PRECIO LB+CO (USD)	PARCIAL LB (USD)	PARCIAL CO (USD)	BAC (USD)
1	1,365,280.70	-	1,365,280.70	5.37	7,335,343.47	-	7,335,343.47
2	506,613.28	-	506,613.28	5.40	2,736,110.90	-	2,736,110.90
3	-	633,266.60	633,266.60	1.35	-	854,909.91	854,909.91

LÍNEA BASE + CHANGE ORDERS (BUDGET AT COMPLETE)								
ITEM	PV (USD)	EV (USD)	BAC-EV (USD)	PARCIAL LB (HH)	PARCIAL CO (HH)	PARCIAL LB+CO (HH)	METRADO SALDO APROBADO	AVANCE APROBADO
1	5,295,054.44	4,354,357.76	2,980,985.71	248,725.68	-	248,725.68	554,831.86	810,448.84
2	1,975,075.36	1,844,167.90	891,942.99	92,053.15	-	92,053.15	165,150.53	341,462.75
3	251,100.00	237,507.53	617,402.39	-	57,533.22	57,533.22	457,335.10	175,931.50

METRADOS PROGRAMADOS SEGÚN CRONOGRAMA							
ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	ene-12	feb-12	mar-12	abr-12	may-12
1	Conformación de terraplén (material de préstamo)	m3	470,538.28	27,105.08	182,959.26	143,838.03	161,094.07
2	Conformación de terraplén (material propio mezclad)	m3	174,602.15	10,057.85	67,890.50	53,373.83	59,777.01
3	Manejo de acopios temporales	m3	10,500.00	25,500.00	50,000.00	50,000.00	50,000.00

AVANCE A LA FECHA EN METRADOS

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	ene-12	feb-12	mar-12	abr-12	may-12
1	Conformación de terraplén (material de préstamo)	m3	121,567.33	202,612.21	162,089.77	81,044.88	243,134.65
2	Conformación de terraplén (material propio mezclad)	m3	71,821.00	26,314.08	5,549.71	91,123.37	146,654.59
3	Manejo de acopios temporales	m3	35,186.30	26,389.73	31,667.67	38,704.93	43,982.88

Estimación del Trend Budget

El Trend Budget es la suma algebraica del BAC más todos los Trends y Potenciales Órdenes de Cambio con autorización para iniciar trabajos. La formula es: $TB = BAC + TRD + PCO = LB + CO + TRD + PCO$.

Para el caso del Cost Code "J-300-RE-TER" correspondiente a la Conformación de terraplenes tenemos lo siguiente:

Tabla. 4.6. "Proceso de Cálculo del TB para J-300-RE-TER". (Elaborado por el autor)

Item	COST CODE	DESCRIPCIÓN	UND	TRENDS EJECUTADOS O EN EJECUCIÓN			
				METRADO	PRECIO (USD)	PARCIAL (USD)	PARCIAL (HH)
4	J-300-RE-TER	Aumento de densidad de voladura por falta de canteras	m3	500,000.00	3.00	1,500,000.00	100,000.00

Item	COST CODE	DESCRIPCIÓN	UND	PCOs EJECUTADOS O EN EJECUCIÓN			
				METRADO	PRECIO (USD)	PARCIAL (USD)	PARCIAL (HH)
5	J-300-RE-TER	Pago por derechos de explotación de canteras	m3	1,247,929.32	4.81	6,002,540.03	-

LINEA BASE + CHANGE ORDERS + TREND + PCO EJECUTADOS O EN EJECUCION (TREND BUDGET)							
ITEM	METRADO TREND	METRADO PCO	METRADO TB	PRECIO TB (USD)	PARCIAL TRD (USD)	PARCIAL PCO (USD)	TB (USD)
1	-	-	1,365,280.70	5.37	-	-	7,335,343.47
2	-	-	506,613.28	5.40	-	-	2,736,110.90
3	-	-	633,266.60	1.35	-	-	854,909.91
4	500,000.00	-	500,000.00	3.00	1,500,000.00	-	1,500,000.00
5	-	1,247,929.32	1,247,929.32	4.81	-	6,002,540.03	6,002,540.03

LINEA BASE + CHANGE ORDERS + TREND + PCO EJECUTADOS O EN EJECUCION (TREND BUDGET)							
ITEM	EV* (USD)	TB-EV* (USD)	PARCIAL TRD (HH)	PARCIAL PCO (HH)	PARCIAL TB (HH)	METRADO SALDO	AVANCE REAL
1	4,354,357.76	2,980,985.71	-	-	248,725.68	554,831.86	810,448.84
2	1,844,167.90	891,942.99	-	-	92,053.15	165,150.53	341,462.75
3	237,507.53	617,402.39	-	-	57,533.22	457,335.10	175,931.50
4	328,827.30	1,171,172.70	100,000.00	-	100,000.00	390,390.90	109,609.10
5	3,898,258.92	2,104,281.11	-	-	-	437,480.48	810,448.84

METRADOS PROGRAMADOS SEGÚN CRONOGRAMA

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	ene-12	feb-12	mar-12	abr-12	may-12
4	Aumento de densidad de voladura por falta de canteras	m3	25,000.00	25,000.00	25,000.00	25,000.00	25,000.00
5	Pago por derechos de explotación de canteras	m3	470,538.28	27,105.08	182,959.26	143,838.03	161,094.07

AVANCE A LA FECHA EN METRADOS

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	ene-12	feb-12	mar-12	abr-12	may-12
4	Aumento de densidad de voladura por falta de canteras	m3	25,535.75	25,013.00	20,001.20	19,014.00	20,045.15
5	Pago por derechos de explotación de canteras	m3	121,567.33	202,612.21	162,089.77	81,044.88	243,134.65

Estimación del saldo del proyecto

El ETC es la estimación del saldo de los alcances iniciales de la Línea Base, más el saldo las Ordenes de Cambio, más los saldos de los Trends y PCOs autorizados para ejecutar sin Orden de Cambio aprobada. La formula es: $ETC = ETC_{(BAC)} + ETC_{(TRD)} + ETC_{(PCO)} = ETC_{(LB)} + ETC_{(CO)} + ETC_{(TRD)} + ETC_{(PCO)}$.

Para el caso del Cost Code "J-300-RE-TER" correspondiente a la Conformación de terraplenes tenemos lo siguiente:

Tabla. 4.7. "Proceso de Cálculo del ETC para J-300-RE-TER". (Elaborado por el autor)

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	ESTIMACIÓN POR COMPONENTE			
			VALOR UNITARIO (USD)	PRECIO ETC (USD)	ETC (USD)	PARTIAL ETC (USD)
3	Manejo de acopios temporales	m3	457,335.10	1.35	617,402.39	56,091.93
4	Aumento de densidad de voladura por falta de canteras	m3	390,390.90	3.00	1,171,172.70	78,078.18
5	Pago por derechos de explotación de canteras	m3	437,480.48	4.81	2,104,281.11	-
6	Conformación terraplén material de préstamo (E=0.40m)	m3	-	3.32	-	-
7	Conformación terraplén material de préstamo (E=0.60m)	m3	390,931.63	2.38	930,417.28	30,140.83
8	Conformación terraplén material de préstamo (E=0.60m + E= 0.70m)	m3	467,147.14	2.41	1,125,824.61	34,195.17
9	Conformación terraplén material de préstamo (E=0.60m+E=0.70m+E=0.80m)	m3	793,693.80	2.38	1,888,991.24	55,955.41
10	Material de préstamo (Acopio granular: Acopio finos : Amaro Zarandeado =2:1:3)	m3	539,312.76	14.40	7,766,103.74	81,490.16
11	Material de préstamo (Acopio finos : Amaro Zarandeado = 1:2)	m3	1,382,101.56	13.68	18,907,149.34	223,762.24

Es muy importante mencionar que la estimación no es simplemente recalcular el nuevo precio unitario y el nuevo metrado según la información que se tienen

hasta la fecha. En la mayoría de casos implicará generar nuevas partidas que representen mejor la realidad del futuro del proyecto. Por ejemplo en el proyecto inicialmente solo había 2 partidas para los trabajos de relleno sin embargo ahora son necesarias 6 partidas para representar el estimado del saldo.

En el caso presentado la conformación de terraplenes en la etapa de licitación se tenía pensado realizarla con material propio y todo con capas de 30cm. Sin embargo luego de iniciado los trabajos se pudo comprobar que la realidad hacia permitía compactar en capas desde 40cm hasta 80cm. Además no se podía utilizar material propio y todo debía ser de cantera que además debía ser mezclado con el material propio excedente de la excavación.

Además como el saldo es el resultado de una estimación, estos deben presentarse con un nivel de precisión de acuerdo a la Clase del estimado.

Tabla. 4.8. "Precisión del cálculo ETC para J-300-RE-TER". (Elaborado por el autor)

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	GRABO DE ESTIMADO	CLASIFICACION
3	Manejo de acopios temporales	m3	5%	648,272.50
4	Aumento de densidad de voladura por falta de canteras	m3	20.00%	1,405,407.24
5	Pago por derechos de explotación de canteras	m3	5.00%	2,209,495.16
6	Conformación terraplén material de préstamo (E=0.40m)	m3	4.71%	-
7	Conformación terraplén material de préstamo (E=0.60m)	m3	4.70%	974,142.77
8	Conformación terraplén material de préstamo (E=0.60m + E= 0.70m)	m3	4.73%	1,179,128.01
9	Conformación terraplén material de préstamo (E=0.60m+E=0.70m+E=0.80m)	m3	4.75%	1,978,633.61
10	Material de préstamo (Acopio granular: Acopio finos : Amaro Zarandeado =2:1:3)	m3	5.16%	8,166,707.28
11	Material de préstamo (Acopio finos : Amaro Zarandeado = 1:2)	m3	5.13%	19,876,901.46

Forecast del saldo

El FTC es la estimación de Trends y PCOs que aún no están autorizados para su ejecución y generalmente no se inician porque se esta estudiando nuevas alternativas o ver la posibilidad de descartarlos. La formula es: $FTC = ETC +$

TRENDS + PCOs = ETC_(BAC) + ETC_(TRD) + ETC_(PCO) = ETC_(LB) + ETC_(CO) + ETC_(TRD) + ETC_(PCO). Para el caso del Cost Code "J-300-RE-TER" correspondiente a la Conformación de terraplenes tenemos lo siguiente:

Tabla. 4.9. "Proceso de Cálculo del FTC para J-300-RE-TER". (Elaborado por el autor)

Ítem	COST CODE	DESCRIPCIÓN	UND	TRENDS DOCUMENTADOS SIN EJECUTAR			
				METRADO	PRECIO (USD)	PARCIAL (USD)	PARCIAL (HH)
12	J-300-RE-TER	Conformación terraplén - material de préstamo (E=0.40m) - Mejoramiento para HU	m3	37,203.33	3.32	123,515.05	3,932.39
13	J-300-RE-TER	Material de Préstamo (Solo compra de cantera Amaro) - Mejoramiento para HU	m3	37,203.33	5.65	210,198.81	621.30

Ítem	COST CODE	DESCRIPCIÓN	UND	PCOs DOCUMENTADOS SIN EJECUTAR			
				METRADO	PRECIO (USD)	PARCIAL (USD)	PARCIAL (HH)
14	J-300-RE-TER	Conformación terraplén - material de préstamo (E=0.40m) - Mejoramiento	m3	69,614.88	3.32	231,121.40	7,358.29
15	J-300-RE-TER	Conformación terraplén - material de préstamo (E=0.60m) - Mejoramiento	m3	352,978.10	2.38	840,087.88	27,214.61
16	J-300-RE-TER	Conformación terraplén - material de préstamo (E=0.70m) - Mejoramiento	m3	36,000.00	2.44	87,840.00	2,649.60
17	J-300-RE-TER	Conformación terraplén - material de préstamo (E=0.80m) - Mejoramiento	m3	78,404.56	2.29	179,546.44	5,433.44
18	J-300-RE-TER	Conformación terraplén - material de préstamo (E=0.60M + E=0.70M) - Mejoramiento	m3	255,109.25	2.41	614,813.29	18,674.00
19	J-300-RE-TER	Material de Préstamo (Solo compra de cantera Amaro) - Mejoramiento	m3	792,106.79	5.65	4,475,403.36	13,228.18

FORECAST TO COMPLETE							
ITEM	METRADO TRENDS	METRADO PCOs	METRADO FTC	PRECIO FTC (USD)	PARCIAL TRDs (USD)	PARCIAL PCOs (USD)	FTC (USD)
3	-	-	457,335.10	1.35	-	-	617,402.39
4	-	-	390,390.90	3.00	-	-	1,171,172.70
5	-	-	437,480.48	4.81	-	-	2,104,281.11
6	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	390,931.63	2.38	-	-	930,417.28
8	-	-	467,147.14	2.41	-	-	1,125,824.61
9	-	-	793,693.80	2.38	-	-	1,888,991.24
10	-	-	539,312.76	14.40	-	-	7,766,103.74
11	-	-	1,382,101.56	13.68	-	-	18,907,149.34
12	37,203.33	-	37,203.33	3.32	123,515.05	-	123,515.05
13	37,203.33	-	37,203.33	5.65	210,198.81	-	210,198.81
14	-	69,614.88	69,614.88	1.00	-	69,614.88	69,614.88
15	-	352,978.10	352,978.10	1.00	-	352,978.10	352,978.10
16	-	36,000.00	36,000.00	1.00	-	36,000.00	36,000.00
17	-	78,404.56	78,404.56	1.00	-	78,404.56	78,404.56
18	-	255,109.25	255,109.25	1.00	-	255,109.25	255,109.25
19	-	792,106.79	792,106.79	1.00	-	792,106.79	792,106.79

Consolidación de valores por Cost Code

El último paso consiste en consolidar todos los costos del Cost Code para determinar cuales son los valores, indicadores e índices de la conformación de terraplenes. Los resultados de esta consolidación se presentan a continuación:

Tabla. 4.10. "Consolidación de valores para J-300-RE-TER". (Elaborado por el autor)

LINEA BASE					
COST CODE	B	CO	BAC	T/PCO	TB
J-300-RE-TER	10,071,454.37	854,909.91	10,926,364.28	7,502,540.03	18,428,904.31

A LA FECHA				
COST CODE	PV	EV	EV*	AC
J-300-RE-TER	7,521,229.80	6,436,033.19	10,663,119.41	7,354,647.40

PROYECTADO				
COST CODE	BAC-EV	TB-EV*	ETC	EAC
J-300-RE-TER	4,490,331.09	7,765,784.90	34,511,342.41	41,865,989.81

PROYECTADO				
COST CODE	TRENDS	PCOs	FTC	FAC
J-300-RE-TER	333,713.86	6,428,812.38	41,273,868.64	48,628,516.05

DESVIACIONES			
COST CODE	AC-EV	EAC-BAC	FAC-BAC
J-300-RE-TER	918,614.21	30,939,625.53	37,702,151.77

EV/PV		EV/AC	
> 1 anticipo		> 1 eficiente	
< 1 retraso		< 1 ineficiente	

INDICADORES DE GESTIÓN				
COST CODE	PV (%)	SPI	EV (%)	CPI
J-300-RE-TER	69%	0.86	59%	0.88

En el Anexo 4.3 se presenta el flujo del proceso de evaluación propuesto.

4.3.2. EVALUACIÓN DEL CONTRATO DE MOVIMIENTO DE TIERRAS

El proyecto NFB sirvió para poder elaborar los criterios y fundamentos del SIGCC propuesto. Cabe mencionar que no se pudo implementar completamente el sistema y a que más bien este sistema se ha generado como producto de las experiencias adquiridas en el proyecto. A continuación se presentan los resultados para el contrato de Movimiento de Tierras para el mes de mayo del 2012 (12 meses de ejecución):

Tabla. 4.11. "Componentes del Valor Ganado de Movimiento de Tierras". (Elaborado por el autor)

LINEA BASE					
COST CODE	B	CO	BAC	T/PCO	TB
J	31,345,710.85	-	31,345,710.85	7,975,743.62	39,321,454.47
J-300	31,345,710.85	-	31,345,710.85	7,975,743.62	39,321,454.47
J-300-GN	9,094,285.93	-	9,094,285.93	7,947,140.08	17,041,426.01
J-300-EX	5,550,934.30	-	5,550,934.30	13,085.85	5,564,020.14
J-300-RE	10,071,454.37	-	10,071,454.37	363.24	10,071,817.61
J-300-CT	5,536,991.25	-	5,536,991.25	12,247.01	5,549,238.27
J-300-BT	1,092,045.01	-	1,092,045.01	2,907.43	1,094,952.44
J-300-CN	-	-	-	-	-

A LA FECHA				
COST CODE	PV	EV	EV*	AC
J	24,758,008.36	16,078,646.87	23,591,115.34	51,314,873.53
J-300	24,758,008.36	16,078,646.87	23,591,115.34	51,314,873.53
J-300-GN	6,698,049.45	6,285,794.63	13,769,659.56	23,982,493.39
J-300-EX	4,006,969.73	4,939,121.49	4,952,207.34	8,562,794.74
J-300-RE	7,270,129.80	1,844,167.90	1,844,531.15	3,368,397.60
J-300-CT	5,994,561.22	1,917,517.83	1,929,764.85	9,699,932.52
J-300-BT	788,298.16	1,092,045.01	1,094,952.44	5,187,226.39
J-300-CN	-	-	-	514,028.90

PROYECTADO				
COST CODE	BAC-EV	TB-EV*	ETC	EAC
J	15,267,063.98	15,730,339.14	101,983,402.09	153,298,275.62
J-300	15,267,063.98	15,730,339.14	101,983,402.09	153,298,275.62
J-300-GN	2,808,491.30	3,271,766.45	29,730,593.76	53,713,087.15
J-300-EX	611,812.80	611,812.80	7,081,736.96	15,644,531.71
J-300-RE	8,227,286.46	8,227,286.46	37,221,473.12	40,589,870.72
J-300-CT	3,619,473.42	3,619,473.42	20,599,702.48	30,299,635.00
J-300-BT	-	-	7,349,895.76	12,537,122.15
J-300-CN	-	-	-	514,028.90

PROYECTADO				
COST CODE	TRENDS	PCOs	FTC	FAC
J	-	388,945.14	102,372,347.23	153,687,220.76
J-300	-	388,945.14	102,372,347.23	153,687,220.76
J-300-GN	-	388,945.14	30,119,538.90	54,102,032.29
J-300-EX	-	-	7,081,736.96	15,644,531.71
J-300-RE	-	-	37,221,473.12	40,589,870.72
J-300-CT	-	-	20,599,702.48	30,299,635.00
J-300-BT	-	-	7,349,895.76	12,537,122.15
J-300-CN	-	-	-	514,028.90

Tabla. 4.12. "Indicadores e índices de gestión de Movimiento de Tierras". (Elaborado por el autor)

COST CODE	DESVIACIONES			INDICADORES DE GESTIÓN			
	AC-EV	EAC-BAC	FAC-BAC	PV (%)	SPI	EV (%)	CPI
J	35,236,226.66	121,952,564.77	122,341,509.91	0.79	0.65	0.51	0.31
J-300	35,236,226.66	121,952,564.77	122,341,509.91	79%	0.65	51%	0.31
J-300-GN	17,696,698.76	44,618,801.22	45,007,746.36	74%	0.94	69%	0.26
J-300-EX	3,623,673.25	10,093,597.41	10,093,597.41	72%	1.23	89%	0.58
J-300-RE	1,524,229.69	30,518,416.36	30,518,416.36	72%	0.25	18%	0.55
J-300-CT	7,782,414.68	24,762,643.74	24,762,643.74	108%	0.32	35%	0.20
J-300-BT	4,095,181.38	11,445,077.14	11,445,077.14	72%	1.39	100%	0.21
J-300-CN	514,028.90	514,028.90	514,028.90				-

De los resultados se puede evidenciar inmediatamente los grandes sobrecostos que se están presentando en el proyecto. Este proyecto presentaba demasiados cambios y de forma muy frecuente, lo que hizo necesario que se comenzara a controlar todos los cambios. Sin embargo solo se hizo un control de los cambios pero no hubo una gestión de los cambios para asegurar que los cambios serían ahorros para el proyecto.

La foto mostrada del proyecto con el cuadro anterior es el resultado en gran parte de la gran diferencia entre las consideraciones iniciales y la realidad del proyecto. Si se fija la Línea base con unas consideraciones muy alejadas de la realidad pues simplemente los cambios serán de gran impacto. Sin embargo en esta situación es mucho más importante aplicar un SIGCC para poder mitigar los grandes cambios que se presentan.

En el proyecto Nueva Fuerabamba ya se inicio un control de los cambios y se ha comenzado a gestionar alternativas para mitigar los sobrecostos generados por una Línea base muy alejada de la realidad.

4.3.3. EVALUACIÓN DEL CONTRATO DE VIVIENDAS

El caso del contrato de las viviendas es muy similar al de movimiento de tierras aunque en este contrato si se ha iniciado una verdadera gestión de alternativas con los llamados Trade off. A continuación se presentan los resultados obtenidos para el contrato de Viviendas:

Tabla. 4.13. "Componentes del Valor Ganado de Viviendas". (Elaborado por el autor)

LINEA BASE					
COST CODE	B	CO	BAC	T/PCO	TB
H	45,283,716.63	-	45,283,716.63	-	45,283,716.63
H-700	45,283,716.63	-	45,283,716.63	-	45,283,716.63
H-700-GN	11,992,530.42	-	11,992,530.42	-	11,992,530.42
H-700-CV	14,035,296.37	-	14,035,296.37	-	14,035,296.37
H-700-AQ	13,304,962.33	-	13,304,962.33	-	13,304,962.33
H-700-SN	3,610,711.65	-	3,610,711.65	-	3,610,711.65
H-700-EL	2,338,348.64	-	2,338,348.64	-	2,338,348.64
H-700-ET	1,867.21	-	1,867.21	-	1,867.21

A LA FECHA				
COST CODE	PV	EV	EV*	AC
H	4,849,344.97	1,905,639.32	1,905,639.32	5,125,710.28
H-700	4,849,344.97	1,905,639.32	1,905,639.32	5,125,710.28
H-700-GN	1,284,256.71	610,724.58	610,724.58	1,452,351.58
H-700-CV	1,503,012.54	923,416.05	923,416.05	3,127,233.02
H-700-AQ	1,424,802.49	35,897.83	35,897.83	239,196.55
H-700-SN	386,664.08	195,299.94	195,299.94	177,630.17
H-700-EL	250,409.20	140,300.92	140,300.92	129,298.96
H-700-ET	199.96	-	-	-

PROYECTADO				
COST CODE	BAC-EV	TB-EV*	ETC	EAC
H	43,378,077.31	43,378,077.31	58,743,919.50	63,869,629.78
H-700	43,378,077.31	43,378,077.31	58,743,919.50	63,869,629.78
H-700-GN	11,381,805.84	11,381,805.84	15,324,109.55	16,776,461.13
H-700-CV	13,111,880.32	13,111,880.32	18,486,757.41	21,613,990.43
H-700-AQ	13,269,064.50	13,269,064.50	19,688,222.90	19,927,419.45
H-700-SN	3,415,411.72	3,415,411.72	2,578,136.62	2,755,766.79
H-700-EL	2,198,047.72	2,198,047.72	2,666,693.02	2,795,991.98
H-700-ET	1,867.21	1,867.21	-	-

PROYECTADO				
COST CODE	TRENDS	PCOs	FTC	FAC
H	-	-	58,743,919.50	63,869,629.78
H-700	-	-	58,743,919.50	63,869,629.78
H-700-GN	-	-	15,324,109.55	16,776,461.13
H-700-CV	-	-	18,486,757.41	21,613,990.43
H-700-AQ	-	-	19,688,222.90	19,927,419.45
H-700-SN	-	-	2,578,136.62	2,755,766.79
H-700-EL	-	-	2,666,693.02	2,795,991.98
H-700-ET	-	-	-	-

Tabla. 4.14. “Indicadores e índices de gestión de viviendas”. (Elaborado por el autor)

COST CODE	DESVIACIONES			INDICADORES DE GESTIÓN			
	AC-EV	EAC-BAC	FAC-BAC	PV (%)	SPI	EV (%)	CPI
H	3,220,070.96	18,585,913.15	18,585,913.15	0.11	0.39	0.04	0.37
H-700	3,220,070.96	18,585,913.15	18,585,913.15	11%	0.39	4%	0.37
H-700-GN	841,626.99	4,783,930.71	4,783,930.71	11%	0.48	5%	0.42
H-700-CV	2,203,816.97	7,578,694.06	7,578,694.06	11%	0.61	7%	0.30
H-700-AQ	203,298.72	6,622,457.12	6,622,457.12	11%	0.03	0%	0.15
H-700-SN	-17,669.77	-854,944.87	-854,944.87	11%	0.51	5%	1.10
H-700-EL	-11,001.96	457,643.33	457,643.33	11%	0.56	6%	1.09
H-700-ET	-	-1,867.21	-1,867.21	11%	-	0%	

4.3.4. GRÁFICAS DE VALOR GANADO

En el Anexo 4.4 se presentan ejemplo de las graficas propuestas para evaluar el rendimiento del SIGCC. Las graficas propuestas son:

- Curva “S” de valor ganado

Es una curva acumulada en la que en la absisa se grafica el tiempo generalmente en meses y en la ordenada se grafican los valores acumulados del PV, EV y AC. Estos valores acumulados se pueden expresar en moneda (\$), en horas hombre (hh) o en porcentajes (%).

- Gráfica de CPI-SPI Bulleye

Es una gráfica de interacción entre los índices del CPI y SPI. El grafico se divide en cuatro cuadrantes. Superior derecho es el más favorable y el inferior izquierdo el más desfavorable.

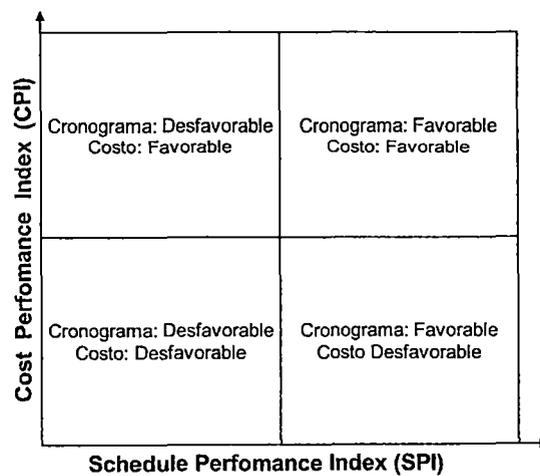


Fig. 4.10. Gráfica de CPI-SPI Bulleye (Elaborado por el autor)

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

De la experiencia en un proyecto EPC y fast track, se ha podido concluir que los cambios con ingeniería de valor tendrán sus mejores beneficios cuando se identifique y ejecuten en las etapas más tempranas del proyecto, es decir durante la planificación y el desarrollo de la ingeniería. Todo cambio que se realice en las etapas de planificación, por más que esta etapa sea muy corta, tendrá un menor costo y un mayor beneficio que los cambios realizados durante la etapa de construcción. De igual forma los cambios que se realicen durante la ocupación u operación serán mucho más costosos y de menor beneficio que los realizados durante la ejecución.

En el proyecto EPC y fast track en estudio se ha podido identificar dos tipos de cambios según su origen. Por un lado existen los cambios que son el resultado de una necesidad que nace de una desviación de la línea base preliminar respecto a la realidad y por otro lado están los cambios que surgen como una mejora de la línea base. El primer tipo de cambio hace referencia a todo aquel que surge por la omisión de algún alcance, algún error de estimación en el presupuesto, alguna deficiencia en el diseño, o alguna consideración equivocada respecto a las condiciones del proyecto. El segundo tipo de cambio hace referencia a aquellos que buscan optimizar la línea base que se fijó de forma preliminar. Entre estos cambios están las alternativas con ingeniería de valor y la optimización de procesos. Luego de conocido estos tipos de cambios se puede concluir que la segunda clasificación se considera de valor cuando el costo que implica realizar el cambio es menor que el beneficio que este genera en el proyecto.

El término que se plantea para "Sistema Integrado de Gestión y Control de Cambios" (SIGCC) es el resultado de integrar la gestión de alternativas de valor y el control de los cambios desde su identificación hasta su ejecución y aprobación para su inclusión en una nueva línea base actualizada.

La verdadera gestión de cambios implica proponer alternativas de valor para lo planificado en la línea base preliminar. Se entiende que estos cambios son necesarios ya que la línea base preliminar es muy dinámica en un fast track debido a la indefinición del alcance exacto del proyecto. Los cambios no solo deben ser el resultado de desviaciones de lo planificado respecto a la realidad. Como regla general se puede concluir que los cambios que son resultado de propuestas de alternativas de valor para la línea base tendrán resultados beneficiosos. Pero por otro lado los cambios que surgen de la necesidad de cambiar lo planificado para poder adaptarse a las condiciones reales del proyecto, tienen resultados “negativos”. Estos cambios “negativos” surgen de haber iniciado el proyecto con una línea base muy limitada y de la identificación de la necesidad real de los cambios.

Los cambios con mejores resultados son aquellos que se generan a partir de un comparativo de alternativas (Trade Off), el cual luego pasa a ser una tendencia (Trend) y luego es presentado para la discusión de ambas partes como una Potencial Orden de Cambio (PCO). Finalmente, luego de discutir y negociar los costos y beneficios del cambio, este es aceptado por ambas partes y pasa a formar parte de la nueva Línea Base a través de una Orden de Cambio (CO).

En la tesis se han estudiado diferentes tipos de métodos de decisión de alternativas con múltiples atributos, entre los que se puede mencionar al método “scoring”, “Proceso de Análisis Jerárquico” (AHP) y el método del “Criterio No Tradicional de Análisis del Capital Invertido”. Así mismo existen métodos financieros como valor actual neto (VAN), el costo beneficio, tasa interna de retorno (TIR), “Costo en toda la vida del Proyecto” o “Whole Life Cost” (WLC) y el “Costo en el ciclo de vida” o “Life Cycle Cost” (LCC). De los métodos mencionados se puede concluir que el mejor método para seleccionar alternativas de cambio para el proyecto Ciudad Nueva Fuerabamba fue el método LCC. Este método permite de forma rápida, objetiva y sustentable determinar la mejor alternativa, por lo se ha definido utilizar para hacer los Trade Off. Sin embargo se ha considerado necesario identificar criterios como riesgos, ventajas, desventajas y temas de seguridad para tenerlos en cuenta al momento de decidir cual es la mejor opción.

La principal dificultad que presenta la aplicación del sistema propuesto es minimizar el impacto que se genera cuando se ha fijado una Línea base preliminar muy alejada de las condiciones reales del proyecto. Esto se pudo evidenciar y concluir de la experiencia en el proyecto ciudad Nueva Fuerabamba, en el cual las grandes brechas entre la línea base preliminar y la realidad fueron la principal causa de una gran cantidad de cambios. Por ejemplo la línea base preliminar del costo se realizó con un presupuesto Clase 4 (+/-20% precisión) y el control de proyectos debe realizarse como mínimo con un presupuesto Clase 2 (+/-5% de precisión). Como un dato importante de la dificultad que representó implementar el “Sistema Integrado de Gestión y Control de Cambios” se puede mencionar que el costo real a la fecha a representado una desviación del 120% y que el presupuesto inicial Clase 4 pasó a duplicarse en el presupuesto actual Clase 2 incluyendo los nuevos alcances.

El principal beneficio que se ha podido identificar para un contratista reembolsable que implementa un “Sistema integrado de gestión y control de cambios” en un proyecto con poco desarrollo de ingeniería es que todos los cambios que son producto de un nuevo alcance podrán ser registrados oportunamente para ser incluidos en la Línea Base inicial o contractual, que además es muy preliminar para un fast track. El sistema de control de cambios permite identificar los alcances nuevos fuera de la EDT inicial o preliminar y hacerles seguimiento hasta que se acepten como Ordenes de Cambio para poder actualizar una Línea Base de naturaleza tan dinámica.

El principal beneficio para el cliente que implementa un sistema integrado de gestión y control de cambios en un proyecto EPC es que puede hacer mejoras a la Línea base mediante alternativas con ingeniería de valor. Cada uno de estos cambios implica un ahorro en el costo, el plazo o una mejoría en el rendimiento o la calidad.

En la tesis se propuso una metodología basada en la técnica de valor ganado para evaluar el estado del proyecto en costo, avance y programa. En esta metodología propuesta se aumentaron algunos componentes y términos adicionales para incluir los cambios en la línea base (Trends, Potenciales Órdenes de Cambio y Órdenes de Cambio). Sin embargo de la experiencia de

su implementación en el Proyecto Ciudad Nueva Fuerabamba se puede concluir que esta metodología muy complicada y resulta poco útil analizar la información cuando la Línea base preliminar cuenta con muy poco detalle como es el caso de un presupuesto Clase 4 que no sirve para el control de proyectos. Finalmente se puede concluir que en un proyecto fast track con una línea base muy poco definida es muy complicado emplear la metodología propuesta para la evaluación del control de cambios en un proyecto.

5.2. RECOMENDACIONES

El mayor provecho que se puede obtener de los subcontratistas especializados (como en las instalaciones mecánicas, carpintería de aluminio y cristales, etc) es en las etapas tempranas de diseño. Por ello se recomienda la participación activa de los principales subcontratistas desde la etapa de diseño, específicamente en la elaboración de los planos de detalle.

En los casos en los que el cliente tenga la oportunidad de seleccionar al constructor y al proyectista, se recomienda cambiar la forma tradicional de contratación en los proyectos privados por una nueva modalidad que permita la participación activa de los especialistas en construcción en las etapas de diseño. La forma tradicional en la que primero se elabora el diseño, luego se lanza a concurso y finalmente el postor ganador ejecuta el proyecto, no permite que el constructor participe en la elaboración de la ingeniería del proyecto. Los especialistas en construcción pueden aportar su experiencia en el proceso para diseñar un mejor producto, teniendo más criterios de la constructabilidad. Así mismo se recomienda que durante el diseño también participe el especialista en costos para realizar estimaciones mas precisas de las mejores opciones desde el punto de vista económico.

Un sistema integrado puede ayudar a resolver muchos problemas que actualmente se ven en la gestión de proyectos del tipo EPC y Fast Track. Se recomienda implementar este sistema para poder evitar perdidas debido a un mal seguimiento, control y gestión de los cambios. Los cambios pueden tener su origen en una carencia de la línea base respecto a la realidad pero también es importante reconocer que la línea base puede ser mejorable en base a los

criterios de gestión de valor. Esto significa que no hay que esperar a que los cambios aparezca un una falencia en el diseño sino más bien generarlos de forma proactiva para mejorar los alcances iniciales.

La ingeniería basada en múltiples alternativas nos recomienda desterrar la práctica de la única solución y prevenir la toma de decisiones prematuras. Por ello se recomienda que en la elaboración de un comparativo (Trade Off) se incluya la mayor cantidad de alternativas posibles y no conformarse con las soluciones clásicas y que sean bien conocidas.

Se recomienda utilizar una metodología estructurada para la determinación de alternativas. Para ello es una buena práctica utilizar un diseño simultáneo del proceso y del producto al momento de definir alternativas de valor. Esto significa que en el diseño de alternativas deben participar de forma simultánea todos los involucrados en el proceso (constructores, subcontratistas instaladores, proveedores principales) y los involucrados en el diseño (ingenieros estructurales, arquitectos, geotecnistas, ingenieros sanitarios, ingenieros electricistas).

Para proyectos con un tiempo adecuado de planificación y desarrollo de la ingeniería es recomendable utilizar métodos análisis de decisión de atributos múltiples (MADA) para definir las mejores alternativas de diseño. Los métodos que mejor aplicación pueden tener en este tipo de proyectos son el AHP y el NCIC.

Para proyectos tipo fast track en los cuales la ingeniería, planificación y ejecución se realizan casi de forma simultánea es recomendable utilizar métodos de decisión más simplificados como por ejemplo el método de ponderación lineal o scoring y métodos financieros como el "Costo en ciclo de vida" (LCC).

De lo estudiado en la selección de la mejor alternativa para excavaciones profundas se recomienda profundizar más en nuevas técnicas que podrían resultar muy exitosas respecto las técnicas tradicionales ya conocidas. Específicamente se ve mucho futuro en la estabilización de excavaciones

profundas con pantalla de pilotes y en el uso del sistema “Ascendente – Descendente”.

Para una buena selección de equipos de encofrados se debe tomar en cuenta no solo las propuestas económicas de los proveedores sino también “homologarlas” considerando todos los costos que implica utilizar una alternativa. El término “homologar” hace referencia a igualar todas las consideraciones y criterios para evaluar las propuestas económicas de todas las alternativas. Esto costos pueden ser el uso de madera adicional, consumibles, costos de mantenimiento, costos por reparaciones, fletes de transportes, entre otros. También es importante tener en cuenta otros criterios no económicos como el impacto en la productividad de las cuadrillas, el uso de la grúa torre y el acabado que deja en la superficie desencofrada.

Se recomienda que adicionalmente a los criterios estructurales que puede tener el proyectista para definir un sistema de cimentación superficial, también se tenga en cuenta criterios de costos y constructabilidad. Para ello se recomienda elaborar tablas o gráficas de costos estimados para ciertas características típicas de las cimentaciones como se hizo en esta tesis.

Es muy importante que en las etapas iniciales de la ejecución del proyecto EPC se identifique la mayor cantidad de cambios a futuro que se podrían presentar. Estos cambios deben registrarse como Trends y Potenciales Ordenes que podrían presentarse en el saldo del proyecto, por lo que debe estudiarse a profundidad si es recomendable evitar realizar el cambio o si es preferible buscar una alternativa más económica.

Es muy importante tener en cuenta al definir la línea base de un proyecto, que esta debe ser la mejor estimación posible de la realidad. Una estimación que esta muy alejada de la realidad generará un exceso de cambios, que hará que la gestión sea muy complicada. Por ello se recomienda utilizar un presupuesto Clase II para poder realizar una gestión y control de proyectos adecuada. Un estimado Clase IV solo debe servir de términos referenciales pero no para controlar ni hacer seguimiento.

Se recomienda que la metodología de evaluación basada en la técnica de valor ganado no sea utilizada en un proyecto tipo EPC y fast track en los que la línea base puede tener poca definición. Por ello se recomienda que como mínimo el presupuesto de Línea Base sea de Clase 2. Sin embargo el sistema de evaluación con la técnica de valor ganado es mucho más adecuado y efectivo para un proyecto tradicional según lo demuestra la experiencia documentada en muchas publicaciones, por lo cual es recomendable su implementación en los proyectos en los que se tiene una línea base bien definida. También es recomendable implementar un sistema de procesamiento y análisis de la información que permita facilitar el uso de la técnica de valor ganado cuando la línea base es muy dinámica.

BIBLIOGRAFÍA

1. ARDITI DAVID, ELHASSAM AHMED, TOLKU CENGIZ, "Constructability Analysis in the Design Firm". Estados Unidos. 2002.
2. ASSOCIATION FOR PROJECT MANAGEMENT, DIXON MILES, "Project Management Body of Knowledge – Cuarta Edición". Londres, Reino Unido. 2000.
3. AUSTRALIAN STANDARD. "AS4817-2006- Project performance measurement using Earned Value". Sydeny, Australia. 2006.
4. AUSTRALIAN STANDARD. "Defence Supplement to AS4817-2006- Project performance measurement using Earned Value". Sydeny, Australia. 2006.
5. BALLARD GLENN, "Lean Project Delivery System – LCI White Paper 8". Estados Unidos. 2000.
6. BALLARD GLENN, ZABELLE TODD, "Lean Design – White Paper 10". Estados Unidos. 2000.
7. BALLARD GLENN, ZABELLE TODD, "Project Definition – White Paper 9". Estados Unidos. 2000.
8. CROWTHER PHILIP, "Design for buildability and the deconstruction consequences". Brisbane, Australia. 2002.
9. GIL N., TOMMELEIN, KINKERDALL, BALLARD, "Contribution of specialty contractor knowledge to early design".
10. GRAY COLIN & HUGHES WILL, "Building Design Management". Londres, Reino Unido. 2001.
11. JEARGEAS GEORGE, VAN DER PUT JOHN, "Benefits of constructability on construction projects", Estados Unidos. 2001.
12. KELLY JOHN, MORLEDGE ROY, WILKINSON SARA, "Best Value in Construction". Estados Unidos. 2002.

13. NEYRA GARCÍA LUIS, "Asegurando el valor en proyectos de construcción: Un estudio de las técnicas y herramientas utilizadas en la etapa de diseño". Lima, Perú. 2008.
14. ORIHUELA PABLO, KAREM ULLOA, "Metodología para promover la ingeniería basada en múltiples alternativas". III Encuentro Latino- Americano de gestión y economía de la construcción. Bogotá, Colombia. 2008.
15. ORIHUELA PABLO, KAREM ULLOA, "Selección de insumos de construcción en obras de edificación". Seminario de Planificación y gestión de materiales de construcción. 2009.
16. ORIHUELA PABLO, ORIHUELA JORGE, "Aplicaciones del Lean Design a proyectos inmobiliarios de vivienda".
17. ORIHUELA PABLO, ORIHUELA JORGE, "Constructabilidad en pequeños proyectos inmobiliarios". Lima, Perú. 2003.
18. PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, "Practice Standard for Earned Value Management". Four Campus Boulevard Pennsylvania, Estados Unidos. 2005.
19. PROJECT MANAGEMET INSTITUTE, "Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK) - Cuarta Edición". Four Campus Boulevard Pennsylvania, Estados Unidos. 2008
20. RILEY DAVID, HORMAN MICHAEL, "The effects of design coordination on project Uncertainty".
21. TILLEY PAUL, "Design and documentation quality problems – a Lean thinking opportunity". Brisbane, Australia. 2005.
22. U.S. DEPARTMENT OF HOUSING AND URBAN DEVELOPMENT, OFFICE OF POLICY DEVELOPMENT AND RESEARCH, "Industrializing the residential construction site". Washington D.C., Estados Unidos. 2000.
23. ULLOA ROMÁN KAREM, "Técnicas y herramientas para la gestión del abastecimiento". Lima, Perú. 2009.

24. VASQUEZ JUAN CARLOS, ORIHUELA PABLO, "El Lean Design y el enfoque hacia el cliente". Lima, Perú. 2008.

ANEXOS

- ANEXO 1.1** : Workshop para definición de criterios Proyecto Nueva Fuerabamba
- ANEXO 1.2** : Metodología de la Ingeniería de Valor
- ANEXO 1.3** : Constructabilidad
- ANEXO 1.4** : Herramienta QFD
- ANEXO 1.5** : Herramientas para el proceso del Lean Design
- ANEXO 2.1** : Cálculo de la precisión de un estimado
- ANEXO 2.2** : Plano de localización del Proyecto Nueva Fuerabamba
- ANEXO 2.3** : EDT del Proyecto Ciudad Nueva Fuerabamba
- ANEXO 2.4** : Planos de principales alcances del proyecto
- ANEXO 2.5** : Registro fotográfico de los principales alcances del proyecto
- ANEXO 2.6** : Reporte de avance de ingeniería
- ANEXO 2.7** : Presupuesto Clase 4
- ANEXO 2.8** : Presupuesto Clase 2
- ANEXO 2.9** : Método determinístico - Análisis de costo de eliminación de material excedente
- ANEXO 2.10** : Método determinístico - Análisis de costo de suministro e instalación de una tubería de HDPE
- ANEXO 2.11** : Rango de ratios de edificaciones
- ANEXO 2.12** : Clasificación de edificios por ratios
- ANEXO 2.13** : Influencia de la forma de la planta de la edificación en su ratio de costo
- ANEXO 2.14** : Influencia de los sótanos en el ratio de costo
- ANEXO 2.15** : Influencia de la altura de entresijos en el ratio de costo
- ANEXO 2.16** : Influencia de la fachada, las áreas comunes y las áreas libres en el ratio de costo
- ANEXO 2.17** : Registro de ratios de edificaciones
- ANEXO 2.18** : Registro de ratio de mano de obra (IP MO) del contrato de viviendas del proyecto Nueva Fuerabamba
- ANEXO 2.19** : Registro de ratio de equipos (IP EQ) del contrato de movimiento de tierras del proyecto Nueva Fuerabamba

- ANEXO 2.20** : Método estocástico - Análisis de costo de excavación
basándose en registro de ratios
- ANEXO 2.21** : Formato de aviso de cambio
- ANEXO 2.22** : Registro de aviso de cambio
- ANEXO 2.23** : Registro de propuesta/reclamaciones de cambios
- ANEXO 2.24** : Formato de orden de cambio
- ANEXO 2.25** : Formato de potencial orden de cambio
- ANEXO 2.26** : Registro de orden de cambio
- ANEXO 2.27** : Lista de verificación de aviso de cambio
- ANEXO 2.28** : Lista de verificación de orden de cambio
- ANEXO 2.29** : Lista de verificación de propuesta de cambio del contratista
- ANEXO 2.30** : Solicitud de cambio del contrato
- ANEXO 2.31** : Solicitud de aviso de cambio
- ANEXO 2.32** : Formato de registro de Trends
- ANEXO 2.33** : Formato de registro de PCO
- ANEXO 2.34** : Formato de registro de CO
- ANEXO 2.35** : Identificación de Trends por categorías y su posible próximo estatus
- ANEXO 2.36** : Definición de PCO o DLB
- ANEXO 2.37** : Análisis del margen
- ANEXO 2.38** : Formato de requerimiento de recursos (FR)
- ANEXO 2.39** : Formato de requerimiento de materiales (FMR)
- ANEXO 2.40** : Requerimiento de Información (RFI)
- ANEXO 2.41** : Instrucción de campo (IC)
- ANEXO 2.42** : Trend - Mejoramiento de plataforma de la ciudad Nueva
Fuerabamba
- ANEXO 2.43** : DLB - Paralización de trabajos en el frente de movimiento de
Tierras
- ANEXO 2.44** : PCO - Plataforma para cancha deportiva
- ANEXO 2.45** : CO - Microrelleno Sanitario
- ANEXO 2.46** : LOG de Trends y PCOs
- ANEXO 2.47** : Flujo de Solicitud de Información
- ANEXO 2.48** : Flujograma de Ordenes de Cambio
- ANEXO 2.49** : Flujograma de Gestión de Trends y PCOs
- ANEXO 3.1** : Aplicación de la constructabilidad y el Lean Design

- ANEXO 3.2** : Identificación de alternativas para excavaciones profundas
- ANEXO 3.3** : Método de evaluación del costo. Selección de cimentación superficial
- ANEXO 3.4** : Método scoring. Selección de equipo de encofrado metálico
- ANEXO 3.5** : Método AHP. Selección del sistema estructural de un edificio
- ANEXO 3.6** : Método NCIC. Selección del material para el sistema estructural
- ANEXO 3.7** : Formato para Trade Off
- ANEXO 3.8** : Flujo grama del proceso de un Trade Off
- ANEXO 3.9** : Aplicación del Trade Off en el Proyecto Nueva Fuerabamba
- ANEXO 4.1** : Partidas de control o centros de costos del proyecto Nueva Fuerabamba
- ANEXO 4.2** : Componentes del Cost Code del proyecto Nueva Fuerabamba
- ANEXO 4.3** : Flujograma del proceso de evaluación de la gestión de costos del proyecto Nueva Fuerabamba
- ANEXO 4.4** : Gráficas de valor ganado del proyecto Nueva Fuerabamba