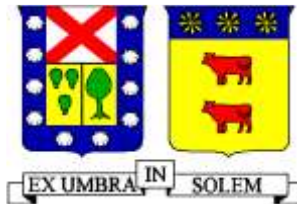


UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES
VALPARAISO – CHILE



APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA MIVES EN LA EVALUACIÓN DE UN
PROCESO DE LICITACIÓN PARA LA SELECCIÓN DE UNA EMPRESA
CONTRATISTA

Memoria de titulación presentada por
IGNACIO ANTONIO ESCOBAR LEÓN

Como requisito parcial para optar al título de
CONSTRUCTOR CIVIL

Profesor Guía
SERGIO ALEJANDRO CARMONA MALATESTA

NOVIEMBRE 2019

AGRADECIMIENTOS

Hoy he llegado al final de una importante etapa de mi vida, que finaliza con un proyecto arduo y no exento de dificultades como el desarrollo de mi memoria de título. Por ello en esta instancia se hace necesario ser justo y consecuente con todas y cada una de las personas que se involucraron en este trascendental proceso, a quienes expreso hoy mi infinito agradecimiento.

En primer lugar,

A la Universidad que bajo sus aleros me entrego los conocimientos.

A mi profesor guía, señor Sergio Carmona por su apoyo, su tiempo y su confianza para guiar mis ideas, siendo para mí un aporte invaluable.

A la Ilustre Municipalidad de Los Vilos, por haber enriquecido mí trabajo con activa participación en sus proyectos.

A mis amigos presentes y pasados.

A mi familia y hermanos por su amor, apoyo y confianza.

A mis amigos y compañeros de trabajo de la SECPLAC, quienes sin esperar nada a cambio compartieron sus conocimientos y ayuda incondicional.

Al internado municipal que me albergó bajo el cuidado y cariño de la señora Karina quien siempre me hizo sentir como en casa.

Especial agradecimiento a Yasni, mi compañera de sueños, pero también mi fuente de motivación e inspiración para poder continuar.

Infinitas gracias a mis padres, por ser los principales promotores de mis sueños e ideales, gracias a ellos por cada día confiar y creer en mí y en mis expectativas.

A Dios y a la vida por esta oportunidad, gracias a todas las personas que me apoyaron y creyeron en la realización de esta memoria de título.

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres,

*Francisco Escobar
Cecilia León*

Por haberme forjado como persona y hoy como profesional.

*A mi madre infinitas gracias por su perseverancia, tenacidad y apoyo para la
culminación de esta memoria de título.*

RESUMEN

Seleccionar una empresa contratista para la ejecución de un proyecto de infraestructura vial es una toma de decisión compleja para cualquier mandante, sobre todo si existe una gran inversión de recursos públicos que puedan afectar el desarrollo de un país.

El Estado chileno para generar el mayor grado de competitividad entre empresas contratistas interesadas en adjudicar proyectos públicos, establece como principal mecanismo de contratación la licitación pública, que es un proceso de concurso donde todos los interesados pueden participar. Sin embargo, no se define un método de evaluación para seleccionar empresas contratistas dificultándose la toma de decisión.

A raíz de esto, los organismos públicos para seleccionar contratistas elaboran sus propios criterios de evaluación los cuales podrían ser mejorados utilizando herramientas de apoyo a la toma de decisiones.

Esta memoria propone establecer un método de toma de decisión multicriterio basado en la metodología de análisis de valor MIVES que incorpora criterios de evaluación utilizados en distintas licitaciones sobre proyectos de infraestructura vial con el objeto de realizar una evaluación representativa a las preferencias de algunas instituciones públicas chilenas como Vialidad, SERVIU y Municipalidades.

Además, en el marco de las licitaciones de proyectos de infraestructura vial, no se han encontrado experiencias que apliquen análisis de valor. Es por ello que establecer un método de toma de decisión multicriterio basado en la metodología MIVES es una alternativa idónea para evaluar diferentes propuestas.

A partir de los resultados obtenidos en esta memoria, se puede concluir que la metodología basada en análisis de valor MIVES, demuestra ser una alternativa competente para la evaluación de ofertas en procesos de licitación de proyectos de infraestructura vial.

ABSTRACT

Choosing a contractor company for the execution of a road infrastructure project is a complex decision for any client, especially if there is a large investment of public resources that may affect the development of a country.

The Chilean Government establishes public tendering as the main mechanism of contraction, which is a competitive process where all stakeholders can participate. This generates greater competition among contractors interested in awarding public projects. However, there is not a defined evaluation method to select contractors, and this makes more difficult the decision making.

Following this, government agencies create their own assessment criteria, which could be improved using tools to support the decision of choosing contractors.

This report proposes to establish a method of making multi-criteria decisions based on the analysis methodology MIVES, incorporating evaluation criteria used in different tenders for road infrastructure projects in order to make a representative evaluation of the preferences of some Chilean public institutions such as Vialidad, SERVIU and municipalities.

In addition, within the framework of tenders for road infrastructure projects, we have not found experiences applying value analysis. That is why establishing a method of multicriteria decision making based on MIVES is a suitable alternative methodology for evaluating different proposals.

From the results obtained herein, it can be concluded that the methodology based on MIVES value analysis, proves to be a competent alternative for evaluating bids in bidding processes for road infrastructure projects.

INDICE

1. CAPÍTULO I - INTRODUCCIÓN	1
1.1 Justificación y contexto	1
1.2 Objetivo General	3
1.3 Objetivos Específicos	3
1.4 Estructura de la memoria.....	4
2. CAPÍTULO II - MARCO TEÓRICO	6
2.1 Introducción.....	6
2.2 Selección de contratistas	7
2.3 Selección de contratistas según entidades públicas chilenas.....	8
2.3.1 Dirección de Vialidad	9
2.3.2 Ministerio de Vivienda y Urbanismo.....	11
2.3.3 Municipalidades.....	13
2.4 Métodos de decisión multicriterios	15
3. CAPÍTULO III - METODOLOGÍA MIVES.....	19
3.1 Introducción.....	19
3.2 Planteamiento	20
3.2.1 Delimitación de la toma de decisión	23
3.2.1.1 Quien toma la decisión.....	23
3.2.1.2 Límites del sistema.....	23
3.2.1.3 Condiciones de entorno.....	24
3.2.2 Creación del árbol de toma de decisión.....	25
3.2.3 Funciones de valor.....	26
3.2.3.1 Expresión matemática de la función de valor	27
3.2.3.2 Valoraciones y límites de la función de valor	29
3.2.3.3 Tendencia y forma de la función de valor.....	30
3.2.4 Asignación de pesos	31
3.2.5 Consistencia de la matriz de decisión.....	34

3.2.6	Valoración de las alternativas.....	37
4.	CAPÍTULO IV - ÁRBOL DE TOMA DE DECISIÓN Y FUNCIÓN DE VALOR	39
4.1	Introducción.....	39
4.2	Caracterización del problema	40
4.3	Alternativas de la propuesta	41
4.3.1	Empresa I	41
4.3.2	Empresa II.....	42
4.3.3	Empresa III	43
4.3.4	Empresa IV	43
4.4	Condiciones de entorno	44
4.5	Límites del sistema	45
4.5.1	Ciclo de vida	45
4.5.2	Componentes	46
4.5.3	Requerimientos	47
4.5.4	Árbol de toma de decisión	47
4.6	Análisis de sensibilidad de las funciones de valor	48
4.6.1	Experiencia en obras similares	49
4.6.2	Metros cuadrados contruidos	51
4.6.3	Registro MINVU	53
4.6.4	Calificación RENAC	55
4.6.5	Plazo de ejecución	57
4.6.6	Cumplimiento requisitos formales.....	59
4.6.7	Presupuesto de ejecución	61
4.6.8	Montos contratados.....	63
4.6.9	Capacidad económica disponible.....	65
5.	CAPÍTULO V - EVALUACIÓN MIVES.....	67
5.1	Introducción.....	67
5.2	Asignación de pesos árbol toma de decisión.....	67

5.3	Parámetros funciones de valor.....	69
5.4	Parámetros físicos de las ofertas de los contratistas	70
5.5	Índice de valor de los indicadores	70
5.6	Ponderación índice de valor	72
6.	CAPÍTULO VI - CONCLUSIONES	75
7.	CAPÍTULO VII - REFERENCIAS	77
8.	CAPÍTULO VIII - ANEXOS.....	81
8.1	Anexo A	81
8.2	Anexo B.....	82
8.3	Anexo C.....	84

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 2.1 ESQUEMA DE LAS PRÁCTICAS ACTUALES DE SELECCIÓN DE CONTRATISTAS.....	7
ILUSTRACIÓN 2.2 MODELO JERÁRQUICO PARA LA TOMA DE DECISIONES CON EL AHP	17
ILUSTRACIÓN 3.1 ALGORITMO METODOLOGÍA MIVES	22
ILUSTRACIÓN 3.2 ESTRUCTURA GENERAL DE LA TOMA DE DECISIÓN	24
ILUSTRACIÓN 3.3 DESPLIEGUE DE REQUERIMIENTOS EN CRITERIOS E INDICADORES	26
ILUSTRACIÓN 3.4 FUNCIÓN DE VALOR TIPO “S” CRECIENTE	29
ILUSTRACIÓN 3.5 FUNCIÓN DE VALOR TIPO “S” DECRECIENTE.....	29
ILUSTRACIÓN 3.6 FORMAS DE LAS FUNCIONES DE VALOR	30
ILUSTRACIÓN 3.7 RESPUESTA DE UN INDICADOR DE CARÁCTER CUALITATIVO.....	31
ILUSTRACIÓN 3.8 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS A NIVEL DE INDICADORES, CRITERIOS Y REQUERIMIENTOS	37
ILUSTRACIÓN 4.1 PERFIL TRANSVERSAL DE LA CALLE A PAVIMENTAR.....	40
ILUSTRACIÓN 4.2 FUNCIÓN DE VALOR DEL INDICADOR “EXPERIENCIA EN OBRAS SIMILARES”	50
ILUSTRACIÓN 4.3 FUNCIÓN DE VALOR DEL INDICADOR “METROS CUADRADOS CONSTRUIDOS”	52
ILUSTRACIÓN 4.4 NORMALIZACIÓN DE LA CATEGORÍA DEL REGISTRO MINVU	54
ILUSTRACIÓN 4.5 FUNCIÓN DE VALOR “REGISTRO MINVU”	54
ILUSTRACIÓN 4.6 FUNCIÓN DE VALOR DEL INDICADOR “CALIFICACIÓN RENAC”	56
ILUSTRACIÓN 4.7 FUNCIÓN DE VALOR DEL INDICADOR “PLAZO DE EJECUCIÓN”	58
ILUSTRACIÓN 4.8 FUNCIÓN DE VALOR DEL INDICADOR “CUMPLIMIENTO DE REQUISITOS FORMALES”	60
ILUSTRACIÓN 4.9 FUNCIÓN DE VALOR DEL INDICADOR “PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN”	62
ILUSTRACIÓN 4.10 FUNCIÓN DE VALOR DEL INDICADOR “MONTOS CONTRATADOS” ...	64
ILUSTRACIÓN 4.11 FUNCIÓN DE VALOR DEL INDICADOR “CAPACIDAD ECONÓMICA DISPONIBLE”	66
ILUSTRACIÓN 5.1 PROCEDIMIENTO PARA OBTENER EL ÍNDICE DE VALOR	71

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1 REGISTRO GENERAL DE CONTRATISTAS.....	9
TABLA 2.2 MÉTODOS MULTICRITERIO BASADOS EN LA TEORÍA DEL VALOR.....	16
TABLA 3.1 PARÁMETROS DE LA FUNCIÓN DE VALOR.....	28
TABLA 3.2 COMPARACIÓN POR PARES PARA EL CÁLCULO DE LA MATRIZ DE DECISIÓN	32
TABLA 3.3 MATRIZ DE COMPARACIÓN “A”	33
TABLA 3.4 ÍNDICE DE CONSISTENCIA ALEATORIO (R.I)	35
TABLA 4.1 LISTA DE CHEQUEO PARA LA ACEPTAR LA OFERTA	44
TABLA 4.2 ÁRBOL DE TOMA DE DECISIÓN PARA UNA LICITACIÓN	48
TABLA 4.3 PREFERENCIAS SEGÚN LA CANTIDAD DE OBRAS EJECUTADAS.....	49
TABLA 4.4 PREFERENCIAS SEGÚN LA CANTIDAD DE METROS CUADRADOS CONSTRUIDOS	51
TABLA 4.5 PREFERENCIAS SEGÚN CATEGORÍA OBRAS VIALES B-1	53
TABLA 4.6 PREFERENCIAS SEGÚN PUNTAJE POR DESEMPEÑO	55
TABLA 4.7 PREFERENCIAS POR EL CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS FORMALES	59
TABLA 4.8 VALORACIÓN DEL EXCESO SOBRE LA OFERTA MÁS BAJA	61
TABLA 4.9 PREFERENCIAS POR LOS MONTOS CONTRATADOS EN OBRAS SIMILARES	63
TABLA 4.10 PREFERENCIAS SEGÚN LA CAPACIDAD ECONÓMICA DE LA EMPRESA.....	65
TABLA 5.1 ASIGNACIÓN DE PESOS MEDIANTE MÉTODO AHP	68
TABLA 5.2 PARÁMETROS DE LAS FUNCIONES DE VALOR	69
TABLA 5.3 RESUMEN DE VARIABLES A EVALUAR POR EMPRESA	70
TABLA 5.4 ÍNDICE DE VALOR SEGÚN INDICADOR EVALUADO	71
TABLA 5.5 ÍNDICE DE VALOR SEGÚN CRITERIO EVALUADO	72
TABLA 5.6 ÍNDICE DE VALOR SEGÚN REQUERIMIENTO EVALUADO.....	73
TABLA 5.7 ÍNDICE DE VALOR DE CADA ALTERNATIVA	74

1. CAPÍTULO I - INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación y contexto

“Los proyectos de infraestructura, en especial los de transporte, son de vital importancia para el crecimiento económico de un país, dado que son los medios que soportan el intercambio de productos y servicios. Muchos proyectos son complejos, requieren grandes inversiones y en muchos casos un alto nivel de experticia en las diferentes disciplinas de la ingeniería. Además de la complejidad, en los procesos de adjudicación pueden ocurrir situaciones no deseadas como favoritismo, corrupción o elementos subjetivos que conlleven a una elección errónea del contratista. Por lo tanto, la adjudicación de contratos en proyectos de infraestructura, requiere especial atención porque implica un alto nivel de riesgo que compromete no solo el éxito de los proyectos, sino también recursos públicos, desarrollo social y crecimiento de un país” (Mayor et al. 2016).

En base a la experiencia de haber participado en la elaboración de proyectos de la Ilustre Municipalidad de Los Vilos, se logra reconocer los procesos de licitación de proyectos de infraestructura vial que se llevan a cabo, por lo cual se observa una situación particular en la que se advierten características de un monopolio en los resultados de estos procesos. Es por esto que se analiza dicha situación y se evalúa la necesidad de mejorar o establecer un nuevo método de evaluación.

Según datos obtenidos de la plataforma electrónica de Mercado Público entre los años 2013-2017, la Municipalidad antes señalada efectuó 10 licitaciones públicas de obras de pavimentación por un total de \$2.529.595.563 pesos, como resultado, todas las obras fueron adjudicadas a una misma empresa contratista.

Villegas (2009) señala que “en el sector de la construcción, a lo largo de los años, la metodología de valor ha demostrado su gran aplicabilidad, esencialmente porque

implica una inversión de tiempo y esfuerzo en las primeras etapas del proyecto, donde el coste de los cambios es considerablemente menor y las posibilidades de mejora del proyecto son máximas”

Basándose en lo anterior, se percata que la metodología de valor *Modelo Integrado de Valor para Evaluación Sostenible* (MIVES) ha sido aplicada a numerosas materias relacionadas con el sector de la construcción donde se necesitaba una justificación objetiva de la decisión tomada como es en Gestión de proyectos, Edificación, Carreteras, Materiales, Sistemas constructivos, entre otras aplicaciones. Además, se cuenta con una herramienta informática de acceso libre que respalda la toma de decisión basada en la metodología MIVES.

A modo de hipótesis se puede inferir que el establecer un método de toma de decisión basado en la metodología MIVES es una potencial solución a la problemática mencionada anteriormente.

1.2 Objetivo General

Establecer un método de toma de decisión Multicriterio basado en la metodología de análisis de valor MIVES para evaluar las ofertas de empresas contratistas que participan en un proceso de licitación de un proyecto de infraestructura vial y poder seleccionar aquella que obtenga un mayor valor.

1.3 Objetivos Específicos

Los objetivos específicos que dan soporte al objetivo principal, se encuentran detallados a continuación:

- Realizar un estudio de los actuales procesos de selección de contratistas en proyectos de infraestructura vial que utilizan algunas entidades públicas chilenas para identificar sus principales requerimientos.
- Analizar y describir en forma detallada el planteamiento de la metodología MIVES como herramienta de apoyo a la toma de decisión multicriterio.
- Establecer una estructura de árbol de toma de decisión mediante la determinación de requerimientos, criterios e indicadores con sus respectivas ponderaciones.
- Realizar un análisis de sensibilidad de la función de valor de cada indicador.
- Aplicar la herramienta informática de apoyo a la toma de decisión basada en la metodología MIVES para evaluar las ofertas de las empresas contratistas.

1.4 Estructura de la memoria

La estructura de la presente memoria se organiza en los capítulos que se describen a continuación.

- **CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN:** Es el primer capítulo de esta memoria, donde se da a conocer los motivos por los cuales se desarrolla el tema de investigación. Se describen los objetivos generales y específicos, y se define la estructura general de la memoria.
- **CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO:** Se hace un estudio acerca de la selección de contratistas y se identifican distintas instituciones públicas chilenas que se caracterizan por llevar a cabo procesos de licitación de proyectos de pavimentación, con el objetivo de identificar las prioridades de cada mandante al momento de seleccionar un contratista para adjudicar su proyecto. Y también se hace una revisión de métodos multicriterios.
- **CAPÍTULO III METODOLOGÍA MIVES:** Se define el planteamiento de la metodología MIVES como herramienta de apoyo a la toma de decisión del problema planteado.
- **CAPÍTULO IV ÁRBOL DE TOMA DE DECISIÓN Y FUNCIÓN DE VALOR:** En base al desarrollo del capítulo anterior, se establecen las características generales del proyecto de pavimentación a licitar. Se definen las características de la empresa como cada una de las ofertas interesadas en participar en el proceso licitatorio. Luego, se estructura y se delimita la toma de decisión. Finalmente, se realiza un análisis de sensibilidad de las funciones de valor de cada uno de los indicadores planteados.

- **CAPÍTULO V *EVALUACIÓN MIVES*:** Se asignan los pesos a cada uno de los aspectos definidos en el árbol de toma de decisión y se realiza un análisis de valor a cada una de las alternativas, obteniéndose un índice de valor para cada una de ellas.
- **CAPÍTULO VI *CONCLUSIONES*:** Se analizan y concluyen los resultados obtenidos al aplicar la metodología propuesta al caso de la licitación del proyecto de pavimentación.
- **CAPÍTULO VII *REFERENCIAS*:** Se presentan las referencias bibliográficas utilizadas como apoyo al desarrollo de la memoria.
- **CAPÍTULO VIII *ANEXOS*:** Se exponen los datos que motivaron la investigación y las bases de datos de las gráficas como sustento a las decisiones tomadas.

2. CAPÍTULO II - MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción

La selección de una empresa contratistas o subcontratista es un evento decisivo para el futuro éxito de cualquier proyecto al jugar un rol importante en su materialización. Crisóstomo & Herrera (2018) señalan que “una selección de subcontratistas errónea en la industria de la construcción causa problemas críticos como: retrasos en los proyectos, calidad deficiente de los trabajos y costos adicionales”.

Se hace una revisión de las actuales prácticas de selección de contratistas llevadas a cabo por entidades públicas chilenas, como Dirección de Vialidad del MOP, Servicio de Vivienda y Urbanismo del MINVU y Municipalidades en general, de tal manera de comprender el proceso de adjudicación adoptado y determinar los requerimientos a emplear en el método basado en la metodología MIVES.

Además, se revisan los métodos de toma decisión multicriterios basados en la teoría del valor, identificando los dos métodos que dan sustento al planteamiento de la metodología MIVES.

2.2 Selección de contratistas

Los procesos de adjudicación de proyectos públicos de infraestructura vial, normalmente se establecen mediante licitación pública, donde se exponen criterios de evaluación. Alarcón & Mourgues (2000) señalan que “existe un proceso de precalificación donde los contratistas son clasificados en categorías de acuerdo a factores tales como experiencia, liquidez, patrimonio, etc. Luego, los contratistas precalificados presentan sus ofertas. Esas ofertas son evaluadas bajo un criterio económico y, en proyectos de tamaño considerable, un criterio técnico. Después de esa evaluación, los puntajes respectivos son calculados y combinados (en caso de que se considere un criterio técnico). De acuerdo al puntaje final, el contrato es adjudicado”

La ilustración 2.1 muestra el proceso de selección de contratistas mencionado.

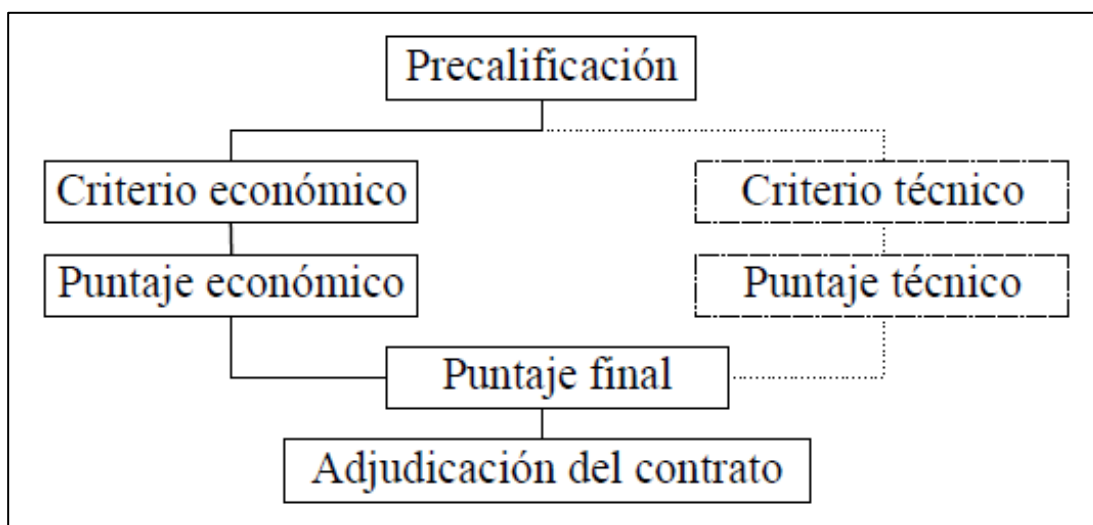


Ilustración 2.1 Esquema de las prácticas actuales de selección de contratistas

Fuente: Alarcón & Mourgues, 2000.

2.3 Selección de contratistas según entidades públicas chilenas

El Estado chileno busca generar el mayor grado de competitividad en sus procesos de contratación, por lo que establece como principales mecanismos de contratación las licitaciones públicas y privadas, Art 9 y 10 del DS N°250, Reglamento Ley 19.886. Se define la licitación como un procedimiento administrativo de carácter concursal mediante el cual la entidad licitante realiza un llamado público o invita a determinados contratistas según sea el caso, para que sujetándose a las bases fijadas, formulen propuestas, de entre las cuales seleccionará y aceptará la más conveniente. La *licitación pública* se caracteriza por generar una competencia total, mientras que en la *licitación privada* sólo compiten los que han sido invitados por la entidad licitante, cuyo mínimo está definido por Ley. Por consiguiente ambas se diferencian en el grado de competencia con que se realiza el concurso.

Los Procesos de adjudicación de proyectos públicos se realizan por la plataforma electrónica “Mercado Público” de la Dirección de Compras Públicas que es dependiente del Ministerio de Hacienda. Como requisito fundamental para poder contratar con los organismos del estado, todo contratista deberá estar inscrito en el Registro de Chileproveedores, cuyo fin es verificar la existencia de alguna causal de inhabilidad para contratar.

A continuación, se hace una revisión de las actuales prácticas de selección de contratistas de proyectos de infraestructura vial que llevan a cabo entidades públicas chilenas.

2.3.1 Dirección de Vialidad

La Dirección de Vialidad pertenece al MOP, tiene como objetivo dotar a la ciudadanía de infraestructura vial con estándares de calidad y eficiencia, mejorando la conectividad interna del territorio chileno, mediante la gestión de proyectos que involucran licitaciones de estudios, construcciones, mejoramientos, conservaciones, entre otros. Estas licitaciones se rigen por el Reglamento para Contratos de Obras Públicas, DS N°75 que establece un “Registro de Contratistas – Categorías y Especialidades” para participar en los procesos licitatorio. Además, de las bases de licitación establecidas por la entidad.

Registro General de Contratistas: Este registro no forma parte propiamente tal del proceso de licitación de un proyecto, pero es obligatoria para todo contratista que quiera participar y adjudicar un contrato, debiéndose encontrar con su inscripción vigente en el registro y en la categoría que corresponda. La tabla 2.1 muestra la clasificación del registro, la subdivisión en especialidades y categorías.

Tabla 2.1 Registro General de Contratistas

REGISTRO	OBRAS MAYORES		OBRAS MENORES
Especialidad	Montaje	Obras Civiles	Especialidades
Cantidad de especialidades	3	20	22
Cantidad de categorías	3 y 4		3

Cabe mencionar que para pertenecer al registro se considera la capacidad económica, experiencia y personal profesional del contratista. También existe equivalencia del registro de Obras mayores al de Obras Menores.

Oferta técnica: Es la primera oferta en ser revisada por la comisión evaluadora para verificar la correcta presentación y cumplimiento de los requisitos técnicos exigidos en el proyecto. En caso de no incluir o cumplir alguno de los documentos requeridos, se devuelve sin abrir el sobre de la oferta económica y el contratista automáticamente queda descartado del proceso licitatorio. Existen requisitos mínimos que deben ser presentados y que se encuentran establecidos en el Artículo 76 del DS MOP N°75 como es la Nómina de la totalidad de las obras ya iniciadas o por iniciarse, Declaración de revisión de antecedentes, Visita a terreno y conformidad, Programa de trabajo, Análisis de precios unitarios, Programa mensual de inversiones o necesidades de fondos para el normal desarrollo de la obra, entre otros requisitos que podrán ser establecidos según bases administrativas del proyecto. Además, la comisión evaluadora verificará el estricto cumplimiento de la capacidad económica mínima disponible, de acuerdo a lo establecido en el Artículo 73 del DS MOP N°75. **Cabe destacar que la normativa que regula el proceso no especifica qué aspectos deben ser evaluados obligatoriamente**, dando libertad a las bases si se evalúa o no y de qué forma.

Oferta económica: Se revisa solo si el contratista fue aprobado técnicamente por la comisión evaluadora, tiene como objetivo seleccionar la oferta económica más conveniente. El análisis se divide en dos etapas, la primera corresponde a la pre-selección de la oferta económica de menor valor. En el caso de que el contrato sea a precio unitario se puede realizar con o sin análisis de variaciones eventuales de cantidad de obras. La segunda etapa corresponde a la validación aritmética de la oferta pre-seleccionada para determinar si existen errores en los productos de las cantidades de obra por los precios unitarios ofrecidos, o en la suma de los productos señalados. Si la oferta pre-seleccionada no presenta errores se procederá a adjudicar la licitación a esta oferta. En caso contrario, los errores serán corregidos y se verificará el valor final de la oferta. Si se obtiene un valor corregido menor al presentado originalmente, prevalece el menor y se consulta al oferente si mantiene o no su oferta. De mantenerla se adjudica el contrato, de otro modo se retorna a la primera etapa. Si es mayor se vuelve al proceso de precalificación.

Calificación del contratista: La Dirección General de Obras Públicas (DGOP) mantiene una hoja de vida de cada contratista inscrito, en la que registra la calificación de la gestión realizada con relación a las obras ejecutadas, de tal manera de servir como antecedente al momento de adjudicar un contrato. El proceso de calificación se realiza una vez terminada la obra, evaluándose los siguientes aspectos: calidad de construcción (Ponderación A); cumplimiento de plazos (Ponderación B); cumplimiento de las bases administrativas (Ponderación C=0,1) y cumplimiento de normas de prevención de riesgos y accidentabilidad (Ponderación D=0,1). La nota tendrá una escala de 1 a 7 y se calculará considerando el promedio de A, B, C y D. Las ponderaciones de A y B dependen de las bases, pero ambas deben sumar 0,80. Además, A no debe ser inferior que 0,65. La nota obtenida puede ser apelable y es considerada para futuras sanciones o estímulos, como bajas o ascensos de categorías o suspensiones (Artículos 45, 46 y 179, DS MOP N°75). Esta evaluación la realiza el inspector técnico de la obra quien fiscaliza su desarrollo y recepción.

2.3.2 Ministerio de Vivienda y Urbanismo

El Servicio de Vivienda y Urbanismo es una institución que depende del MINVU, tiene como objetivo mejorar la calidad de vida de los habitantes chilenos a través de sus delegaciones regionales mediante la implementación de diferentes programas. Dentro de las labores más importantes que realiza, se encuentra la gestión proyectos de infraestructura vial que involucran licitaciones de estudios, construcciones, mejoramientos, conservaciones, entre otras. Las licitaciones se rigen según las bases generales reglamentarias de contratación de obras para los Servicios de Vivienda y Urbanismo, DS N°236 (V. y U.).

Registro Nacional de Contratistas (RENAC): Este registro se rige por el DS N°127 (V. y U.), no forma parte propiamente tal del proceso de licitación, pero es obligatoria para todo contratista que quiera participar y adjudicar un proyecto de infraestructura

vial. Este se encuentra compuesto por rubros que se descomponen en nuevos registros y estos a su vez en categorías que determinan a que proyecto puede postular el interesado. La categoría del contratista es determinada por dos aspectos, uno técnico y otro económico. El primero considera el o los títulos profesionales o técnicos de las personas naturales o jurídicas que postulan y la experiencia en metros cuadrados construidos en obras similares. El segundo considera el capital acreditado del contratista.

Oferta técnica: Es la primera oferta en ser revisada por la comisión evaluadora una vez que se cierra la etapa de recepción de las ofertas, se verifica la correcta presentación y cumplimiento de los requisitos técnicos exigidos en el proyecto. En caso de no incluir o cumplir alguno de los documentos requeridos, se devuelven sin abrir los sobres de ofertas económicas y el contratista automáticamente queda descartado del proceso licitatorio. Existen requisitos mínimos que deben ser presentados y que se encuentran establecidos en el Artículo 28 y 31 del DS N°236 (V. y U.) como es la Nómina de contratos de obras que esté ejecutando, Certificado de inscripción vigente Renac y acreditación de la capacidad económica disponible, Identificación completa del contratista, Declaración de revisión de antecedentes, visita a terreno, condiciones de abastecimiento y conformidad, Planificación general de la obra, Cronograma general y programación financiera, Lista de subcontratos y todo documento adicional que sea solicitado según las bases de licitación. En ciertos casos particulares, como es la licitación de proyectos de gran complejidad, la unidad licitante podrá determinar requisitos en las bases administrativas especiales tales como la calidad de insumos, los sistemas tecnológicos a implementar, entre otros, los que serán analizados por la comisión evaluadora quien otorgará un puntaje según criterios y ponderaciones establecidos en las bases de licitación. **Cabe destacar que la normativa que regula el proceso no especifica qué aspectos deben ser evaluados obligatoriamente.**

Oferta económica: Una vez que el contratista es aprobado técnicamente por la comisión evaluadora y en casos especiales con la evaluación técnica realizada. Se

revisa la oferta económica y el presupuesto detallado para realizar el cálculo de la oferta de menor valor dividida por la oferta en evaluación, el resultado es multiplicado por cien y el resultado es ponderado por el porcentaje del puntaje final asignado a esta evaluación.

Calificación del contratista: La entidad contratante a través de la comisión receptora que se designe, calificará al contratista durante la ejecución y recepción de la obra, según lo establecido en el Título VII de las calificaciones del DS N°127 (V. y U.) y en las respectivas bases de licitación. La calificación considera aspectos técnicos, administrativos y cumplimientos contractuales. Según la calificación que obtenga el contratista incidirá en mantener, subir o bajar de categoría en el registro, como de ser suspendido o destituido del mismo.

Adjudicación: Las ofertas de los contratistas que cumplen con todas las exigencias establecidas en las bases de licitación, son evaluadas con un puntaje entre 1 y 100, siendo el puntaje más alto el más conveniente para la entidad licitante. El puntaje es otorgado por la comisión evaluadora a la oferta económica y en casos especiales a la oferta técnica, según el o los criterios y ponderaciones establecidos en las bases de licitación. Se ordenan de mayor a menor las ofertas evaluadas, siendo adjudicado el proyecto al contratista que presente la propuesta evaluada con el mayor puntaje.

2.3.3 Municipalidades

La administración local de cada comuna o agrupación de comunas que determine la ley reside en una municipalidad, cuya finalidad es satisfacer las necesidades de la comunidad local y asegurar su participación en el progreso económico, social y cultural de las respectivas comunas. Las municipalidades realizan licitaciones de diversos proyectos, dentro de los cuales se destacan los proyectos de infraestructura vial urbana, cuyos procesos licitatorios se rigen por el DS N°250, Reglamento Ley 19.886 y por lo establecido en las bases de licitación.

Oferta técnica: Una vez que se cierra la etapa de recepción de las ofertas, la comisión evaluadora procede a la revisión de las ofertas que podrá ser en una o dos etapas según lo que se establecido en las bases de licitación; si es en una etapa, las ofertas técnicas y económicas serán revisadas de manera simultánea; si es en dos etapas, primeramente se revisará la oferta técnica para verificar la correcta presentación y cumplimiento de los requisitos técnicos exigidos en el proyecto. En caso de no incluir o cumplir alguno de los documentos requeridos, se devuelven sin abrir los sobres de propuestas económicas y el contratista automáticamente queda descartado del proceso licitatorio. La idoneidad técnica y económica será acreditada de acuerdo a los antecedentes disponibles en el registro de Chileproveedores. Existen requisitos mínimos que deben ser presentados como es la acreditación de la calidad de los bienes y/o servicios ofrecidos, garantías, certificaciones, entre otros. La entidad licitante deberá considerar uno o más aspectos a evaluar, dado que **la normativa no determina que aspectos deben ser evaluados obligatoriamente**, dando libertad a los mandantes para establecer en las bases específicas de los proyectos, que evaluar y de qué forma.

Oferta económica: Se procede a la revisión según las etapas establecidas en las bases de licitación; si es en una etapa, se revisa de manera simultánea con la oferta técnica; si es en dos etapas, se revisa una vez que el contratista es aprobado y evaluado técnicamente por la comisión evaluadora. El análisis económico se realiza en base al presupuesto entregado por el contratista. La entidad licitante deberá considerar uno o más aspectos a evaluar.

Adjudicación: Una vez que las ofertas de los contratistas cumplen con todas las exigencias, estas son evaluadas considerando los criterios de evaluación con sus correspondientes puntajes y ponderaciones establecidos por la entidad licitante en las bases de licitación. El puntaje otorgado por la comisión evaluadora a las ofertas es ordenado de mayor a menor, siendo adjudicado el contratista con la propuesta evaluada de mayor puntaje.

2.4 Métodos de decisión multicriterios

“Los métodos de decisión multicriterio son un enfoque de apoyo en la evaluación y decisión operativa para hacer frente a problemas complejos que ofrecen una alta incertidumbre, objetivos contradictorios, diferentes formas de datos e información, intereses múltiples y perspectivas, evolución de sistemas complejos” Mayor et al. (2016).

La selección de empresas contratistas en procesos de licitación de proyectos de infraestructura vial es compleja, debido a la gran cantidad de variables que pueden intervenir en la toma de decisión. La problemática se genera al momento de tener que definir qué y cuantos criterios se utilizarán para evaluar, el peso que tendrá un criterio sobre el otro, a esto se suma los distintos puntos de vista de los decisores (en caso de haber más de uno). Es por ello que se hace necesario usar métodos más sofisticados como los métodos de decisión multicriterios.

“Las Técnicas de Decisión Multicriterio (MCDM) se han ido transformando en herramientas importantes en la actualidad, especialmente en la alta gerencia de las organizaciones, asesores y consultores técnicos para empresas privadas y gubernamentales. Su fin ha ido trascendiendo en la medida en que los requerimientos van siendo cada vez más complejos, ya que su naturaleza permite, con base en criterios diversos, poder establecer patrones de comparación y, de manera metodológica, científica y tecnológica, llegar a una decisión consensuada para la mejor alternativa” Contreras et al. (2010).

La tabla 2.2 muestra una descripción general de los métodos multicriterios existentes basados en la teoría de valor. El planteamiento de la metodología MIVES combina dos de estos métodos, uno es el *Proceso analítico jerárquico* y el otro es la *Teoría de la utilidad multiatributo*.

Tabla 2.2 Métodos multicriterio basados en la teoría del valor

Clasificación	Abreviatura	Método
Métodos basados en la teoría del valor	AHP	Proceso analítico jerárquico
	ANP	Proceso de red analítica
	COPRAS	Evaluación compleja proporcional
	FSs	Conjuntos difusos
	TOPSIS	Técnica para el orden de preferencia por similitud a solución real
	VIKOR	Optimización multidisciplinar y solución de compromiso
	UTA	Utilidades aditivas
	MCS	Simulación Monte Carlo
	UT	Teoría de la utilidad
	GST	Teoría del sistema Gris
	MAUT	Teoría de la utilidad multiatributo
	MAVT	Teoría del valor multiatributo

Fuente: Mayor et al. (2016).

Proceso analítico jerárquico

El Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP) fue desarrollado en la década del 70 por el matemático Thomas L. Saaty, para resolver un problema referente a un tratado de reducción de armamento estratégico entre los Estados Unidos y la antigua URSS. Siendo aplicado actualmente en casi todos los ámbitos donde es necesario tomar una decisión de cierta complejidad.

Berumen & Llamazares (2007) mencionan que “el AHP es un lógico y estructurado método de trabajo que optimiza la toma de decisiones complejas cuando existen múltiples criterios o atributos, mediante la descomposición del problema en una estructura jerárquica”.

Es un método basado en la evaluación de diferentes criterios que permiten jerarquizar un proceso para optimizar la toma de decisión. La ilustración 2.2 muestra su planteamiento mediante una estructura jerárquica simple que se compone de 3 niveles. En el primer nivel (superior) se encuentra el objetivo con respecto al cual se toma la decisión final. En el segundo nivel (intermedio) se agrupan los aspectos más críticos del problema llamados criterios de evaluación. Y en el tercer nivel se establecen las alternativas que serán evaluadas.

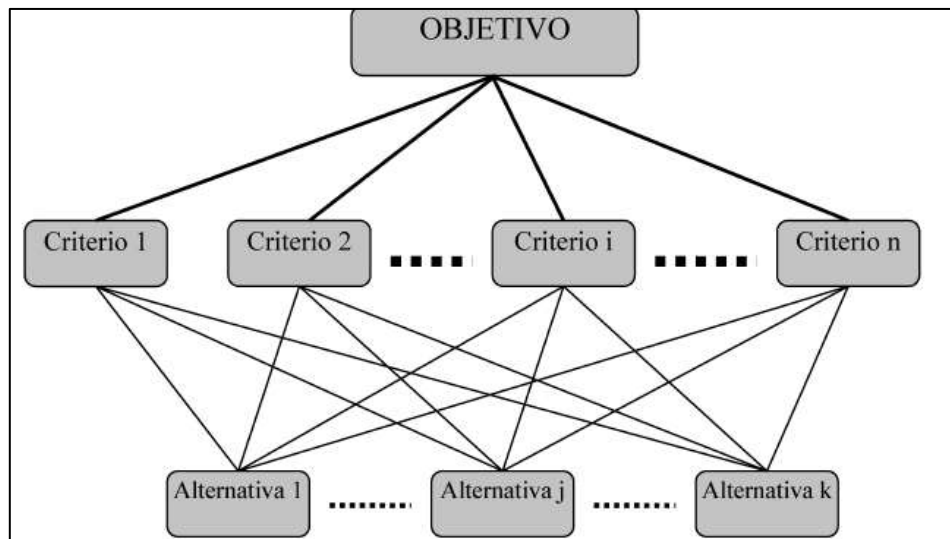


Ilustración 2.2 Modelo jerárquico para la toma de decisiones con el AHP

Fuente: Martínez, 2007

Una vez definida la estructuración jerárquica del problema de toma de decisión, se da paso a la valoración de cada uno de los criterios establecidos, esta asignación consiste en realizar una matriz de comparación de los elementos de un mismo nivel jerárquico

con la finalidad de emitir juicios de valor con respecto a la importancia relativa de un aspecto sobre otro.

Teoría de utilidad multiatributo

La teoría de utilidad multiatributo conocida como MAUT, fue desarrollada por Von Neumann y Morgenstern en 1944. Posteriormente se extendió a problemas multicriterio por Keeney y Raiffa en 1976. Esta teoría consiste en expresar las preferencias del decisor en términos de la utilidad que le reporta. Partiendo del supuesto de que el decisor busca maximizar una función de utilidad que agrega los distintos criterios que intervienen en el problema.

El planteamiento se basa en encontrar una función que asocia un número real a cada alternativa para representar la utilidad o valor que tiene cada una de ellas para el decisor en función de la cuantificación de sus indicadores.

Estas funciones se pueden denominar de dos formas, todo va a depender de la certeza que se tenga en las cuantificaciones de las alternativas y la satisfacción que esta produzca.

- i. Función de valor: Se denomina así cuando se tiene certeza de la cuantificación de cada indicador y la satisfacción que esta produce.
- ii. Función de utilidad: Se denomina así cuando el decisor no conoce la satisfacción que puede producir cierta cuantificación del indicador. Y para ello se asignan probabilidades a las distintas posibilidades que resulten de cada cuantificación.

3. CAPÍTULO III - METODOLOGÍA MIVES

3.1 Introducción

MIVES es el acrónimo de ***Modelo Integrado de Valor para Evaluación Sostenible***. Es una metodología de soporte a la toma de decisión multicriterio, la cual permite evaluar y comparar variables de diferente índole como aspectos Medioambientales, Económicos y Sociales, siendo estos los tres pilares fundamentales de la sostenibilidad y por consiguiente las palabras *Evaluación Sostenible* en su nombre. Esta característica ha permitido su aplicación a otras áreas diferentes a la sostenibilidad.

El grupo MIVES creado en el año de 2002, desarrolló esta metodología a través de un proyecto de investigación llamado *Modelo Integrado de cuantificación del Valor de un proyecto constructivo orientado a la Evaluación de su Sostenibilidad. Aplicación a la edificación Industrial* del Ministerio de Ciencia y Tecnología Español y liderado por la Universidad Politécnica de Cataluña, la Universidad del País Vasco y la Institución Labein-Tecnalia.

Posteriormente, se desarrolló una herramienta informática de uso libre llamada *Aplicación MIVES*, disponible en la página web (<https://deca.upc.edu/es/proyectos/mives>) de la Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Se han publicado tres versiones de acceso libre, la Versión 1.2.2 de Enero 2013, la Versión 2.0 de Febrero 2014 y la versión 2.1.1 de Octubre del 2016. Cada una de estas contiene 3 módulos que permiten separar las funciones definidas por el modelo, con el objetivo de asignar cada función a un rol determinado. Los tres roles son programador, usuario y reporte.

“La ventaja de esta metodología de valor ha sido puesta de manifiesto en otros países (Estados Unidos de Norteamérica, Reino Unido, Australia, Hong Kong, Japón). Por

ejemplo, el Ministerio de Defensa de los EEUU establece la obligatoriedad de realizar un estudio de ingeniería de valor a sus proyectos” (Villegas, 2009).

3.2 Planteamiento

El planteamiento MIVES está compuesto por una serie de fases ordenadas cronológicamente de la siguiente manera:

- I. Delimitación de la decisión: Se define quien toma la decisión, se fijan los límites del sistema y se establecen las condiciones de entorno.
- II. Creación del árbol de toma de decisiones: Es una estructura en forma ramificada compuesta por tres niveles en donde se establecen aspectos desde lo más general a lo más específico.
- III. Creación de la función de valor: Para cada uno de los aspectos más específicos del árbol de toma de decisiones, se determina una función que permite obtener un índice de valor comprendido entre 0 y 1.
- IV. Asignación de pesos: Se asignan pesos a los aspectos definidos en el árbol de toma de decisiones según la importancia de cada uno.
- V. Definición de las alternativas: Se definen las alternativas factibles para solucionar el problema de toma de decisión planteado.
- VI. Valoración de las alternativas: Se evalúa mediante un índice de valor cada una de las alternativas planteadas como solución al problema de toma de decisión.

- VII. Realización de un análisis de sensibilidad (opcional): Se analiza un posible cambio del índice de valor de cada una de las alternativas, en el caso de que varíen los pesos o las funciones de valor definidas en las primeras fases.

- VIII. Realización de un contraste de resultados (opcional): Se verifica a largo plazo si el modelo de valoración con el pasar del tiempo se ajusta a lo que se quería lograr inicialmente y si los cuantificadores de los indicadores representan de forma fiel las preferencias del decisor. Esta fase puede considerarse como una fase de control, del modelo de valoración y de las alternativas.

A continuación, se presenta la Ilustración 3.1 que resume el algoritmo base de la metodología MIVES. En primer lugar señala la definición del problema que se abordará según la delimitación de la decisión. Luego, muestra el modelo de evaluación donde están establecidos los requerimientos, criterios e indicadores de acuerdo a tipología y condiciones del proyecto. A partir de ahí, se asignan los pesos de cada aspecto definidos a través de “Analytical Hierarchy Process” de Saaty en 1980. Posteriormente, se indican las alternativas cuyo número dependerá del problema definido.

En la evaluación de cada alternativa se lleva a cabo la asignación de un índice de valor según los requerimientos, criterios e indicadores. Por último, la toma de decisión se realiza en base a la alternativa más valorada.

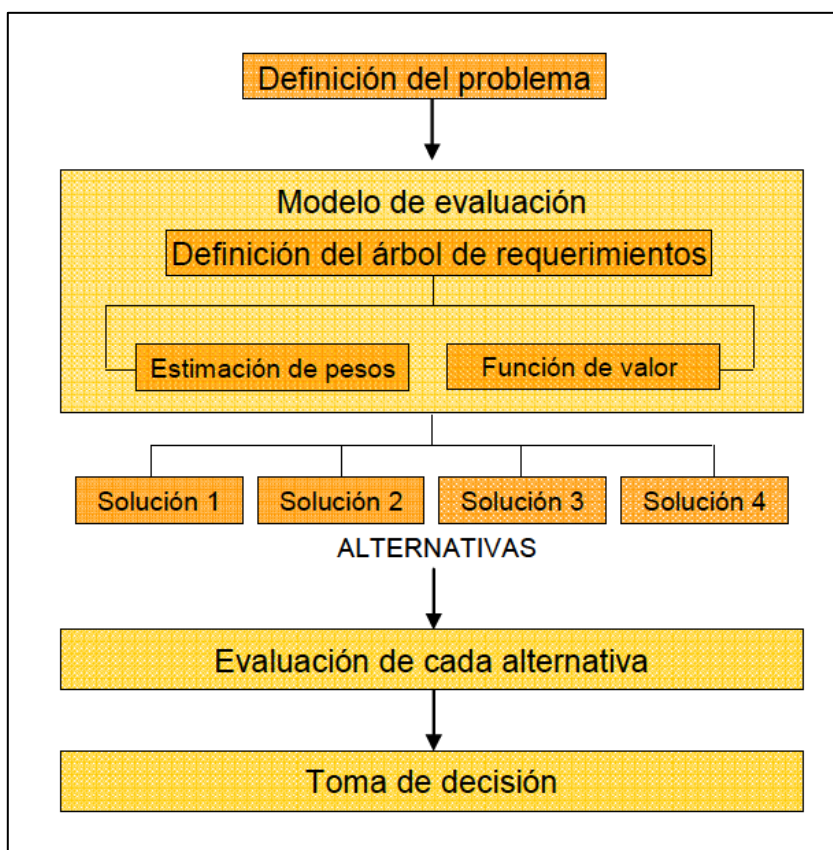


Ilustración 3.1 Algoritmo Metodología MIVES

Fuente: Villegas, 2009

3.2.1 Delimitación de la toma de decisión

Como primera fase de la metodología MIVES, se estructura y delimita la toma de decisión.

3.2.1.1 Quien toma la decisión

En la toma de decisión pueden intervenir diferentes actores con distintos puntos de vista, por consiguiente, puede suceder que no exista una alternativa óptima para cada uno de los aspectos considerados. Al respecto, es conveniente atender la postura de actores que intervienen de manera indirecta en la toma de decisión, así evitar futuros conflictos.

3.2.1.2 Límites del sistema

La toma de decisión se estructura en un sistema de ejes tridimensionales, “la ventaja de éste planteamiento metodológico es que se tiene el enfoque general del problema a partir del planteamiento de los tres ejes, así como, la perspectiva en cada eje, lo que supone los distintos puntos de vista en la toma de decisión” (Villegas, 2009).

- i. **Eje de Ciclo de vida:** Está compuesto por las distintas etapas del ciclo de vida y se pueden descomponer en diferentes fases del proceso del proyecto. Estas fases temporales pueden ser la concepción, materialización, uso, finalización, entre otros.
- ii. **Eje de Componentes:** Corresponde a las partes que componen las diferentes alternativas. En el caso de una carretera, por ejemplo, se podría desglosar en elementos como capas asfálticas, señalización, etc.

- iii. **Eje de Requerimientos:** Corresponde a todos aquellos requerimientos o aspectos generales en los que se quieren valorar las diferentes alternativas. Estos aspectos pueden ser cualquiera que el decisor defina, tales como, aspectos funcionales, técnicos, administrativos, sostenibles, etc.

La Ilustración 3.2 muestra los tres ejes propuestos por la metodología. La toma de decisión es representada por el cubo más grande, el cual está fragmentado en cubos más pequeños cuyas proyecciones representan a qué componente y fase del ciclo de vida pertenece el elemento y para que requerimiento será evaluado.

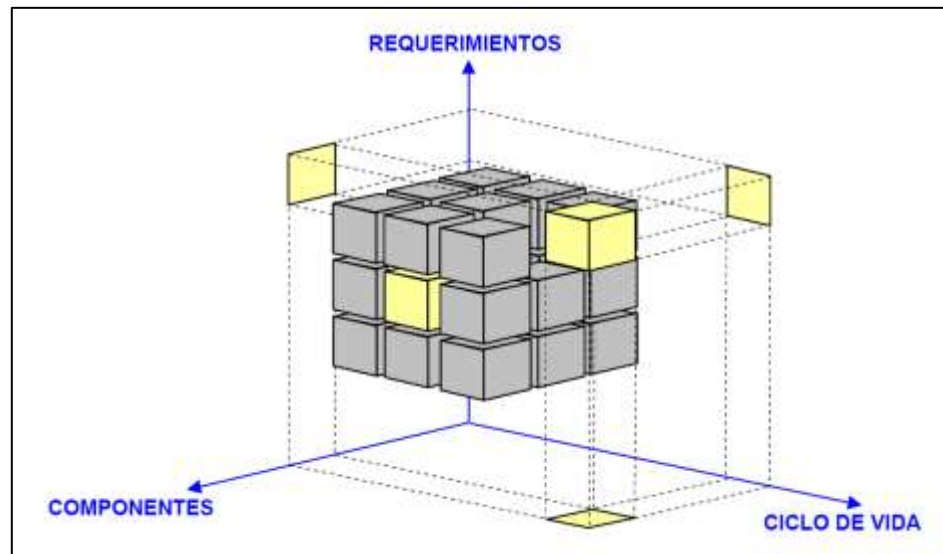


Ilustración 3.2 Estructura general de la toma de decisión

Fuente: Manual MIVES, 2009

3.2.1.3 Condiciones de entorno

La metodología plantea la consideración de factores externos que pueden influir en la toma de decisión, dichos factores pueden ser geográficos, climatológicos, tipo de sociedad, etc. Esto con el propósito de obtener valoraciones de alternativas comparables y homogéneas, al igualar las condiciones de entorno. Estas condicionantes se agrupan en una lista de chequeo en donde se verifica si se cumple con cada uno de

los requerimientos establecidos. En el caso de incumplir con algún punto señalado en la lista, la oferta del contratista no será valorada.

3.2.2 Creación del árbol de toma de decisión

La toma de decisión se ordena en forma ramificada, donde se establecen los *Requerimientos, criterios e indicadores*. Estos se estructuran en “Niveles” desde lo más general a lo más concreto, donde a continuación se especifican.

- i. **Nivel I:** Es el primer nivel del árbol, está compuesto por los *Requerimientos*, que son los aspectos más generales que conforman la decisión y está relacionado con el eje de requerimientos mencionado anteriormente. “En general, se recomienda no incorporar demasiados aspectos en un solo nivel y en un mismo grupo homogéneo ya que puede diluir el resultado de los más importantes” (Villegas, 2009).
- ii. **Nivel II:** Este nivel está compuesto por *Criterios y sub-criterios*, que articulan los requerimientos en aspectos más específicos.
- iii. **Nivel III:** Es el último nivel del árbol compuesto por los *Indicadores*, que son los aspectos más concretos y que van a ser evaluados directamente. El Manual MIVES (2009) señala que cada indicador debe tener algunas características principales como es el ser representativo, discriminante, complementario, relativo, cuantificable, preciso y trazable.

La Ilustración 3.3 enseña la estructura ramificada de la toma de decisión con su respectivo nivel de jerarquía.

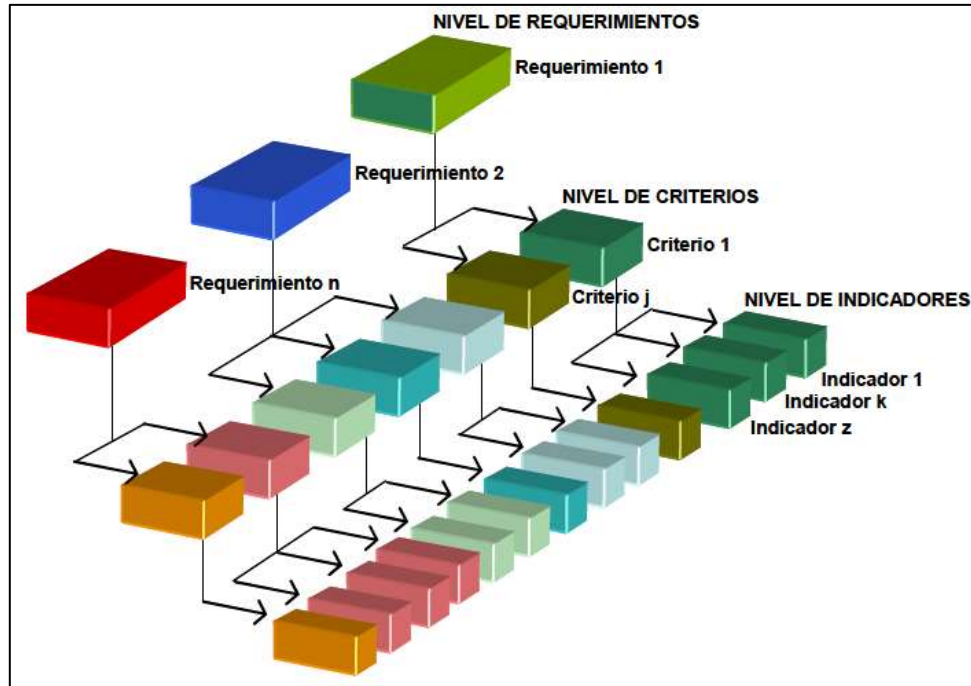


Ilustración 3.3 Despliegue de requerimientos en criterios e indicadores

Fuente: Villegas, 2009

“Dependiendo del grado de precisión, la ramificación del árbol de toma de decisión puede ser más extensa, o muy simple, con un solo nivel. No se aconseja realizar más de 3 ó 4 ramificaciones y que el número de indicadores sea superior a 20 ya que las valoraciones de los indicadores poco importantes, pueden diluir los resultados de los indicadores realmente importantes” (*Manual MIVES, 2009*).

3.2.3 Funciones de valor

La función de valor tiene como objetivo poder comparar las cuantificaciones de los indicadores con unidades de medida diferentes, por ejemplo, variables de tipo

tiempo, costo, experiencia, etc. Mediante la transformación de las diferentes unidades físicas a valores adimensionales comparables.

En Manual MIVES (2009), se describen los pasos para crear la función de valor de cada indicador:

- i. Se define matemáticamente la función de valor
- ii. Se determinan los puntos de mínima y máxima satisfacción.
- iii. Se define la forma de la función.
- iv. Se define la tendencia de la función.

3.2.3.1 Expresión matemática de la función de valor

La función de valor se define mediante parámetros que, al variarlos, permite obtener todo tipo de formas: forma de S, cóncavas, convexas, o lineales. Esta función viene genéricamente dada por las ecuaciones (3.1 y 3.2).

$$V_{ind} = B \cdot \left[1 - e^{-K_i \cdot \left(\frac{|X - X_{min}|}{C_i} \right)^{B_i}} \right] \quad (3.1)$$

$$B = \left[1 - e^{-K_i \cdot \left(\frac{|X_{max} - X_{min}|}{C_i} \right)^{B_i}} \right]^{-1} \quad (3.2)$$

En donde:

- K_i = Se aproxima a la ordenada del punto de inflexión
- C_i = Se aproxima a la abscisa del punto de inflexión

- $X_{m\acute{a}x}$ = Es la abscisa del indicador que genera un valor igual a 1 (en el caso de funciones de valor crecientes).
- X_{min} = Es el valor en abscisas, cuya valoración es igual a cero (en el caso de funciones de valor crecientes).
- X = Es la abscisa del indicador evaluado (variable de cada alternativa)
- P_i = Es un factor de forma que define si la curva es cóncava, convexa, recta o con forma de “S”.
- B = Es el factor que permite que la función se mantenga en el rango de valor de 0 a 1.

Se presenta la tabla 3.1, que muestran los valores típicos de los parámetros que definen la forma de la función de valor.

Tabla 3.1 Parámetros de la función de valor

Forma	P_i	K_i
Cóncava	< 0.75	> 0.9
Convexa	> 2	< 0.1
Lineal	1	0
S suave	$2 < P_i < 4$	$0.1 < K_i < 0.2$
S fuerte	$4 < P_i < 10$	$0.1 < K_i < 0.2$

Fuente: Manual MIVES, 2009

Esta función se presenta en una gráfica de dos ejes. El eje de la ordenada “y” es el valor de satisfacción que existe en el indicador, mientras que el eje de la abscisa “x”, es el cuantificador del indicador. Los valores de la ordenada estarán comprendidos entre 0 (valoración nula) y 1 (valoración máxima), mientras que los valores de la abscisa dependerán del tipo de indicador y la forma en la que se estén midiendo, ya sea por medio de puntuaciones o debido a que los valores sean concretos.

3.2.3.2 Valoraciones y límites de la función de valor

Para obtener una función de valor representativa de cada indicador, se determinan puntos de valoración máximos y mínimos ($X_{máx}$ y $X_{mín}$), los cuales se basan en la normativa vigente, experiencia del decisor, comparando alternativas u otras. La función podrá tener una tendencia creciente o decreciente (Ilustración 3.4 y 3.5). Además, se pueden establecer puntos límites ($L_{máx}$ y $L_{mín}$), según los rangos de validez de las variables a ingresar en la gráfica.

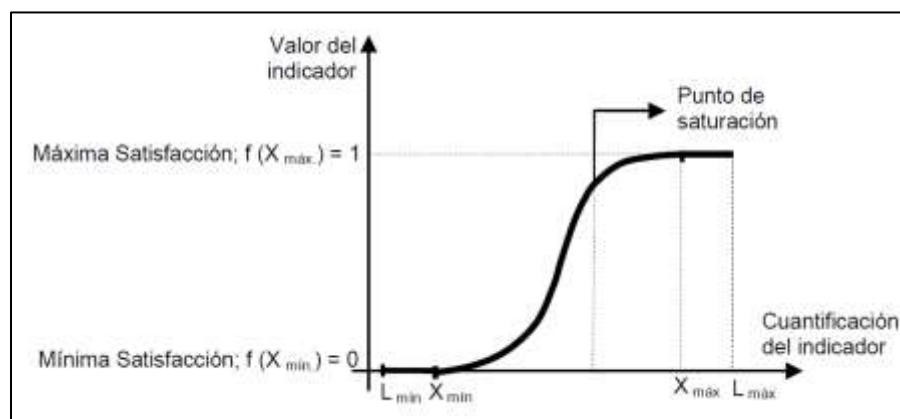


Ilustración 3.4 Función de valor tipo "S" creciente

Fuente: Manual MIVES, 2009

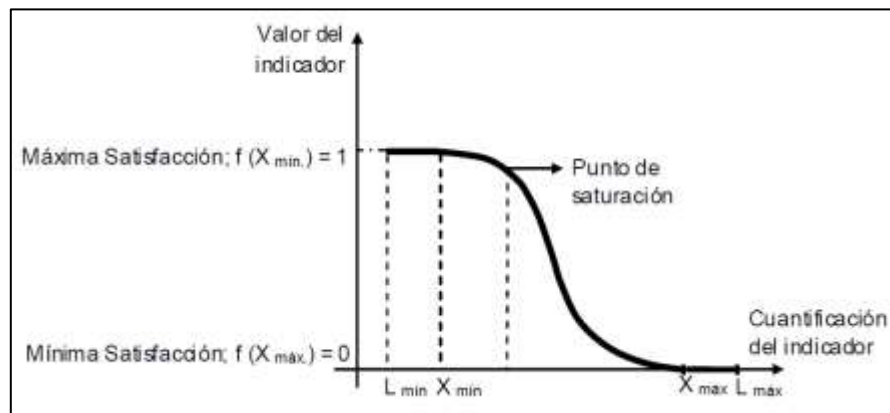


Ilustración 3.5 Función de valor tipo "S" decreciente

Fuente: Manual MIVES, 2009

3.2.3.3 Tendencia y forma de la función de valor

La tendencia de la función de valor es definida por el grado de satisfacción del mandante, la cual podrá ser creciente o decreciente. Se determina al analizar cómo cambian las preferencias del decisor a medida que aumenta o disminuye la variable a evaluar.

- Tendencia creciente: Se produce cuando al aumentar los valores de la variable, el grado de satisfacción del mandante aumenta.
- Tendencia decreciente: Se produce cuando al aumentar los valores de la variable, el grado de satisfacción del mandante disminuye.

La forma de la función de valor para indicadores puede ser lineal, en forma de “S”, Cóncava o Convexa, tal como se muestra en la Ilustración 3.6.

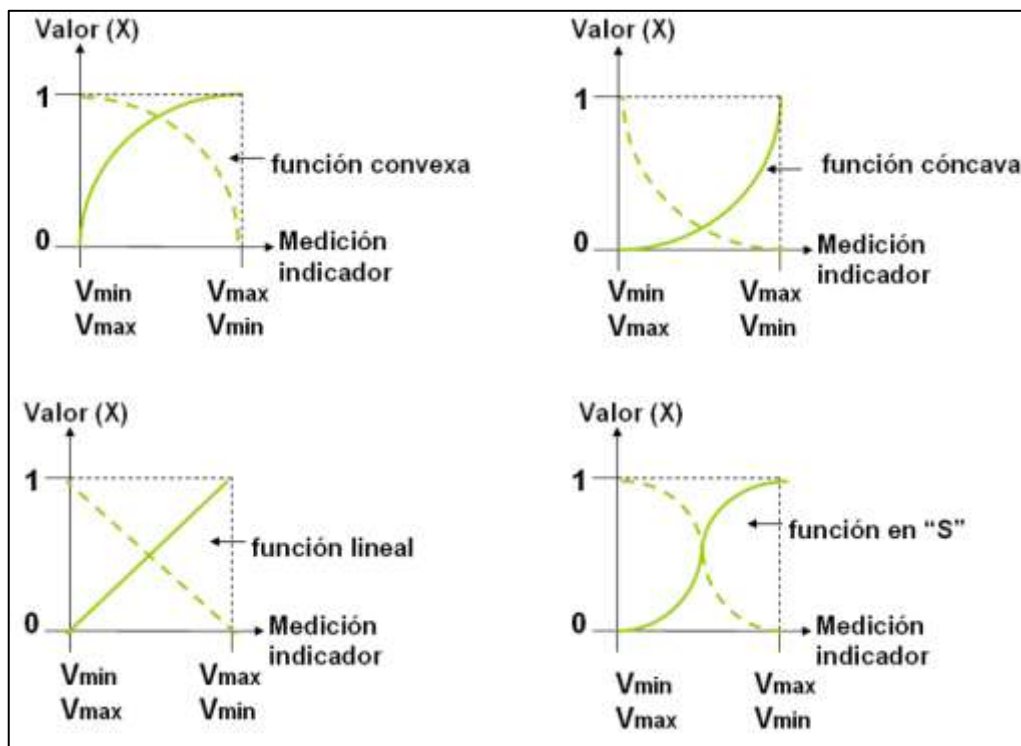


Ilustración 3.6 Formas de las funciones de valor

Fuente: Oses, 2017

Para los indicadores de tipo cualitativo se plantea un sistema de normalización basado en el cumplimiento de objetivos. Tal como se muestra en la ilustración 3.7.

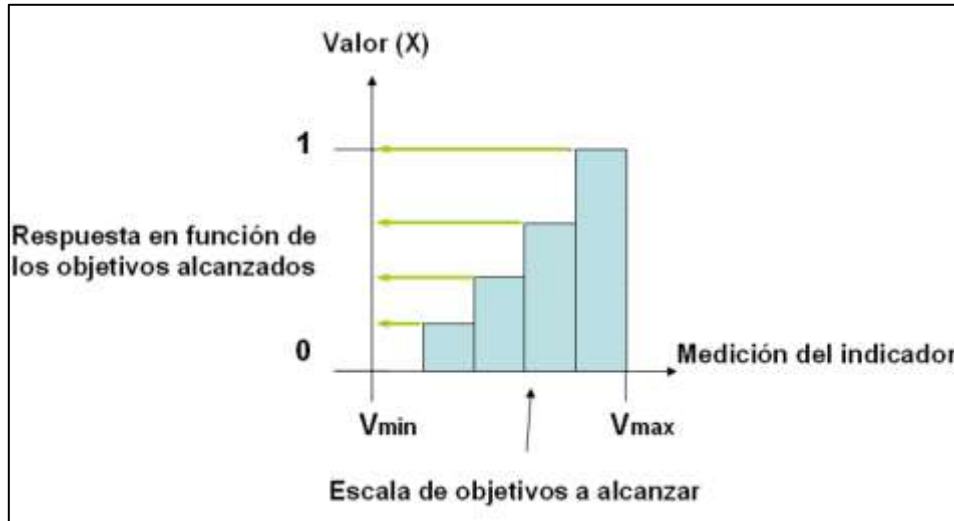


Ilustración 3.7 Respuesta de un indicador de carácter cualitativo

Fuente: Oses, 2017

3.2.4 Asignación de pesos

La asignación de pesos se realiza dentro de una misma ramificación, es decir, se comparan aspectos homogéneos. El peso de cada indicador se calcula en relación a otros pertenecientes a un mismo criterio. El peso de cada criterio se calcula en relación a otros pertenecientes a un mismo requerimiento. Y por último, el peso de cada requerimiento se calcula en relación a otros pertenecientes al mismo nivel. Este procedimiento se puede realizar de tres formas:

- **Puntuación directa:** Esta forma de asignar pesos se realiza cuando existen pocos elementos del grupo de comparación o si se tienen claros los pesos de cada uno ellos. Ejemplo, al asignar el porcentaje de importancia relativa a cada uno de los aspectos sin ningún cálculo previo.

- Método de las proporciones: Esta forma procede cuando existe un aspecto de referencia que es fácil de comparar con los restantes.
- Metodología AHP: Los pesos se asignan mediante el proceso analítico jerárquico (A.H.P.) de Saaty en 1976. Se basa en una comparación por pares de todos los elementos entre ellos.

La matriz de decisión se utiliza para definir las preferencias entre los diferentes elementos que se están comparando. El proceso se lleva a cabo a través de una comparación numérica por pares, indicando la importancia relativa de una variable respecto a la otra. Esta asignación se realiza mediante la tabla 3.2 elaborada por Saaty en 1980.

Tabla 3.2 Comparación por pares para el cálculo de la matriz de decisión

Significado ("i" respecto a "j")	Importancia relativa del elemento de la matriz	
	a_{ij}	a_{ji}
Absolutamente o extremadamente menos preferido	1/9	9
Mucho menos importante o preferido	1/7	7
Menos importante o preferido	1/5	5
Ligeramente menos importante o preferido	1/3	3
Igual importancia	1	1
Ligeramente más importante o preferido	3	1/3
Más importante o preferido	5	1/5
Mucho más importante o preferido	7	1/7
Absolutamente o extremadamente más preferido	9	1/9

Fuente: Villegas, 2009

En la tabla 3.3 se muestra la comparación de los indicadores de un mismo criterio, en donde se obtiene una matriz de comparación.

Tabla 3.3 Matriz de comparación “A”

Indicadores	A1	A2	A3	A4
A1	1	2	2	4
A2	1/2	1	...	...
A3	1/2	...	1	...
A4	1/4	...	...	1

Fuente: Pérez, 2018

La diagonal de la matriz de decisión tiene como único valor el 1, debido a que al comparar la importancia de un aspecto consigo mismo, claramente la importancia es la misma. Los demás valores de la matriz se establecen mediante la tabla 3.2 al comparar la importancia de un elemento por sobre el otro.

Una vez que está construida la matriz “A” con los valores de importancia que establece la tabla de Saaty en la comparación por pares. Se determina una nueva matriz “B” que se obtiene al sumar los valores de cada columna de la matriz y dividir cada elemento, entre la suma de la columna donde se encuentre, como se muestra en la siguiente fórmula:

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (3.3)$$

Donde:

- i. b_{ij} = Matriz B
- ii. a_{ij} = Valor de cada elemento
- iii. $\sum_{i=1}^n a_{ij}$ = Sumatoria de valores en cada columna de la matriz “A”

Luego al obtener la matriz “B”, se determina el grado de prioridad o peso del elemento, haciendo una suma de la fila y dividir el resultado entre el número de requerimientos, criterios o indicadores de la matriz. Este peso, se puede calcular utilizando la fórmula siguiente:

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij}}{n} \quad (3.4)$$

Donde:

- i. w_i = Peso o grado de prioridad del elemento
- ii. $\sum_{j=1}^n b_{ij}$ = Sumatoria de valores en cada fila de la matriz “B”
- iii. n = Número de elementos en la matriz

3.2.5 Consistencia de la matriz de decisión

La consistencia tiene como objetivo verificar la coherencia de los valores otorgados por el decisor a los elementos de la matriz. Oses (2017) indica que la consistencia se encuentra relacionada con dos conceptos, uno es la transitividad que respeta las relaciones de orden de los diferentes elementos, es decir, si $A > B$ y $B > C$ se debe mantener que $A > C$. Y el otro concepto es la proporcionalidad que pretende reflejar como se mantienen las proporciones entre los órdenes de magnitud de las preferencias planteadas. De esta forma, si A es 2 veces mayor que B y éste es 3 veces mayor que C, entonces se debe de cumplir que A es 6 veces mayor que C; así el juicio planteado, tendría una consistencia del 100%. La metodología permite un 10% de error, al considerar que al estudiar un gran número de elementos, es difícil obtener una proporcionalidad perfecta.

Para encontrar la relación de consistencia, primero se encuentra el vector máximo que se calcula (ecuación 3.5) multiplicando la sumatoria de cada columna de la matriz A, por el peso de cada elemento.

$$\lambda_{max} = \sum_{j=1}^n \left(\sum_{i=1}^n a_{ij} \right) * w_j \quad (3.5)$$

Donde:

- i. λ_{max} = Valor vector máximo
- ii. $\sum_{j=1}^n (\sum_{i=1}^n a_{ij})$ = Sumatoria de cada columna de la matriz “A”
- iii. w_j = Peso de cada elemento

Una vez obtenido el λ_{max} , se determina el índice de consistencia (C.I), el cual se encuentra definido por la ecuación 3.6:

$$C.I = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3.6)$$

Donde:

- i. C. I. = Índice de consistencia
- ii. λ_{max} = Valor vector máximo
- iii. n = Número de elementos en la matriz

La tabla 3.4 muestra valores para determinar el Índice de consistencia aleatoria (R.I), según el tamaño de la matriz.

Tabla 3.4 Índice de consistencia aleatorio (R.I)

n	RI	n	RI	n	RI
1	0	6	1,252	11	1,513
2	0	7	1,341	12	1,535
3	0,525	8	1,404	13	1,555
4	0,882	9	1,452	14	1,570
5	1,115	10	1,484	15	1,583

Fuente: Manual MIVES, 2009.

Por último, para verificar la consistencia de la matriz, se requiere encontrar la relación de consistencia (C.R.), la cual se determina según la ecuación 3.7.

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \leq 0.1 \quad (3.7)$$

Donde:

- i. C.R. = Relación de consistencia
- ii. C.I. = Índice de consistencia
- iii. R.I. = Índice de consistencia aleatoria

Los valores ingresados a la matriz serán consistentes si el resultado de la relación de consistencia (C.R.) da un valor menor a 0.1, en caso contrario, el decisor tendrá que cambiar los valores en la matriz y repetir los pasos hasta cumplir con dicha condición.

3.2.6 Valoración de las alternativas

Para valorar las diferentes alternativas, la ilustración 3.8 muestra como procede la evaluación. En primer lugar la variable a evaluar de la alternativa se ingresa en el gráfico de la función de valor a través del eje de la abscisa con su unidad correspondiente para ser transformada mediante la función a una unidad adimensional.

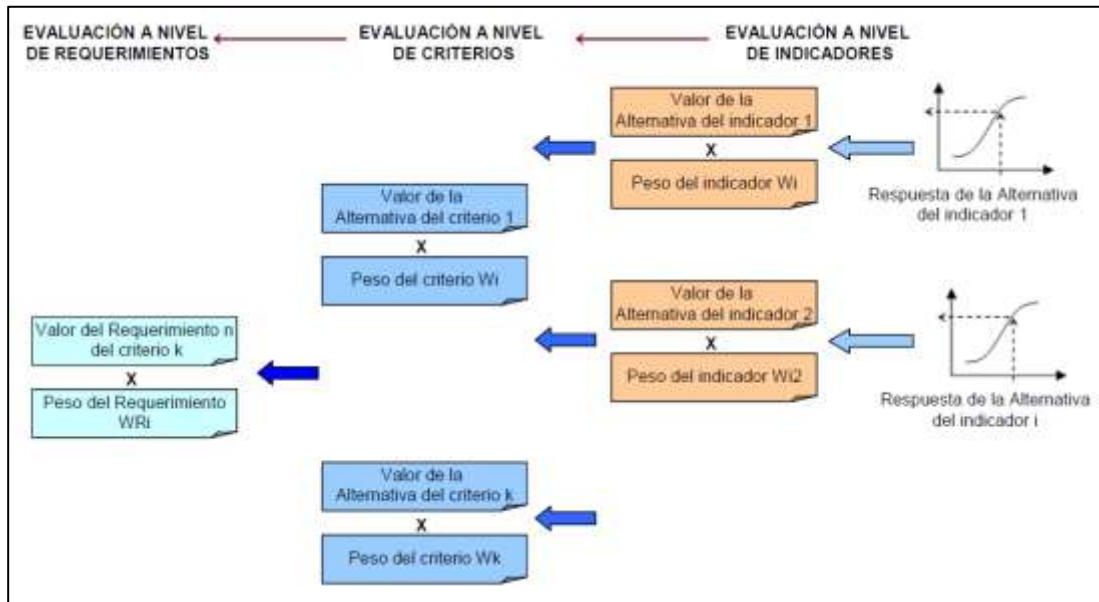


Ilustración 3.8 Evaluación de alternativas a nivel de Indicadores, Criterios y Requerimientos

Fuente: Villegas, 2009

Los únicos aspectos del árbol de toma de decisión en ser valorados directamente son los indicadores, los demás aspectos se expresan de la siguiente forma.

El valor de cada Criterio se expresa por la ecuación 3.8.

$$V_{\text{Criterio}} = \sum_{i=1}^n V_{\text{Indicador}} \times \text{Peso}_{\text{Indicador}} \quad (3.8)$$

Donde:

- i. V_{Criterio} = Valor criterio

- ii. $V_{Indicador} = \text{Valor indicador}$
- iii. $\sum_{i=1}^n = \text{Sumatoria de valor de indicadores de un mismo criterio}$

El valor de cada Requerimiento se expresa por la ecuación 3.9.

$$V_{Requerimiento} = \sum_{i=1}^n V_{Criterio} \times Peso_{Criterio} \quad (3.9)$$

Donde:

- i. $V_{Requerimiento} = \text{Valor requerimiento}$
- ii. $V_{Criterio} = \text{Valor criterio}$
- iii. $\sum_{i=1}^n = \text{Sumatoria de valor de criterios de un mismo requerimiento}$

Por último, el valor de cada Alternativa se expresa por la ecuación 3.10.

$$V_{Alternativa} = \sum_{i=1}^n V_{Requerimiento} \times Peso_{Requerimiento} \quad (3.10)$$

Donde:

- i. $V_{Alternativa} = \text{Valor alternativa}$
- ii. $V_{Criterio} = \text{Valor criterio}$
- iii. $\sum_{i=1}^n = \text{Sumatoria de valor de los requerimientos de la alternativa evaluada.}$

Una vez concluida la evaluación, se procede a la selección de la alternativa con valoración más próxima a 1, al ser la opción que satisface la mayor cantidad de requerimientos establecidos por el decisor.

4. CAPÍTULO IV - ÁRBOL DE TOMA DE DECISIÓN Y FUNCIÓN DE VALOR

4.1 Introducción

Este capítulo está enfocado en definir el árbol de toma de decisión y las funciones de valor de cada indicador para evaluar las ofertas de la licitación de un proyecto de pavimentación.

Basándose en la licitación pública, ID 3698-16-LR18, subida a la plataforma electrónica Mercado Público del Gobierno de Chile, se definen las características del proyecto a licitar como los antecedentes de cada una de las empresas contratistas. Se utiliza dicha licitación, debido a que la realiza la Ilustre Municipalidad de Los Vilos en este último periodo (año 2019), siendo adjudicada la empresa de siempre.

Se establece una lista de chequeo de las condicionantes mínimas que debe cumplir cada oferta presentada por el contratista y se estructura la toma de decisión.

4.2 Caracterización del problema

Para la aplicación de la metodología se ha definido un problema basado en una licitación de Mercado Público cuyo ID es 3698-16-LR18 de un proyecto de pavimentación de una calle de 433 metros de longitud y un ancho total de 20 metros. Considera una calzada en H.C.V. G-35 de 8 mts de ancho con un espesor de 0.15 mts, proyectada sobre una base estabilizada de 0.15 mts. Se contemplan soleras tipo A y la confección de aceras de hormigón corriente de 2.00 mts de ancho sobre base estabilizada. Además, la evacuación de aguas lluvias se realiza a través de la calle en forma gravitacional. Tal como se detalla en la ilustración 4.1.

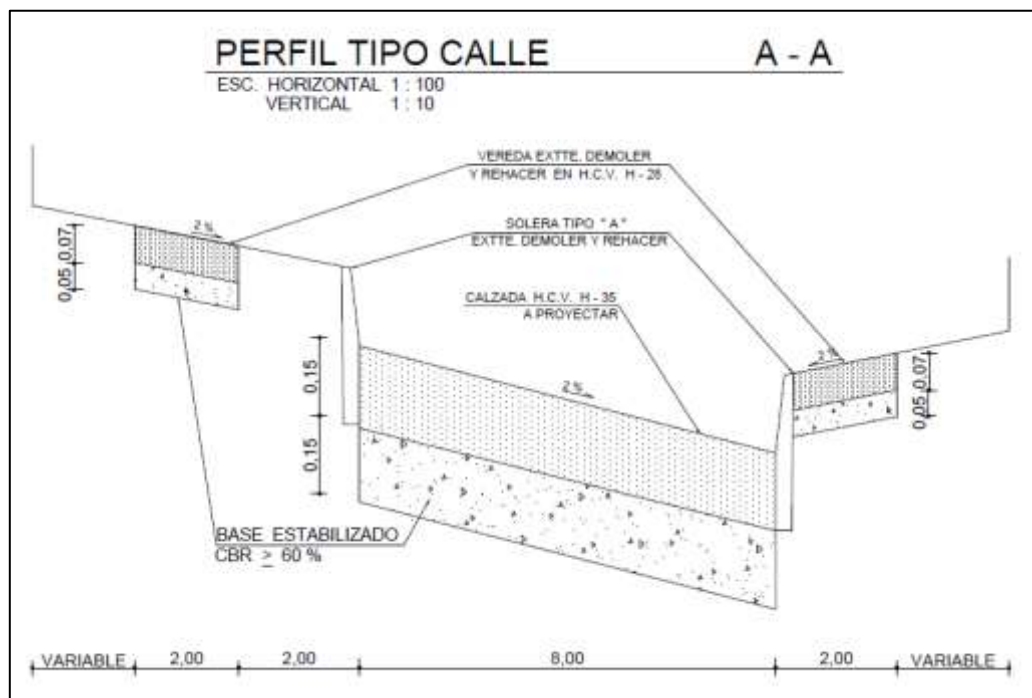


Ilustración 4.1 Perfil transversal de la calle a pavimentar

Fuente: ID 3698-16-LR18, Mercado Público

La propuesta de licitación es, a suma alzada y cuenta con un monto total disponible para la ejecución de las obras de \$318.362.000.- (Trecientos dieciocho millones

trecientos sesenta y dos mil pesos), IVA incluido. Además, el plazo máximo de ejecución de las obras se ha considerado en 240 días corridos según propuesta basada.

4.3 Alternativas de la propuesta

Para el proceso de licitación los contratistas interesados en la propuesta generan sus ofertas según lo establecido en las bases de licitación, planos, especificaciones técnicas, itemizado base y demás documentos integrantes del proyecto.

En el caso de las licitaciones de instituciones públicas, es requisito fundamental estar inscrito en el registro oficial de Chileproveedores y encontrarse hábiles para contratar.

Se define una cantidad de cuatro ofertas de empresas contratistas basadas en la licitación de Mercado Público de ID 3698-16-LR18, como alternativas para adjudicar la propuesta. Cada oferta contiene documentos técnicos y económicos, que caracterizan tanto la oferta como a la empresa.

4.3.1 Empresa I

Documentos técnicos

- La cantidad de obras similares ejecutadas es de 14 en total.
- Superficie total construida 50.268 m².
- Está inscrito en la 1° categoría del registro B-1 Obras Civiles, RENAC MINVU.
- Se encuentra calificado con un promedio anual 96,79 puntos, RENAC MINVU.

Documentos económicos

- Presenta como oferta un plazo de ejecución del proyecto de 120 días corridos.
- Se observaron 3 antecedentes solicitados (no subsana observaciones).
- Presenta como oferta un presupuesto de ejecución de \$290.642.168 pesos.
- El monto en proyectos ejecutados asciende a un total de \$5.272.813.047 pesos.
- Tiene una capacidad económica de \$1.050.969.346 de pesos.

4.3.2 Empresa II

Documentos técnicos

- La cantidad de obras similares ejecutadas es de 6 en total.
- Superficie total construida 13.639 m2.
- Está inscrito en la 2° categoría del registro B-1 Obras Civiles, RENAC MINVU.
- Se encuentra calificado con un promedio anual 94,97 puntos, RENAC MINVU.

Documentos económicos

- Presenta como oferta un plazo de ejecución del proyecto de 80 días corridos.
- Se observó 1 antecedente solicitado (subsana observación).
- Presenta como oferta un presupuesto de ejecución de \$314.395.739 pesos.
- El monto en proyectos ejecutados asciende a un total de \$2.160.602.119 pesos.
- Tiene una capacidad económica de \$611.841.824 de pesos.

4.3.3 Empresa III

Documentos técnicos

- La cantidad de obras similares ejecutadas es de 12 en total.
- Superficie total construida 81.109 m2.
- Está inscrito en la 1° categoría del registro B-1 Obras Civiles, RENAC MINVU.
- Se encuentra calificado con un promedio anual 99,95 puntos, RENAC MINVU.

Documentos económicos

- Presenta como oferta un plazo de ejecución del proyecto de 150 días corridos.
- Se observó 1 antecedente solicitado (subsana observación).
- Presenta como oferta un presupuesto de ejecución de \$318.081.493 pesos.
- El monto en proyectos ejecutados asciende a un total de \$6.023.320.179 pesos.
- Tiene una capacidad económica de \$1.027.776.706 de pesos.

4.3.4 Empresa IV

Documentos técnicos

- La cantidad de obras similares ejecutadas es de 14 en total.
- Superficie total construida 94.610 m2
- Está inscrito en la 1° categoría del registro B-1 Obras Civiles, RENAC MINVU.
- Se encuentra calificado con un promedio anual 96,62 puntos, RENAC MINVU.

Documentos económicos

- Presenta como oferta un plazo de ejecución del proyecto de 89 días corridos.

- Se observaron 4 antecedentes solicitados (subsana observaciones).
- Presenta como oferta un presupuesto de ejecución de \$318.346.213 pesos.
- El monto en proyectos ejecutados asciende a un total de \$5.397.821.925 pesos.
- Tiene una capacidad económica de \$538.639.725 de pesos.

4.4 Condiciones de entorno

Se establecen condiciones de entorno según requerimientos de bases de licitación de un proyecto de pavimentación administrado por una institución pública. La tabla 4.1 muestra un listado donde se establecen parámetros administrativos, técnicos y económicos a cumplir por las ofertas que quieran ser evaluadas.

Tabla 4.1 Lista de chequeo para la aceptar la oferta

Parámetros	Condicionantes a cumplir
Administrativos	Identificación del oferente
	Entrega de garantías solicitadas
	Declaración de aceptación de las bases
	Declaración de habilidad para contratar
	Certificado de registro vigente
	Entrega documentación dentro del plazo establecido por las bases.
	Capacidad económica
	Acta de preguntas y respuestas firmadas
Técnicos y/o económicos	Entrega desglose gastos generales
	Listado de profesionales y subcontratistas
	Monto máximo disponible \$318.362.000
	Plazo máximo de ejecución 240 días corridos
	Acreditación de experiencia

4.5 Límites del sistema

Los límites del sistema se descomponen en tres ejes, los cuales están denominados por el ciclo de vida, componentes y requerimientos. En este apartado se aborda cada eje mencionado, siendo el eje de requerimientos el primer nivel del árbol de toma de decisiones.

4.5.1 Ciclo de vida

En el ciclo de vida del proceso de licitación se consideran las siguientes etapas establecidas por el DS N°250, Reglamento Ley 19.886.

- i. Etapas
 - a. Elaboración de las bases: Son documentos aprobados por la entidad licitante, que contienen de manera general y/o particular, los aspectos administrativos, económicos y técnicos del bien o servicio a contratar, además, reglan el proceso licitatorio.
 - b. El llamado: Es un llamado abierto a ofertar a todos los posibles interesados. Se publica por la plataforma electrónica de Mercado Público y debe contener algunos requisitos como mínimo que se establecen en el art. 24 del DS N°250.
 - c. Período de consultas: En esta etapa la entidad licitante recibe y responde las preguntas de las empresas interesadas, dentro del periodo establecido en las bases, según el art. 27 del DS N°250.
 - d. Recepción de ofertas: Las empresas interesadas generan sus ofertas en base a los requerimientos establecidos y las entregan a la entidad licitante a través de la plataforma electrónica Mercado Público.

- e. Evaluación de ofertas: En esta etapa la entidad licitante, evalúa los antecedentes que constituyen la oferta, siempre que se cumplan los requisitos mínimos establecidos en las bases.
- f. Adjudicación: Una vez que se efectúa la evaluación, la entidad licitante ordena las ofertas según el puntaje otorgado y selecciona la mejor evaluada para adjudicar el proyecto.

4.5.2 Componentes

Se ha considerado para el estudio, que los componentes que integran la oferta de cada empresa contratista se dividen en tres anexos.

- i. Anexos Administrativos: Contemplan documentos de identificación de la empresa contratista, tales como la declaración de aceptación de las bases, declaraciones bancarias y de habilidad para contratar; capacidad económica, balances tributarios, certificados de registros vigentes y la aceptación de actas firmadas.
- ii. Anexos Técnicos: Consideran documentos conforme al desglose de los gastos generales, el listado de profesionales y sub-contratistas participantes; certificados de acreditación de experiencia, carta Gantt y organigrama de los profesionales a tiempo completo.
- iii. Anexos Económicos: Como documentos integrantes se toman en consideración la carta oferta, presupuesto y cubicaciones generales.

4.5.3 Requerimientos

El eje de los requerimientos es la estructura más general del árbol de toma de decisión.

En base al estudio realizado a los procesos de adjudicación de proyectos públicos de infraestructura vial, llevados a cabo por Vialidad del MOP, SERVIU del MINVU y las Municipalidades. Se establecen dos Requerimientos basados en las preferencias de estas instituciones públicas los que formarán el primer nivel del árbol de toma de decisión.

- i. Requerimiento técnico: Pretende representar las preferencias técnicas del mandante con respecto a la oferta de la empresa contratista. En este sentido, se ha planteado subdividir este requerimiento en dos criterios. Uno de estos consiste en medir la experiencia en obras similares; otro, en medir la acreditación en base a un registro de contratistas.
- ii. Requerimiento económico: Este requerimiento pretende representar las preferencias económicas del mandante respecto a la oferta presentada. Se ha propuesto subdividir este requerimiento en dos criterios, uno en el plazo que se relacionará con los costos del proyecto; el otro, en el precio que consiste en medir el costo de ejecutar el proyecto, la experiencia y capacidad económica del contratista.

4.5.4 Árbol de toma de decisión

Se propone como árbol de toma de decisión la tabla 4.2, que presenta una estructura de tres niveles. En el primer nivel que es el más general, se establecen dos requerimientos, uno técnico y otro económico. Luego en el segundo nivel que es el

intermedio se descomponen los requerimientos en cuatro criterios. Y en el último nivel se establece un total de nueve indicadores que evaluarán directamente las alternativas. Se propuso esta cantidad de indicadores en base a lo que expone Villegas (2009) al mencionar que “un número elevado de indicadores, no aporta mayor precisión, sino que aporta mayor trabajo y mayor riesgo en cuanto a la fiabilidad (pérdida de concentración, etc.) y disolución del peso de los indicadores principales”.

Tabla 4.2 Árbol de toma de decisión para una licitación

REQUERIMIENTO	CRITERIO	INDICADOR
Técnico	Experiencia	Experiencia en obras similares
		Metros cuadrados construidos
	Certificación	Registro MINVU
		Calificación RENAC
Económico	Plazo	Plazo de ejecución
		Cumplimiento de los requisitos formales
	Precio	Presupuesto de ejecución
		Montos contratados
		Capacidad económica disponible

4.6 Análisis de sensibilidad de las funciones de valor

En este apartado se crea la función de valor de cada uno de los indicadores planteados en el árbol de toma de decisión. A través de un análisis de sensibilidad se determina la función de valor del indicador según las preferencias de los mandantes. Cabe mencionar que la determinación de las tendencias de la gráfica, se sustenta en la normativa vigente, textos sobre licitación de proyectos de infraestructuras pública y bases de licitación de distintos proyectos de pavimentación disponibles en la plataforma de licitaciones del Estado de Chile.

4.6.1 Experiencia en obras similares

Objetivo

Medir la experiencia de la empresa contratista en base a la cantidad de obras de pavimentación ejecutadas o similares.

Forma de valorar

Este indicador resulta al sumar la cantidad de obras ejecutadas debidamente acreditadas mediante certificados emitidos por entidades públicas o privadas. Basándose en datos obtenidos de licitaciones públicas se elaboró la tabla 4.3 que muestra las preferencias que tienen distintas entidades según la experiencia acreditada en obras de pavimentación o similares. Cabe señalar que los datos de la licitación ID 4072-3-LQ18 fueron ajustados a los rangos que se indican.

Tabla 4.3 Preferencias según la cantidad de obras ejecutadas

Condición	Puntajes según Licitaciones de Mercado Público (ID)			Puntaje promedio
	2423-86-LR15	4072-3-LQ18	3698-10-LR15	
La empresa contratista presenta 10 ó más obras ejecutadas	100	100	100	100
La empresa contratista presenta entre 5 y 9 obras ejecutadas	50	70	50	57
La empresa contratista presenta entre 1 y 4 obras ejecutadas	25	33	20	26
La empresa contratista no informa o presenta 0 obras ejecutadas	0	0	0	0

Forma de la función de valor

Se propone una función de valor creciente en forma de “S” (ver ilustración 4.2). La gráfica que se plantea muestra como a medida que aumenta la cantidad de obras ejecutadas, aumenta la satisfacción del mandante. Se considera como valoración máxima la cantidad de 10 obras ejecutadas según las preferencias de la tabla 4.9 y como valoración mínima cuando la cantidad es 0.

El punto de inflexión en la curva está representado por una cantidad de 4 obras ejecutadas, debido a que una unidad más en ese rango produce un cambio significativo en la asignación de puntaje según la tabla 4.3. Además, se puede ver que superando una cantidad de 9 obras ejecutadas, el incremento de la satisfacción es muy poca y a partir de ese punto se puede indicar el cumplimiento de la satisfacción del mandante en base a la experiencia en cantidad de obras ejecutadas.

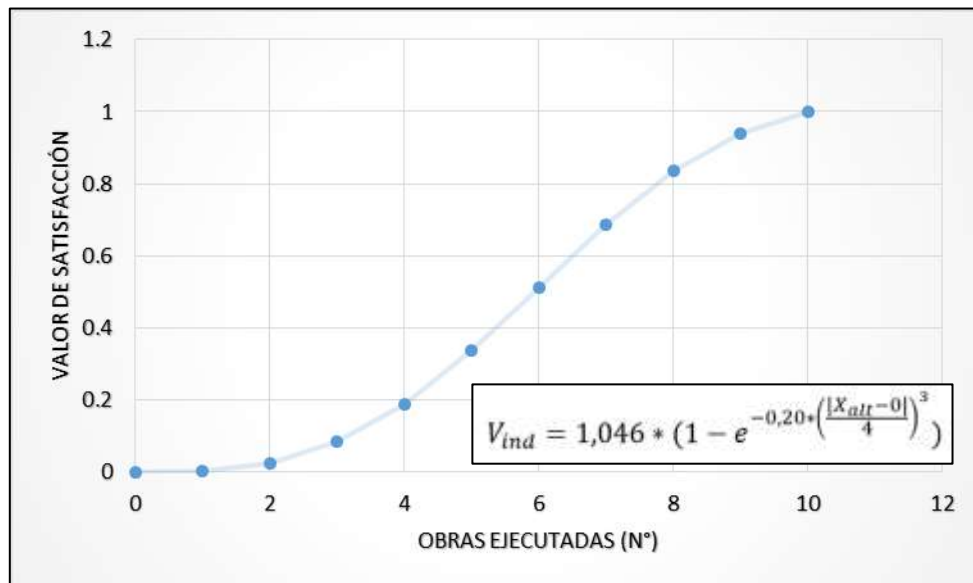


Ilustración 4.2 Función de valor del indicador “Experiencia en obras similares”

4.6.2 Metros cuadrados construidos

Objetivo

Medir la experiencia en base a la cantidad de metros cuadrados construidos en proyectos de pavimentación o similares.

Forma de valorar

Este indicador resulta de contabilizar la cantidad de metros cuadrados en obras ejecutadas debidamente acreditadas mediante certificados emitidos por entidades públicas o privadas. La tabla 4.4 muestra la forma en que se asignan los puntajes según la cantidad de metros cuadrados expuestos en las bases de licitaciones públicas subidas a la plataforma electrónica de Mercado Público. Cabe mencionar que los puntajes que se señalan en la tabla fueron ajustados a la condición establecida para obtener valores representativos de la variable en estudio.

Tabla 4.4 Preferencias según la cantidad de metros cuadrados construidos

Condición	Puntajes según Licitaciones de Mercado Público (ID)				Puntaje promedio
	2997-14-LQ19	2760-95-LQ18	4744-9-LP15	2741-62-LR17	
Más de 100.000 m2 ejecutados	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Entre 99.999 m2 y 50.000 m2 ejecutados	8.00	6.25	7.33	7.22	7.20
Entre 49.999 m2 y 20.000 m2 ejecutados	6.00	3.75	3.33	3.67	4.19
Entre 19.999 m2 y 5.000 m2 ejecutados	4.00	1.80	1.07	1.59	2.12
Menos de 4.999 m2 ejecutados	2.00	1.25	0.11	1.00	1.09
No tiene experiencia o no certifica	1.00	0.00	0.00	0.00	0.25

Forma de la función de valor

Para este indicador se propone una función de valor creciente en forma de “S” (ver ilustración 4.3). La gráfica muestra como a medida que aumenta la cantidad de metros cuadrados ejecutados, aumenta la satisfacción del mandante. Se plantea como valoración máxima la cantidad de 100.000 m² y como valoración mínima cuando el contratista no tiene experiencia (0 m²) o no certifica.

Se propone como punto de inflexión una cantidad de 19.999 m², debido a que un metro cuadrado más en ese rango produce un cambio significativo en la asignación de puntaje según la tabla 4.4. Además, se puede ver en la gráfica que cuando la cantidad de metros cuadrados sobrepasa los 80.000 el incremento de la satisfacción es mínima, debido a que se considera que esos valores cumplen con las expectativas del mandante.

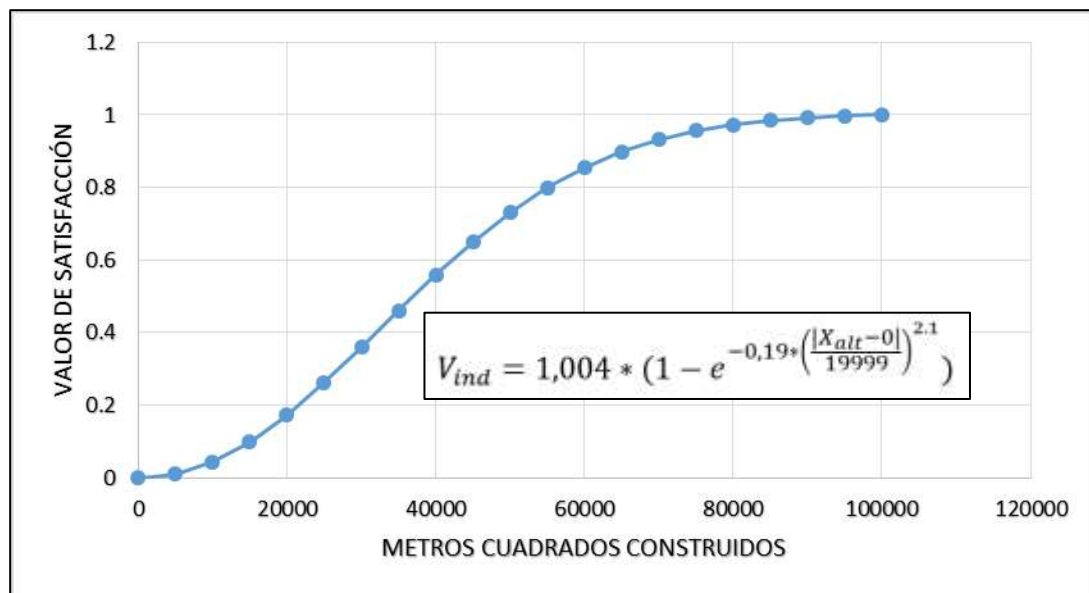


Ilustración 4.3 Función de valor del indicador “Metros cuadrados construidos”

4.6.3 Registro MINVU

Objetivo

Valorar la categoría del contratista inscrito en el rubro de obras viales del registro regido por el DS N°127 (V. y U.).

Forma de valorar

Este indicador resulta de evaluar dos aspectos establecidos en el DS N°127 (V. y U.). El primero es un aspecto técnico que considera el o los títulos profesionales o técnicos de las personas naturales o jurídicas que postulan y la experiencia en m2 construidos en obras similares. El otro es un aspecto económico que considera el capital acreditado del contratista.

La tabla 4.5 muestra las preferencias expuestas en las bases de licitación sobre la categoría del Registro de Obras Viales (B1) que se encuentra inscrita la empresa contratista.

Tabla 4.5 Preferencias según categoría obras viales B-1

Condición	Puntajes según Licitaciones de Mercado Público (ID)			Puntaje promedio
	3698-10-LR15	2933-12-LR18	2719-20-LR17	
1° categoría MINVU obras viales B-1	100	100	100	100.0
2° categoría MINVU obras viales B-1	80	50	80	70.0
3° categoría MINVU obras viales B-1	40	20	60	40.0
4° categoría MINVU obras viales B-1	0	0	40	13.3
Otra categoría	0	0	0	0.0

Forma de la función de valor

Se propone un sistema de normalización como el que se muestra en la ilustración 4.4 en base a las preferencias de la tabla 4.5, con el propósito de que las

categorías sean valoradas. La ilustración 4.5 muestra una función de tipo lineal “creciente” la cual se propone en base al número limitado de registros. Se considera como valoración máxima cuando el contratista se encuentra en la primera categoría del registro y una valoración mínima cuando este no se encuentra en alguna de las categorías especificadas.

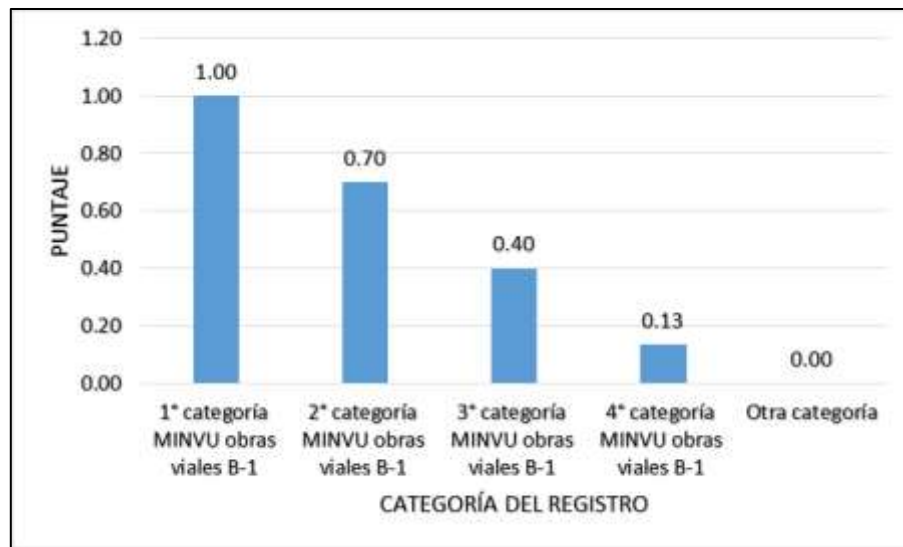


Ilustración 4.4 Normalización de la categoría del Registro MINVU

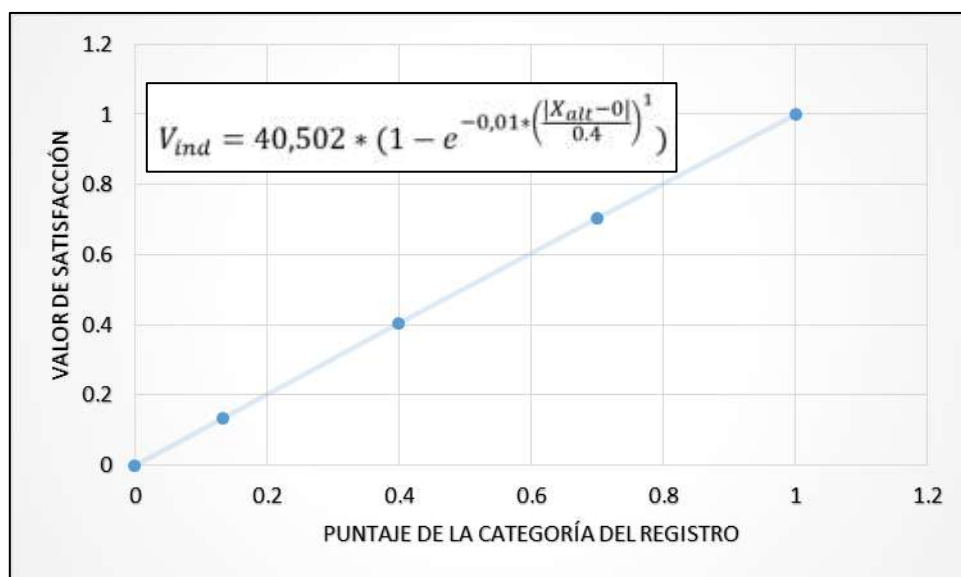


Ilustración 4.5 Función de valor “Registro MINVU”

4.6.4 Calificación RENAC

Objetivo

Medir el desempeño en obras ejecutadas por contratistas inscritos en el RENAC del SERVIU, en el rubro de Urbanización, registro B-1 Obras Viales.

Forma de valorar

Este indicador califica el cumplimiento de las exigencias técnicas, que comprende la Calidad de los materiales y la ejecución de las obras, el Cumplimiento de las exigencias administrativas, que comprende la entrega de antecedentes de la obra, el cumplimiento de obligaciones con los trabajadores y seguridad; y también el cumplimiento del plazo contractual. La calificación queda expresada por un puntaje entre 1 y 100, cuyo rango de valoración se muestran en la tabla 4.6.

Tabla 4.6 Preferencias según puntaje por desempeño

PUNTAJE	SIGNIFICADO
100-91	Bueno
90-76	Más que regular
75-61	Regular
60-1	Malo

Fuente: DS N°127 (V. y U.)

Forma de la función de valor

Se propone una función de valor creciente en forma de “S” (ver ilustración 4.6). A medida que aumenta la calificación del contratista, aumenta la satisfacción del mandante. Se considera una valoración máxima cuando el desempeño del contratista es excelente, siendo calificado con puntaje de 100 y se considera una valoración mínima cuando el puntaje es de 1, cabe mencionar que la valoración de los puntajes que se encuentran en el rango “Malo” es prácticamente cero, tal como se aprecia en la gráfica. El punto de inflexión se ha planteado en el puntaje 75, ya que representa el límite entre el rango de “Regular” y “Más que regular”, siendo este último mucho más valorado. De esta manera, se pretende potenciar las alternativas que presenten un mayor desempeño.

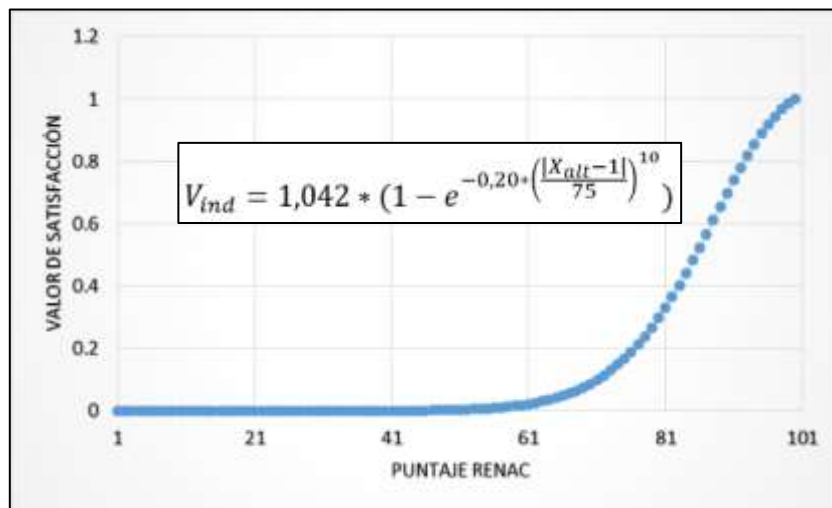


Ilustración 4.6 Función de valor del indicador “Calificación RENAC”

4.6.5 Plazo de ejecución

Objetivo

Medir el tiempo de ejecución para realizar los trabajos de un proyecto de pavimentación.

Forma de valorar

Este indicador mide la cantidad de días que tardará un proyecto en materializarse. Mediante una carta Gantt se determina la cantidad de días corridos que necesita cada partida del proyecto en ser ejecutada. El plazo de ejecución final se obtiene al realizar una sumatoria de los tiempos de cada partida.

Una vez obtenido el plazo de ejecución, la mayoría de los mandantes proponen una ecuación expresada de la siguiente manera:

Licitación ID	Ecuación propuesta para determinar puntaje del plazo ofertado
3698-2-LP17	$Puntaje = \frac{Oferta\ menor\ plazo}{Oferta\ evaluada} \quad (4.11)$
3681-4-LR17	
4497-44-LR15	
646-103-LQ15	

Forma de la función de valor

Se propone una función de valor creciente en forma Lineal (ver ilustración 4.7), la gráfica muestra como a medida que aumenta el puntaje del plazo según el resultado de la ecuación señalada anteriormente, aumenta la satisfacción del mandante. En la gráfica se plantea como valoración máxima cuando la abscisa obtiene un puntaje de 1 y en el otro extremo, como valoración mínima cuando este valor es 0.

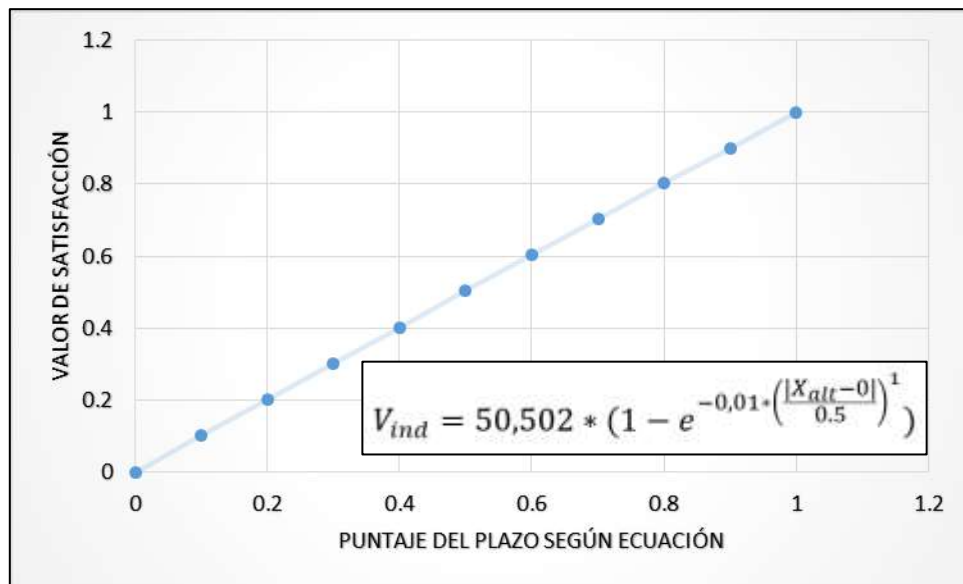


Ilustración 4.7 Función de valor del indicador “Plazo de ejecución”

4.6.6 Cumplimiento requisitos formales

Objetivo

Valorar el cumplimiento de los requisitos formales en base a la presentación de la oferta del contratista.

Forma de valorar

Este indicador resulta de la verificación de la presentación de la totalidad de los documentos solicitados según bases administrativas del proyecto, en caso de encontrar errores u omisiones se da un plazo para enmendar la situación. Se valora según la cantidad de errores que se encuentren en la entrega de la documentación.

La tabla 4.7 muestra cómo se asignan los puntajes en diferentes licitaciones según la cantidad de errores encontrados en la documentación de las ofertas. Cabe mencionar que los puntajes de la licitación, ID 2490-26-LR18, se ajustaron a los rangos establecidos en la tabla de tal manera de obtener valores representativos.

Tabla 4.7 Preferencias por el cumplimiento de los requisitos formales

Condición	Puntajes según Licitaciones de Mercado Público (ID)			Puntaje promedio
	3693-32-LR19	2423-86-LR15	2490-26-LR18	
Presenta toda la documentación requerida, dentro del plazo para presentación de ofertas.	100	100	100	100.0
Presenta observaciones a la documentación requerida en 1 a 2 documentos, resolviendo la situación dentro del plazo establecido.	50	50	60	53.3
Presenta observaciones a la documentación requerida en 3 a 4 documentos, resolviendo la situación dentro del plazo establecido.	10	50	0	20.0
Presenta observaciones a la documentación requerida en 5 o más documentos, resolviendo la situación dentro del plazo establecido.	5	50	0	18.3
Presenta observaciones a la documentación requerida no resolviendo la situación dentro del plazo establecido.	0	0	0	0.0

Forma de la función de valor

Se propone una función de valor decreciente cóncava (ver ilustración 4.8). En la gráfica se considera como valoración máxima la presentación de toda la documentación formal requerida, debiéndose encontrar ésta sin errores. Se plantea que cuando la cantidad de errores asciende a 8 la satisfacción del mandante es nula (o cuando no se subsanan las observaciones).

El punto de inflexión es representado por una cantidad de 5 errores, con el fin de que los valores más próximos a 0 obtengan un índice de valor mayor y de esta manera representar en la gráfica las preferencias expuestas en la tabla 4.7.

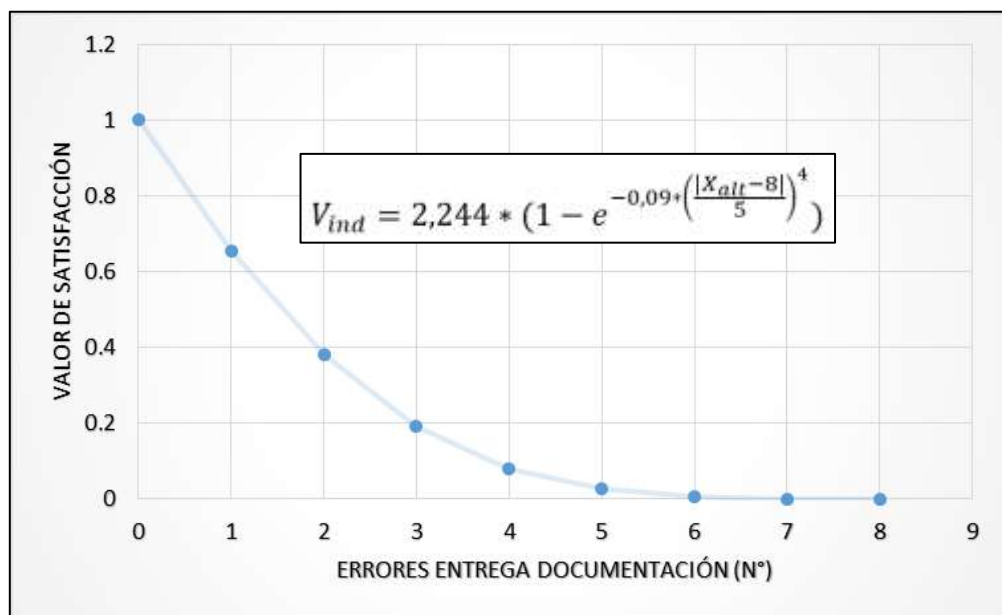


Ilustración 4.8 Función de valor del indicador “Cumplimiento de requisitos formales”

4.6.7 Presupuesto de ejecución

Objetivo

El objetivo consiste en medir el costo de ejecución de un proyecto de pavimentación.

Forma de valorar

La forma de valorar será en base a lo que menciona Orozco (2014), al proponer que el indicador se obtendrá al dividir el resultado de restar el presupuesto a evaluar menos el más bajo entre el presupuesto más bajo.

Tabla 4.8 Valoración del exceso sobre la oferta más baja

Exceso sobre la oferta más baja	Valoración
Superior a 0% hasta el 1%	5.00
Superior a 1% hasta el 2%	4.75
Superior a 2% hasta el 3%	4.50
Superior a 3% hasta el 4%	4.25
Superior a 4% hasta el 5%	4.00
...	...
...	...
Superior a 16% hasta el 17%	1.00
Superior a 17% hasta el 18%	0.75
Superior a 18% hasta el 19%	0.50
Superior a 19% hasta el 20%	0.25
Superior a 20%	0.00

Fuente: Orozco (2014)

Forma de la función de valor

Se propone una función de valor decreciente de forma lineal (ver ilustración 4.9). Los valores de la gráfica se plantean en función de la tabla 4.8. Se considera una valoración máxima cuando el exceso sobre la oferta más baja es de 0% y a medida que este porcentaje aumenta la satisfacción del mandante disminuye hasta una valoración mínima cuando alcanza un 20%.

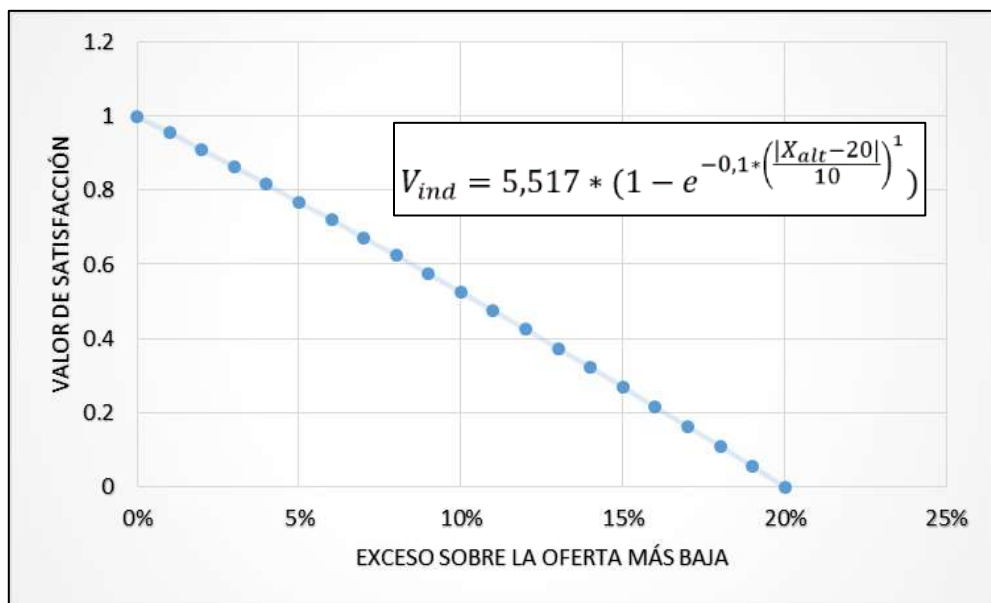


Ilustración 4.9 Función de valor del indicador “Presupuesto de ejecución”

4.6.8 Montos contratados

Objetivo

Medir la experiencia en base a la cantidad de montos contratados (MM\$) en proyectos de pavimentación o similares.

Forma de valorar

Este indicador precisa su resultado en la cantidad total de montos ejecutados en MM\$ de proyectos de pavimentación o similares. La tabla 4.9 muestra las preferencias expuestas en distintas licitaciones sobre los montos contratados. Cabe mencionar que los puntajes que se señalan en la tabla fueron ajustados a la condición establecida para obtener valores representativos de la variable en estudio.

Tabla 4.9 Preferencias por los montos contratados en obras similares

Condición	Puntajes según Licitaciones de Mercado Público (ID)			Puntaje promedio
	4412-32-LQ19	673663-17-LQ19	2735-20-LQ16	
Montos inferiores a \$900 millones	10	13	4.2	9.1
Montos de \$900 millones a \$2100 millones	20	34.2	37.5	30.6
Montos de \$2100 millones uno a \$4500 millones	40	56.7	65.6	54.1
Montos de \$4500 millones uno a \$6000 millones	60	73.3	80	71.1
Montos de \$6000 millones uno a \$7500 millones	80	80	80	80.0
Montos sobre los \$7500 millones	100	100	100	100.0

Forma de la función de valor

Para este indicador se propone una función de valor creciente en forma de “S” (ver ilustración 4.10), se puede ver como a medida que aumentan los montos contratados, aumenta la satisfacción del mandante. En base a la tabla 4.9 se plantea como valoración máxima un monto de \$7.500.000.000 y como valoración mínima cuando el contratista no tiene montos contratados o no certifica.

El punto de inflexión en la gráfica es representado por \$2.100.000.000, debido a que un peso más en ese rango produce un cambio importante en la asignación del puntaje, superando la media según la tabla 4.9. Además, se plantea que para montos sobre los \$6.000.000.000 el incremento en la satisfacción va disminuyendo, debido a que se considera que esos valores cumplen con las expectativas del mandante y su valoración es muy cercana a 1.

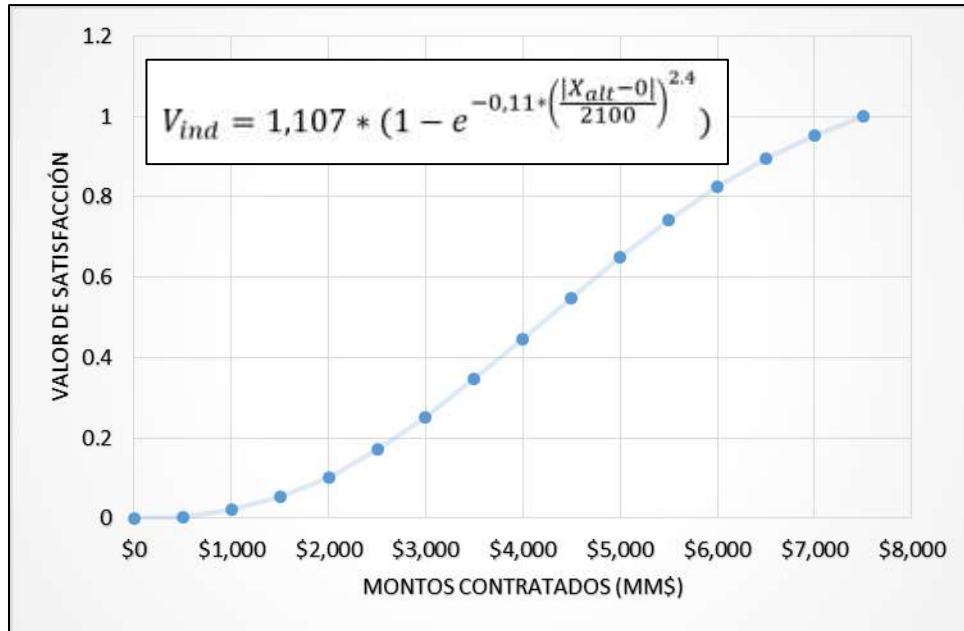


Ilustración 4.10 Función de valor del indicador “Montos contratados”

4.6.9 Capacidad económica disponible

Objetivo

Valorar la capacidad económica disponible que presenta una empresa contratista según el mínimo requerido para cumplir un contrato.

Forma de valorar

Este indicador se calcula en base a la capacidad económica total, que es igual al capital comprobado, el cual es acreditado mediante certificación emanada del RENAC en el caso de SERVIU, disminuido en un 15% del valor actualizado del saldo de obras por ejecutar de contratos pendientes.

La normativa establece mediante el Artículo 18° del DS N°127 (V. y U.) y el Artículo 59 DS N°75 (MOP) que para participar en las licitaciones los contratistas deberán acreditar una capacidad económica disponible mínima del 15% del valor del presupuesto estimativo u oficial, según proceda.

La tabla 4.10 muestra las preferencias sobre la capacidad económica de la empresa contratista, expuestas en distintas licitaciones. Cabe mencionar que los puntajes que se señalan en la tabla fueron ajustados a la condición establecida para obtener valores representativos de la variable en estudio.

Tabla 4.10 Preferencias según la capacidad económica de la empresa

Condición	Puntajes según Licitaciones de Mercado Público (ID)			Puntaje promedio
	3693-32-LR19	4412-31-LR19	3761-4-LR17	
Superior a \$1.200.000.000	100	100	100	100.0
Entre \$1.200.000.000 y \$800.000.001	70	72	70	70.7
Entre \$800.000.000 y \$400.000.000	40	44	30	38.0
Menos de \$400.000.000	10	20.9	12.8	14.6

Forma de la función de valor

Se propone una función de valor cóncava con tendencia creciente (ver ilustración 4.11). Es decir, a medida que aumenta la capacidad económica disponible de la empresa contratista, aumenta la satisfacción del mandante. Se considera una valoración máxima cuando el contratista acredita \$1.200.000.000 basado en las preferencias que muestra la tabla 4.10. Además, la valoración mínima se ha propuesto cuando la capacidad económica disponible es de \$47.754.000 representando el 15% del monto del proyecto, siendo este el porcentaje mínimo aceptable establecido por la normativa.

En cuanto al punto de inflexión se ha definido en una capacidad económica disponible de \$800.000.000, debido al cambio brusco que se provoca en las preferencias indicadas en la tabla 4.10.

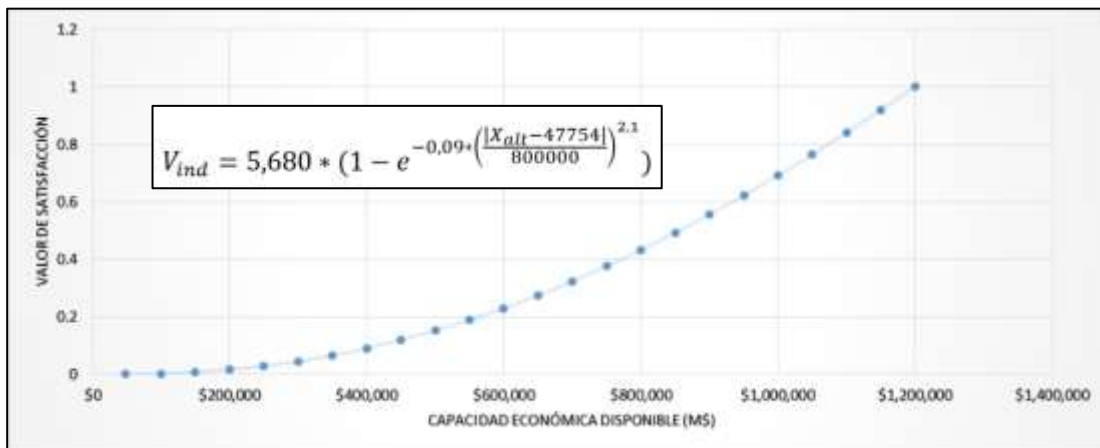


Ilustración 4.11 Función de valor del indicador “Capacidad económica disponible”

5. CAPÍTULO V - EVALUACIÓN MIVES

5.1 Introducción

En los capítulos anteriores, se ha explicado la metodología MIVES como herramienta de apoyo a la toma de decisión multicriterio. También se han definido los aspectos que conforman el árbol de toma de decisión y las funciones de valor de los indicadores propuestos.

En el presente capítulo se definen los pesos de cada aspecto de la estructura del árbol de toma de decisión y se aplica el método basado en la metodología MIVES, el cual fue establecido para evaluar ofertas en un proceso de licitación de un proyecto de pavimentación.

5.2 Asignación de pesos árbol toma de decisión

Previo a evaluar las ofertas de las empresas interesadas en la propuesta, se realiza la asignación de peso a cada uno de los aspectos del árbol de toma de decisión. Dentro de las tres formas de asignación de pesos que se indican en el apartado 3.2.4 del capítulo 3, se ha escogido el procedimiento basado en la metodología AHP debido a que los juicios de valor que se emiten con respecto a la importancia relativa de un aspecto sobre otro se realizan en base a una tabla de importancia ya establecida. A esto se le debe sumar que el programa informático MIVES facilita su aplicación, al estar incorporada como opción.

La tabla 5.1 muestra los pesos asignados según los juicios de valor emitidos de acuerdo a la tabla elaborada por Saaty en 1980.

Tabla 5.1 Asignación de pesos mediante método AHP

REQUERIMIENTO	CRITERIO	INDICADOR
Técnico Peso:33.33%	Experiencia Peso:50.00%	Experiencia en obras similares Peso:33.33%
		Metros cuadrados construidos Peso:66.67%
	Certificación Peso:50.00%	Registro MINVU Peso:25.00%
		Calificación RENAC Peso:75.00%
Económico Peso:66.67%	Plazo Peso:25.00%	Plazo de ejecución Peso:75.00%
		Cumplimiento de los requisitos formales Peso:25.00%
	Precio Peso:75.00%	Presupuesto de ejecución Peso:53.90%
		Montos contratados Peso:16.38%
		Capacidad económica disponible Peso:29.73%

5.3 Parámetros funciones de valor

En base al análisis de sensibilidad realizado a las funciones de valor de cada indicador planteado en el capítulo anterior, se ha confeccionado la tabla 5.2 que agrupa cada uno de los parámetros utilizados en la elaboración de estas funciones.

Tabla 5.2 Parámetros de las funciones de valor

INDICADOR	$X_{m\acute{a}x}$	$X_{m\acute{i}n}$	C_i	k_i	P_i
Experiencia en obras similares (N°)	10	0	4	0.20	3.0
Metros cuadrados construidos (m2)	100000	0	19999	0.19	2.1
Registro MINVU (pts)	1	0	0.40	0.01	1.0
Calificación RENAC (pts)	100	1	75	0.20	10.0
Plazo de ejecución (pts)	1	0	0.50	0.01	1.0
Cumplimiento de los requisitos formales (N°)	0	8	5	0.09	4.0
Presupuesto de ejecución (%)	0	20	10	0.10	1.0
Montos contratados (MM\$)	7500	0	2100	0.11	2.4
Capacidad económica disponible (M\$)	1200000	47754	800000	0.09	2.1

Siendo:

- $X_{m\acute{a}x}$ = Es la abscisa del indicador que genera un valor igual a 1 (en el caso de funciones de valor crecientes).
- $X_{m\acute{i}n}$ = Es el valor en abscisas, cuya valoración es igual a cero (en el caso de funciones de valor crecientes).
- C_i = Se aproxima a la abscisa del punto de inflexión
- K_i = Se aproxima a la ordenada del punto de inflexión
- P_i = Es un factor de forma que define si la curva es cóncava, convexa, recta o con forma de “S”.

5.4 Parámetros físicos de las ofertas de los contratistas

Para realizar la evaluación mediante la metodología MIVES, primero se ha plasmado de manera más ordenada en la tabla 5.3 las características de la empresa y la oferta presentada según los indicadores definidos.

Tabla 5.3 Resumen de variables a evaluar por empresa

INDICADOR	EMPRESA I	EMPRESA II	EMPRESA III	EMPRESA IV
Experiencia en obras similares (N°)	14	6	12	14
Metros cuadrados construidos (m2)	50268	13639	81109	94610
Registro MINVU (pts)	1	0.7	1	1
Calificación RENAC (pts)	96.79	94.97	99.95	96.62
Plazo de ejecución (pts)	0.67	1	0.53	0.9
Cumplimiento de los requisitos formales (N°)	8	1	1	4
Presupuesto de ejecución (%)	0	8.17	9.44	9.53
Montos contratados (MM\$)	5272.813047	2160.602119	6023.320179	5397.821925
Capacidad económica disponible (M\$)	1050969.346	611841.824	1027776.706	538639.725

Cada una de estas variables es ingresada en la gráfica de la función de valor del indicador que corresponda.

5.5 Índice de valor de los indicadores

Con la finalidad de obtener un índice de valor para cada uno de los indicadores planteados, se utilizan las gráficas expuestas en el capítulo anterior (apartado 4.6 Análisis de sensibilidad de las funciones de valor).

El procedimiento utiliza las variables indicadas en la tabla 5.19 las cuales son ingresadas a través del eje de la abscisa en la gráfica de función de valor del indicador estudiado, luego se proyecta una línea vertical hasta intersectar la curva y desde ese punto se proyecta una línea horizontal hacia el eje de la ordenada con el objetivo de

obtener un índice de valor que representa las preferencias del decisor. La ilustración 5.1 resume el procedimiento descrito.

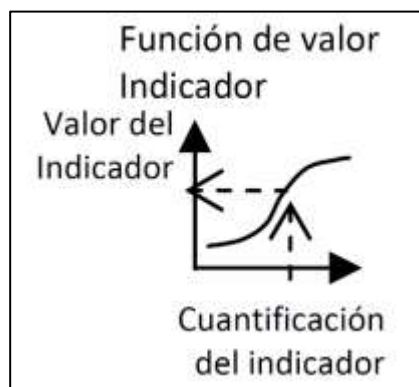


Ilustración 5.1 Procedimiento para obtener el índice de valor

La tabla 5.4 resume el resultado de la aplicación del procedimiento descrito a cada una de las variables señaladas el apartado anterior 5.4 *Parámetros físicos de las ofertas de los contratistas*, donde muestra el índice de valor que han obtenido las empresas conforme a los indicadores propuestos.

Tabla 5.4 Índice de valor según indicador evaluado

INDICADOR	EMPRESA I	EMPRESA II	EMPRESA III	EMPRESA IV
Experiencia en obras similares (N°)	1.00	0.51	1.00	1.00
Metros cuadrados construidos (m2)	0.73	0.08	0.98	1.00
Registro MINVU (pts)	1.00	0.70	1.00	1.00
Calificación RENAC (pts)	0.94	0.89	1.00	0.93
Plazo de ejecución (pts)	0.67	1.00	0.53	0.90
Cumplimiento de los requisitos formales (N°)	0.00	0.66	0.66	0.08
Presupuesto de ejecución (%)	1.00	0.62	0.55	0.55
Montos contratados (MM\$)	0.70	0.12	0.83	0.72
Capacidad económica disponible (M\$)	0.77	0.24	0.73	0.18

5.6 Ponderación índice de valor

Una vez obtenido el índice de valor de cada uno de los indicadores planteados en el árbol de toma de decisión conforme a las ofertas presentadas, se procede a calcular el valor de los criterios en base a los indicadores pertenecientes a un mismo criterio multiplicado por su peso respectivo.

Es conveniente mostrar nuevamente la ecuación 3.8 del apartado 3.2.6 *Valoración de las alternativas* que expresa la forma de calcular el valor de cada criterio establecido en base al índice de valor de los indicadores (tabla 5.4) multiplicados por sus pesos respectivos (tabla 5.1).

$$V_{Criterio} = \sum_{i=1}^n V_{Indicador} \times Peso_{Indicador} \quad (3.8)$$

Donde:

- i. $V_{Criterio}$ = Valor criterio
- ii. $V_{Indicador}$ = Valor indicador
- iii. $\sum_{i=1}^n$ = Sumatoria de valor de indicadores de un mismo criterio

La tabla 5.5 resume el resultado de los índices de valor de cada criterio al aplicarse la ecuación 3.8.

Tabla 5.5 Índice de valor según criterio evaluado

CRITERIO	EMPRESA I	EMPRESA II	EMPRESA III	EMPRESA IV
Experiencia	0.82	0.22	0.99	1.00
Certificación	0.96	0.84	1.00	0.95
Plazo	0.50	0.92	0.56	0.70
Precio	0.88	0.43	0.65	0.47

Siguiendo el planteamiento anterior se vuelve a mostrar la ecuación 3.9 del apartado 3.2.6 *Valoración de las alternativas* que expresa la forma de calcular el índice de valor de cada requerimiento mediante la sumatoria de los valores de los criterios (tabla 5.5) pertenecientes a ese mismo requerimiento multiplicado por su pesos correspondiente (tabla 5.1).

$$V_{Requerimiento} = \sum_{i=1}^n V_{Criterio} \times Peso_{Criterio} \quad (3.9)$$

Donde:

- i. $V_{Requerimiento}$ = Valor requerimiento
- ii. $V_{Criterio}$ = Valor criterio
- iii. $\sum_{i=1}^n$ = Sumatoria de valor de criterios de un mismo requerimiento

La tabla 5.6 resume el resultado de los índices de valor de cada requerimiento del árbol de toma de decisión al aplicarse la ecuación 3.9.

Tabla 5.6 Índice de valor según requerimiento evaluado

REQUERIMIENTO	EMPRESA I	EMPRESA II	EMPRESA III	EMPRESA IV
Técnico	0.89	0.53	0.99	0.97
Económico	0.79	0.55	0.63	0.52

Para obtener el índice de valor de cada alternativa, primero se vuelve a escribir la ecuación 3.10 del apartado 3.2.6 *Valoración de las alternativas* que expresa la forma de calcularlo.

La valoración de la oferta de cada empresa queda expresada al sumar el valor de los requerimientos (tabla 5.6) multiplicados por sus pesos respectivos (tabla 5.1).

$$V_{Alternativa} = \sum_{i=1}^n V_{Requerimiento} \times Peso_{Requerimiento} \quad (3.10)$$

Donde:

- i. $V_{Alternativa}$ = Valor alternativa
- ii. $V_{Criterio}$ = Valor criterio
- iii. $\sum_{i=1}^n$ = Sumatoria de valor de los requerimientos de la alternativa evaluada.

La tabla 5.7 muestra el índice de valor que ha obtenido la oferta de cada empresa según las preferencias planteadas por el mandante.

Tabla 5.7 Índice de valor de cada alternativa

ÍNDICE DE VALOR	EMPRESA I	EMPRESA II	EMPRESA III	EMPRESA IV
Total	0.82	0.54	0.75	0.67

6. CAPÍTULO VI - CONCLUSIONES

Las metodologías basadas en la teoría de valor como lo son AHP y MAUT han demostrado ser aplicables a problemas relacionados a la selección de contratistas para proyectos de infraestructura vial. Ello, debido a que al combinar ambas metodologías el problema se puede jerarquizar, evaluar, valorar, ponderar y agregar valoraciones para asignar un índice de valor comparable a cada alternativa.

Considerando que MIVES se sustenta en el planteamiento anterior, a modo de dar respuesta a la problemática que da origen a esta investigación, se establece un método basado en la metodología MIVES cuya estructura de evaluación incorpora las preferencias expuestas por distintos mandantes en los procesos de evaluación de licitaciones públicas con el objeto de obtener resultados representativos. Cabe señalar, que el problema de toma de decisión abordado en esta memoria (ofertas y proyecto a licitar) se fundamentó en una de las últimas licitaciones públicas llevadas a cabo por la Ilustre Municipalidad de Los Vilos.

Al haber aplicado dicho método en el proceso de evaluación de las ofertas de cuatro empresas contratistas, los resultados señalan que el adjudicatario del proyecto de infraestructura vial es diferente al que selecciona la Municipalidad. Se puede inferir que, los resultados difieren debido a que la evaluación se complementa con indicadores relevantes que no son considerados por dicha Institución Pública, además, de crear funciones de valor a cada indicador a partir de las preferencias expuestas en procesos de evaluación de licitación de proyectos similares, permitiendo obtener una evaluación representativa al comparar de manera homogénea las ofertas de cada empresa. Por lo tanto, se puede afirmar que de seguir utilizando el sistema de evaluación expuesto en las bases administrativas de esta Institución, los resultados continúan con características de monopolio.

En base a lo planteado anteriormente, se puede deducir que el método desarrollado es un modelo a ser considerado, ya que en los actuales sistemas de selección de contratistas utilizados por instituciones públicas chilenas, se evidencia claramente una carencia en la normativa que regula el proceso, pues no especifica qué aspectos deben ser evaluados obligatoriamente, dando libertad al mandante de establecer sus propios criterios de evaluación.

Con el fin de concluir, se puede afirmar que la metodología MIVES es una potente herramienta de apoyo a la toma de decisiones, así queda demostrado a lo largo de este estudio, al aplicarse con éxito en la evaluación de un proceso de licitación para la selección de una empresa contratista.

Para finalizar, cabe destacar que los aportes que hacen este tipo de investigaciones son cruciales en el área de la construcción, específicamente en licitaciones de proyectos, dado que permiten respaldar de manera objetiva de la decisión tomada.

7. CAPÍTULO VII - REFERENCIAS

ARTÍCULOS

ALARCÓN, Luis Fernando y MOURGUES Claudio. Selección de contratistas basada en la predicción de su desempeño [en línea]. Revista Ingeniería de Construcción. Diciembre, 2000. 15(2) <<https://www.ricuc.cl/index.php/ric/article/view/213/24>> [consulta: 17 agosto 2019].

BERUMEN, Sergio A. y LLAMAZARES, Francisco. La utilidad de los métodos de decisión multicriterio (como el ahp) en un entorno de competitividad creciente [en línea]. Cuadernos de administración. Julio-diciembre 2007. 20(34). <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=20503404>> [consulta: 17 agosto 2019].

CÁMARA Chilena de la Construcción. Hacia relaciones contractuales modernas en las obras de infraestructura de uso público. [en línea] Serie documentos de política pública, mayo 2015 <<http://biblioteca.cchc.cl/datafiles/35124-2.pdf>> [consulta: 13 de junio 2019]

CONTRERAS-MIRANDA, Wilver, CLOQUELL-BALLESTER, Vicente y OWEN DE CONTRERAS, Mary. Las técnicas de decisión multicriterio en la selección de componentes estructurales, a partir de la tecnología de la madera, para construcción de viviendas sociales en Venezuela [en línea]. Madera y bosques. 22 de julio 2010. 16(3). <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712010000300001&lng=es&nrm=iso> [consulta: 17 agosto 2019].

CRISOSTOMO, Andrés y HERRERA, Rodrigo F. Metodología de toma de decisiones para la selección de subcontratos en la industria de la construcción [en línea]. Obras y Proyectos. Diciembre, 2018. (24) <https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-28132018000200028&lng=es&nrm=iso> [consulta: 17 agosto 2019].

MARTINEZ, Elena. Aplicación del proceso jerárquico de análisis en la selección de la localización de una PYME [en línea]. Anuario Jurídico y Económico Escurialense, XL. 2007. (40). < <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2267954>> [consulta: 17 agosto 2019].

MAYOR, Julián, BOTERO, Sergio y GONZALEZ-RUIZ, Juan David. Modelo de decisión Multicriterio difuso para la selección de contratistas en proyectos de infraestructura: caso Colombia [en línea]. Obras y Proyectos. Diciembre, 2016. (20) <https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-28132016000200005&lng=es&nrm=iso> [consulta: 17 agosto 2019].

MANUALES

DEPARTAMENTO de Ingeniería Civil y Ambiental. MANUAL MIVES “Modelo integrado de valor para evaluaciones sostenibles” [en línea]. Barcelona, España. Universitat Politècnica de Catalunya. <<https://deca.upc.edu/es/proyectos/mives/ficheros/aplicacion-v1/mivesmanual.pdf>> [consulta: 17 agosto 2019].

TESIS

OSÉS Orbegozo, Usue. Propuesta metodológica para el desarrollo de sistemas de transporte sostenible a través del planteamiento de entornos urbanos [en línea]. España. Universidad del País Vasco. <<https://addi.ehu.es/handle/10810/25650>> [consulta: 17 agosto 2019].

PÉREZ Moreno Álvarez, Javier. Estudio comparativo de sostenibilidad en carreteras mexicanas [en línea]. Barcelona, España. Universitat Politècnica de Catalunya. <<http://hdl.handle.net/2117/118139>> [consulta: 17 agosto 2019].

VILLEGAS Flores, Noé. Análisis de valor en la toma de decisiones aplicado a carreteras [en línea]. Barcelona, España. Universitat Politècnica de Catalunya. <<http://hdl.handle.net/2117/93487>> [consulta: 17 agosto 2019].

PÁGINAS WEB

DEPARTAMENTO de Ingeniería Civil y Ambiental-Universidad Politécnica de Cataluña. Aplicación MIVES versión 2.1.1 [en línea] Barcelona, España. <<https://deca.upc.edu/es/proyectos/mives/descargas>> [consulta: 13 de junio 2019]

DIRECCIÓN de Compras y Contratación Pública. Mercado Público [en línea]. <<https://www.mercadopublico.cl/Home>> [consulta: 17 agosto 2019].

- ID 3698-16-LR18 - ID 2423-86-LR15 - ID 4072-3-LQ18
- ID 3698-10-LR15 - ID 2997-14-LQ19 - ID 2760-95-LQ18
- ID 4744-9-LP15 - ID 2741-62-LR17 - ID 2933-12-LR18
- ID 2719-20-LR17 - ID 3698-2-LP17 - ID 3681-4-LR17
- ID 4497-44-LR15 - ID 646-103-LQ15 - ID 3693-32-LR19
- ID 2490-26-LR18 - ID 4412-32-LQ19 - ID 673663-17-LQ19
- ID 2735-20-LQ16 - ID 4412-31-LR19 - ID 3761-4-LR17

NORMATIVA

DS N°75. Deroga Decreto N°15, de 1992, y sus modificaciones posteriores y aprueba reglamento para contratos de Obras Públicas. Diario Oficial de la República de Chile, Santiago, 01 de diciembre del 2004.

DS N°127. Modifica el DS. N° 330, de 1975, y aprueba nuevo reglamento del registro nacional de contratistas del Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Diario Oficial de la República de Chile, Santiago, 11 de marzo de 1977.

DS N°236. Aprueba bases generales reglamentarias de contratación de obras para los servicios de vivienda y urbanización. Diario Oficial de la República de Chile, Santiago, 01 de julio del 2003.

DS N°250. Aprueba Reglamento de la Ley N°19.886 de bases sobre contratos administrativos de suministro y prestación de servicios. Diario Oficial de la República de Chile, Santiago, 24 de septiembre de 2004.

LIBROS

OROZCO, Teresa. Experto en Procedimiento de Licitación de una Obra Pública. España, IC Editorial, 2014. 334 p.

8. CAPÍTULO VIII - ANEXOS

8.1 Anexo A

En el periodo 2013-2017 la Ilustre Municipalidad de Los Vilos licitó 10 proyectos de infraestructura vial, siendo una sola empresa contratista la adjudicataria.

Nº	NOMBRE PROYECTO	ID	MONTO PROYECTO	FECHA DE ADJUDICACIÓN
1	Pavimentación Calle La Plaza, Los Vilos	3698-2-LP17	\$59.459.998	20-02-2017
2	Mejoramiento Pavimentación Avenida 1 Norte, Los Vilos	3698-10-LR15	\$758.489.458	24-02-2016
3	Mejoramiento Pavimentación Avenida Fresia, Los Vilos	3698-7-LP15	\$406.543.596	28-12-2015
4	Pavimentación Calle Arturo Prat, Los Vilos	3698-9-LQ15	\$56.800.992	26-11-2015
5	Pavimentación Calle Dos y Pasaje Dos, Los Vilos	3698-9-LQ15	\$59.559.930	26-11-2015
6	Mejoramiento Calle Galvarino entre calle 3 sur y 5 sur, Los Vilos	3698-28-LP14	\$61.500.000	29-11-2014
7	Mejoramiento Pavimentación calle 5 Sur, ciudad de Los Vilos	3698-43-LP12	\$128.741.239	18-04-2013
8	Mejoramiento Pavimentación Calle 4 Oriente, Los Vilos	3698-44-LP12	\$330.665.502	18-04-2013
9	Mejoramiento Pavimentación Avenida 1 Sur, Los Vilos	3698-45-LP12	\$405.657.081	18-04-2013
10	Construcción Pavimentos Calle Sector Plaza de Armas, Los Vilos	3698-46-LP12	\$262.177.767	18-04-2013
TOTAL			\$2.529.595.563	

Anexo 1 Lista de proyectos adjudicados a una misma empresa

8.2 Anexo B

A continuación se presentan antecedentes de las empresas evaluadas por el método establecido en esta memoria.

Empresa I	Año ejecución	Obras similares	Monto del contrato	Superficie m2
	2013	Obra 1	\$201,754,289	4362
	2013	Obra 2	\$266,323,657	3459
	2013-2014	Obra 3	\$305,159,781	1907
	2013-2014	Obra 4	\$171,168,656	2458
	2014-2015	Obra 5	\$284,438,305	4056
	2014-2015	Obra 6	\$147,657,813	2832.6
	2015-2016	Obra 7	\$285,126,858	2655
	2016-2017	Obra 8	\$871,748,489	4725
	2016-2017	Obra 9	\$545,935,132	3288
	2016-2017	Obra 10	\$390,471,944	5373
	2016-2017	Obra 11	\$436,345,893	3082
	2016-2017	Obra 12	\$515,091,927	4292
	2016-2017	Obra 13	\$249,881,317	533
	2017	Obra 14	\$601,708,987	7245
	Total	14	\$5,272,813,047	50268

Anexo 2 Antecedentes de la Empresa I

Empresa II	Año ejecución	Obras similares	Monto del contrato	Superficie m2
	2016-2017	Obra 1	\$174,490,633	1864
	2016-2017	Obra 2	\$230,035,245	834
	2017	Obra 3	\$649,632,288	3405
	2017	Obra 4	\$309,670,096	3710
	2017	Obra 5	\$309,535,927	2120
	2017	Obra 6	\$487,237,930	1706
	Total	6	\$2,160,602,119	13639

Anexo 3 Antecedentes de la Empresa II

Empresa III	Año ejecución	Obras similares	Monto del contrato	Superficie m2
	2011-2012	Obra 1	\$844,457,983	3311
	2012-2013	Obra 2	\$290,685,505	8596
	2012-2013	Obra 3	\$365,540,638	6820
	2013-2014	Obra 4	\$351,525,293	6130
	2014-2015	Obra 5	\$730,282,607	12972
	2014	Obra 6	\$850,654,368	11213
	2014-2015	Obra 7	\$321,503,807	3941
	2014-2015	Obra 8	\$264,595,134	2119
	2014-2015	Obra 9	\$388,855,715	6452
	2014-2015	Obra 10	\$396,458,792	6836
	2014-2015	Obra 11	\$492,980,147	5179
	2016-2017	Obra 12	\$725,780,190	7540
	Total	12	\$6,023,320,179	81109

Anexo 4 Antecedentes de la empresa III

Empresa IV	Año ejecución	Obras similares	Monto del contrato	Superficie m2
	2006	Obra 1	\$161,513,701	6800
	2007	Obra 2	\$54,194,561	2714
	2007-2008	Obra 3	\$457,656,570	22254
	2007-2008	Obra 4	\$318,121,829	5004
	2008-2009	Obra 5	\$442,020,516	16595
	2009	Obra 6	\$265,588,189	1644
	2009-2010	Obra 7	\$253,826,467	7489
	2011-2012	Obra 8	\$1,046,738,057	1938
	2012-2014	Obra 9	\$935,733,265	4925
	2013-2014	Obra 10	\$335,187,181	6708
	2013-2014	Obra 11	\$262,177,767	4883
	2013-2014	Obra 12	\$330,665,502	5626
	2013-2014	Obra 13	\$128,741,239	2530
	2013-2014	Obra 14	\$405,657,081	5500
	Total	14	\$5,397,821,925	94610

Anexo 5 Antecedentes de la empresa IV

8.3 Anexo C

Se presenta la base de datos de la función de valor de cada uno de los indicadores planteados.

INDICADOR	Xmáx	Xmín	C	K	P	B
Experiencia en obras similares	10	0	4	0.2	3	1.046

Nº (X)	ÍNDICE DE VALOR (Y)	$\left[1 - e^{-K_i \left(\frac{X - X_{\min}}{C_i} \right)^P} \right]$
10	1.000	0.956
9	0.939	0.898
8	0.835	0.798
7	0.688	0.658
6	0.513	0.491
5	0.338	0.323
4	0.190	0.181
3	0.085	0.081
2	0.026	0.025
1	0.003	0.003
0	0.000	0.000

**Anexo 6 Base de datos de la función de valor
“Experiencia en obras similares”**

INDICADOR	X _{máx}	X _{mín}	C	K	P	B
Metros cuadrados construidos	100000	0	19999	0.19	2.1	1.004

M2 (X)	ÍNDICE DE VALOR (Y)	$\left[1 - e^{-K_i \left(\frac{X - X_{mín}}{C_i} \right)^{P_i}} \right]$
0	0.000	0.000
5000	0.010	0.010
10000	0.044	0.043
15000	0.099	0.099
20000	0.174	0.173
25000	0.263	0.262
30000	0.361	0.359
35000	0.461	0.460
40000	0.559	0.557
45000	0.650	0.648
50000	0.731	0.728
55000	0.799	0.796
60000	0.855	0.852
65000	0.899	0.895
70000	0.932	0.929
75000	0.956	0.953
80000	0.973	0.970
85000	0.985	0.981
90000	0.992	0.989
95000	0.997	0.993
100000	1.000	0.996

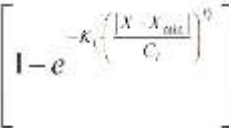
Anexo 7 Base de datos de la función de valor
“Metros cuadrados construidos”

INDICADOR	Xmáx	Xmín	C	K	P	B
Registro MINVU	1	0	0.4	0.01	1	40.502

PUNTAJE REGISTRO (X)	ÍNDICE DE VALOR (Y)	$\left[1 - e^{-K_i \cdot \left(\frac{X - X_{\min}}{C_i} \right)^P} \right]$
1.00	1.000	0.025
0.70	0.703	0.017
0.40	0.403	0.010
0.13	0.134	0.003
0.00	0.000	0.000

***Anexo 8 Base de datos de la función de valor
“Registro MINVU”***

INDICADOR	X _{máx}	X _{mín}	C	K	P	B
Calificación RENAC	100	1	75	0.2	10	1.042

Puntaje RENAC (X)	ÍNDICE DE VALOR (Y)	
100	1.000	0.960
99	0.985	0.945
98	0.966	0.927
97	0.944	0.906
96	0.918	0.881
95	0.888	0.852
94	0.855	0.821
93	0.819	0.786
92	0.781	0.749
91	0.740	0.710
90	0.698	0.670
89	0.654	0.628
88	0.611	0.586
87	0.567	0.544
86	0.524	0.503
85	0.482	0.463
84	0.441	0.424
83	0.402	0.386
82	0.365	0.351
81	0.330	0.317
80	0.298	0.286
79	0.267	0.256
78	0.239	0.229
77	0.213	0.204
76	0.189	0.181
75	0.167	0.160
74	0.147	0.142
73	0.130	0.125
72	0.114	0.109
71	0.099	0.095
70	0.087	0.083

69	0.075	0.072
68	0.065	0.063
67	0.056	0.054
66	0.049	0.047
65	0.042	0.040
64	0.036	0.034
63	0.031	0.029
62	0.026	0.025
61	0.022	0.021
60	0.019	0.018
59	0.016	0.015
58	0.013	0.013
57	0.011	0.011
56	0.009	0.009
55	0.008	0.007
54	0.006	0.006
53	0.005	0.005
52	0.004	0.004
51	0.004	0.003
50	0.003	0.003
49	0.002	0.002
48	0.002	0.002
47	0.002	0.002
46	0.001	0.001
45	0.001	0.001
44	0.001	0.001
43	0.001	0.001
42 al 0	0.000	0.000

**Anexo 9 Base de datos de la
función de valor “Calificación
RENAC”**

INDICADOR	Xmáx	Xmín	C	K	P	B
Plazo de ejecución	1	0	0.5	0.01	1	50.502

Puntaje según ecuaciones (X)	ÍNDICE DE VALOR (Y)	$\left[1 - e^{-K_i \left(\frac{X - X_{\min}}{C_i} \right)^P} \right]$
1	1.000	0.020
0.9	0.901	0.018
0.8	0.802	0.016
0.7	0.702	0.014
0.6	0.602	0.012
0.5	0.502	0.010
0.4	0.402	0.008
0.3	0.302	0.006
0.2	0.202	0.004
0.1	0.101	0.002
0	0.000	0.000

**Anexo 10 Base de datos de la función de valor
“Plazo de ejecución”**

INDICADOR	Xmáx	Xmín	C	K	P	B
Cumplimiento requisitos formales	0	8	5	0.09	4	2.244

ERRORES Nº (X)	ÍNDICE DE VALOR (Y)	$\left[1 - e^{-K_i \left(\frac{X - X_{\max}}{C_i} \right)^{P_i}} \right]$
0	1.000	0.446
1	0.656	0.292
2	0.382	0.170
3	0.193	0.086
4	0.081	0.036
5	0.026	0.012
6	0.005	0.002
7	0.000	0.000
8	0.000	0.000

**Anexo 11 Base de datos de la función de valor
“Cumplimiento de requisitos formales”**

INDICADOR	X _{máx}	X _{mín}	C	K	P	B
Presupuesto de ejecución	0%	20%	10%	0.1	1	5.517

Porcentaje según ecuación (X)	ÍNDICE DE VALOR (Y)	$\left[1 - e^{-K_i \left(\frac{X - X_{mín}}{C_i} \right)^{P_i}} \right]$
0%	1.000	0.181
1%	0.955	0.173
2%	0.909	0.165
3%	0.862	0.156
4%	0.816	0.148
5%	0.768	0.139
6%	0.721	0.131
7%	0.673	0.122
8%	0.624	0.113
9%	0.575	0.104
10%	0.525	0.095
11%	0.475	0.086
12%	0.424	0.077
13%	0.373	0.068
14%	0.321	0.058
15%	0.269	0.049
16%	0.216	0.039
17%	0.163	0.030
18%	0.109	0.020
19%	0.055	0.010
20%	0.000	0.000

**Anexo 12 Base de datos de la función de valor
“Presupuesto de ejecución”**

INDICADOR	X _{máx}	X _{mín}	C	K	P	B
Montos contratados	\$7,500	\$0	\$2,100	0.11	2.4	1.107

Millones de pesos MM\$ (X)	ÍNDICE DE VALOR (Y)	$\left[1 - e^{-K_x \left(\frac{ X - X_{mín} }{C_x} \right)^P} \right]^B$
\$7,500	1.000	0.903
\$7,000	0.954	0.862
\$6,500	0.896	0.809
\$6,000	0.825	0.745
\$5,500	0.742	0.670
\$5,000	0.649	0.586
\$4,500	0.549	0.496
\$4,000	0.447	0.403
\$3,500	0.346	0.313
\$3,000	0.253	0.228
\$2,500	0.170	0.154
\$2,000	0.103	0.093
\$1,500	0.053	0.048
\$1,000	0.020	0.018
\$500	0.004	0.004
\$0	0.000	0.000

**Anexo 13 Base de datos de la función de valor
“Montos contratados”**

INDICADOR	Xmáx	Xmín	C	K	P	B
Capacidad económica disponible	\$1,200,000	\$47,754	\$800,000	0.09	2.1	5.680

Miles de pesos M\$ (X)	ÍNDICE DE VALOR (Y)	$\left[1 - e^{-K_i \cdot \left(\frac{X - X_{\min}}{C_i} \right)^P} \right]^B$
\$1,200,000	1.000	0.176
\$1,150,000	0.919	0.162
\$1,100,000	0.840	0.148
\$1,050,000	0.764	0.135
\$1,000,000	0.691	0.122
\$950,000	0.621	0.109
\$900,000	0.555	0.098
\$850,000	0.492	0.087
\$800,000	0.432	0.076
\$750,000	0.376	0.066
\$700,000	0.323	0.057
\$650,000	0.275	0.048
\$600,000	0.230	0.040
\$550,000	0.189	0.033
\$500,000	0.152	0.027
\$450,000	0.119	0.021
\$400,000	0.091	0.016
\$350,000	0.066	0.012
\$300,000	0.045	0.008
\$250,000	0.028	0.005
\$200,000	0.016	0.003
\$150,000	0.007	0.001
\$100,000	0.002	0.000
\$47,754	0.000	0.000

**Anexo 14 Base de datos de la función de valor
“Capacidad económica disponible”**

