UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

**PROCEDIMIENTO DE SELECCIÓN DE SUBCONTRATISTAS EN
PROYECTOS DE CARRETERAS EN EL PERÚ MEDIANTE EL
ANÁLISIS MULTICRITERIO**

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR(ES)

Casanova Vise, Franco Enrique (0000-0003-1548-4151)

Diaz Mendoza, Renato Fabriccio (0000-0003-4724-6799)

ASESOR

Gonzales del Valle Morales, Monica Ysabel (0000-0003-3406-5227)

Lima, 9 de Julio de 2020

DEDICATORIA

A Dios, nuestro padre celestial, que nos acompañó siempre y nos ayudó a solucionar cada obstáculo que se nos presentó en el camino. A nuestras familias que son los responsables de nuestro desarrollo, por creer en nuestra capacidad para lograr nuestros objetivos. A nuestros padres por su amor, consejos, apoyo y esfuerzos que tuvieron que realizar para darnos una buena educación. A nuestros hermanos que estuvieron siempre brindándonos alegría y motivación para seguir adelante. A nuestros amigos que nos brindaron su espíritu alentador. A todos ellos por haber contribuido en este logro, les agradecemos de todo corazón.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios, por poner en nuestro camino, a todos los que formaron parte de nuestra investigación. Quien nos puso a prueba con cada obstáculo que se nos presentó en el camino, para mejorar y aumentar el valor del proyecto.

Gracias a nuestros padres, que siempre estuvieron apoyándonos para cumplir nuestras metas y darnos todo su amor incondicional.

Gracias a nuestra asesora Mónica Gonzales del Valle por su gran apoyo a lo largo de todo este año, motivándonos a seguir adelante con el proyecto y aconsejándonos para superar las dificultades encontradas. Sin su ayuda, no habría sido posible este gran logro.

Por último, gracias a los ingenieros especialistas en el área de transporte por participar y brindar un poco de su gran conocimiento para hacer posible este proyecto. Sin su colaboración no habría sido posible la culminación del proyecto. Gracias a las empresas que, por su gran registro de información, fue posible añadir datos y valor a la investigación.

RESUMEN

Las elecciones de los subcontratistas en los proyectos de carreteras del Perú no poseen un procedimiento estandarizado, lo cual conlleva a utilizar distintas técnicas insuficientes para la elección óptima del subcontratista. La presente investigación se enfoca en disminuir los sobrecostos ocasionados por los subcontratistas, seleccionando de forma objetiva al subcontratista más adecuado para realizar el proyecto, estableciendo un procedimiento que emplea el análisis multicriterio. Para ello, se aplica este procedimiento a 3 proyectos de carreteras obteniendo una comparación entre el subcontratista seleccionado para la partida de señalización y el obtenido a través de los métodos multicriterio. Para obtener el subcontratista a través de la metodología es necesario realizar 4 procedimientos: El primero, consta en identificar los criterios más importantes para el proyecto y asignar una incidencia con la metodología del proceso analítico jerárquico (AHP). El segundo, reside en recopilar los datos de los subcontratistas postores basado en los criterios seleccionados y evaluarlos. El tercero, se basa en procesar los datos con el Método de organización de clasificación de preferencias para la evaluación de enriquecimiento (PROMETHEE). Por último, con los datos procesados se elabora un ranking de los subcontratistas y se selecciona el de mayor puntaje. La información obtenida de la experiencia realizada se sintetiza en un procedimiento que describe las etapas a seguir para la aplicación del método.

Palabras clave: Carreteras, subcontratación, sobrecostos, planificación de adquisiciones, señalización, método AHP, método PROMETHEE I y método PROMETHEE II, análisis multicriterio.

Selection procedure for subcontractors in the roads projects in Peru through multi-criteria analysis

ABSTRACT

The elections of subcontractors in the road projects of Peru have not been a standardized procedure, which leads to using different techniques that are insufficient for the optimal choice of the subcontractor. The present investigation focuses on reducing the cost overruns caused by subcontractors, selecting objectively the most suitable subcontractor to carry out the project, establishing a procedure that uses multicriteria analysis. Therefore, this procedure is applied to 3 road projects, where a comparison is realized between the subcontractor selected for the works of road signaling and the result through the multicriteria methods. To obtain the subcontractor through the methodology, it is necessary to carry out 4 procedures: The first consists in identifying the most important criterias for the project and giving them an incidence with the methodology of the hierarchical analytical process (AHP). The second one is to collect the data of the bidder subcontractors based on the selected criteria and evaluate them. The third is based on processing the data with the classification method of the functions for the enrichment evaluation (PROMETHEE). Finally, with the data processed, a ranking of the subcontractors is elaborated and the highest score is selected. The information obtained through the experience, is synthesized in a procedure that describes the steps to follow for the application of the method in a road project..

Keywords: Roads, subcontracting, cost overruns, procurement planning, signaling, AHP method, PROMETHEE I method and PROMETHEE II method, Multi criteria analysis.

TABLAS DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES	1
REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	4
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	5
HIPÓTESIS	6
OBJETIVO GENERAL.....	6
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	6
1 CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....	10
1.1. PROYECTOS DE CARRETERAS.....	10
1.1.1. Conceptos fundamentales	10
1.1.2. Involucrados en la construcción de carreteras.....	12
1.1.3. Etapas importantes en la construcción.....	14
1.2. SUBCONTRATACIÓN EN OBRAS PÚBLICAS	16
1.2.1. Subcontratación	16
1.2.2. Artículo 35 de la Ley de Contrataciones del Estado	18
1.2.3. Responsabilidad del subcontratista frente al Estado	19
1.3. PMBOK: PLANIFICACIÓN DE ADQUISICIONES.....	19
1.3.1. Documentos iniciales necesarios para la Planificación de las Adquisiciones	19
1.3.2. Herramientas y Técnicas de la Planificación de las Adquisiciones.....	21
1.3.3. Documentos finales obtenidos de la Planificación de las Adquisiciones.....	22
1.4. MÉTODO AHP (PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO).....	26
1.4.1. Descripción del método	26
1.4.2. Base Matemática del Proceso Analítico Jerárquico	28
1.5. MÉTODO PROMETHEE (PREFERENCE RANKING ORGANIZATION METHOD FOR ENRICHMENT EVALUATION).....	39
1.5.1. Descripción del método	39
1.5.2. Variables para la aplicación del método PROMETHEE.....	41
1.5.3. Procedimiento PROMETHEE I: Clasificación Parcial	44
1.5.4. Procedimiento PROMETHEE II: Clasificación Completa	45

1.6.	DIAGRAMA DE PARETO.....	46
1.7.	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	47
1.7.1.	Cuestionarios	47
1.7.2.	Entrevistas	49
1.7.3.	Registros y datos históricos	49
2	CAPÍTULO II: MATERIAL Y MÉTODOS	50
2.1.	MATERIAL	50
2.1.1.	Población	50
2.1.2.	Muestra	51
2.2.	MÉTODO	52
2.2.1.	Nivel de Investigación	52
2.2.2.	Diseño de Investigación.....	53
2.2.3.	Variables de estudio y operacionalización	54
2.2.4.	Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	55
2.2.5.	Técnicas de Procesamiento y Análisis de datos	56
3	CAPÍTULO III: IDENTIFICACIÓN DE LA PARTIDA SUBCONTRATADA MÁS INCIDENTE EN COSTO POR REPROCESOS DEL SUBCONTRATISTA. 58	
3.1.	PROYECTO 1: CARRETERA MATARANI - EL ARENAL - PUNTA DE BOMBÓN.....	58
3.1.1.	Información General	58
3.1.2.	Partidas subcontratadas.....	62
3.1.3.	Proceso de Selección	64
3.2.	PROYECTO 2: CARRETERA CHAMAYA-JAÉN-SAN IGNACIO-RIO CHANCHIS. TRAMO: SAN IGNACIO-PUENTE DE INTEGRACIÓN	64
3.2.1.	Información general.....	64
3.2.2.	Partidas subcontratadas.....	66
3.2.3.	Proceso de selección del subcontratista.....	67
3.3.	PROYECTO 3: MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA (CONFIDENCIAL)	69
3.3.1.	Información general.....	69
3.3.2.	Partidas subcontratadas.....	70

3.3.3.	Proceso de selección del subcontratista.....	73
4	CAPÍTULO IV: CRITERIOS RELEVANTES PARA LA SELECCIÓN DEL SUBCONTRATISTA EN PROYECTOS DE CARRETERAS EN EL PERÚ.....	75
4.1.	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....	75
4.1.1.	Perfil del profesional	75
4.1.2.	Elaboración de entrevistas	75
4.1.3.	Elaboración de encuestas.....	76
4.2.	APLICACIÓN EN EXPERTOS	76
4.3.	IDENTIFICACIÓN DE CRITERIOS MÁS IMPORTANTES	77
4.3.1.	Selección de 8 criterios.....	77
4.3.2.	Clasificación de criterios cualitativos y cuantitativos	78
5	CAPÍTULO V: EVALUACIÓN DE SUBCONTRATISTAS POR CRITERIOS.....	79
5.1.	IDENTIFICACIÓN DE SUBCONTRATISTAS CONCURSANTES.....	80
5.2.	PORTAFOLIO DE TRABAJO Y COMENTARIOS	81
5.2.1.	Revisión de registros históricos en trabajos realizados	81
5.2.2.	Elaboración de encuestas.....	82
5.2.3.	Aplicación de encuestas al contratista	83
5.3.	EVALUACIÓN RESPECTO A CRITERIOS CUALITATIVOS	83
5.4.	EVALUACIÓN RESPECTO A CRITERIOS CUANTITATIVOS	84
6	CAPÍTULO VI: APLICACIÓN DEL MÉTODO AHP EN CRITERIOS DE SELECCIÓN.....	86
6.1.	MODELAMIENTO DE JERARQUIA	86
6.2.	ELABORACIÓN DE CUESTIONARIOS	87
6.3.	ELABORACIÓN DE MATRIZ DE COMPARACIÓN	89
6.4.	PESO DE LOS CRITERIOS DE SELECCIÓN.....	93
6.5.	ÍNDICE DE CONSISTENCIA	95
7	CAPÍTULO VII: ORGANIZACIÓN DEL RANKING DE SUBCONTRATISTAS CON EL MÉTODO PROMETHEE	97
7.1.	ELABORACIÓN DE LA MATRIZ DE EVALUACIÓN	97
7.2.	ESTABLECIMIENTO DE FUNCIONES DE PREFERENCIA.....	102

7.3.	CALCULO DE FLUJOS DE SUPERACIÓN	108
7.4.	RANKING PARCIAL DE SUBCONTRATISTAS	111
7.5.	RANKING COMPLETO DE SUBCONTRATISTAS.....	113
8	CAPÍTULO VIII: ELABORACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA SELECCIÓN DEL SUBCONTRATISTA EN PROYECTOS DE CARRETERAS EN EL PERÚ	114
8.1.	PROCEDIMIENTO	114
8.2.	VALIDACIÓN POR JUICIO EXPERTO	114
9	CAPITULO IX: RESULTADOS	115
9.1.	PARTIDAS SUBCONTRATADAS MÁS INCIDENTES EN LOS 3 PROYECTOS DE CARRETERAS.....	115
9.2.	CRITERIOS DE SELECCIÓN RELEVANTES PARA LA SELECCIÓN DEL SUBCONTRATISTA.....	117
9.3.	EVALUACIÓN DE SUBCONTRATISTAS EN CRITERIOS MÁS INCIDENTES.....	118
9.4.	INCIDENCIA DE LOS CRITERIOS DE SELECCIÓN.	119
9.5.	SUBCONTRATISTA ÓPTIMO PARA EL PROYECTO.	120
9.6.	PROCEDIMIENTO DE SELECCIÓN DE SUBCONTRATISTA EN PROYECTOS DE CARRETERAS EN EL PERÚ.	123
10	CAPÍTULO X: CONCLUSIONES.....	124
10.1.	OBJETIVO 1	124
10.2.	OBJETIVO 2	124
10.3.	OBJETIVO 3	125
10.4.	OBJETIVO 4	125
10.5.	OBJETIVO 5	125
10.6.	OBJETIVO 6.	126
11	CAPÍTULO XI: RECOMENDACIONES	127
11.1	OBJETIVO 1	127
11.2	OBJETIVO 2	127
11.3	OBJETIVO 3.	128
11.4	OBJETIVO 4	128

11.5	OBJETIVO 5	128
11.6	OBJETIVO 6	129
12	CAPÍTULO XII: REFERENCIAS	130
13	ANEXOS	134
13.1	ANEXO 1: CUESTIONARIO DE SELECCIÓN DE CRITERIOS RELEVANTES PARA SELECCIÓN DE SUBCONTRATISTAS EN PROYECTOS DE CARRETERAS	134
13.2	ANEXO 2: CUESTIONARIO DE EVALUACIÓN DE IMPORTANCIA ENTRE CRITERIOS 135	
13.3	ANEXO 3: CUESTIONARIO DE EVALUACIÓN DE EMPRESA SUBCONTRATISTA	146
13.4	ANEXO 4: EXPERTOS QUE PARTICIPARON EN LA INVESTIGACIÓN	148
13.5	ANEXO 5: EXPERTOS QUE VALIDARON EL PROCEDIMIENTO.....	157
13.6	ANEXO 6: CUESTIONARIO PARA VALIDACIÓN DE EXPERTOS	159
13.7	ANEXO 7: “PROCEDIMIENTO DE SELECCIÓN DE SUBCONTRATISTAS EN PROYECTOS DE CARRETERAS EN EL PERÚ MEDIANTE EL ANÁLISIS MULTICRITERIO”..	160

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Valores Saaty para criterios.....	30
Tabla 2 Valores Saaty para alternativas	32
Tabla 3 Valores del índice de aleatoriedad.....	37
Tabla 4: Proyectos de carreteras ejecutadas en el Perú	51
Tabla 5: Variables de estudio y operacionalización	55
Tabla 6 Características generales del proyecto 1.....	58
Tabla 7 % de Avance del Proyecto 1.....	60
Tabla 8: Partidas subcontratadas del Proyecto 1	62
Tabla 9 Características generales del proyecto 2.....	64
Tabla 10: Características generales del proyecto 3	69
Tabla 11: Partidas subcontratadas del Proyecto 3	71
Tabla 12: Clasificación de criterios cualitativos y cuantitativos	79
Tabla 13: Escala cualitativa.....	83
Tabla 14: Evaluación de subcontratistas según criterios cualitativos.....	84
Tabla 15: Evaluación de subcontratistas según criterios cuantitativos.....	85
Tabla 16: Comparación de criterios de selección.....	87
Tabla 17: Opciones de comparación entre criterios de selección.....	89
Tabla 18: Recuento de encuestas de criterios de selección.	90
Tabla 19: Promedio obtenido de las comparaciones	91
Tabla 20: Decodificación de comparaciones al Valor numérico.....	92
Tabla 21: Vector de pesos de los criterios.....	95
Tabla 22: Matriz de Evaluación para el Proyecto 1.....	97
Tabla 23: Matriz de Evaluación para el Proyecto 2.....	98
Tabla 24: Matriz de Evaluación para el Proyecto 3.....	98
Tabla 25: Funciones de preferencia de los criterios de selección.....	103
Tabla 26: Valores q y p para los criterios de selección	103
Tabla 27: Ranking completo de subcontratistas para el PROYECTO 1	113
Tabla 28: Ranking completo de subcontratistas para el PROYECTO 2	113
Tabla 29: Ranking completo de subcontratistas para el PROYECTO 3	113
Tabla 30: Evaluación de subcontratistas según criterios cualitativos.....	118
Tabla 31: Evaluación de subcontratistas según criterios cuantitativos.....	118
Tabla 32: Criterios de selección y sus pesos.	119

Tabla 33: Ranking completo de subcontratistas para el PROYECTO 1	121
Tabla 34: Ranking completo de subcontratistas para el PROYECTO 2	122
Tabla 35: Ranking completo de subcontratistas para el PROYECTO 3	122

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura jerárquica general del método AHP. Recuperado de “Portfolio selection through hierarchies”, por Saaty, T, Rogers, P, Pell, R, 1988	27
Figura 2. Estructura Matriz A, por Saaty, T, 1987	28
Figura 3. Matriz Anorm, por Saaty, T, 1987	31
Figura 4. Demostración de una matriz recíproca, por Saaty, T, 1987	35
Figura 5: Funciones de preferencia. Por: Brans, J, 2005	41
Figura 6: Clasificación PROMETHEE. Por Brans, J.P (1985)	44
Figura 7: Ejemplo de pregunta cerrada dicotómica. Por Hernández, R (2014).....	47
Figura 8: Ejemplo de pregunta cerrada de varias respuestas. Por Hernandez, R (2014) 48	
Figura 9: Ejemplo de cuestionario con pregunta abierta. Por Hernández, R (2014).....	48
Figura 10: Medida de Estabilidad. Por Hernández, R (2014)	49
Figura 11: Diseño de Investigación. Por Elaboración Propia.....	54
Figura 12: Ubicación del proyecto 1. Por: Obraina	61
Figura 13: Diagrama de Pareto del Sobre costo. Por: Elaboración propia	62
Figura 14: Diagrama de Pareto de Días de atraso. Por: Elaboración Propia	63
Figura 15: Ubicación del proyecto 2. Por: Altesa	65
Figura 16: Ubicación del proyecto 3. Por: Consorcio Confidencial.....	69
Figura 17: Diagrama de Pareto por días de atraso. Por: Elaboración propia.....	71
Figura 18: Diagrama de Pareto por días de atraso. Por: Elaboración propia.....	72
Figura 19: Criterios de selección relevantes para la selección de subcontratistas en proyectos de carreteras. Por: Elaboración propia	78
Figura 20: Modelamiento de la Jerarquía AHP para la selección del subcontratista. Por: Elaboración propia, 2018.....	87
Figura 21: Ranking Parcial de subcontratistas en el PROYECTO 1. Por: Elaboración propia, 2018.....	112
Figura 22: Ranking Parcial de subcontratistas en el PROYECTO 2. Por: Elaboración propia, 2018.....	112
Figura 23: Ranking Parcial de subcontratistas en el PROYECTO 3. Por: Elaboración propia, 2018.....	112
Figura 24: Diagrama de Pareto del Sobre costo. Por: Elaboración propia	115
Figura 25: Diagrama de Pareto de Días de atraso. Por: Elaboración Propia	116
Figura 26: Diagrama de Pareto por días de atraso. Por: Elaboración propia.....	116

Figura 27: Diagrama de Pareto del Sobrecosto. Por: Elaboración propia	117
Figura 28: Criterios de selección y su incidencia. Por: Elaboración propia, 2018.....	120

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Axioma de reciprocidad.....	29
Ecuación 2: Número de comparaciones a realizar.....	29
Ecuación 3: Valores de matriz A_{norm}	30
Ecuación 4: Vector de pesos de criterio	31
Ecuación 5: Número de comparaciones necesarias	32
Ecuación 6: Valores de la matriz B_{norm}	32
Ecuación 7: Cálculo de vector $s(j)$	33
Ecuación 8: Cálculo de la matriz de puntuación de alternativas S	33
Ecuación 9: Cálculo de vector de puntuaciones globales.....	34
Ecuación 10: Prueba de consistencia de los valores de la matriz A	35
Ecuación 11: Cálculo del valor de matriz no recíproca.....	36
Ecuación 12: Índice de Consistencia	36
Ecuación 13: Razón de Consistencia.....	37
Ecuación 14; Cálculo automatizado de la evaluación de la alternativa i con respecto a la h	38
Ecuación 15: Cálculo automatizado de la evaluación de la alternativa h con respecto a la i	38
Ecuación 16: Normalización de pesos relativos w	40
Ecuación 17: Grado de preferencia de a sobre b considerando todos los criterios	42
Ecuación 18: Grado de preferencia de b sobre a considerando todos los criterios	42
Ecuación 19: Propiedades de los índices de preferencia agregada.....	42
Ecuación 20: Flujo de relevancia positivo.....	43
Ecuación 21: Flujo de relevancia negativo.....	43
Ecuación 22: Flujo neto de relevancia.....	45
Ecuación 23: Relaciones de PROMETHEE.....	45
Ecuación 24: Propiedades del flujo neto	46
Ecuación 25: Cálculo de muestra estadística.....	52

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

La presente investigación se titula: “Procedimiento de selección de subcontratistas en proyectos de carreteras en el Perú mediante el análisis multicriterio” con el objetivo de mejorar la selección de los subcontratistas para disminuir en su trabajo el riesgo de: sobrecostos, demoras, retrabajos.

La revisión de la literatura de investigación se realizó con el objetivo de identificar los problemas más incidentes ocasionados por los subcontratistas en las obras de construcción civil. A partir de dichos estudios, se identificaron los criterios que tienen impacto en el desarrollo de las actividades a realizar por el subcontratista. Esto, con la finalidad de establecer un procedimiento que considere estos criterios al instante de seleccionar a la empresa. Por otra parte, se investigaron los tipos de proyectos en los cuales son más frecuentes los problemas relacionados con la subcontratación. A continuación, se identificó una metodología para realizar la selección del subcontratista de forma objetiva, la cual está orientada a la obtención de resultados que puedan beneficiar al proyecto. Además, a través de la metodología se desea incorporar un lineamiento que evite cualquier tipo de selección cuyo procedimiento afecte a la moral y ética de la empresa. Los estudios que se presentarán a continuación son originarios de países en la vanguardia de la construcción y lograron aportar una mejora en distintos casos de subcontratación alrededor del mundo.

La investigación realizada por Liang, Wu, & Chen (2014) brinda a las empresas datos importantes recopilados de otros proyectos, en los cuales ha existido subcontratación. Esta investigación brinda soporte al tema de tesis, ya que se enfoca en mostrar los problemas más comunes que ocurren entre el contratista y subcontratista, y concluye que estos ocurren con mayor incidencia durante dos etapas distintas del proyecto. En la etapa de la firma del subcontrato, en la cual el contratista general selecciona y evalúa los subcontratistas posibles a desarrollar una parte del proyecto y en la etapa de ejecución de la obra, donde la gestión del subcontrato tiene un impacto directo en el proceso, calidad y economía, que influiría en el éxito del proyecto. Estos problemas si no son solucionados pueden llevar a cabo el fracaso de este, perjudicando la imagen y economía de la empresa. Es por ello, que muestra cómo poder llevar a cabo una subcontratación durante las etapas relevantes de manera óptima para obtener unos resultados de calidad y sin problemas.

Bendaña, Del Caño, & De la Cruz (2008) presentaron un sistema basado en lógica difusa para seleccionar contratistas. Este sistema desarrolla una evaluación de diferentes cuestiones cualitativas y cuantitativas que influyen en la buena disposición del contratista para construir un diseño específico en un entorno específico (necesidades y objetivos del cliente, priorización de objetivos, etc.), teniendo en cuenta el riesgo de no alcanzar los objetivos del cliente. Esta investigación propone aplicar la lógica difusa en la selección de contratistas y es aplicable en la resolución de otros problemas de selección complejos.

Por otro lado, Polat (2014) propone un enfoque de decisión integrado, el cual utiliza el proceso de jerarquía analítica (AHP) y el método de organización de clasificación de preferencia para evaluaciones de enriquecimiento (PROMETHEE) de forma simultánea, para el problema de selección de subcontratista. En el enfoque propuesto, AHP se utiliza para analizar la estructura del problema de selección del subcontratista y para determinar el peso de los criterios, y PROMETHEE se emplea para obtener una clasificación completa y realizar un análisis de sensibilidad al cambiar el peso de los criterios. El enfoque propuesto se aplica a un problema de selección del subcontratista más apropiado para trabajar en un proyecto de construcción internacional.

Otra investigación con relevancia fue realizada por Yongtao & Bin (2017), ya que presenta los principales indicadores que afectan en la relación del contratista y los subcontratistas. Estos son obtenidos gracias a encuestas realizadas a distintas empresas y muestran que el indicador de buena relación contribuye positivamente a los contratistas principales en la competitividad, lo que lleva al desarrollo de relaciones en colaboración con diversos subcontratistas para generar mayor utilidad. Por otra parte, en este artículo se investigó la forma de mantener relaciones de colaboración con los subcontratistas y se otorga recomendaciones constructivas.

Los autores Liu, Xia, & Yang (2017) realizaron una investigación reciente sobre el criterio de la relación entre los contratistas y los subcontratistas aplicando la justicia percibida, valor de la relación, y la voluntad de cooperar. Se puede observar que la mejora de una subcontratista por medio de sus percepciones justas para ellas será beneficioso para los contratistas generales, ya que su dedicación será mayor. Además, esto generaría una relación a largo plazo la cual aumentaría la calidad de los proyectos futuros. Este artículo indica la importancia que posee este criterio en las obras de construcción, a la hora de las subcontrataciones.

Un estudio llevado a cabo en Italia por parte de Moretti & Valbonesi (2015) investiga acerca de las mejores reglas que fomentan la capacidad de los contratistas para tomar decisiones eficientes sobre la cadena de suministro. Investiga empíricamente las reglamentaciones italianas sobre el examen de calificación para obras públicas que determinan dos posiciones diferentes con respecto a la decisión de una empresa de subcontratar o no hacerlo. Respaldar al tema a desarrollar porque concluye que una forma de reducir costos en el proceso de contratación pública podría ser definir categorías de trabajo relativamente más amplias para las calificaciones de las empresas. Al hacerlo, las empresas ganadoras estarían plenamente calificadas con más frecuencia y, por lo tanto, ejercerán sus elecciones de modo más eficiente para la subcontratación.

Mecar (2015) describe una propuesta de metodología de evaluación de subcontratistas después de la fase de realización de un proyecto de construcción. Se resalta la importancia y los beneficios de esta evaluación para las empresas de construcción. El artículo incluye un prototipo de la base de datos de los subcontratistas, como fuente de información para los colaboradores. La aplicación acelerará y automatizará el proceso de evaluación de los subcontratistas y constituirá la base para el desarrollo de otros sistemas de seguimiento para la gestión y el control de subcontratos. La investigación contribuye al tema de tesis a desarrollar debido a que el resultado de la evaluación propuesta es preciso y, por lo tanto, adecuado para su aplicación directa en una evaluación multicriterio de las ofertas de los subcontratistas. Los autores resaltan que frente al proceso largo de evaluación de los subcontratistas en la construcción de organizaciones que operan en el mercado como proveedores generales, es necesario mantener una base de datos de subcontratistas precisa, bien organizada y fácil de usar.

El estudio elaborado por Makkinga (2018), busca ayudar a los contratistas a desarrollar su estrategia de adquisición para evitar problemas con la verificación del trabajo subcontratado y aumentar el rendimiento del proyecto. El aspecto diferencial de esta investigación en respecto a las demás es que los autores han combinado la cadena de suministro de la construcción, la ingeniería de sistemas y la verificación y validación, una combinación que no se abordó en investigaciones anteriores. Esta investigación apoya el tema de tesis al mostrar los problemas que enfrenta un contratista al subcontratar partes de un proyecto de construcción a proveedores, con un enfoque en la verificación del trabajo realizado por estos proveedores. Debido a un cambio en las tareas y responsabilidades en la industria de la construcción desde el cliente hasta el contratista,

las tareas y responsabilidades en la relación entre el contratista y el proveedor también cambian causando problemas con la verificación del trabajo subcontratado.

Dakshina, Kosmopoulou, & Lamarche (2017) sostienen que las empresas poseen tanta competitividad que hace que contraten una parte de su trabajo. La subcontratación permite a los licitadores controlar los gastos futuros al disminuir la carga de trabajo e obligaciones, que pueden traer resultados positivos para las empresas. Los resultados de esta investigación contribuyen al tema de tesis, ya que indican que el empleo de subcontratistas puede tener un efecto positivo en la duración de los negocios, en particular en empresas recientes. Además, los resultados para las empresas con proyectos de carreteras fueron mejores que la demás debido a las opciones comerciales limitadas que poseían en sus proyectos, apoyando el enfoque de esta tesis hacia los proyectos de carreteras.

REALIDAD PROBLEMÁTICA

La gestión de los proyectos ha ido cambiando a través del tiempo y ha ganado mayor importancia. Diversos estudios han demostrado que en el desarrollo de los proyectos cuanto más compleja es una tarea, los contratistas optan por delegar a terceros, es decir a los subcontratistas, Cloudhry & Hinze (2012). Esta decisión es crucial, ya que traerá efectos a lo largo de todo el proyecto por diversos factores como el tiempo, calidad, y utilidad que pueden llevar al éxito o al fracaso la obra. Las investigaciones realizadas por Mbachu (2008) indican que esta contratación es cada vez más popular por parte de los contratistas cuyas actividades demandan una cartera más amplia de profesionales y equipos calificados en cada una de las diversas operaciones especializadas necesarias para completar los proyectos de construcción.

Realizar la selección del subcontratista adecuado para el trabajo es una fase fundamental en el proyecto. Es una práctica común que los contratistas busquen seleccionar a los subcontratistas basándose en el precio de oferta más bajo, una práctica bajo el enfoque tradicional de construcción. Sin embargo, trabajar con subcontratistas que no se encuentren debidamente calificados, no familiarizados con el tipo de proyecto a ejecutar o con una capacidad de financiación insuficiente para cubrir gastos internos, puede dar origen a un trabajo ineficiente. Por lo tanto, el proceso de selección de subcontratistas debe considerar aspectos no solamente centrados en el menor precio, sino en el posible valor que le pueda otorgar al proyecto de acuerdo con las capacidades, habilidades y desempeño del subcontratista, Ng & Tang (2009).

En las obras de construcción de carreteras, se observan problemas con los subcontratistas por la falta de control sobre ellos. Por ejemplo, existen problemas referentes a la calidad de acabados y pintura en los cuales, el color o la microesfera en el pavimento presentan baja calidad o en el peor de los casos están vencidos. Esto produce una pérdida de color o brillo en menos tiempo del debido, ocasionando un retrabajo que puede traer consecuencias para el contratista en el caso ya se dé por terminado el contrato con la subcontratista. Por otro lado, en otro caso se identificó que, en el proceso de la construcción de canales, no se utilizó la dosificación adecuada del concreto reduciendo su resistencia, lo que puede ocasionar fallos futuros en estos y generando el desprestigio de los contratistas.

La investigación propuesta se desarrollará en proyectos de carreteras en el Perú que se desarrollaron desde el 2010. Se requiere información del carácter portafolio de proyectos de los subcontratistas concursantes. De igual modo indicadores de desempeño de los trabajos realizados por los subcontratistas, para poder realizar un análisis completo sobre ellos. Además, información del proceso selectivo que se llevó a cabo por los contratistas para los subcontratos y de ese modo mejorar la elección final.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

A la fecha, la literatura de investigación no propone procedimientos para la selección de subcontratistas en proyectos de construcción. Estas, en su mayoría están centradas en la gestión de contrataciones del contratista y el control durante las distintas fases del proyecto con los subcontratistas. (Polat, 2014).

En dicho contexto, se toman decisiones subjetivas basadas en criterios tradicionales como el menor precio de oferta, las referencias u opiniones de conocidos; para la selección del subcontratista, Arroyo, Tommelein, & Ballard (2014). Por lo tanto, surgen las preguntas que incitan a la reflexión sobre cómo seleccionar un subcontratista óptimo para el proyecto. ¿Bajo qué criterios los subcontratistas deben ser evaluados?, ¿Cómo mejorar la selección de los subcontratistas en proyectos de carreteras en el Perú con la finalidad de reducir sobrecostos?, ¿Qué metodología emplear para el proceso de selección?, ¿Cómo evaluar criterios cuantitativos y cualitativos en un mismo procedimiento? Todas estas incógnitas se buscan resolver en la presente investigación.

HIPÓTESIS

La implantación de un procedimiento que utiliza el análisis multicriterio para seleccionar el subcontratista óptimo en proyectos de carreteras en el Perú, según los criterios de mayor importancia obtenidos por el juicio experto, reducirá los sobrecostos, retrasos y defectos originados por el subcontratista.

OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de esta investigación reside en desarrollar un procedimiento para la selección de los subcontratistas en proyectos de carreteras en el Perú mediante el análisis multicriterio.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar mediante el principio de Pareto y entrevistas a expertos, en 3 proyectos de carreteras en el Perú, la partida subcontratada más incidente en costo por reprocesos y retrabajos del subcontratista.
2. Discriminar a través de las encuestas aplicadas a 32 expertos, los 8 criterios más relevantes en un proceso de selección de subcontratistas en proyectos de carreteras en el Perú.
3. Evaluar mediante registros históricos y encuestas aplicadas a expertos en las empresas contratistas, a los subcontratistas de acuerdo con los 8 criterios identificados.
4. Calcular a través del método AHP (Proceso analítico jerárquico), la incidencia de los 8 criterios de selección.
5. Organizar mediante el método PROMETHEE (Método de organización de clasificación de preferencia para enriquecimiento de evaluaciones), el ranking de subcontratistas para los 3 proyectos identificados.
6. Elaborar mediante la validación por juicio experto y el fundamento teórico del método AHP y PROMETHEE, el procedimiento paso a paso para seleccionar al subcontratista en proyectos de carreteras en el Perú de acuerdo a los intereses y necesidades del proyecto a aplicar.

DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO

La población por investigar son los proyectos de licitaciones públicas de carreteras en el Perú, desarrollados a partir del 2010 hasta la actualidad.

La muestra por investigar son 3 proyectos de licitaciones públicas de carreteras en el Perú que ya han sido elaborados. La elección de esta muestra será sistemática al seleccionarse

proyectos que cuenten con una base de datos sobre el trabajo desarrollado por los subcontratistas, asimismo indicadores y características del proceso de selección realizado. La investigación propuesta se divide en 5 etapas: Conceptualización, planificación, obtención de datos, análisis de datos, y análisis de resultados.

En primer lugar, se desarrolló la etapa de conceptualización, se realizó el análisis de la problemática que se busca solucionar, se analizó una necesidad existente y se evaluó el brindar una solución a la problemática. Se revisaron investigaciones ya existentes para constituir la base de los fundamentos conceptuales del estudio. Se analizó el marco teórico actual para ubicar el problema en el tiempo y espacio. En base a lo revisado, se planteó una hipótesis que solucionará el problema.

En segundo lugar, se desarrolló la etapa de planificación, en esta etapa se realizó la selección del diseño de la investigación. Se seleccionó un diseño no experimental al realizar la recolección de datos sin introducir cambios que afecten los mismos. Por otro lado, se identificó la población a estudiar: los proyectos de licitaciones públicas de carreteras en el Perú. Se seleccionó los métodos a emplearse durante la investigación, en el caso se trata de los métodos de recopilación de información y los de análisis de datos. Luego, se eligió la muestra de la investigación, esta será sistemática al depender de criterios como la existencia de una base de datos con información e indicadores acerca del desempeño de los subcontratistas. Finalmente, se procede con la revisión del plan de tesis.

En tercer lugar, se desarrollará la etapa de obtención de datos, mediante la aplicación de encuestas, entrevistas y recopilación de información para la investigación con la finalidad de obtener las partidas que fueron subcontratadas en 3 proyectos de carreteras en el Perú. De igual modo se emplearán técnicas de procesamiento de datos como juicio experto para poder discriminar los criterios que no se consideran relevantes y obtener los 8 criterios principales.

En cuarto lugar, se desarrollará la etapa de análisis de datos mediante el procesamiento del método multicriterio AHP (Proceso analítico jerárquico), que tiene como fin resolver los problemas complejos de selección. Este ayuda a comparar los elementos de acuerdo con sus niveles de influencia y otorga una jerarquía para la decisión final, generando los pesos de los 8 criterios. Acto seguido se aplicará la metodología PROMETHEE con el

objetivo de generar el ranking de subcontratistas ordenados a medida que sus características principales se adecuan a las necesidades del proyecto.

En quinto lugar, se expondrán los resultados y se comparará si el subcontratista elegido es el mismo que el obtenido por el método multicriterio, en el caso que no coincida se contrarrestará su desempeño en el proyecto y su posición en el ranking desarrollado.

Finalmente, se realizará una síntesis de la aplicación del método multicriterio en la selección de subcontratistas en los 3 proyectos, describiendo el procedimiento a llevar a cabo para su aplicación en cualquier proyecto de carreteras en el Perú.

Para la recolección de datos se realizarán distintos tipos de herramientas que son las siguientes:

- Encuestas
- Entrevistas
- Recopilación de información de la base de datos

Las encuestas serán elaboradas con un grupo de preguntas que serán dirigidas hacia los contratistas específicamente para la obtención de datos de la relación que llevan con sus subcontratistas a analizar. Además, conocer experiencias anteriores y resultados de los proyectos realizados en conjunto para conocer calidad obtenida. Por otro lado, identificar los criterios que consideran importantes para la selección de sus subcontratistas.

Las entrevistas se realizarán con el propósito de conocer mejor las ideas del entrevistado desde un punto de vista subjetivo y carácter personal. Se realizarán con preguntas abiertas y cerradas, para obtener las experiencias generales con los subcontratistas, que obtuvieron a través de su labor como ingeniero civil.

La recopilación de información se realizará con el permiso de los contratistas y subcontratistas para tener acceso a su base de datos que servirán como soporte de la investigación que se realizará.

Se utilizará el juicio experto para poder discriminar los criterios que no se consideran relevantes y obtener los principales. Finalmente, se utilizará la matriz de comparación de pares para estudiar las relaciones entre criterios cuantitativos y cualitativos. Esta se originará a partir de encuestas, entrevistas y registros de datos históricos.

Las técnicas para el procesamiento de datos se realizarán con los datos obtenidos en la etapa de recolección.

El método por desarrollar será el AHP (Proceso analítico jerárquico). Este ayuda a comparar los elementos de acuerdo con sus niveles de influencia y otorga una jerarquía para la decisión final. En vez de brindar una única solución al problema complejo, se halla la solución que mejor se adecua a las necesidades. Tal como señala Saaty (1980), “El AHP trata directamente con pares ordenados de prioridades de importancia, preferencia o probabilidad de pares de elementos en función de un atributo o criterio común representado en la jerarquía de decisión” (p.22). Esta herramienta se ha aplicado internacionalmente con la finalidad de introducir las preferencias de protagonistas en un conflicto o proceso participativo de toma de decisión.

Según Taoufikallah (2018), las decisiones a ser tomadas con el uso de esta técnica pueden variar desde simple decisiones personales y cualitativas hasta escenarios de decisiones muy complejas y totalmente cuantitativas.

El método multicriterio que complementara el AHP es el método PROMETHEE I y II. Este método tiene la finalidad de generar una clasificación entre los participantes, con los pesos de los criterios obtenidos con el AHP. El PROMETHEE I genera un ranking parcial con relaciones de preferencia, irrelevancia o incomparabilidad entre los participantes que en nuestro caso serían los subcontratistas. El PROMETHEE II elimina la incomparabilidad, para solo obtener respuestas de preferencia o irrelevancia entre los subcontratistas y poder generar el ranking.

1 CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

En el capítulo a continuación, se describirán aquellos conceptos fundamentales para la investigación, entre ellos los proyectos de carreteras, sus involucrados y sus etapas de construcción. Así mismo se explicará en que consiste la subcontratación y la responsabilidad que esto conlleva en una obra pública. Por otro lado, se ahonda en las prácticas recomendadas por el PmBok, la guía de los fundamentos para la dirección en proyectos, para la planificación y gestión de adquisiciones tales como subcontratos de servicios. También, se exponen los 2 métodos multicriterio a utilizar en la investigación: El Método AHP (Proceso Analítico Jerárquico) y el PROMETHEE (Método de organización de clasificación de preferencias para el enriquecimiento de las evaluaciones), describiendo y exponiendo las bases matemáticas que estos utilizan. Finalmente, se describen las técnicas que se utilizarán para identificar datos importantes y métodos de recolección de datos a emplear en la investigación.

1.1. PROYECTOS DE CARRETERAS

1.1.1. Conceptos fundamentales

Una carretera es una vía de uso público que se proyecta y es construida para la circulación de vehículos automóviles. Las carreteras cumplen una función fundamental en la sociedad moderna, interconectando regiones para el transporte de personas, bienes y servicios. Esta posee un papel importante en el progreso y conduce a un crecimiento socioeconómico. Tal y como ha concluido Reynafarje (2018) los beneficios de las carreteras son muchos, entre ellos destacan el costo-beneficio, la reducción de la contaminación sonora, la mejora de la seguridad y de la comodidad y la durabilidad.

Las carreteras son parte de los proyectos de inversión del país y persiguen un objetivo, el cual es solucionar un problema o necesidad importante. Es por ello, que se realiza un estudio preliminar y de factibilidad para poder saber si el proyecto realmente es necesario y si resultará beneficioso. Estas poseen diversas características del diseño geométrico esenciales para su funcionamiento correcto como los sistemas de drenaje, ancho de vía, etc; y por otro lado, señalizaciones informativas necesarias para la seguridad de los usuarios, por ejemplo, las señales de velocidad máxima y mínima.

Por ello, se realizan estudios básicos necesarios para la ejecución del proyecto. A través de un proceso de recopilación y procesamiento de información necesario para el estudio vial durante el planeamiento de la propuesta. Existen metodologías y niveles de detalle por tipo y nivel de estudio que se indican en el Manual de Carreteras del Perú.

Los estudios esenciales son los siguientes:

- Estudios Topográficos y Geodesia. - El objetivo principal es representar de la manera más precisa posible el relieve del terreno en el cual se emplaza el proyecto. Para ello, se realiza un conjunto de operaciones (medidas y cálculos) necesarias para representar gráficamente sobre un plano, los detalles y accidentes de un terreno. Se obtendrá a través de distintas técnicas topográficas como la taquimetría, fotogrametría, uso del GPS (Sistema americano de navegación), etc.

- Estudios de Mecánica de Suelos. - El estudio deberá identificar la presencia o no de suelos orgánicos, de suelos expansivos para luego presentar los registros de las investigaciones. Se realizará la descripción de los estratos indicando espesores, tipo de material, color, humedad y compacidad. Estos se obtienen a través de ensayos realizadas en las muestras o calicatas obtenidas en el trabajo de campo y para estos casos la profundidad de muestreo deberá ser mayor a 1.50 m. Los ensayos se pueden encontrar en el manual de ensayos del MTC.

- Estudios de Hidrología, Hidráulica y Transporte de Sedimentos. - Estos estudios proporcionan los elementos de diseño para dimensionar obras que cumplen con los siguientes fines: salvar cauces naturales, recoger y disponer las aguas lluvia, restituir el drenaje superficial natural, etc. Para obtener los datos adecuados es necesario estudiar aspectos hidráulicos, hidrológicos e hidrogeológicos.

- Estudios Geotécnicos. - El objetivo del estudio geotécnico consiste en la identificación de sectores específicos con características geotécnicas favorables, sectorización de la zona de emplazamiento del trazado, definir perfil estratigráfico por sectores el cual es necesario para identificación del suelo, poder definir las condiciones de fundación de estructuras, obras de arte y definir aspectos de drenaje que sean incidentes en problemas geotécnicos. Además, se analiza si se posee los yacimientos de materiales esenciales para la construcción de la vía.

- Estudios de Tránsito. - A partir de este estudio se determinará la demanda de transporte y a partir de ella surgirán las condiciones funcionales y geométricas que debe cumplir el proyecto. Para la obtención de los datos se realizarán conteos de tránsito, encuestas origen – destino, estratigrafía de carga y proyecciones de tránsito futuro, ya sea para una vía totalmente nueva o para un mejoramiento de la vía.

• Estudios de Impacto Ambiental. - Es el estudio técnico el cual incorpora el procedimiento de la evaluación ambiental y está destinado a identificar preventivamente, las consecuencias o efectos ambientales que las actividades del proyecto puedan impactar sobre la calidad de vida del hombre y su entorno. Este evalúa aspectos físico-naturales biológicos, socioeconómicos y culturales, y determina las condiciones existentes y capacidades del medio. Es por ello, que se debe tomar las medidas de previsión y control para lograr un desarrollo armónico entre las operaciones de la industria minera y el medio ambiente.

1.1.2. Involucrados en la construcción de carreteras

En el proceso de la construcción de carreteras públicas en el Perú existen involucrados principales, los cuales son los encargados de llevar la ejecución de la carretera. El primero es la supervisión, que representa al Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) y Provias nacional del Perú. El segundo es la empresa contratista o constructora los cuales son los encargados de ejecutar los trabajos de construcción civil.

1.1.1.1 La supervisión

La supervisión está encargada de establecer lineamientos delegadas por el MTC, como obligaciones generales que conducen a lograr que las obras se ejecuten de acuerdo con las especificaciones técnicas y diseños geométricos aprobados en el Expediente Técnico. Estos deben cuidar la calidad de la Obra y verificar que sea ejecutada con buena práctica ingenieril. Por otro lado, están obligados al cumplimiento de la directiva, funcionarios y servidores del MTC. Estos deben poseer una residencia permanente en la obra como representante de la Entidad ante el Contratista o constructora. La DIRECTIVA N° 005-2005-MTC/14 (2005) sostiene que: “deben brindar sus servicios de conformidad con las cláusulas de su Contrato, las Bases y Términos de Referencia, el Manual de Funciones y Procedimientos para la Supervisión y Control de Construcción de Obras Viales del MTC” (p. 50). También debe comprender aspectos técnicos, ambientales, económicos, administrativos, legales y todo aquello que se requiera para la eficiente y eficaz administración del contrato de obra. Además, al finalizar la obra, debe entregar a la Entidad el archivo documentado que se haya elaborado. Por otro lado, este debe contar con un personal profesional calificado para poder llevar a cabo las obligaciones de forma adecuada.

1.1.1.2 El contratista

El contratista es la empresa o persona contratada por la organización o entidad para la ejecución de una carretera, edificación o cualquier tipo de obra civil. La obra puede ser ejecutada en su totalidad, o simplemente una parte, dividida de acuerdo a la especialidad y cantidad de contratistas. Este es responsable de proporcionar los materiales, equipo (vehículos y herramientas) y la mano de obra necesarios para la construcción del proyecto; aunque algunas veces, se limita a brindar el recurso humano. Es por ello, que el contratista en algunos casos opta en apoyarse en otras organizaciones o empresas para poder realizar algunos tipos de trabajos especializados en ese rubro.

El contratista se encuentra obligado a cumplir con lo brindado en la propuesta y en cualquier manifestación formal documentada que haya aportado adicionalmente en el curso del proceso de selección o en la formalización del contrato. Se sostiene que:

El contratista tiene la obligación de cumplir con efectuar la entrega o el suministro del bien con estricta sujeción a las especificaciones técnicas previstas en las Bases, así como las condiciones que estén establecidas relativas al plazo, lugar y forma de entrega, entre otros, incluyendo a su vez las mejoras adicionales sin costo que haya ofertado. De lo contrario, el contratista podría verse afectado con la aplicación de penalidades y con la resolución del contrato inclusive, sin perjuicio del procedimiento sancionador que inicie la Entidad en su contra, ante el Tribunal de Contrataciones del Estado. OSCE: 2012, 1.1

Es por ello, que existe una lista de obligaciones que el contratista asume en los contratos de adquisición o suministros de bienes.

Las subcontrataciones pueden generarse y dar parte a las prestaciones a su cargo, cuando lo autoricen las Bases y siempre que se cumplan algunas obligaciones plasmadas por la entidad y el contratista.

Por otro lado, para poder ganar la buena pro (obtener el mayor puntaje en el proceso de licitación) estos deben poseer un staff de personal profesional adecuado para el proyecto que se requiere realizar, el cual estará especificado en el Expediente Técnico.

El Estado Peruano posee un programa de concesiones que se emplean en las infraestructuras de transporte. Estas se realizan mediante el sistema de contrataciones, por el cual una empresa privada construye y financia un proyecto de infraestructura, para posteriormente cobrar por el uso del servicio durante un periodo determinado. Luego del periodo cumplido, la infraestructura total se transfiere al Estado.

1.1.3. Etapas importantes en la construcción

La construcción de las carreteras está conformada por una serie de procesos y partidas esenciales que son de carácter general. Una de las etapas más importantes en el proceso de construcción es la conformación del pavimento. Esta estructura se compone por capas de suelos y materiales pedregosos desde la base de fundación hasta la superficie de la carretera. La superficie sobre la que se inicia a construir la estructura es nombrada subrasante, la cual es diseñada con el propósito de cumplir con distintas especificaciones técnicas que van desde la plasticidad hasta poseer característica específica de material, que determine si resiste o no las cargas que recibirá con el paso del tráfico a través de su vida útil.

Como señala García (2018), sobre la subrasante se consolidan unas capas que poseen una dimensión calculada en función al tráfico y uso que se le asignará al proyecto y estas son llamadas: subbase y base. Estas usualmente son de origen natural de un banco de materiales que cumplan con especificaciones dadas, o de agregados triturados ya sea de origen de cantera combinadas con materiales cohesivos o de canto rodado. Al momento de diseñar pavimentos flexibles se pueden utilizar tratamientos superficiales, capa de base negra, concreto asfáltico; y si se diseñan pavimentos rígidos se podrá colocar capa de base estabilizada con cemento portland, concreto hidráulico y otras variables.

Otra de las actividades más importantes que componen la construcción de una carretera y que son indispensables para la funcionalidad de la estructura del pavimento son:

- Movimiento de tierras

Es la operación de cortar y remover cualquier clase de material de distintas características, que estén dentro o fuera de los límites de construcción o derecho de vía, para luego utilizarlo en la construcción de rellenos, terraplenes y cualquier otro elemento que se relacione con la construcción de la vía, así como también el corte y movimiento del material excedente o que no se va a utilizar en otros trabajos de la carretera, catalogando como material de desperdicio.

- Construcción de drenaje menor y drenaje mayor

Son las estructuras comúnmente llamadas alcantarillas, que tienen por objetivo permitir el paso del agua sin ningún tipo obstáculo. Cuando se elabora el diseño geométrico de una carretera, este normalmente se interpone en el movimiento natural de escurrimiento de las aguas de la zona de emplazamiento; en la ladera de una montaña, se interpone en

el camino de escurrimiento de las aguas que viajan por esta; cuando atraviesa un río u otro canal de la misma naturaleza, y aún en los lugares llanos, la topografía del terreno condiciona al movimiento del agua en una dirección. Una carretera puede representar un obstáculo al paso del agua, por ello se construyen alcantarillas por debajo de la subrasante de una carretera u otras obras viales (vía férrea), con el objetivo de evacuar las aguas superficiales y profundas, y proteger la estructura del pavimento.

- Colocación de las señales y marcas de tráfico.

Estos trabajos comprenden todo lo referente a lo que es señalización vertical o horizontal, monumentos de kilometraje y otro tipo de complementos. Se entiende como Señalización Vertical Permanente al suministro, almacenamiento, transporte e instalación de los dispositivos de control a lo largo de la vía para proporcionar ciertos niveles de seguridad a sus usuarios de la vía. Entre estos dispositivos se incluyen las señales de tránsito (preventivas, reglamentarias e informativas), sus elementos de soporte y los delineadores. Otros trabajos complementario son la remoción y reubicación de dispositivos de control permanente.

Dentro de la Señalización Vertical Permanente se incluye lo que corresponde a Señalización Ambiental destinadas a crear conciencia a los usuarios de la vía sobre la conservación de los recursos naturales, arqueológicos, humanos y culturales que pueden existir a lo largo de la vía. Asimismo, se debe contar con presencia de la señalización ambiental en zonas con alta circulación de animales silvestres o domésticos a fin de alertar y salvaguardar su integridad.

El aspecto físico de las señales se basa en las regulaciones que forman parte del Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras del MTC y a las Especificaciones Técnicas de Calidad de Materiales para uso en señalización de Obras Viales (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013) y a lo indicado en los planos y documentos del Expediente Técnico.

- Construcción de estructuras de puentes.

Un puente es una estructura de una o más luces, que incluye soportes construidos para salvar un obstáculo y dar continuidad a una vía. El obstáculo puede ser otra vía (ya sea carretera o férrea), una corriente de agua, una depresión del terreno, o un vacío cualquiera.

Su construcción y sus elementos que posee varían y dependen de las características de la necesidad vial que debe satisfacer.

1.2. SUBCONTRATACIÓN EN OBRAS PÚBLICAS

1.2.1. Subcontratación

La RAE (2018) define la subcontratación bajo el concepto de firmar un contrato con otra persona o con otra empresa para que realice trabajos relacionados con la contrata original. Al trasladar dicho concepto al área de la construcción, se puede definir a un subcontratista como una empresa de construcción contratada por un contratista principal para llevar a cabo tareas específicas en un proyecto como parte del contrato general y puede suministrar obreros, materiales, equipos, herramientas y diseños.

Los subcontratistas pueden ser clasificados bajo parámetros según los servicios y / o recursos que suministran. Mbachu, (2008) clasificó a los subcontratistas en tres tipos, que son:

- 1) Contratistas comerciales que se especializan en oficios específicos, tales como pintura, ladrillos, etc.
- 2) Subcontratistas especializados que llevan a cabo servicios especializados tales como electricidad, plomería, aislamiento, etc.
- 3) Los subcontratistas solo de mano de obra que proporcionan servicios de mano de obra únicamente, tales como artesanos capacitados.

Por otro lado, Ng & Tang (2009) clasificaron a los subcontratistas según el motivo de la subcontratación y elección:

- 1) subcontratistas intensivos en equipos que son contratados predominantemente como resultado de su planta y equipo especializados.
- 2) subcontratistas intensivos en mano de obra que son contratados principalmente sobre la base de sus recursos laborales especializados.

Arslan, et al., (2008) sostienen que en la actualidad los contratistas principales actúan como agentes de administración de la construcción; y están más involucrados en la organización del sitio y tareas de administración, subcontratando grandes porciones del trabajo especializado en sus proyectos a subcontratistas. Por ello, los subcontratistas llevan a cabo el trabajo de producción especializada, mientras que los contratistas

principales controlan si el trabajo se realiza de acuerdo con las condiciones especificadas en el contrato principal y las especificaciones relacionadas. Ng & Tang (2009) sostienen que existen varios motivos por los cuales los contratistas principales dependen en gran medida de los servicios de los subcontratistas. Primero, la complejidad de los proyectos de construcción se ha incrementado con el desarrollo de la industria y tecnología. Por lo tanto, no es común que un contratista principal complete proyectos tan complejos por sí mismo. En segundo lugar, el contratista principal no cuenta con la planilla a tiempo completo de especialistas para cada uno de los varios oficios específicos necesarios para completar los proyectos de construcción. En tercer lugar, no es factible que los contratistas principales sean propietarios, operen, controlen y mantengan plantas y equipos especializados que pueden tener un uso limitado durante todo el proyecto. En cuarto lugar, Clouthry & Hinze (2012) concluyen que los subcontratistas pueden llevar a cabo sus tareas especializadas más rápidamente a un costo menor con una calidad superior al del principal contratista debido a sus habilidades únicas.

Otra razón para que se produzca la subcontratación es debido a que el contratista principal puede aliviar los problemas de flujo de efectivo y el desafío de financiar el proyecto mediante la delegación de una gran parte del trabajo. Además, Clouthry & Hinze (2012) indican que el contratista principal comparte sus riesgos en el proyecto con los subcontratistas, lo que permite que los contratistas principales sobrevivan a las condiciones volátiles e inciertas de la industria de la construcción. Si bien la subcontratación ofrece varios beneficios a los contratistas principales, es una práctica bastante arriesgada. En general, el contratista celebra acuerdos contractuales con los subcontratistas y es totalmente responsable ante el propietario del rendimiento de estos en términos de tiempo, costo y calidad. Ng & Tang (2009) sostienen que en proyectos de construcción donde se subcontrata una gran parte de las obras, si el contratista principal no tiene suficientes habilidades de gestión de la construcción, es probable que no coordine y controle la calidad y el progreso de los trabajos de los subcontratistas, lo que a su vez puede traer incumplimientos en el proyecto. También, Ng & Tang (2009) indican que el éxito del contratista principal en un proyecto de construcción depende en gran medida del desempeño de los subcontratistas involucrados en el proyecto en cuestión. Por lo tanto, Mbachu, (2008) sostiene que seleccionar los subcontratistas adecuados es crucial no solo para la ejecución exitosa del proyecto sino también para el desempeño, la reputación y la supervivencia de los contratistas principales.

1.2.2. Artículo 35 de la Ley de Contrataciones del Estado

La Ley de Contrataciones del Estado (Ley N° 30225, 2017, art. 35) sostiene:

El contratista puede subcontratar, previa autorización de la Entidad, la ejecución de determinadas prestaciones del contrato, salvo prohibición expresa contenida en los documentos del procedimiento de selección. Ningún contratista puede subcontratar la totalidad de las prestaciones contenidas en el contrato. No se puede subcontratar las prestaciones esenciales del contrato vinculadas a los aspectos que determinaron la selección del contratista. Para ser subcontratista se requiere contar con inscripción vigente en el Registro Nacional de Proveedores (RNP), no estar impedido ni inhabilitado para contratar con el Estado. El contratista mantiene la responsabilidad por la ejecución total de su contrato frente a la Entidad (p. 7).

En primer lugar, se afirma que el subcontratista puede subcontratar, previa autorización de la Entidad, esto quiere decir que la autorización de la Entidad será necesaria para que ésta última admita que las prestaciones contraídas por el contratista son factibles a realizarse a través de un tercero. En el caso que el subcontrato hubiese sido acordado por el contratista y el subcontratista con anterioridad a la autorización de la Entidad, el referido subcontrato, aunque válido entre las partes que lo celebraron, no tendrá eficacia frente a la Entidad si es que ésta no lo autoriza.

En segundo lugar, se afirma que la subcontratación no puede ser total, con un máximo del 40% y tampoco puede contener prestaciones esenciales que determinaron la selección del contratista, esto restringe al contratista a no subcontratar prestaciones esenciales vinculadas a los aspectos que determinaron su selección. En el contrato se debe delimitar aquellas prestaciones consideradas como esenciales y que determinaron la selección del contratista, para distinguirlas de otras prestaciones que no lo son.

En tercer lugar, es necesario que el subcontratista esté registrado en el Registro Nacional de Proveedores. Para operar en obras de carácter público, todo subcontratista debe contar con la inscripción vigente.

Finalmente, el subcontratista no debe estar impedido ni inhabilitado para contratar con el Estado. Esta restricción es empleada para evitar fraudes, pues en el caso que no existiera esta restricción, proveedores inhabilitados podrían participar en la ejecución de contratos frente al Estado.

1.2.3. Responsabilidad del subcontratista frente al Estado

La Ley N° 30225 estipula que el contratista mantiene la responsabilidad por la ejecución total de su contrato frente a la entidad. Por lo cual, a pesar de que la entidad apruebe que algunas partidas del trabajo adjudicado al contratista sean ejecutadas por el subcontratista, dicha aprobación no da origen a ninguna relación contractual directa para la entidad con el subcontratistas.

Frente a un incumplimiento con la calidad, alcance o especificaciones estipuladas en el contrato, el responsable directo es el contratista, y este será quien cubra el mantenimiento, retrabajo o adicionales. En consecuencia, la entidad se encontraría en la obligatoriedad de exigir al contratista el cumplimiento del trabajo pactado según el contrato, en contraste con la legislación civil en la cual se otorga una responsabilidad solidaria entre contratista y subcontratista frente a la ejecución del subcontrato de la obra. Por otro lado, cuando se contrata con el Estado dicha norma no está presente, la responsabilidad de la ejecución de la obra se centra únicamente en el contratista.

Sin embargo, una vez finalizada la obra, para los trámites a registrar en el registro nacional de proveedores (RNP), los trabajos ejecutados en los subcontratos serán considerados para la calificación del subcontratista y no para la del contratista principal. Dada esta consideración la elección del subcontratista se verá afectada según los registros en el RNP.

1.3. PMBOK: PLANIFICACIÓN DE ADQUISICIONES

1.3.1. Documentos iniciales necesarios para la Planificación de las Adquisiciones

El proceso Planificar la Gestión de las Adquisiciones, tal y como lo presenta el PmBok (2016) identifica aquellas necesidades del proyecto que se pueden satisfacer mejor o que deben satisfacerse mediante la adquisición de productos, servicios o resultados fuera de la organización del proyecto, frente a las necesidades del proyecto que pueden ser resueltas por el propio equipo del proyecto. Cuando el proyecto obtiene productos, servicios y resultados necesarios para el desempeño del proyecto fuera de la organización ejecutora, los procesos desde Planificar la Gestión de las Adquisiciones hasta Cerrar las Adquisiciones se ejecutan para cada uno de los elementos que se van a adquirir. El proceso Planificar la Gestión de las Adquisiciones también incluye la evaluación de posibles vendedores, especialmente si el comprador desea ejercer algún grado de influencia o control sobre las decisiones de compra. También se deberá prever quién será

el responsable de obtener o ser titular de permisos y licencias profesionales relevantes que puedan ser exigidos por la legislación, alguna regulación o política de la organización para ejecutar el proyecto.

En primer lugar, es necesario el Plan para la dirección del proyecto en el cual se describen las necesidades, restricciones, requisitos del proyecto. Incluye el alcance del proyecto, la estructura de desglose de trabajo y los enunciados detallados del trabajo para identificar los entregables.

En segundo lugar, se requiere la documentación de requisitos, esta contiene información sobre los requisitos del proyecto que se deben considerar durante la planificación de adquisiciones y los requisitos con implicancias legales y ligadas al contrato, estas últimas incluyen aspectos relacionados con la seguridad, salud, medio ambiente.

En tercer lugar, es necesario el registro de riesgos donde se listan los riesgos junto con los resultados del análisis y respuesta de estos. También se incluyen las actualizaciones al registro de riesgos.

En cuarto lugar, es indispensable contar con eslabones de los procesos de la organización, estos tipos de acuerdos contractuales utilizados por la organización también intervienen en las decisiones para el proceso Planificar la Gestión de las Adquisiciones. Los eslabones de los procesos de la organización que influyen en el proceso incluyen otros tales como las políticas, procedimientos y pautas formales de adquisición; los sistemas de gestión que se tienen en cuenta para desarrollar el plan de gestión de las adquisiciones y seleccionar las relaciones contractuales a utilizar; y un sistema establecido de proveedores de niveles múltiples, con datos sobre vendedores precalificados en función de la experiencia previa.

En quinto lugar, se requieren los factores ambientales de la empresa, definidos por los siguientes: condiciones del mercado; los productos, servicios y resultados disponibles en el mercado; los proveedores, incluyendo el desempeño pasado o su reputación; los términos y condiciones típicos para los productos, servicios y resultados, o para la industria específica; y los requisitos locales específicos.

El PmBok (2016) sostiene que finalmente, son requeridos los siguientes documentos: recursos requeridos para las actividades, contienen información sobre necesidades específicas relacionadas, por ejemplo, con personas, equipos o ubicación; el cronograma del proyecto, el cual contiene información sobre duraciones requeridas o fechas exigidas

relativas a los entregables; la estimación de costos de las actividades, utilizados para evaluar cuán razonables son las ofertas y propuestas recibidas de los vendedores potenciales; y el registro de interesados, que proporciona detalles sobre los participantes en el proyecto y sus intereses en el mismo.

La Gestión de las Adquisiciones del Proyecto incluye los procesos necesarios para comprar o adquirir productos, servicios o resultados que son necesarios obtener aparte del equipo con el cual cuenta el contratista. La organización puede ser la compradora o vendedora de los productos, servicios o resultados de un proyecto. El PmBok (2016) señala que:

Esta gestión, incluye los procesos de gestión del contrato y de control de cambios requeridos para desarrollar y administrar contratos u órdenes de compra emitidos por miembros autorizados del equipo del proyecto. También incluye el control de cualquier contrato emitido por el comprador que esté adquiriendo entregables del proyecto a el vendedor, así como la administración de las obligaciones contractuales contraídas por el equipo del proyecto a favor del contrato (p. 357).

1.3.2. Herramientas y Técnicas de la Planificación de las Adquisiciones

El PmBok (2016) propone la utilización de distintas herramientas y técnicas que permiten una correcta planificación y decisión para los servicios, equipos, material, entre otros.

Para definir si un trabajo puede ser realizado satisfactoriamente por el mismo equipo de proyecto o tercerizado, se realiza el Análisis de hacer o comprar. Esta es una técnica general de gestión que analiza la capacidad de la organización del proyecto con el fin de determinar si la actividad puede ser elaborada por el propio equipo o debe ser suministrada por una organización externa a fin de cumplir con el plazo y calidad especificada.

Las decisiones de hacer o comprar se ven limitadas por las restricciones en el presupuesto. Se deben tener en cuenta todos los costos relacionados, directos e indirectos. También se deben considerar los tipos de contratos disponibles. El reparto de riesgos entre comprador y vendedor determina los tipos de contrato adecuados, mientras que los términos y condiciones específicos del contrato son los que formalizan el grado de riesgo que asumen el comprador y el vendedor.

El PmBok (2016) propone la utilización del juicio de expertos para evaluar las entradas y salidas del proceso de planificación de las adquisiciones. Esta herramienta también se

puede utilizar para desarrollar o modificar los criterios que se aplicarán en la evaluación de las propuestas de los vendedores.

Una técnica crucial para la planificación de adquisiciones es la investigación de mercado. Esta incluye el estudio de las capacidades de la industria y de los vendedores específicos. Los equipos de adquisiciones pueden utilizar la información obtenida en conferencias, reseñas en línea y una diversidad de fuentes para identificar las capacidades del mercado. El equipo también puede refinar objetivos particulares de adquisición para hacer uso de las tecnologías en fase de maduración y al mismo tiempo equilibrar los riesgos.

Finalmente, el PmBok (2016) propone realizar reuniones de intercambio de información con los oferentes potenciales. Al realizar la colaboración con los oferentes, la organización que compra el material o servicio se puede beneficiar, a la vez que el proveedor puede ejercer su influencia para lograr un enfoque o producto beneficioso para ambas partes.

1.3.3. Documentos finales obtenidos de la Planificación de las Adquisiciones

Se identifica en el PmBok (2016) que, en primer lugar, se obtiene el plan de gestión de las adquisiciones el cual está incluido dentro del plan para la dirección del proyecto que describe cómo un equipo de proyecto obtendrá bienes y servicios desde una organización externa a la ejecutora. Detalla cómo se llevarán a cabo los procesos de adquisición, es decir, comprende los procesos desde la elaboración de los documentos de las adquisiciones hasta el cierre del contrato. El plan de gestión de las adquisiciones puede incluir directivas relacionadas con los tipos de contratos a utilizar, la gestión de riesgos, criterios de evaluación, contrataciones, documentos de las adquisiciones estandarizadas, la gestión de múltiples proveedores, la coordinación de las adquisiciones con otros aspectos del proyecto, las restricciones y supuestos, el manejo de los plazos requeridos para la compra según el desarrollo del cronograma, los procesos de estimación de los recursos de las actividades y desarrollo del cronograma, las fechas programadas para los entregables en cada contrato y la coordinación con los procesos de desarrollo y control del cronograma, la identificación de requisitos para obtener garantías de cumplimiento o contratos de seguros, el establecimiento de instrucciones para la mantención de una estructura de desglose de trabajo, la forma y el formato a emplearse en los enunciados del trabajo del contrato, la identificación de los vendedores precalificados, y las métricas de adquisiciones a emplear en la gestión de contratos y evaluación de vendedores.

En segundo lugar, el PmBok (2016) señala que, se construye el enunciado del trabajo (SOW) para cada adquisición a partir de la línea base del alcance y define únicamente la parte del alcance del proyecto incluido dentro del contrato. El enunciado del trabajo relativo a adquisiciones describe el artículo que se planea adquirir con el detalle necesario para que los posibles vendedores determinen si se encuentran en la condición de proporcionar los productos, servicios o resultados requeridos. El nivel de detalle necesario puede variar en función de las necesidades del cliente o la forma del contrato previsto. La información obtenida en el enunciado de trabajo puede incluir especificaciones, cantidad deseada, niveles de calidad, datos de desempeño, período de desempeño, lugar de trabajo y otros requisitos.

El enunciado del trabajo relativo a adquisiciones se redacta de forma clara, completa y concisa. Incluye una descripción de los servicios adicionales requeridos, tales como informar el desempeño o el soporte operativo para el artículo adquirido después de finalizado el proyecto. En algunas áreas de aplicación, existen requisitos específicos de contenido y formato para un enunciado del trabajo relativo a adquisiciones. Cada artículo individual que se vaya a adquirir requiere un enunciado del trabajo; sin embargo, varios productos o servicios pueden agruparse como un único artículo a adquirir dentro de un solo enunciado del trabajo. El enunciado del trabajo relativo a adquisiciones puede ser revisado y refinado según sea necesario, a medida que avanza a través del proceso de adquisición hasta que se incorpora a un contrato firmado.

En tercer lugar, el PmBok (2016) indica que los documentos de las adquisiciones son utilizados para solicitar propuestas a posibles vendedores. Se emplean términos como licitación, oferta o cotización cuando la decisión de selección del vendedor está basada en el precio, por otro lado, el término propuesta generalmente se emplea cuando otras consideraciones, como la capacidad técnica o el enfoque técnico, son prioridad. Los términos de uso común para los diferentes tipos de documentos de las adquisiciones pueden incluir: solicitud de información (RFI), invitación a licitación (IFB), solicitud de propuesta (RFP), solicitud de cotización (RFQ), aviso de oferta, invitación a la negociación y respuesta inicial del vendedor. La terminología específica a las adquisiciones puede variar según la industria y la ubicación de la adquisición. La estructura de los documentos de las adquisiciones está estructurada por el comprador con el objeto de facilitar la elaboración de una respuesta precisa y completa por parte de cada posible vendedor, y de facilitar la evaluación de las respuestas. Estos documentos

incluyen una descripción de la forma deseada de respuesta, del correspondiente enunciado del trabajo relativo a adquisiciones y de cualquier disposición contractual requerida. Cuando se efectúan contrataciones con el gobierno, el contenido y la estructura de los documentos de las adquisiciones pueden estar total o parcialmente definidos por regulaciones. El nivel de detalle y complejidad de los documentos de las adquisiciones deben ser coherentes con el valor de la adquisición planificada y con los riesgos asociados a la misma. Los documentos de las adquisiciones deben ser suficientes para asegurar respuestas coherentes y adecuadas, pero a la vez adecuadamente flexibles para permitir tener en cuenta posibles sugerencias de los vendedores sobre alternativas de satisfacer los mismos requisitos. La emisión de una solicitud de adquisición a posibles vendedores para presentar una propuesta u oferta se realiza normalmente conforme a las políticas de la organización del comprador; la solicitud puede ser publicada en periódicos, boletines comerciales, registros públicos o Internet.

El PmBok (2016) sostiene que, en cuarto lugar, se desarrollan los criterios de selección de proveedores se desarrollan y utilizan para evaluar o calificar las propuestas de los vendedores, se incluyen a menudo como parte de los documentos de las adquisiciones y pueden ser objetivos o subjetivos. Los criterios de selección se pueden limitar al precio de compra si el artículo que se va a adquirir está fácilmente disponible a través de varios vendedores aceptables. En este contexto, el precio de compra incluye tanto el costo del artículo como cualquier gasto accesorio. De igual modo, identifica y documenta criterios de selección para la evaluación de productos, servicios o resultados más complejos. Los criterios identificados son:

- Comprensión de la necesidad. ¿En qué medida la propuesta del vendedor responde al enunciado del trabajo relativo a la adquisición?
- Costo total o del ciclo de vida. ¿El vendedor seleccionado producirá el menor costo total de propiedad (costo de compra más costo de operación)?
- Capacidad técnica. ¿El vendedor cuenta con las habilidades y conocimientos técnicos necesarios o se puede esperar razonablemente que los adquiera?
- Riesgo. ¿Qué nivel de riesgo conlleva el enunciado del trabajo, qué proporción de ese riesgo será asignado al vendedor seleccionado y de qué modo el vendedor mitigará el riesgo?

- Enfoque de gestión. ¿El vendedor cuenta con los procesos y procedimientos de gestión necesarios para asegurar el éxito del proyecto, o puede esperarse razonablemente que los desarrolle?
- Enfoque técnico. ¿Las metodologías, técnicas, soluciones y servicios técnicos propuestos por el vendedor cumplen con los requisitos de los documentos de las adquisiciones, o es probable que proporcionen más o menos que los resultados esperados?
- Garantía. ¿Qué propone el vendedor para garantizar el producto final y durante qué período de tiempo?
- Capacidad financiera. ¿El vendedor cuenta con los recursos financieros necesarios, o puede esperarse razonablemente que los obtenga?
- Capacidad de producción e interés. ¿El vendedor tiene la capacidad y el interés para cumplir con los posibles requisitos futuros?
- Tamaño y tipo de negocio. ¿Se encuadra la empresa del vendedor dentro de una categoría específica de negocio, tal como una pequeña empresa (escasos recursos, programas específicos, etc.) según la definición de la organización o lo establecido por una agencia gubernamental y estipulado como condición para la adjudicación del contrato?
- Desempeño pasado de los vendedores. ¿Cuál ha sido en el pasado la experiencia con los vendedores seleccionados?
- Referencias. ¿El vendedor puede proporcionar referencias de clientes anteriores que verifiquen la experiencia laboral y el cumplimiento de los requisitos contractuales por parte del vendedor?
- Derechos de propiedad intelectual. ¿El vendedor reivindica los derechos de propiedad intelectual en los procesos de trabajo o servicios que utilizará o en los productos que generará para el proyecto?
- Derechos de propiedad exclusiva. ¿El vendedor reivindica los derechos de propiedad exclusiva en los procesos de trabajo o servicios que utilizará o en los productos que generará para el proyecto?

En quinto lugar, el PmBok (2016) menciona que se realiza el análisis de hacer o comprar con la finalidad de lograr la decisión sobre si un determinado trabajo puede ser realizado de manera satisfactoria por el equipo del proyecto o debe ser adquirido por una entidad externa. Si da como resultado desarrollar el trabajo con el equipo del proyecto, el plan de

adquisiciones puede definir procesos y acuerdos internos a la organización. Una decisión de compra conduce a un proceso similar para alcanzar un acuerdo con un proveedor del producto o servicios.

En sexto lugar, el PmBok (2016) promueve que se genere la solicitud de cambio con la finalidad de adquirir bienes, servicios o recursos. Las solicitudes de cambio se procesan para su revisión y tratamiento por medio del proceso “Realizar el Control Integrado de Cambios”. Los cambios al plan para la dirección del proyecto, sus planes subsidiarios y otros componentes pueden derivar en solicitudes de cambio que tengan un impacto sobre las acciones de adquisición. Las solicitudes de cambio se procesan para su revisión y tratamiento por medio del proceso Realizar el Control Integrado de Cambios.

Finalmente, se actualizan los documentos del proyecto debido a las decisiones tomadas. Los documentos susceptibles a una actualización son:

- La documentación de requisitos
- La matriz de trazabilidad de requisitos
- El registro de riesgos.

1.4. MÉTODO AHP (PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO)

1.4.1. Descripción del método

Esta metodología, basada en matemáticas y psicología, fue propuesta por Tomas L. Saaty en 1980 y ha sido extensivamente estudiada y refinada, desde entonces. Es muy útil para resolver problemas complejos de toma de decisiones y ayudar al usuario a adoptar la solución más adecuada a través de una estructura jerárquica. Este método provee un marco de referencia racional y comprensivo para estructurar un problema de decisión, representar y cuantificar sus elementos, relacionar esos elementos a los objetivos generales, y evaluar alternativas de solución. Es utilizado en diversos campos de aplicación tales como políticas, negocios, industria, salud y educación.

Figura 1. Estructura jerárquica general del método AHP. Recuperado de “Portfolio selection through hierarchies”, por Saaty, T, Rogers, P, Pell, R, 1988

El proceso de análisis jerárquico (AHP) requiere que quien tome las decisiones proporcione evaluaciones subjetivas respecto a la importancia relativa de cada uno de los criterios y que, después, especifique su preferencia con respecto a cada una de las alternativas de decisión y para cada criterio, Schottle, Arroyo, & Bade, (2015)

Este método tiene como fin resolver los problemas de selección, proponiendo una solución racional, ante varias respuestas posibles. A su vez, puede mezclar en el proceso las variables cualitativas las cuales no se pueden cuantificar, como la relación entre el contratista y subcontratista, y las variables cuantitativas medibles, como el precio de oferta. El resultado del AHP es una jerarquización con prioridades que muestran la preferencia global para cada una de las alternativas de decisión.

Esta metodología descompone la estructuras compleja del problema en varios componentes, ordenándolos en una estructura jerárquica tal y como se muestra en la Figura 1, donde se obtienen valores numéricos para los juicios de preferencia y, finalmente los sintetiza para determinar qué variable tiene la mayor prioridad para el proceso específico.

AHP se basa en 3 principios, los cuales determinarán el proceso en general: La construcción de la jerarquía, el establecimiento de prioridades y la consistencia lógica. El

primero es el proceso de agrupar los criterios y su descomposición interna de acuerdo con la importancia relativa de los elementos en cada nivel de la jerarquía.

El Establecimiento de prioridades se basa en ordenar los criterios en lo que requiere el proyecto para la tarea específica a desarrollar. Para ello, se necesita comparar los criterios entre ellos para poder observar las diferencias y obtener la preferencia de uno sobre otro.

La Consistencia lógica, evita la posibilidad del ordenamiento jerárquico para los elementos de forma racional. Debido a la ausencia de valores cuantitativos exactos para la escala cualitativa en la mente humana, está no está preparada para emitir juicios 100% consistentes, dando como resultado la preferencia sobre algún criterio que no resulte el más relevante.

Con la ayuda de este principio se les asignará la incidencia o peso a los criterios, evitando la preferencia humana hacia alguno. Gracias a estos procesos se determina la decisión final sobre los pesos de todos los criterios para determinar los más importantes que requiere la tarea a desarrollar dentro del proyecto.

1.4.2. Base Matemática del Proceso Analítico Jerárquico

1.1.1.3 Cálculo del vector de pesos de criterio

Con el objetivo de calcular el peso o incidencia de cada criterio a evaluar, se debe calcular la matriz A. Esta es una matriz real de $m \times m$ donde m representa el número de criterios del problema y cada valor de la matriz a_{jk} representa la importancia relativa del criterio j respecto al k . Si $a_{jk} > 1$, el criterio j tiene mayor importancia que k . Por otro lado, si $a_{jk} < 1$, el criterio j tiene menor importancia que k . Para criterios con igual importancia, $a_{jk} = 1$, incluyendo los valores de la diagonal de la matriz $j = k$. Estas comparaciones se sitúan en la matriz A tal y como se muestra en la Figura 2.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \vdots & 1 \end{pmatrix}$$

Figura 2. Estructura Matriz A, por Saaty, T, 1987

También, los valores de la matriz deben cumplir con el axioma reciprocidad expuesto en la siguiente ecuación:

(1.4.2.1)

Ecuación 1: Axioma de reciprocidad

$$a_{jk} * a_{kj} = 1$$

Donde:

a_{jk} = importancia relativa del criterio j con respecto al k

a_{kj} = importancia relativa del criterio k respecto al j

En consecuencia, el número de comparaciones que se deben realizar se calcula utilizando la Ecuación 2 a partir del número de criterios a considerar en el problema.

(1.4.2.2)

Ecuación 2: Número de comparaciones a realizar

$$\frac{m * m - m}{2}$$

Donde:

m = Número de criterios del problema

Estos pertenecen tanto a la diagonal superior como inferior de la matriz, siendo la diagonal opuesta calculada por el axioma de reciprocidad.

Los valores con los que se completa la matriz A, son valores numéricos extraídos de las comparaciones realizadas. Estos valores forman parte de una escala numérica comprendida desde el número 1 hasta el 9, cuyo significado en términos de importancia relativa se observan en la Tabla 1. Cabe resaltar que se presentan cinco valores, pero el usuario puede determinar valores intermedios o añadir más. Además, las comparaciones de los usuarios pueden contener inconsistencias y se debe controlar el porcentaje de estas para que las comparaciones sean consideradas válidas.

Tabla 1

Valores Saaty para criterios

VALOR DE a_{jk}	INTERPRETACIÓN
1	j y k son igual de importantes
3	j es ligeramente más importante que k
5	j es más importante que k
7	j es considerablemente más importante que k
9	j es absolutamente más importante que k

Nota: Recuperado de: “The analytic hierarchy process-what it is and how it is used”, por Saaty, T, 1987

Luego de completar la matriz A, se procede con la obtención de la matriz normalizada A_{norm} , mediante la división de cada valor de la matriz A con la suma de los valores de cada columna de dicha matriz. Cada valor de esta matriz se calcula mediante la Ecuación 3 y la Figura 3:

(1.4.2.3)

Ecuación 3: Valores de matriz A_{norm}

$$\hat{a}_{jk} = \frac{a_{jk}}{\sum_{l=1}^m a_{lk}}$$

Donde:

a_{jk} = importancia relativa del criterio j con respecto al k

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{cccc}
 C1 & C2 & \dots & C_m \\
 \left[\begin{array}{cccc}
 1/\sum C1 & a_{12}/\sum C2 & \dots & a_{1m}/\sum C_m \\
 a_{21}/\sum C1 & 1/\sum C2 & \dots & a_{2m}/\sum C_m \\
 \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
 a_{m1}/\sum C1 & a_{m2}/\sum C2 & \dots & 1/\sum C_m
 \end{array} \right]
 \end{array}
 \end{array}$$

Figura 3. Matriz Anorm, por Saaty, T, 1987

Acto seguido, el vector de pesos de criterios se obtiene calculando el promedio de cada columna de A_{norm} , tal y como lo indica la Ecuación 4:

(1.4.2.4)

Ecuación 4: Vector de pesos de criterio

$$w_j = \frac{\sum_{l=1}^m \hat{a}_{jl}}{m}$$

Donde:

$\hat{a}_{jl}$ = Valor de criterio de Anorm

m = Número de criterios del problema

1.1.1.4 Cálculo de la matriz de puntuación de las alternativas

En primer lugar, se deben elaborar matrices de comparación a pares $B^{(j)}$ para cada uno de los criterios que se consideren en el problema. Estas son matrices cuadradas de dimensión $n * n$, siendo n el número de alternativas. Cada término $b_{ih}^{(j)}$, de una matriz $B^{(j)}$, es la evaluación de la alternativa i con respecto a la h para el criterio j .

Los valores expuestos en la Tabla 2 son similares a los de la matriz A. Si $b_{ih}^{(j)} > 1$, la alternativa i es superior a la h , por otro lado, si $b_{ih}^{(j)} < 1$, la alternativa i es inferior a la alternativa h . Para criterios equivalentes, $b_{ih}^{(j)} = 1$, incluyendo los valores de la diagonal de la matriz $i = h$.

Es necesario el cumplimiento de relación reciprocidad, debido a esto el número de comparaciones necesarias se delimitará por la Ecuación 5:

(1.4.2.5)

Ecuación 5: Número de comparaciones necesarias

$$\frac{n * n - n}{2}$$

Donde:

n = Número de alternativas del problema

Tabla 2

Valores Saaty para alternativas

VALOR DE $b_{ih}^{(j)}$,	INTERPRETACIÓN (PARA EL CRITERIO j)
1	i y h son equivalentes
3	i es ligeramente mejor que h
5	i es ciertamente mejor que h
7	i es considerablemente mejor que h
9	i es absolutamente mejor que h

Nota: Recuperado de: “The analytic hierarchy process-what it is and how it is used”, por Saaty, T, 1987

Luego de calcular las matrices $B^{(j)}$, se debe aplicar la misma normalización del caso de la matriz A, del modo expuesto en la Ecuación 6:

(1.4.2.6)

Ecuación 6: Valores de la matriz Bnorm

$$b'_{ih}^{(j)} = \frac{b_{ih}^{(j)}}{\sum_{l=1}^n b_{lh}^{(j)}}$$

Donde:

$b'_{ih}^{(j)}$ = Valores de la matriz Bnorm

$b_{ih}^{(j)}$ = la evaluación de la alternativa i con respecto a la h para el criterio j .

n = Número de alternativas del problema

A continuación, se procede con la aplicación de la Ecuación 7 para el cálculo de vectores $s^{(j)}$, el cual es un vector columna de dimensión m . Dichos vectores contienen las evaluaciones de las m alternativas para cada criterio j .

(1.4.2.7)

Ecuación 7: Cálculo de vector $s(j)$

$$s_i^{(j)} = \frac{\sum_{l=1}^n b'_{il}{}^{(j)}}{n}$$

Donde:

$s^{(j)}$ = Vectores que contienen la evaluación de las alternativas m

$b'_{il}{}^{(j)}$ = Valor de la matriz Bnorm

n = Número de alternativas del problema

Finalmente, se construye la matriz de puntuación de alternativas S adicionando los vectores $s^{(j)}$ tal y como lo indica la Ecuación 8:

(1.4.2.8)

Ecuación 8: Cálculo de la matriz de puntuación de alternativas S

$$S = [s^{(1)}, \dots, s^{(i)}, \dots, s^{(n)}]$$

Donde:

$s^{(j)}$ = Vectores que contienen la evaluación de las alternativas m

1.1.1.5 Clasificación de las alternativas

A partir de la obtención del vector w y la matriz S , se procede a calcular un vector v de puntuaciones globales mediante la siguiente ecuación:

(1.4.2.9)

Ecuación 9: Cálculo de vector de puntuaciones globales

$$v = S * w$$

Donde:

V= Vector de puntuaciones globales

S= Matriz de puntuación de alternativas

W= vector de pesos de criterio w

El valor v_i del vector v , representa la puntuación global asignada a la alternativa i . Acto seguido, se obtiene el ranking de alternativas al ordenar los valores hallados de en orden decreciente.

1.1.1.6 Comprobación de la consistencia

Es crucial verificar si los resultados obtenidos son válidos para la toma de una decisión, y esto se evalúa a partir de las evaluaciones realizadas por los usuarios. Cuando un usuario realiza numerosos pares de comparaciones, es común la aparición de inconsistencias. El método AHP presenta una serie de pasos para comprobar la consistencia de las evaluaciones realizadas cuando se construyen la matriz A y las matrices $B^{(j)}$. Dicho proceso obtiene una razón de consistencia, la cual debe ser inferior al 3% para matrices 3x3, e inferior al 10% para matrices 4x4 o de dimensiones superiores. En el caso de que los valores para alguna matriz sean mayores a los aludidos, se debe revisar las evaluaciones de importancia en busca de errores de evaluación evidentes, y en caso de no hallarlos, desechar dicha información y realizar una nueva comparación. Esta proporción se calcula mediante la división de dos parámetros: el índice de consistencia IC y el índice de aleatoriedad RA.

Para hallar el Índice de consistencia, en primer lugar, se requiere demostrar la consistencia de la matriz que está presente cuando la suma normalizada de cada una de sus filas y la suma de los elementos de cada columna, son recíprocos, tal y como se observa gráficamente en la Figura 4.

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{cccc}
 & c_1 & c_2 & \dots & c_m \\
 \begin{array}{c} A = \\ \vdots \end{array} & \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & 1 \end{pmatrix} & \begin{array}{l} \rightarrow (1 + a_{12} + \dots + a_{1m}) / m \\ \rightarrow (a_{21} + 1 + \dots + a_{2m}) / m \\ \rightarrow \vdots \\ \rightarrow (a_{m1} + a_{m2} + \dots + 1) / m \end{array} \\
 & \sum c_1 & \sum c_2 & \dots & \sum c_m
 \end{array}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 \sum c_1 \times ((1 + a_{12} + \dots + a_{1m}) / m) = 1 \\
 \sum c_2 \times ((a_{21} + 1 + \dots + a_{2m}) / m) = 1 \\
 \sum c_m \times ((a_{m1} + a_{m2} + \dots + 1) / m) = 1
 \end{array}$$

Figura 4. Demostración de una matriz recíproca, por Saaty, T, 1987

En el caso que la matriz A fuera consistente en su totalidad, se obtendrá que todas sus columnas son iguales por lo que el valor de cada elemento de cada columna es igual a la suma normalizada de la fila respectiva.

De igual modo se cumpliría la relación de reciprocidad que cumplía su matriz precedente y esto se puede corroborar con la Ecuación 10:

(1.4.2.10)

Ecuación 10: Prueba de consistencia de los valores de la matriz A

$$\hat{a}_{j1} = \hat{a}_{j2} = \dots = \hat{a}_{jm}$$

$$\hat{a}_{jk} = (\hat{a}_{j1} + \hat{a}_{j2} + \dots + \hat{a}_{jm}) / m$$

Donde:

$\hat{a}_{jk}$ = Valor de elemento de la matriz Anorm

m = Número de criterios del problema

Al sumar los resultados de la multiplicación de las sumas de cada columna, por su fila normalizada, se obtiene el valor m . En caso de que la matriz no fuera recíproca, el valor

es denominado λ_{max} y este siempre será mayor que m . Dicho valor se calcula con la Ecuación 11:

(1.4.2.11)

Ecuación 11: Cálculo del valor de matriz no recíproca

$$\lambda_{max} = \sum_j \frac{\lambda_j}{m}$$

$$\lambda_j = \frac{1}{w_j} * \sum_{k=1} a_{jk} * w_j$$

Datos:

λ_j = Valor de matriz no recíproca

m = Número de criterios del problema

a_{jk} = Valor de criterio de Anorm

w_j =vector de pesos de criterio w

Finalmente, la Ecuación 12 es empleada para el cálculo del índice de consistencia CI, cuyo valor es capaz de medir el alejamiento de la unidad y para una matriz consistente debería ser 0.

(1.4.2.12)

Ecuación 12: Índice de Consistencia

$$CI = \frac{\lambda_{max} - m}{m - 1}$$

Donde:

λ_{max} = Valor máximo de matriz no recíproca

m = Número de criterios del problema

CI= Índice de Consistencia

Para calcular el índice de aleatoriedad se revisa la Tabla 3 elaborada por Tomas Saaty para valores del tamaño de matriz $m < 11$.

Tabla 3

Valores del índice de aleatoriedad

	VALORES								
m	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.51

Nota: Recuperado de “The analytic hierarchy process-what it is and how it is used”, por Saaty, T, 1987

Se procede a la utilización de la Ecuación 13 para la obtención de la razón de consistencia RC mediante el cociente de los índices previamente hallados.

(1.4.2.13)

Ecuación 13: Razón de Consistencia

$$RC = \frac{CI}{RI}$$

Donde:

RC= Razón de Consistencia

CI= Índice de Consistencia

RI= Índice de Aleatoriedad

1.1.1.7 Automatización de comparaciones

AHP presenta un método de automatización de comparaciones con la condición de que exista cierto grado de subjetividad en el criterio para aplicar este método, por este motivo, no se puede aplicar en las comparaciones de criterios, solo en las puntuaciones de alternativas para criterios subjetivos.

Dicha automatización se aplica para dos escenarios: En primer lugar, en caso que el criterio j es expresado por una variable cuyos valores se encuentran en un intervalo cerrado $[I_{j,min}, I_{j,max}]$ y para las alternativas i y h los valores del atributo para el criterio j valen respectivamente $I_j^{(i)}$ y $I_j^{(h)}$. El valor de $b_{ih}^{(j)}$ se obtendrá por la Ecuación 14:

(1.4.2.14)

Ecuación 14; Cálculo automatizado de la evaluación de la alternativa i con respecto a la h.

$$b_{ih}^{(j)} = 8 \frac{I_j^{(i)} - I_j^{(h)}}{I_{j.max} - I_{j.min}} + 1$$

$$si I_j^{(i)} > I_j^{(h)}$$

Donde:

$b_{ih}^{(j)}$ = Evaluación de la alternativa i con respecto a la h para el criterio j.

$I_{j.max}, I_{j.min}$ = Valores máximos y mínimos del atributo para el criterio j

$I_j^{(i)}$ = Valor del atributo de la alternativa i para el criterio j

$I_j^{(h)}$ = Valor del atributo de la alternativa h para el criterio j

Para el segundo caso en el cual mientras el atributo comprenda un valor mayor y el sistema ofrezca un peor comportamiento, el valor de $b_{ih}^{(j)}$ se calculará mediante la Ecuación 15:

(1.4.2.15)

Ecuación 15: Cálculo automatizado de la evaluación de la alternativa h con respecto a la i.

$$b_{ih}^{(j)} = 8 \frac{I_j^{(h)} - I_j^{(i)}}{I_{j.max} - I_{j.min}} + 1$$

$$si I_j^{(h)} > I_j^{(i)}$$

Donde:

$b_{ih}^{(j)}$ = Evaluación de la alternativa i con respecto a la h para el criterio j.

$I_{j.max}, I_{j.min}$ = Valores máximos y mínimos del atributo para el criterio j

$I_j^{(i)}$ = Valor del atributo de la alternativa i para el criterio j

$I_j^{(h)}$ = Valor del atributo de la alternativa h para el criterio j

Fontana (2015) sostiene que con las dos ecuaciones se obtendrán valores de $b_{ih}^{(j)}$ comprendidos entre 1 y 9 adaptados para ser usados en las matrices usadas en el método AHP. Estas ecuaciones son lineales pero el usuario puede utilizar otras funciones si considera que se ajustaran mejor al problema en cuestión basándose en su conocimiento o experiencia, siempre que los valores se encuentren en el intervalo de los valores AHP.

1.5. MÉTODO PROMETHEE (preference ranking organization method for enrichment evaluation)

1.5.1. Descripción del método

Este método multicriterio es muy utilizado para la toma de decisiones, para alternativas que ya se han clasificado previamente. Este método incluye el Método PROMETHEE I Y PROMETHEE II para poder obtener una clasificación completa de las alternativas y que resultan sencillas de aplicar. Para poder determinar el ranking parcial (PROMETHEE I) u ranking completo (PROMETHEE II) entre las diferentes alternativas se realiza el cálculo de la matriz de índices de preferencia. “Para poder calcular esta matriz es necesario conocer cuál es el criterio generalizado bajo el cual se evalúa cada uno de los criterios” Palomo (2012). Esto quiere decir, que se debe identificar el objetivo específico del caso de estudio a utilizar. Además, el método define las relaciones de dominancia de las alternativas con los criterios a través de la asignación de preferencia, indiferencia e incomparabilidad. Una alternativa es preferente frente a otra cuando es superior en todos los criterios que se evaluaron en ellas. Son incomparables cuando la alternativa A es superior frente a la B en algún criterio y inferior en otro criterio; y son indiferentes si las alternativas no son superadas respecto a los criterios ninguna de la otra. El método tiene como objetivo reducir las alternativas denominadas como incomparables, ya que para poder diferenciarlas es necesario agregar información adicional, lo cual genera que ocurran suposiciones, Arroyo, Tommelein, & Ballard (2014)

Por otro lado, se debe asignar flujos de relevancia que pueden ser negativos o positivos. Esto se realiza con la finalidad de obtener la dominancia y debilidad que presenta una alternativa frente a las demás.

La información necesaria para el método PROMETHEE son los denominados pesos relativos de cada criterio. Estos son números no negativos y adimensionales y se obtienen

a través de un método multicriterio. Los pesos relativos son normalizados, para que la suma entre ellos siempre de un valor igual a 1 y se muestra en la Ecuación 16:

(1.5.1.16)

Ecuación 16: Normalización de pesos relativos w

$$\sum_{j=1} w_j = 1$$

Donde:

w_j = pesos relativos

Este método, a través de la matriz que se realiza, busca proporcionar alternativas incomparables entre ellas para poder escoger una respuesta de preferencia sin ningún impedimento. Para obtener la preferencia, se utiliza funciones con las alternativas y los criterios a evaluar sobre ellos. Para poder realizar la evaluación es necesario determinar la función de preferencia, que se traduce la diferencia entre las evaluaciones obtenidas por dos alternativas en un grado de preferencia que van desde cero a uno, para cada criterio. Existen varios tipos de funciones de preferencia que pueden ser los siguientes: 1) usuario; 2) forma de U; 3) forma de V; 4) nivel; 5) lineal; y 6) gaussiano. Estos se exponen en la Figura 5 con las respectivas expresiones matemáticas para su aplicación.

Criterio generalizado	Definición	Parámetros a ajustar
<p>Type 1: Usual Criterion</p>	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 & d > 0 \end{cases}$	—
<p>Type 2: U-shape Criterion</p>	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ 1 & d > q \end{cases}$	q
<p>Type 3: V-shape Criterion</p>	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ \frac{d}{p} & 0 \leq d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p
<p>Type 4: Level Criterion</p>	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{1}{2} & q < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p, q
<p>Type 5: V-shape with indif- ference Criterion</p>	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{d-q}{p-q} & q < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p, q
<p>Type 6: Gaussian Criterion</p>	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 - e^{-\frac{d^2}{2s^2}} & d > 0 \end{cases}$	s

Figura 5: Funciones de preferencia. Por: Brans, J, 2005

El método PROMETHEE I es conservador y no decide qué alternativa es mejor, recayendo la decisión sobre el usuario. El PROMETHEE II se realiza con el fin de eliminar la incomparabilidad y poder obtener alternativas diferentes unas con otras, facilitando más la elección final. Por otro lado, el análisis de incompatibilidades que brinda el método puede ayudar a tomar la decisión apropiada.

1.5.2. Variables para la aplicación del método PROMETHEE

Se definirán dos parámetros necesarios para su implantación.

1.1.1.8 Índice de preferencia agregado

El índice de preferencia agregado se calcula de acuerdo con la Ecuación 17, la cual expresa el grado de preferencia que tiene “a” sobre “b” considerando todos los criterios y la Ecuación 18, que indica la preferencia de “b” sobre “a”.

(1.5.2.17)

Ecuación 17: Grado de preferencia de a sobre b considerando todos los criterios

$$\pi(a, b) = \sum_{j=1}^k P_j(a, b)w_j$$

Donde:

$\pi(a, b)$ Grado de preferencia de a sobre b considerando todos los criterios

$P_j(a, b)$ = Funcion de preferencia

w_j = pesos relativos

(1.5.2.18)

Ecuación 18: Grado de preferencia de b sobre a considerando todos los criterios

$$\pi(b, a) = \sum_{j=1}^k P_j(b, a)w_j$$

Donde:

$\pi(b, a)$ Grado de preferencia de “a” sobre “b” considerando todos los criterios

$P_j(b, a)$ = Funcion de preferencia

w_j = pesos relativos

Ambos índices de preferencia agregada tienen las propiedades expuestas en la Ecuación 19:

(1.5.2.19)

Ecuación 19: Propiedades de los índices de preferencia agregada

$$\pi(a, a) = \pi(b, b) = 0$$

$$0 \leq \pi(a, b) \leq 1$$

$$0 \leq \pi(b, a) \leq 1$$

$$0 \leq \pi(a, b) + \pi(b, a) \leq 1$$

Donde:

$\pi(a, b)$ Grado de preferencia de “a” sobre “b” considerando todos los criterios

$\pi(b, a)$ Grado de preferencia de a sobre b considerando todos los criterios

Los índices con un valor de “ $\pi(a, b)$ ” próximo a 1 indicará una preferencia global de “a” sobre “b”, mientras que un valor próximo a 0 indicará debilidad.

1.1.1.9 Flujos de superación

En los distintos problemas que se tendrán, una alternativa a se enfrenta al total de alternativas menos 1 (n-1) que definen “A”. El flujo positivo se calcula mediante la Ecuación 20, mientras que el negativo, a través de la Ecuación 21:

(1.5.2.20)

Ecuación 20: Flujo de relevancia positivo

$$\varphi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(a, x)$$

Donde:

$\varphi^+(a)$ = Flujo de relevancia positivo

$\pi(a, x)$ = Grado de preferencia de “a” frente al resto de alternativas

n = Número de alternativas del problema

(1.5.2.21)

Ecuación 21: Flujo de relevancia negativo

$$\varphi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(x, a)$$

Donde:

$\varphi^-(a)$ = Flujo de relevancia negativo

$\pi(x, a)$ = Grado de preferencia de “x” frente al resto de alternativas

n = Número de alternativas del problema

El primero indica cómo una alternativa “a” es superior frente al resto, muestra su carácter dominador. Cuanto más alto, mejor será la alternativa. La segunda muestra su debilidad, como es dominada por el resto de las alternativas y en este caso cuanto más bajo es su valor, mejor resulta la alternativa. De esta manera se podrá discernir entre las mejores alternativas que se posean a través de una clasificación de tipo ranking, con los valores obtenidos.

1.5.3. Procedimiento PROMETHEE I: Clasificación Parcial

Este método consiste en obtener la clasificación de las alternativas usando los flujos positivos y negativos de relevancia obtenidos por medio de las ecuaciones expuestas anteriormente. PROMETHEE ocupa las siguientes clasificaciones a través de las condiciones expuestas en la Figura 6:

$$\begin{aligned}
 aP^I b &\Leftrightarrow \begin{cases} \Phi^+(a) > \Phi^+(b) \text{ y } \Phi^-(a) < \Phi^-(b), \text{ o} \\ \Phi^+(a) = \Phi^+(b) \text{ y } \Phi^-(a) < \Phi^-(b), \text{ o} \\ \Phi^+(a) > \Phi^+(b) \text{ y } \Phi^-(a) = \Phi^-(b) \end{cases} \\
 aI^I b &\Leftrightarrow \Phi^+(a) = \Phi^+(b) \text{ y } \Phi^-(a) = \Phi^-(b) \\
 aR^I b &\Leftrightarrow \begin{cases} \Phi^+(a) > \Phi^+(b) \text{ y } \Phi^-(a) > \Phi^-(b), \text{ o} \\ \Phi^+(a) < \Phi^+(b) \text{ y } \Phi^-(a) > \Phi^-(b) \end{cases}
 \end{aligned}$$

Figura 6: Clasificación PROMETHEE. Por Brans, J.P (1985)

Donde P, I, R indican preferencia, indiferencia e incomparabilidad. Las siglas “aP^Ib” significa que la alternativa a es preferente frente a la “b”, también lleva asociada una menor debilidad de “a” sobre “b”. “a = b” es el caso en que ambos flujos son iguales para las dos alternativas. Por último, la incomparabilidad se da en casos en los que “a” es mejor que “b” sólo para algunos criterios y en otros no, por lo cual no se puede obtener un resultado concreto. Entonces los resultados no son consistentes y se deben tratar con cautela. El método PROMETHEE I muestra resultados muy justificados y no realiza

decisiones de casualidad, por ello muchas veces no se puede obtener qué alternativa es mejor, recayendo la decisión sobre el usuario que toma las decisiones.

1.5.4. Procedimiento PROMETHEE II: Clasificación Completa

En el siguiente método las clasificaciones de incomparabilidad, que no se resolvieron con PROMETHEE I, se obtienen de una manera razonable. El flujo neto de relevancia (net outranking flow) se expresa en la Ecuación 22:

(1.5.4.22)

Ecuación 22: Flujo neto de relevancia

$$\varphi(a) = \varphi^+(a) - \varphi^-(a)$$

Donde:

$\varphi(a)$ = Flujo neto de relevancia

$\varphi^+(a)$ = Flujo de relevancia positivo

$\varphi^-(a)$ = Flujo de relevancia negativo

A partir de los flujos se pueden obtener las relaciones entre alternativas a partir de estas evaluaciones tal y como se muestra en la Ecuación 23:

(1.5.4.23)

Ecuación 23: Relaciones de PROMETHEE

$$aP^IIb \leftrightarrow \varphi(a) > \varphi(b)$$

$$aI^IIb \leftrightarrow \varphi(a) = \varphi(b)$$

Donde:

$\varphi(a)$ = Flujo neto de relevancia para alternativa “a”

$\varphi(b)$ = Flujo neto de relevancia para alternativa “b”

Como se mencionó con anterioridad, en este método todas las alternativas son comparables, a pesar de que la información requiere más estudio para no obviar información relevante al calcular el flujo neto que se obtiene restando los flujos. Dicho flujo neto posee las propiedades presentadas en la Ecuación 24:

Ecuación 24: Propiedades del flujo neto

$$-1 \leq \varphi(a) \leq 1$$

$$\sum_{x \in A} \varphi(a) = 0$$

Donde:

$\varphi(a)$ = Flujo neto de relevancia para alternativa “a”

Cuando el valor de “ $\Phi(a) > 0$ ”, la alternativa es más dominadora que dominada por el resto, en el caso de resultar negativo, la solución es por general dominada por las demás alternativas. El flujo neto de este método podría ser comparado con las funciones de utilidad u objetivo de otros métodos. La ventaja de este método es que está basado en relaciones claras de preferencia y se basa en expresiones comparativas y no en comparaciones absolutas. En la práctica real se deben usar ambas clasificaciones ya que, aunque PROMETHEE II es sencillo de usar, el análisis de incomparabilidades que ofrece PROMETHEE I puede ayudar a tomar la decisión apropiada, complementándose de esta forma para no producir resultados sin consistencia.

1.6. DIAGRAMA DE PARETO

El diagrama de Pareto es una gráfica tipo histograma, para organizar datos en orden descendente, de izquierda a derecha y separados por barras según la frecuencia de incidencia. Permite analizar visualmente cuántos defectos se generaron por tipo o categoría de causa identificada. El ordenamiento por categoría se emplea para guiar la acción correctiva. Gracias a esto, permite asignar un orden de prioridades mediante el diagrama en el cual se muestra gráficamente el principio de Pareto (pocos vitales, muchos triviales), es decir, que hay muchos problemas sin importancia frente a unos pocos muy importantes. En la gráfica se ubican los problemas "pocos vitales" a la izquierda y los "muchos triviales" a la derecha. El equipo del proyecto debería atender en primer lugar las causas que provocan el mayor número de defectos. Los diagramas de Pareto están relacionados conceptualmente con la ley de Pareto, que establece que un número relativamente pequeño de causas provocará generalmente la mayoría de los problemas o

defectos. Esto se denomina comúnmente principio 80/20, donde el 80 por ciento de los problemas se debe al 20 por ciento de las causas. Los diagramas de Pareto también se pueden usar para resumir diversos tipos de datos y analizarlos según el principio 80/20. Por lo tanto, tanto la distribución de los efectos como sus posibles causas no es un proceso lineal, sino que el 20% de las causas totales hace que sean originados el 80% de los efectos y rebotes internos del pronosticado.

El principal uso que tiene el elaborar este tipo de diagrama es para poder establecer un orden de prioridades en la toma de decisiones dentro de una organización. Evaluar todas las fallas, saber si se pueden resolver o mejor evitarla.

1.7. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

1.7.1. Cuestionarios

Se usarán cuestionarios para la recolección de datos de variables cuantitativas. Según Brace, (2011) el cuestionario consiste en un conjunto de preguntas relacionadas a una o más variables a medir. De igual modo, este debe poseer congruencia con el planteamiento del problema e hipótesis

Las preguntas que se aplicarán podrán ser abiertas o cerradas. La primera clasificación presenta opciones de respuesta previamente establecidas, presentándose a los participantes las posibilidades de respuesta para el posterior acotamiento por parte de ellos. Estas pueden ser dicotómicas (dos posibilidades de respuesta) o abarcar varias respuestas. En las Figuras 7 y 8 se aprecian ejemplos de una interrogante dicotómica y de varias respuestas, respectivamente. Por otro lado, las preguntas abiertas no restringen de antemano las alternativas de respuesta, por lo que el número de categorías de respuesta es prácticamente infinito y puede variar según la población, un ejemplo de estas preguntas se expone en la Figura 9.

¿Estudia usted actualmente?	¿Durante la semana pasada vio la final de la Liga de Campeones de Europa?
() Sí	() Sí
() No	() No

Figura 7: Ejemplo de pregunta cerrada dicotómica. Por Hernández, R (2014)

A continuación voy a mencionarle algunos de los problemas que suelen preocupar a los habitantes de este municipio y le pediría que en cada caso me dijera: ¿qué tanto le preocupa a usted cada uno de ellos?; donde 10 significa: “me preocupa muchísimo” y 0 quiere decir: “no me preocupa en absoluto”.¹¹

☐ Desempleo	☐ Escasez de agua
☐ Pobreza	☐ Cortes en el suministro de agua
☐ Inseguridad al transitar por la calle o viajar en transporte público	☐ Falta de vivienda
☐ Empleo mal remunerado/bajos salarios	☐ Servicios de salud insuficientes
☐ Robos/asaltos en los hogares y viviendas	☐ Carencia/deficiencia de servicios educativos
☐ Robos de vehículos/autos, motocicletas, bicicletas	☐ Drenaje inadecuado en las calles
☐ Pandillerismo	☐ Tránsito/tráfico/vialidad
☐ Venta de drogas-narcomenudeo	☐ Pavimentación y bacheo mal hechos
☐ Secuestros	☐ Falta de infraestructura (calles, puentes, etcétera)
☐ Recolección de la basura (no todos los días la recogen)	☐ Corrupción de funcionarios municipales, policías, agentes de tránsito y vialidad
☐ Horarios inadecuados para la recolección de la basura	☐ Situación económica familiar

Figura 8: Ejemplo de pregunta cerrada de varias respuestas. Por Hernandez, R (2014)

¿Por qué asiste a psicoterapia?

¿Qué opina de las medidas de apoyo a la población que adoptó el Gobierno para disminuir el impacto del último terremoto ocurrido el 10 de noviembre?

Figura 9: Ejemplo de cuestionario con pregunta abierta. Por Hernández, R (2014)

1.1.1.10 Confiabilidad

La confiabilidad del instrumento se calculará con la Medida de estabilidad o confiabilidad por prueba doble, el proceso de cálculo con dos aplicaciones se observa en la Figura 10. Tal y como ha concluido Ayala & Sainz de Baranda (2012) este procedimiento consiste en la aplicación del mismo instrumento de medición dos o más veces a un mismo grupo de personas o casos, después de cierto periodo. Si no existe dispersión moderada entre los resultados de las diferentes aplicaciones, el instrumento se considera confiable. Para la aplicación de este método, se debe considerar el periodo entre las mediciones. En el caso que el periodo fuese largo, la variable o el contexto son susceptibles de cambios y la interpretación del coeficiente de fiabilidad obtenido por este procedimiento no será correcto. Carmines & Zeller (1979) menciona que si el periodo es corto los participantes son capaces de recordar cómo respondieron en la primera aplicación del instrumento y el resultado será más consistente por la memoria de los usuarios.

Figura 10: Medida de Estabilidad. Por Hernández, R (2014)

1.1.1.11 Validez

La validez del contenido del instrumento de medición se obtendrá mediante las opiniones del juicio experto al asegurar de que las dimensiones medidas por el cuestionario sean representativas del universo o dominio de dimensiones de las variables de interés.

Por otro lado, la evidencia de la validez de constructo se obtiene mediante el análisis de factores. A través de dicho método se hallan cuántas dimensiones forman parte de una variable y qué ítems conforman cada dimensión. Los reactivos que no pertenezcan a una dimensión, quiere decir que están “aislados” y no miden lo mismo que los demás ítems, por tanto, deben eliminarse.

1.7.2. Entrevistas

La entrevista, según Janesick (1998) consiste en una reunión para conversar e intercambiar información entre el entrevistador y el entrevistado, a través de preguntas y respuestas se entabla una comunicación y se construyen significados respecto a un tema. Diaz, Torruco, Martínez, & Valera (2013) sostienen que las entrevistas se dividen en estructuradas, semiestructuradas y no estructuradas o abiertas. Se aplicará una entrevista semiestructurada basada en una guía de asuntos o preguntas y el entrevistador tiene la libertad de introducir preguntas adicionales para precisar conceptos u obtener más información.

1.7.3. Registros y datos históricos

Una fuente muy valiosa de datos cualitativos son los documentos históricos de las empresas que otorgan al investigador mayor capacidad de entender el fenómeno central de estudio. (Pratt & Rafaeli (2017) sostienen que la mayoría de las personas, grupos y organizaciones los producen y le sirven al investigador para conocer los antecedentes de un ambiente, así como las vivencias o situaciones que se producen en él y su funcionamiento cotidiano y anormal.

2 CAPÍTULO II: MATERIAL Y MÉTODOS

En el presente capítulo, serán expuestos el material y los métodos a utilizar en la investigación, delimitando la población y la muestra estadística a evaluar a través de características concisas con el tema propuesto. Por otro lado, se explica la clasificación de la investigación como correlacional, así como sus variables de estudio y operacionalización según los objetivos específicos. También, se exponen las técnicas e instrumentos de recolección de datos tales como cuestionarios, entrevistas, registros y datos históricos. Finalmente, se muestran las técnicas de procesamiento y análisis de datos a utilizar, para llevar a cabo los métodos multicriterio en la investigación.

2.1. MATERIAL

2.1.1. Población

La población por investigar en el proyecto de tesis son las carreteras licitadas públicamente en el Perú y no pueden ser ejecutados por concesiones. También, se limita la elección de los proyectos de carreteras que hayan iniciado su ejecución a partir del año 2010, para poder encontrar metodologías de selección de los subcontratistas vigentes a la fecha. Asimismo, las carreteras deben poseer como mínimo una partida subcontratada para poder realizar el estudio. Además, los proyectos deben poseer un costo de la obra mayor o igual a S/. 4'300 000,00 (CUATRO MILLONES TRESCIENTOS MIL Y 00/100 NUEVOS SOLES), debido a la magnitud del proyecto el cual requiere una supervisión externa obligatoria que este permanente en obra. A continuación, se presenta la Tabla 4 con los proyectos ejecutados.

Tabla 4:

Proyectos de carreteras ejecutadas en el Perú

DEPARTAMENTO	#DE PROYECTOS
Amazonas	8
Áncash	5
Apurímac	10
Arequipa	21
Ayacucho	11
Cajamarca	13
Callao	0
Cuzco	19
Huancavelica	14
Huánuco	2
Ica	4
Junín	24
La Libertad	8
Lambayeque	7
Lima (departamento)	1
Loreto	2
Madre de Dios	2
Moquegua	4
Pasco	10
Piura	9
Puno	21
San Martín	4
Tacna	4
Tumbes	2
Ucayali	4

Nota: Elaborado con datos oficiales de INFOBRAS, 2018

2.1.2. Muestra

La muestra estadística se calcula según la Ecuación 25:

(2.1.2.25)

Ecuación 25: Cálculo de muestra estadística

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q}$$

Donde:

N = Tamaño de población

Z = Nivel de confianza

p = Probabilidad de éxito

q = Probabilidad de fracaso

d = Precisión o error admisible

Para la siguiente investigación se han obtenido como muestra 3 proyectos de carreteras en el Perú utilizando un tamaño de población de 209, un nivel de confianza del 90%, una probabilidad de éxito y fracaso de 5% y 95% respectivamente, y un error admisible de 6%.

Para la aplicación del juicio experto a los profesionales involucrados en el proceso de selección de subcontratistas en carreteras, se tomó un promedio de 12 expertos por proyecto por lo que se aplicarían 36 encuestas a expertos.

2.2. MÉTODO

2.2.1. Nivel de Investigación

La presente tesis de investigación se denomina correlacional. Según Hernández (2014) se puede concluir que este tipo de estudio tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto en particular.

Asimismo, la investigación que se realizará mide cada una de las variables independientes para analizarlas y cuantificarlas para luego poder relacionarlas entre ellas. Esto se realiza para poder obtener la variable dependiente y poder someterla a la prueba. Obviamente, las mediciones de las variables que se van a correlacionar provienen de los mismos casos o participantes para poder obtener un resultado fiable. Hernández (2014) indica que: “La

investigación correlacional tiene, en alguna medida, un valor explicativo, aunque parcial, ya que el hecho de saber que dos conceptos o variables se relacionan aporta cierta información explicativa” (p.93). Aparte de ello, la investigación recolectará información de distintas variables asociadas al estudio y aumentará la fuerza de las relaciones, para obtener una explicación más completa el resultado final.

Por ejemplo, lo que se desea determinar es si al poseer el mayor puntaje debido a las características del subcontratista a través de la calificación obtenida en el análisis multicriterio, los resultados ejecutados por este tendrán mayor probabilidad de ser positivos.

2.2.2. Diseño de Investigación

El diseño de investigación se realizará mediante la estrategia documental, ya que se recopilará información de la población especificada, archivada en la base de datos. Por lo tanto, para obtener esta información, se emplearán las técnicas y herramientas de recopilación de datos. También, se analizarán los datos a obtener para llevar a cabo la investigación y obtener un resultado óptimo. En este caso, los datos o información obtenida serán modificados para realizar la prueba, solo se procesarán para obtener un resultado final. Hernández (2014) sostiene que en la investigación no experimental las variables independientes ocurren y no es posible manipularlas, no se tiene control directo sobre dichas variables ni se puede influir en ellas. El procedimiento por realizarse se aprecia en la Figura 11:

Figura 11: Diseño de Investigación. Por Elaboración Propia

2.2.3. Variables de estudio y operacionalización

Durante la investigación, se trabajarán variables de estudio según los objetivos específicos. En la Tabla 5 se presentan las variables indicando sus respectivas dimensiones, indicadores, unidades de medida e instrumentos de investigación.

Tabla 5:

Variables de estudio y operacionalización

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN
(I) Partidas subcontratadas incidentes	Sobrecosto	Incidencia del sobrecosto	Soles o Dólares	Presupuesto, entrevistas, principio de Pareto.
(I) Criterios más relevantes	Prioridad del experto	Preferencia establecida por los expertos	Cantidad de votos a favor	Encuestas por juicio experto
(D) Calificación del subcontratista	Puntos obtenidos por los pesos de criterios	Suma del puntaje obtenido en cada criterio	Calificación	Análisis Multicriterio
(D) Pesos de los criterios de selección	Incidencia	Importancia relativa entre criterios	Porcentaje	Método AHP (Proceso analítico jerárquico)
(D) Ranking de subcontratistas	Ubicación según su evaluación	1er, 2do, 3er, 4to, 5to, 6to	Puestos	Método PROMETHEE
(I) Procedimiento de selección de subcontratistas	Unidad	Descripción del procedimiento	Unidad	Síntesis de la aplicación, validación de juicio experto

Nota: Elaboración Propia, 2018

2.2.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

2.1.1.1 Cuestionarios

Se usarán cuestionarios para la recolección de datos de variables cuantitativas. Estos serán de dos tipos:

De preguntas cerradas de varias respuestas, se emplearán para la obtención de importancias relativas entre criterios. Un ejemplo de pregunta es: ¿Considera que el criterio (a) es más importante que el criterio (b), si es así, que tanto?, con posibilidad de respuesta SI/NO y la puntuación numérica del 1-9 según la Tabla 2.

De preguntas cerradas de varias respuestas y pregunta abierta, se utilizarán para discriminar los principales 8 criterios de selección mediante la propuesta de alternativas ya establecidas por la literatura de investigación y la opción de proponer un criterio adicional.

2.1.1.2 Confiabilidad

La confiabilidad del instrumento se calculará con la Medida de estabilidad o confiabilidad por prueba doble, esta se dará mediante la doble aplicación de los cuestionarios, con un intervalo de tiempo de 1 mes para evitar que la memoria respecto a la primera aplicación intervenga en el resultado de la segunda. Al tratarse de una obra ya ejecutada, la opinión y datos sobre esta no deberían cambiar, por lo tanto, las respuestas en ambas aplicaciones no deben tener mayor dispersión para que se confirme la confiabilidad de los cuestionarios.

2.1.1.3 Validez

La validez del contenido del instrumento de medición se obtendrá mediante las opiniones del juicio experto al asegurar de que las dimensiones medidas por el cuestionario sean representativas del universo o dominio de dimensiones de las variables de interés.

2.1.1.4 Entrevistas

La entrevista se realizará con los Ingenieros que participaron directamente en el proceso de selección del subcontratista, en producción, calidad, entre otros. Esta entrevista se aplicarán con la finalidad de obtener información cualitativa y cuantitativa del trabajo realizado y características para su evaluación según los criterios delimitados. Estas entrevistas serán del tipo semiestructuradas.

2.1.1.5 Registros y datos históricos

Entre los elementos a emplearse se identifican: especificaciones técnicas, memorias descriptivas, presupuestos, cotizaciones, subcontratos, procesos de selección internos. La información recopilada de dichos documentos ha sido utilizada para las partidas subcontratadas, el proceso de selección y será empleada en la matriz de evaluación del subcontratista según los criterios delimitados por las empresas.

2.2.5. Técnicas de Procesamiento y Análisis de datos

Los datos cualitativos serán codificados según la Tabla 2 para su posterior almacenamiento en una matriz de comparación de pares en el programa Excel.

Los datos cuantitativos obtenidos por los cuestionarios de preguntas cerradas serán ingresados en una matriz de comparación de pares en el programa Excel

Los datos cuantitativos obtenidos de los cuestionarios y registros históricos serán ingresados en una matriz de evaluación en el programa Excel bajo los criterios en los cuales fueron evaluados los subcontratistas.

Los datos cualitativos codificados serán procesados posteriormente bajo la metodología AHP descrita en la sección 1.4.2 para la obtención de las importancias relativas entre criterios y a continuación, el vector de pesos de los criterios

Los datos cuantitativos y cualitativos obtenidos bajo el área de evaluación del subcontratista serán de igual modo analizados bajo la metodología PROMETHEE descrita en la sección 1.5.2 y procesados en una matriz de evaluación del subcontratista.

3 CAPÍTULO III: IDENTIFICACIÓN DE LA PARTIDA SUBCONTRATADA MÁS INCIDENTE EN COSTO POR REPROCESOS DEL SUBCONTRATISTA.

Este capítulo tiene como finalidad determinar mediante el principio de Pareto, en 3 proyectos de carreteras en el Perú, la partida más incidente en costo por reprocesos y retrabajos ejecutadas por el subcontratista. Son expuestas las principales características de los proyectos, como el presupuesto referencial, la ubicación, diseño vial y descripción de estructuras importantes que poseen las carreteras. Además, se mostrarán los procesos de selección de subcontratista llevados a cabo por cada contratista. Finalmente, se halla la partida subcontratada con mayor incidencia en costo ejecutada por los subcontratistas, en los 3 proyectos.

3.1. PROYECTO 1: CARRETERA MATARANI - EL ARENAL - PUNTA DE BOMBÓN

3.1.1. Información General

Se exponen las principales características del Proyecto 1 en la Tabla 6 a continuación:

Tabla 6

Características generales del proyecto 1

ITEM	RESPUESTA
PROYECTO:	MATARANI-EL ARENAL-PUNTA DE BOMBÓN
Departamento:	Arequipa
Provincia:	Islay
Inversión inicial para el proyecto:	518,409,581.84
Inicio de proyecto:	10 de Enero del 2015
Fin de proyecto:	En ejecución
Longitud de vía:	51.3 km
Dificultades del proyecto:	Oposiciones y desacuerdos con propietarios

Nota: Elaboración propia recopilando información de la Memoria Descriptiva del proyecto, Obrainsa, 2015

El proyecto se encuentra ubicado en la provincia de Islay del departamento de Arequipa tal y como se observa en la Figura 12. En este proyecto de inversión se realizó la construcción y mejoramiento de la carretera, la cual está compuesta por dos subtramos.

El primer subtramo conectaba la ciudad de Matarani con El Arenal y el segundo subtramos del Arenal a Punta de Bombón. El contratista encargado de la ejecución de la obra fue el Consorcio Vial El Arenal-Punta de Bombón que estaba conformado por OBRAINSA y ODEBRECHT contrato N° 146-2014 -MTC/20 de fecha 05.12.2014, por el monto de S/. 489 402 La supervisión encargada fue el consorcio supervisor Vial Matarani conformados por HOB CONSULTORES y ALPHA CONSULT con el contrato N° 134-2014 -MTC/20 de fecha 24.11.2014, por el monto de S/. 29 007 058,67. El proyecto dio inicio a la ejecución el día 10 de Enero del 2015 y estaba prevista su culminación en Diciembre del 2016. Esta no se ha podido culminar aún, debido a los problemas que existen en la ciudad de Mejía y su variante, en la cual varios predios no han sido liberados evitando que el contratista pueda entrar para seguir con la ejecución de la obra. Esto ocurre debido a desacuerdos de los agricultores con la expropiación de sus terrenos, los cuales siguen retrasando el proyecto.

Para realizar el diseño vial de la carretera se dieron recomendaciones de parte de los especialistas de Geología y Geotecnia, Suelo y Pavimentos e Hidrología y Drenaje. Por otro lado, los estudios básicos de topografía, tráfico, suelos, pavimentos, canteras, geología, hidrología, estructuras y de señalización son importantes para evitar problemas y cambios en el momento de la ejecución del proyecto, que puedan retrasar y ocasionar mayores gastos de los proyectados.

Para el desarrollo de la obra la constructora posee equipos adecuados con las características y magnitud de las obras y en la cantidad requerida, de manera que se garantizó la ejecución de acuerdo con los planos, especificaciones de construcción y programas de trabajo. Además, el contratista tuvo en cuenta el estado de los equipos y del personal a cargo de ellos, velando por su seguridad. El personal también es parte importante de la obra, en donde el contratista se encargó de contratar y está obligado a cumplir con todas las disposiciones legales sobre la contratación del personal. El proyecto posee diversas partidas a ejecutar, las cuales deben cumplir con los ensayos y parámetros requeridos para el proyecto para poder obtener un resultado conforme y de calidad. Entre las partidas más importantes se tienen las obras preliminares, el movimiento de tierras, conformación de la subbase y base, pavimento asfáltico, obras de arte, transporte, señalización, protección ambiental y puentes. Algunas de las partidas fueron subcontratadas parcialmente y otras en su totalidad. Entre las partidas más críticas se

tienen las de transporte debido a la gran distancia que se debía de recorrer para poder llevar el material de cantera hacia los diversos tramos de la obra.

Algunos subcontratistas fueron seleccionados a través de la central de la empresa OBRAINSA que se encuentre en Lima en donde se desarrollaron las bases de la solicitud. Estas bases son desarrolladas similares a las bases de las licitaciones generadas por Provias Nacional, pero en menor escala. También se realizó la selección de subcontratistas en la misma obra con la colaboración del ingeniero residente, el ingeniero de Planeamiento y el ingeniero de costos, quienes se encargan de comparar a los subcontratistas participantes.

El proyecto posee un avance total del 86.9% hasta el mes de Mayo del 2018. En la Tabla 7 se puede observar el avance del proyecto a la fecha.

Tabla 7

% de Avance del Proyecto 1

DESCRIPCIÓN DE LAS PARTIDAS	% AVANCE A LA FECHA
Obras preliminares	91.5%
Movimiento de tierras	95.6%
Sub base y base	96.2%
Pavimento asfáltico	78.4%
Obras de arte y drenaje	79.0%
Transportes	83.9%
Señalización y seguridad vial	21.2%
Protección ambiental	44.7%
Puente río tambo	96.1%
Paso vehicular a desnivel	100.0%

Nota: Elaboración propia adaptando información del informe mensual, Obrainsa, 2018

Figura 12: Ubicación del proyecto 1. Por: Obrainisa

En el proyecto se han realizado varias modificaciones debido a los problemas que se han ido encontrando en el proceso de ejecución, esto puede ser ocasionado por un expediente técnico deficiente o también por el incremento de variables como el cambio de ruta de algunos tramos para poder satisfacer a los pobladores. Para poder realizar estos cambios, es necesario la aprobación de adicionales que se realizan con ayuda de la supervisión para luego poder dirigirlos hacia Provias nacional, quienes son los responsables de la ejecución de las obras del programa de inversiones correspondiente a la construcción, rehabilitación o mejoramiento de carreteras, puentes y otras obras relacionadas con la Red Vial Nacional del Perú.

El problema más grande que ha tenido el proyecto es la inhabilitación de los terrenos agrícolas por donde se ha proyectado que pasara la carretera, ya que el Estado no ha expropiado todos los terrenos y ello ocasiona el retraso en las partidas de movimiento de tierras, subbase y base, pavimento asfáltico, protección ambiental, transportes y señalización y seguridad vial.

Por otro lado, existe un canal de riego antiguo que se encuentra en el desvío vía evitamiento de Mejía (24+550) al desvío de Mejía lado Sur (29+740), en donde es necesario realizar adicionales para no perjudicar al canal.

Además, se debe poseer autorizaciones por parte de entidades como la autoría nacional del agua (ANA), autoridades administrativas del agua (AAA) y la autoría local del agua (ALA) que son los encargados de administrar y vigilar las fuentes naturales de agua.

3.1.2. Partidas subcontractadas

Mediante el Diagrama de Pareto se analizaron 4 partidas subcontractadas y se delimitó que las que presentaron mayor incidencia en sobrecosto y tiempo fueron las partidas expuestas en la Tabla 8:

Tabla 8:

Partidas subcontractadas del Proyecto 1

SUBCONTRATISTA	DIAS DE ATRASO	SOBRECOSTO (MILES DE SOLES)
Señalización	14	67.20
Material de cantera	11	57.42
Perforación y voladuras	3	22.19
Concreto asfáltico	21	88.57

Nota: Elaboración propia adaptando información del informe mensual, Obrainsa, 2018

Aplicando los gráficos de Pareto se obtienen las Figuras 13 y 14 para el sobrecosto y días de retraso respectivamente y se aprecia que el 80% de incidencia pertenecen a las partidas de Concreto asfáltico y Señalización, lo que significa que los esfuerzos del equipo de proyecto se deben centrar en controlar dichas partidas.

Figura 13: Diagrama de Pareto del Sobrecosto. Por: Elaboración propia

Figura 14: Diagrama de Pareto de Días de atraso. Por: Elaboración Propia

La partida Concreto asfáltico en caliente consiste en la colocación de mezcla asfáltica construida sobre una superficie debidamente preparada e imprimada, de acuerdo con las especificaciones técnicas. En el proyecto las mezclas están compuestas básicamente de agregados minerales gruesos, finos, filler mineral y material asfáltico. Por otro lado, los minerales que la constituyen son separados por tamaño, graduados uniformemente y combinados, con el fin que el resultado de la mezcla llene las exigencias de graduación para el tipo específico contratado.

La partida Señalización consiste en el suministro, almacenamiento, transporte e instalación de los dispositivos de control de tránsito que son colocados en la vía en forma vertical y horizontal para advertir, reglamentar, orientar y proporcionar ciertos niveles de seguridad a sus usuarios. Entre estos dispositivos se incluyen las señales de tránsito (preventivas, reglamentarias e informativas), sus elementos de soporte y los delineadores. Se incluye también dentro de estos trabajos la remoción y reubicación de dispositivos de control permanente. Además, los trabajos de señalización ambiental están destinadas a crear conciencia sobre la conservación de los recursos naturales, arqueológicos, humanos y culturales que pueden existir dentro del entorno vial. Asimismo, deberá enfatizar las zonas en que habitualmente se produce circulación de animales silvestres o domésticos a fin de alertar a los conductores de vehículos sobre esta presencia.

3.1.3. Proceso de Selección

Para la selección del subcontratista en este proyecto, fueron considerados los siguientes criterios:

- En primer lugar, la experiencia del subcontratista en la elaboración de lo que se requiere en obras similares, para incrementar la confiabilidad en el cumplimiento. Esta debe ser documentada y entregada para ser verificada.
- En segundo lugar, la oferta económica también es un punto importante en el que se basan para escoger al subcontratista adecuado, en donde se comparan los precios cotizados con el precio de venta.
- En tercer lugar, la capacidad de contratación que se basa en identificar la cantidad de equipos y personal calificado que poseen para realizar la actividad para la cual será contratada.
- En cuarto lugar, se debe identificar si poseen programas de seguridad y de medio ambiente para poder evitar problemas futuros que ocasionen daños a la empresa, quienes son los principales responsables de la obra.
- De igual importancia, es la realización correcta del contrato final el cual será revisado y firmado por el ingeniero residente, el ingeniero de planeamiento y el ingeniero a cargo del área de las actividades que realizará el subcontratista. En esta se colocarán provisiones que garanticen que la partida subcontratada se elabore de acuerdo a las especificaciones técnicas.

3.2. PROYECTO 2: CARRETERA CHAMAYA-JAÉN-SAN IGNACIO-RIO CHANCHIS. TRAMO: SAN IGNACIO-PUENTE DE INTEGRACIÓN

3.2.1. Información general

En la Tabla 9 se presentan las características generales del Proyecto 2.

Tabla 9

Características generales del proyecto 2

PROYECTO:	TRAMO: SAN IGNACIO-PUENTE DE INTEGRACIÓN
Departamento:	Cajamarca
Provincia:	San Ignacio
Inversión inicial para el proyecto:	206'837,821.75

Inicio de proyecto:	16 de Marzo del 2012
Fin de proyecto:	18 de Septiembre del 2013
Longitud de vía:	47.085 km
Dificultades del proyecto:	Problemas con el suministro

Nota: Elaboración propia recopilando información de la Memoria Descriptiva del proyecto, Altesa, 2010

Figura 15: Ubicación del proyecto 2. Por: Altesa

El tramo San Ignacio-Puente Integración consta de 47,085 km de longitud y se encuentra ubicado en la provincia de San Ignacio, departamento de Cajamarca en la región nor oriental del Perú, conectando con la frontera de Ecuador, tal y como se observa en la Figura 15. La carretera inicia en la ciudad de San Ignacio y culmina en el Puente Integración, atravesando los centros poblados de San Antonio, Pueblo Nuevo y Namballe.

El tramo está ubicado en una zona de selva media, con zonas boscosas de abundante vegetación. El eje recorre paralelo al río Chinchipe presentando un trazo con curvas pronunciadas y quebradas, así como dos puentes en las localidades de San Antonio y Namballe. La superficie de rodadura actual se encuentra en un nivel de trocha mejorada con pendientes suaves.

El eje proyectado toma como referencia el tramo existente, generando cortes y rellenos para mejorar la geometría vial actual. Dicho tramo presenta un ancho de vía de 4.5 a 5 metros. Además de atravesar los poblados mencionados, cruza los poblados menores y

caseríos de Bolognesi, Barrio Nuevo, Portachuelo, Marizagua, San Antonio y Nueva Esperanza.

La vía atraviesa zonas montañosas con pendientes longitudinales y transversales pronunciadas. Se realizó la sectorización del tramo en zonas de características homogéneas en función del relieve montañoso en 14 sectores. La topografía total del tramo entre los km 0+00 al km 47+085, es accidentada en un relieve sinuoso ligeramente ondulado, con pendientes de 7% hasta 10%.

Para el proyecto se diseñó un pavimento flexible diseñado con el método AASHTO-93 y bajo un periodo de diseño de 20 años. La carpeta asfáltica tiene un espesor mínimo de 7.5 cm y el tamaño máximo del agregado es de 3/4.

En el tramo existen 14 cuencas que inciden con la carretera, con valores superficiales que comprenden desde 0.54km² hasta 473.3km². Dos son las cuencas más importantes: la quebrada El Puente y Namballe, las otras 12 son pequeñas con superficies de cuenca menores a 10km².

A lo largo del tramo existen obras de drenaje constituidas principalmente por alcantarillas, badenes y puentes. En cuanto a las estructuras mayores, no existen pontones y se planteó la construcción de uno para reemplazar un badén. Existen dos puentes que se encuentran en buen estado y tienen la capacidad hidráulica suficiente. Se recomienda limpieza del cauce y mantenimiento rutinario, las alcantarillas están constituidas por tuberías de acero corrugado y estructuras tipo marco de concreto. Los badenes están constituidos por estructuras de concreto y mampostería de concreto y piedra.

El monto total del presupuesto de obra incluyendo IGV es de 206'837,821.75 nuevos soles para los trabajos de construcción de la vía, con precios referidos al mes de Agosto, 2010.

3.2.2. Partidas subcontratadas

Se realizó la subcontratación de la partida de Señalización, esta se entiende al suministro, almacenamiento, transporte e instalación de los dispositivos de control de tránsito que son colocados en la vía en forma vertical para advertir, reglamentar, orientar y proporcionar ciertos niveles de seguridad a sus usuarios. Entre estos se incluyen las señales de tránsito (preventivas, reglamentarias e informativas), sus elementos de soporte y los delineadores. Se incluye también dentro de estos trabajos la remoción y reubicación de dispositivos de control permanente.

Los paneles que servirán de sustento para los tipos de señales serán uniformes para un proyecto, mismo tipo de material y de una sola pieza para las señales preventivas y reglamentarias.

Los postes deberán ser diseñados con una longitud suficiente de acuerdo a las dimensiones del panel y su ubicación en el terreno, de tal forma que se mantengan las distancias horizontales y verticales al borde de la calzada.

El material reflectivo debe responder a los requerimientos de la Especificación ASTM D-4956. El tipo de material va colocado por adherencia en los paneles para conformar una señal de tránsito visible durante las noches.

3.2.3. Proceso de selección del subcontratista

Lo más importante para poder realizar la selección del subcontratista en este proyecto fueron los siguientes criterios:

- En primer lugar, para la partida “Señalización” se solicitan 3 cotizaciones como mínimo para hacer un comparativo a subcontratistas conocidos o desconocidos por la empresa, se piden referencias a empresas con los que han trabajado para tener una imagen inicial de los postores y se realiza el cuadro comparativo.
- En segundo lugar, se analizan ciertas condiciones ofertadas por cada postor, en ellas resaltan los precios, plazos de entrega ofertados, la conformación de precios. En la partida de “Señalización” una subpartida con alta incidencia es “Barreras de seguridad”, esto se debe a que el material es costoso e importado por lo que algunas ofertas pueden ser con el suministro del material y otras solo la colocación, por lo que hay una gran diferencia entre lo ofertado con la entidad y lo propuesto por los subcontratistas.
- En tercer lugar, la empresa consideró como la mejor opción, al tratarse de un material importado, adquirir por medio de un proveedor las barreras de seguridad y que el subcontratista realice la instalación. Debido a esta decisión el cuadro comparativo cambia al tratarse de una cotización sin el suministro de barreras de seguridad y tener una visión comparativa más justa entre los postores que no hayan presentado la adquisición del material. Para la partida de señalización se contó con 3 postores: Ingetraffic, Carlos Zapata, y Gevial. En dicha comparación se observa que el precio de Ingetraffic es superior frente a los otros 2 postores con una cotización de 151 527 soles frente a 112 083 soles de Carlos Zapata y 127 115 soles de Gevial. Es la

propuesta más cara, pero está prácticamente a 24 000 soles del segundo más caro y al compararse con el presupuesto ofertado a la Entidad de 194 411 soles, está a un 76% del presupuesto contractual. Altesa optó por contratar a Ingetraffic si bien era el más caro, pero se tuvieron otras consideraciones.

- En cuarto lugar, se consideró el hecho que la empresa había trabajado en obras anteriores con la empresa Ingetraffic y no se tuvieron problemas respecto al plazo, calidad de trabajo, personal e implementación de seguridad; por lo que se tenía una referencia de primera mano en la cual Ingetraffic cumplía con los aspectos considerados importantes por Altesa para la ejecución del trabajo. Los precios de las demás empresas son menores, pero de realizar el contrato por una diferencia de 24 000 soles, se corre con el albur de que se pueda presentar algún problema debido a la falta de capacidad en los aspectos mencionados.
- En quinto lugar, se consideró las condiciones en la entrega, pues se puede ofertar un material de buena calidad, pero en la instalación se puede utilizar un material diferente cuya diferencia es tan solo perceptible con el tiempo, en el caso de Ingetraffic se poseía un conocimiento y experiencia de trabajo acerca de sus valores y procesos como empresa lo cual se reflejó en una percepción de seguridad respecto al trabajo que se llevaría a cabo por lo que a pesar de ser la oferta más cara, se optó por contratarla. La contratación con Ingetraffic no fue directa en una primera instancia debido a que en una oferta anterior la cotización que entregó fue mayor a la oferta de Altesa con la Entidad. Frente a esta situación se optó por contratar a otra empresa que cumpla con las especificaciones técnicas y que ejecute el trabajo de acuerdo a lo pactado con la Entidad y no presente dificultades o problemas en la entrega de la obra pues al finalizar la obra se envía una comisión que revisa el expediente, la señalización, tipo de reflectividad, inspecciones durante el día y noche. Es por este motivo que es crucial trabajar con una empresa que tenga conocimiento de los procedimientos del trabajo, tenga experiencia en este, y lo ejecute correctamente.
- En sexto lugar, es política de la empresa reunirse con el ganador para realizar un último reajuste o alguna consideración que se obvió durante el proceso y se procede a efectuar el contrato y una orden de compra/servicio donde se establece todo lo que el subcontratista ha ofertado para no presentar problemas adicionales en la valorización.

3.3. PROYECTO 3: MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA (CONFIDENCIAL)

3.3.1. Información general

La empresa contratista del Proyecto 3 solicitó confidencialidad respecto a la información analizada. A continuación, se presenta la Tabla 10 con los aspectos generales correspondientes.

Tabla 10:

Características generales del proyecto 3

PROYECTO:	MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA (CONFIDENCIAL)
Departamento:	San Martín
Provincia:	San Martín y Lamas
Inversión inicial para el proyecto:	Confidencial
Inicio de proyecto:	Del 2015
Fin de proyecto:	Al 2016
Longitud de vía:	Confidencial
Dificultades del proyecto:	Lluvias torrenciales

Nota: Elaboración propia recopilando información de la Memoria Descriptiva del proyecto, Consorcio X, 2015

Figura 16: Ubicación del proyecto 3. Por: Consorcio Confidencial

El proyecto ubicado en el departamento de San Martín consistió en el mejoramiento de una infraestructura ya existente, que presenta un pavimento a lo largo de la vía que en muchos tramos se encuentra colapsado, con deformaciones que hace que los vehículos se

atasquen o circulen a velocidades bastante bajas. También posee un sistema de drenaje transversal deteriorado y un drenaje longitudinal insuficiente, además de no contar con un sistema de subdrenaje. Por otro lado, es importante resaltar que la señalización preventiva, reglamentaria e informativa a lo largo del tramo es casi inexistente y se encuentran con falta de mantenimiento.

Uno de los inconvenientes que afronta esta carretera, es la condición climática de la región, ya que al presentarse lluvias intensas las estructuras suelen deteriorarse rápidamente. Por ello, se realizó estudios de la hidrología e hidráulica para diseñar las estructuras y puedan funcionar correctamente relevando los daños que puedan ocurrir. Otros estudios importantes para la conservación de la carretera fue el del tráfico, suelos y pavimentos, geología y geotecnia, señalización y seguridad vial.

Para el proyecto de mejoramiento se buscó mantener la geometría de la vía existente, tanto el alineamiento horizontal como vertical. La rasante actual paso a ser prácticamente la subrasante de la nueva plataforma a la cual se repuso el bombeo y peraltes en las curvas. Se diseñó un pavimento granular más una capa de rodadura que consiste en un tratamiento superficial bicapa. En algunos sectores, donde la capacidad del suelo es muy baja, se propuso el mejoramiento de la subrasante mediante reemplazo de material. Se consideró poner a punto el sistema de drenaje transversal y longitudinal existente, para ello se busca reemplazar algunas estructuras o reparar parte de ellas, se incluye también su limpieza y la de sus cauces.

También, se determinó puntos críticos en la geología del tramo existente, principalmente con problemas de erosión produciendo pérdida de plataforma. Por otro lado, se instaló la señalización preventiva, normativa e informativa de acuerdo a la normatividad del estado peruano del presente año y se consideró aprovechar las señales que se encuentren en buen estado.

3.3.2. Partidas subcontratadas

Mediante el Diagrama de Pareto se analizaron 3 partidas subcontratadas y se delimitó que las que presentaron mayor incidencia en sobrecosto y tiempo fueron las siguientes partidas expuestas en la Tabla 11:

Tabla 11:

Partidas subcontratadas del Proyecto 3

SUBCONTRATISTA	DIAS DE ATRASO	SOBRECOSTO (MILES DE SOLES
Obras de arte	8	11.3
Señalización	16	35.46
Trazo y replanteo	2	2.35

Aplicando los gráficos de Pareto se obtienen las Figuras 17 y 18 para el sobre costo y días de retraso respectivamente y se aprecia que el 80% e incidencia pertenece a la partida de Señalización. A partir de este resultado se puede corresponder la importancia de la partida con el progreso del proyecto y la necesidad de planificar y controlar las variables relacionadas a esta.

Figura 17: Diagrama de Pareto por días de atraso. Por: Elaboración propia

Figura 18: Diagrama de Pareto por días de atraso. Por: Elaboración propia

El proyecto de conservación tuvo que realizar diversas partidas de mejoramiento y reconstrucción las cuales debían cumplir con los ensayos y parámetros requeridos para poseer un buen funcionamiento. Entre las partidas más importantes se tuvieron las obras preliminares, el movimiento de tierras, conformación de subbases y bases, pavimento, obras de arte y drenaje, transporte, señalización y protección ambiental. Algunas de las partidas fueron subcontratadas debido al bajo costo contractual que presentaban. Entre las partidas más críticas se tienen las de señalización y obras de arte.

Las elecciones de los subcontratistas se realizaron en la misma obra, con la aprobación del ingeniero residente y el ingeniero de planeamiento. La primera partida que se decidió subcontratar fueron las obras de arte, dentro de ellas se encuentran la elaboración de las cunetas y alcantarillas. Esto se dio debido a la falta de capacidad técnica y económica para la elaboración de estas partidas, en las cuales existía poca rentabilidad económica. La elaboración de las cunetas consistió en eliminar las cunetas en mal estado y hacer la reposición de estas mismas. Respecto a las alcantarillas TMC (tubería metálica corrugada circular) presentan requisitos mínimos y por ello, el subcontratista está obligado a certificar la calidad de los materiales a emplear. Esto se realizó con el fin de evitar fallas tempranas en la obra sin que haya cumplido su etapa de servicio y que posteriormente requiera retrabajos. En esta partida se encontraron al final de la obra, algunas alcantarillas que presentaron en la parte del parapeto pequeñas quebradas o rasgadas en las esquinas, los cuales se tuvo que arreglar para poder realizar el pintado respectivo, por lo que se generaron sobrecostos en la partida.

La segunda partida que se subcontrató fue la señalización, que según lo que indico el ingeniero residente, se subcontrató debido a que no generan una buena rentabilidad económica. En esta se realizó el mantenimiento de la mayoría de las señales que no se encuentren deterioradas. Por otro lado, los que se encontraban desgastados, se remplazaron totalmente. Los hitos kilométricos se reemplazaron en su mayoría debido a su mal estado. Finalmente, la señalización horizontal (la pintura) se realizó en todo el tramo 1. Según los ingenieros la partida no conllevó a mayores problemas, sin embargo, se registraron algunos inconvenientes con el material utilizado en las señales verticales, que ocasionaron el retraso de varias semanas. Una ventaja del subcontratista contratado fue que reportó con tiempo los inconvenientes que tuvo. Un ejemplo claro fue a la hora de identificar los parapetos incompletos por ellos y se comunicó. Por lo que, se envió un asistente del área de control para realizar la verificación correspondiente.

Por otro lado, el movimiento de tierras, costo de maquinarias, reparación en el puente y el pavimento que generaron mayor rentabilidad económica, no se decidieron subcontratar.

3.3.3. Proceso de selección del subcontratista

Lo más relevante para poder realizar la selección del subcontratista en este proyecto fueron los siguientes criterios:

- En primer lugar, para la partida se solicitaron cotizaciones para realizar un comparativo a subcontratistas conocidos y desconocidos por la empresa, se piden referencias con los que haya trabajado anteriormente.
- En segundo lugar, se analizaron ciertas condiciones ofertadas por cada postor, en ellas resalta el precio de oferta debido a que la empresa buscaba generar algo de ganancias en la partida, ya que supuso que de esta manera se seleccionaría la mejor opción.
- En tercer lugar, se tuvo en cuenta la experiencia, ya que este indicador les brinda la seguridad de que podrán lograr el objetivo al precio ofertado.
- En quinto lugar, se tomó en cuenta el poder adquisitivo de la empresa, pero no resultó ser algo significativo ya que, el de mayor poder adquisitivo no fue escogido.
- Por último, la imagen de la empresa fue importante para la selección, ya que como existieron participantes de la región que no eran conocidos por el contratista, fue necesario preguntar por ellos. Las preguntas fueron dirigidas a ingenieros conocidos por el ingeniero residente y el ingeniero de costos, que trabajaron anteriormente con los subcontratistas postores.

El ingeniero indicó que para seleccionar al subcontratista encargado de las obras de arte el indicador más resaltante fue la experiencia en obras similares. Y el indicador más resaltante para seleccionar al de señalización fue el de la experiencia.

4 CAPÍTULO IV: CRITERIOS RELEVANTES PARA LA SELECCIÓN DEL SUBCONTRATISTA EN PROYECTOS DE CARRETERAS EN EL PERÚ

En el presente capítulo se discriminará a través del uso de herramientas de recopilación de información, los criterios más relevantes involucrados en el proceso de selección de subcontratistas para proyectos de carreteras en el Perú. Para ello, se elaborarán encuestas y entrevistas que se aplicarán a 32 expertos definidos previamente bajo un perfil profesional.

Se contabilizará y analizará los resultados obtenidos para obtener los 8 criterios más relevantes. Posteriormente, serán clasificados por su tipo (cualitativos o cuantitativos), dimensión, unidad de medida e instrumento de investigación para obtener los datos que se requieren en la investigación.

4.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

4.1.1. Perfil del profesional

Los profesionales por participar en las encuestas y entrevistas deben cumplir el siguiente perfil:

- Ser profesionales colegiados habilitados en el Perú.
- Contar con experiencia previa en proyectos de carreteras realizados en el Perú.
- Deben asumir cargos relacionados a la planificación de adquisiciones o selección de los subcontratos.
- Los ingenieros deben haber laborado en el puesto de gerente de proyecto, planeamiento, control de obras, ingeniero de producción, ingeniero de campo, jefe de supervisión, jefe de ingeniería, coordinador de proyectos.

4.1.2. Elaboración de entrevistas

Las entrevistas fueron elaboradas con el propósito de recopilar la opinión de los expertos respecto a los criterios de selección e identificar los más relevantes en el proceso de selección de subcontratistas para proyectos de carreteras en el Perú. Son entrevistas de preguntas cerradas y se realizó una breve introducción informativa, que detalla el contenido de esta. Esto se hizo con el fin de informar al entrevistado acerca de la investigación y dar pie a comprender y responder correctamente los enunciados. Además, antes de aplicarse la entrevista se verificó que el entrevistado posea el perfil adecuado

que se requiere para realizar la investigación. Se realizó la entrevista de forma presencial y se recopilaron las respuestas en archivos de audio para su posterior análisis.

4.1.3. Elaboración de encuestas

Para la elaboración de las encuestas se utilizó información analizada de las entrevistas con la finalidad de discernir entre los criterios más relevantes a considerar durante la elección del subcontratista en los proyectos de carreteras. Las encuestas se realizarán a través de internet con ayuda de las herramientas que brinda Google para realizar encuestas y cuestionarios, el cual distribuimos a ingenieros con experiencia en proyectos de carreteras. La información recopilada de las encuestas servirá posteriormente para poder aplicar el método multicriterio AHP, gracias a la opinión de los expertos junto con la información de los subcontratistas que se recopilará.

4.2. APLICACIÓN EN EXPERTOS

En primer lugar, se aplicaron las entrevistas a los profesionales cuyo perfil correspondía con el descrito y que habían participado en los proyectos 1, 2 o 3. Las respuestas de estas se analizaron y confirmaron lo propuesto por la literatura, así como la adición del criterio “Calidad de trabajos realizados”. En segundo lugar, la aplicación de las encuestas se realizó a través de las herramientas “Cuestionarios de Google” y también de forma presencial. Las encuestas virtuales se distribuyeron a través de correos, mensajes privados y redes sociales de trabajo. Las encuestas presenciales se realizaron a través de hojas de formato A4 que se aplicaron a ingenieros involucrados en el proyecto 1 y 2 descritos anteriormente en el capítulo 3. Las respuestas obtenidas de las encuestas virtuales y presenciales se anexaron en una hoja de cálculo del programa Excel para obtener un resumen detallado y encontrar los 8 criterios más relevantes para analizar por el método AHP. Los criterios que se consideraron en la encuesta fueron extraídos del libro PMBOK y de artículos de investigación relacionados con la selección óptima de subcontratistas realizados en otros países (Cloudhry & Hinze, 2012), (Mbachu, 2008), (Arslan, Kivrak, & Birgonul, 2008). Estos inicialmente fueron un total de 13 criterios, de los cuales se buscó reducir a 8 criterios para aplicar correctamente el método multicriterio AHP. De esta manera, se evitará la generación de falta de consistencia lógica entre la importancia que posee cada uno de los criterios respecto a los demás.

Los 13 criterios iniciales fueron los siguientes:

- Tamaño y capacidad de negocio
- Experiencia en trabajos similares
- Capacidad financiera
- Carga actual de trabajo
- Calidad de sus trabajos realizados
- Competencia técnica
- Precio de oferta
- Adecuación de recursos (cantidad de maquinarias, personal clave...)
- Metodología a desarrollar
- Rendimiento de seguridad
- Relación que posee contratista con subcontratista
- Reputación e imagen del subcontratista
- Posibilidad de completar el trabajo a tiempo

4.3. IDENTIFICACIÓN DE CRITERIOS MÁS IMPORTANTES

4.3.1. Selección de 8 criterios

Para identificar los criterios más importantes, se emplearon las encuestas con participación de los expertos.

Se procedió a contabilizar cuantas veces fue seleccionado cada criterio y se discriminaron los 8 criterios que obtuvieron más prioridad según la preferencia de los profesionales. Los criterios que resultaron más importantes según la encuesta realizada fueron los siguientes:

1. Experiencia en trabajos similares
2. Adecuación de recursos (cantidad de maquinarias, personal clave...)
3. Rendimiento de seguridad
4. Relación que posee contratista con el subcontratista
5. Reputación e imagen del subcontratista
6. Calidad de sus trabajos realizados
7. Precio de oferta
8. Posibilidad de completar el trabajo a tiempo

En la Figura 19 se presenta el gráfico de porcentajes con los criterios y las prioridades que se obtuvieron en la encuesta.

Figura 19: Criterios de selección relevantes para la selección de subcontratistas en proyectos de carreteras.
 Por: Elaboración propia

4.3.2. Clasificación de criterios cualitativos y cuantitativos

Luego de discriminar los criterios más relevantes para subcontratar en los proyectos de carreteras del Perú con las encuestas, se clasificará según lo siguiente:

Tipo: Cuantitativo (medidos a través de cantidad numérica) o Cualitativo (medidos a través de la calidad que poseen)

Dimensión: Qué representa cada unidad de medida

Unidad de medida: Con que unidades se mide el criterio.

Instrumento de investigación: Cómo se obtendrá los datos para obtener la cantidad o calidad del criterio.

A continuación, en la Tabla 12 se presentan los criterios clasificados:

Tabla 12:

Clasificación de criterios cualitativos y cuantitativos

CRITERIO	TIPO	DIMENSIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN
Experiencia en trabajos similares	Cuantitativo	Cantidad de trabajos de magnitud similar	Cantidad de trabajos	Base de datos del contratista, subcontratista, OSCE
Adecuación de recursos	Cuantitativo	Unidades	Cantidad de recursos	Base de datos del contratista brindada por el subcontratista
Rendimiento de seguridad	Cuantitativo	Unidades	Cantidad de incidencias	Encuesta al contratista Registro de datos históricos
Relación con el contratista principal	Cualitativo	Excelente, Bueno, Regular, Malo, Muy Malo	Confianza brindada por el contratista	Encuesta al contratista
Reputación e imagen de la empresa subcontratista	Cualitativo	Excelente, Bueno, Regular, Malo, Muy Malo	Reputación adquirida por trabajos realizados	Encuesta al contratista
Calidad del trabajo realizado	Cualitativo	Excelente, Bueno, Regular, Malo, Muy Malo	Satisfacción del cliente (Supervisión)	Encuesta al contratista
Precio de Oferta	Cuantitativo	Cotización	Soles o Dólares	Cotización de la oferta del subcontratista brindada a el contratista
Capacidad de completar el trabajo a tiempo	Cuantitativo	Cantidad de trabajos cumplidos según el cronograma	Cantidad de trabajos	Registros históricos, encuesta al contratista

Nota: Elaboración Propia, 2018

5 CAPÍTULO V: EVALUACIÓN DE SUBCONTRATISTAS POR CRITERIOS

En el presente capítulo se identificarán a los subcontratistas que participaron en el concurso de licitación por la partida a subcontratar en cada proyecto. Se dará una breve descripción de cada uno con información obtenida a través de los registros históricos y encuestas respondidas por miembros de cada proyecto. Estas encuestas tienen en cuenta los criterios más importantes para los contratistas y su clasificación de cada criterio, que fueron hallados en el capítulo anterior.

Finalmente, se muestran 2 cuadros resumen con la información recopilada y necesaria para ejecutar el procedimiento del análisis multicriterio.

5.1. IDENTIFICACIÓN DE SUBCONTRATISTAS CONCURSANTES

Al entrevistar a los ingenieros colaboradores de las empresas contratistas y revisar los documentos de oferta, se identificaron los subcontratistas postores para cada proyecto.

Proyecto 1

En primer lugar, Sehover Arquitectura y Edificaciones S.A.C. es una empresa Peruana con 6 años de experiencia en la realización de actividades en el sector económico de arquitectura e ingeniería.

En segundo lugar, la empresa peruana CCIMA PERU S.A.C. cuenta con 9 de años de experiencia especializada en la fabricación y administración de señalización utilizando las normas y legislaciones vigentes.

En tercer lugar, la empresa EXSEGA - EXPERIENCIA EN SEÑALIZACION GALACTICOS E.I.R.L. cuenta con 10 años de experiencia en señalización vial horizontal y vertical, además de suministro e instalación tomando en cuenta las normas establecidas por el ministerio de transporte y comunicaciones (MTC).

En cuarto lugar, GRUPO TDM brinda sistemas de contención certificados capaces de contener al vehículo, redireccionarlo y mitigar la gravedad del impacto en sus ocupantes. Se instalan en los márgenes y/o separadores centrales de las vías, especialmente en curvas, y bordes de puentes.

Proyecto 2

En primer lugar, INGETRAFFIC es una empresa Peruana con 19 años de experiencia en la elaboración y ejecución de proyectos de señalización horizontal, vertical y auxiliar. Lleva a cabo los procesos de gestión bajo la normatividad del Estándar Internacional ISO 9001:2008

En segundo lugar, GEVIAL SAC es una empresa Peruana que brinda servicios de Señalización vertical, horizontal y auxiliar en proyectos viales al sector público y privado.

De igual modo se dedica a ejecutar contratos de mantenimiento y conservación vial. Cuenta con 8 años de experiencia.

En tercer lugar, SEÑALIZACIÓN Y SEGURIDAD VIAL es una empresa dedicada a la comercialización e instalación de señalización de seguridad vial, cuenta con más de 20 años de experiencia en el mercado.

Proyecto 3

En primer lugar, la empresa Señalización y Servicios Generales Syseg S.R.L. posee 9 años de experiencia, dedicada a proveer suministros y ejecutar servicios en fabricación de señales viales, estructuras metálicas y aplicación de pintura en general.

En segundo lugar, la empresa peruana Senvial Señales Viales S.A.C. posee 4 años de experiencia dedicada al servicio de señalización horizontal, señalización vertical y mantenimiento de carreteras.

En tercer lugar, la empresa SEÑALIZACIÓN GIROD PERU S.A.C. es una empresa peruana que realiza servicios de instalación de señalización en carreteras y ciudades. De igual modo suministra materiales de señalización vial y productos de este rubro.

5.2. PORTAFOLIO DE TRABAJO Y COMENTARIOS

5.2.1. Revisión de registros históricos en trabajos realizados

Dentro de la cotización provista al contratista por parte de cada subcontratista se identificará el precio de oferta. En el ámbito de la señalización este precio se descompone en distintos aspectos que se pueden resumir en costos por instalación y costos por suministro.

Se observó que la empresa contratista para delimitar una evaluación adecuada separó dichos costos y juzgó entre las empresas subcontratistas únicamente por el precio de instalación, proveyendo el contratista de los materiales como barreras o señales.

En esta aplicación se juzgará el precio de oferta total incluyendo el suministro ofertado por el subcontratista y se evaluará bajo ese monto cuantitativo para determinar el menor precio de oferta como criterio.

Por otro lado, se recopilará dentro de las propuestas la experiencia previa del subcontratista medida en unidad de trabajo.

Un factor importante para tomar en cuenta durante la evaluación de la empresa empleadora, son las referencias y experiencia de esta en trabajos similares al cual postulan.

5.2.2. Elaboración de encuestas

La encuesta se realizó teniendo en cuenta la información que se desea recolectar sobre los criterios más importantes, que sean posibles por este medio. Por medio de la clasificación realizada en el capítulo anterior, los posibles criterios a evaluar por este medio son los siguientes:

- La calidad de trabajos realizados
- Relación que posee contratista con subcontratista
- Reputación e imagen del subcontratista
- Posibilidad de completar el trabajo a tiempo
- Rendimiento de seguridad
- Experiencia en trabajos similares

Así mismo, los criterios de la calidad de trabajos realizados, posibilidad de completar el trabajo a tiempo, rendimiento de seguridad y experiencia se complementará con la información de los registros históricos y documentos del subcontratista. De esta forma, se hará válida las respuestas corroborando la similaridad de respuestas y registros.

Los criterios cualitativos serán evaluados por percepción del subcontratista, por medio de su impresión obtenida en cuanto a experiencias con el subcontratista en trabajos previos o comentarios de personas de confianza que hayan trabajado con ellos.

5.2.3. Aplicación de encuestas al contratista

Las encuestas se realizarán de forma presencial a los gerentes de cada proyecto para obtener información sobre los datos y características que se recaudó de los subcontratistas durante el proceso de selección. En esta investigación aplicativa el objetivo es obtener dicha información en partidas de señalización.

El tipo de preguntas que poseerá la encuesta serán de carácter cerradas y abiertas en las cuales el encuestado tendrá la posibilidad de brindar su opinión al respecto.

5.3. EVALUACIÓN RESPECTO A CRITERIOS CUALITATIVOS

Los subcontratistas fueron evaluados mediante cuestionarios (Ver ANEXO 2) respondidos por el gerente de proyecto. Los criterios cualitativos: Relación que posee contratista con subcontratista, reputación e imagen del subcontratista, y calidad de sus trabajos realizados se midieron en una escala cualitativa, la cual es presentada en la Tabla 13.

Tabla 13:

Escala cualitativa

Valor Cualitativo	Valor Numérico
Excelente	5
Bueno	4
Regular	3
Malo	2
Muy malo	1

Nota: Elaboración Propia, 2018

A continuación, dichos resultados son expuestos en la Tabla 14.

Tabla 14:

Evaluación de subcontratistas según criterios cualitativos

SC	Relación que posee contratista con subcontratista	Reputación e imagen del subcontratista	Calidad de sus trabajos realizados
SC1	Bueno	Regular	Excelente
SC2	Bueno	Bueno	Regular
SC3	Malo	Regular	Bueno
SC4	Bueno	Excelente	Bueno
SC5	Bueno	Bueno	Excelente
SC6	Regular	Regular	Regular
SC7	Regular	Bueno	Regular
SC8	Bueno	Bueno	Excelente
SC9	Excelente	Bueno	Regular
SC10	Regular	Malo	Bueno

Nota: Elaboración propia, 2018

5.4. EVALUACIÓN RESPECTO A CRITERIOS CUANTITATIVOS

Para la evaluación de los subcontratistas según los criterios cuantitativos, se utilizaron las herramientas de investigación identificadas en la Tabla 12 y el ANEXO 2. La experiencia en trabajos similares, medida por los km de proyectos abastecidos en el trabajo, se identificó con ayuda de cuestionarios y documentos del contratista. Por otro lado, la adecuación de recursos, cuantificado según el personal clave, es determinado de igual modo por documentos del subcontratista y contratista. También, el rendimiento de seguridad, definido por la cantidad de incidentes en los últimos 3 proyectos, determinado por medio de cuestionarios al contratista y documentos del subcontratista. De igual modo, el precio de oferta se identificó en la cotización brindada por el subcontratista. Finalmente, la posibilidad de completar el trabajo a tiempo, que consiste en la cantidad de trabajos culminados dentro del tiempo establecido, se reconoció por medio de cuestionarios al contratista y registros históricos.

Los resultados obtenidos de la evaluación se aprecian en la Tabla 15 a continuación.

Tabla 15:

Evaluación de subcontratistas según criterios cuantitativos

	Experiencia en trabajos similares	Adecuación de recursos	Rendimiento de seguridad	Precio de oferta	Posibilidad de completar el trabajo a tiempo
SC1	301	7	0	S/678,730.60	3
SC2	421	8	2	S/654,240.10	4
SC3	321	6	1	S/692,910.20	3
SC4	621	10	4	S/733,610.50	7
SC5	742	6	0	S/555,887.43	9
SC6	415	10	2	S/466,715.63	3
SC7	549	8	1	S/475,303.62	7
SC8	426	5	3	S/1,012,241.1	3
SC9	293	7	0	S/926,345.2	4
SC10	351	8	2	S/989,627.8	3

Nota: Elaboración propia, 2018

6 CAPÍTULO VI: APLICACIÓN DEL MÉTODO AHP EN CRITERIOS DE SELECCIÓN

En el presente capítulo se aplicará el método AHP en los criterios de selección identificados. En primer lugar, se define la jerarquía de la problemática reconociendo sus aspectos por niveles. En segundo lugar, se describe la aplicación técnica del cuestionario y se elabora la matriz de comparación. Los resultados obtenidos de estos son plasmados en los pesos de incidencia de los criterios. Finalmente, para demostrar la consistencia de los resultados se halla el índice de consistencia lógica.

6.1. MODELAMIENTO DE JERARQUIA

Para iniciar la metodología, es indispensable estructurar la jerarquía de la problemática. Al descomponer la problemática en 3 niveles, es posible reconocer los aspectos del problema de decisión de forma general en el nivel superior y más detallada en el nivel inferior.

Se aprecia en la Figura 20 cómo se procedió a descomponer el proceso de selección en un grado que contiene el objetivo de la decisión, los criterios para evaluar las alternativas, y las alternativas partícipes de elección. En el nivel superior se halla el objetivo de la toma de decisión, definido como “seleccionar al subcontratista más apropiado”. En el nivel intermedio se ubican los 8 criterios de decisión. Finalmente, los subcontratistas a evaluarse según los criterios se encuentran en el nivel inferior de la jerarquía.

Figura 20: Modelamiento de la Jerarquía AHP para la selección del subcontratista. Por: Elaboración propia, 2018

6.2. ELABORACIÓN DE CUESTIONARIOS

Luego de identificar los 8 criterios de selección más importantes en el apartado 4.3.1: Experiencia en trabajos similares, adecuación de recursos, rendimiento de seguridad, relación que posee el contratista con el subcontratista, reputación e imagen del subcontratista, calidad de sus trabajos realizados, precio de oferta, y posibilidad de completar el trabajo a tiempo; se procedió a elaborar un cuestionario para reconocer la importancia relativa entre los criterios de selección. Al aplicar la Ecuación 5, se calculó el número de comparaciones necesarias para el cuestionario.

$$\frac{8 * 8 - 8}{2} = 28$$

Se procedió a formular las 28 comparaciones para el cuestionario, como se aprecia en la Tabla 16.

Tabla 16:

Comparación de criterios de selección

Criterio (a)	vs	Criterio (b)
Experiencia en trabajos similares	vs	Adecuación de recursos
Experiencia en trabajos similares	vs	Rendimiento de seguridad

Experiencia en trabajos similares	vs	Relación que posee contratista con subcontratista
Experiencia en trabajos similares	vs	Reputación e imagen del subcontratista
Experiencia en trabajos similares	vs	Calidad de sus trabajos realizados
Experiencia en trabajos similares	vs	Precio de oferta
Experiencia en trabajos similares	vs	Posibilidad de completar el trabajo a tiempo
Adecuación de recursos	vs	Rendimiento de seguridad
Adecuación de recursos	vs	Relación que posee contratista con subcontratista
Adecuación de recursos	vs	Reputación e imagen del subcontratista
Adecuación de recursos	vs	Calidad de sus trabajos realizados
Adecuación de recursos	vs	Precio de oferta
Adecuación de recursos	vs	Posibilidad de completar el trabajo a tiempo
Rendimiento de seguridad	vs	Relación que posee contratista con subcontratista
Rendimiento de seguridad	vs	Reputación e imagen del subcontratista
Rendimiento de seguridad	vs	Calidad de sus trabajos realizados
Rendimiento de seguridad	vs	Precio de oferta
Rendimiento de seguridad	vs	Posibilidad de completar el trabajo a tiempo
Relación que posee contratista con subcontratista	vs	Reputación e imagen del subcontratista
Relación que posee contratista con subcontratista	vs	Calidad de sus trabajos realizados
Relación que posee contratista con subcontratista	vs	Precio de oferta
Relación que posee contratista con subcontratista	vs	Posibilidad de completar el trabajo a tiempo
Reputación e imagen del subcontratista	vs	Calidad de sus trabajos realizados
Reputación e imagen del subcontratista	vs	Precio de oferta
Reputación e imagen del subcontratista	vs	Posibilidad de completar el trabajo a tiempo
Calidad de sus trabajos realizados	vs	Precio de oferta
Calidad de sus trabajos realizados	vs	Posibilidad de completar el trabajo a tiempo
Precio de oferta	vs	Posibilidad de completar el trabajo a tiempo

Nota: Elaboración propia, 2018

El cuestionario se elaboró con respuestas cerradas de selección múltiple, donde los expertos brindaron una importancia relativa entre los criterios comparados. Se determinaron las opciones y valor numérico según la Tabla 2. También se codificaron las opciones de comparación para el posterior cálculo de incidencia con el objetivo de hallar la opción promedio. Las opciones, el valor numérico, y la codificación numérica se presentan en la Tabla 17.

Tabla 17:

Opciones de comparación entre criterios de selección

Opciones de comparación	Valor Numérico	Codificación
(a) es absolutamente más importante que (b)	7	7
(a) es más importante que (b)	5	6
(a) es ligeramente más importante que (b)	3	5
(a) y (b) son igual de importantes	1	4
(b) es ligeramente más importante que (a)	0.33	3
(b) es más importante que (a)	0.20	2
(b) es absolutamente más importante que (a)	0.14	1

Nota: Elaboración propia, 2018

Una vez determinadas las comparaciones y las opciones para definir la importancia relativa entre criterios, se sintetizó en 28 preguntas el cuestionario presentado en el ANEXO 2. Acto seguido, se aplicaron los cuestionarios a los expertos que cumplen con el perfil profesional estipulado en el apartado 4.1.1. Asimismo, 32 encuestas fueron desarrolladas dada la muestra estadística calculada en el apartado 2.1.2.

6.3. ELABORACIÓN DE MATRIZ DE COMPARACIÓN

Una vez finalizada la aplicación de los 32 cuestionarios, se procesó la información y se contabilizó de acuerdo con las preferencias de comparación de los expertos. Dicho proceso se aprecia en la Tabla 18.

Tabla 18:

Recuento de encuestas de criterios de selección.

Criterio (a)	vs	Criterio (b)	7	6	5	4	3	2	1
Experiencia en trabajos similares	vs	Adecuacion de recursos	10	7	4	8	2	1	0
Experiencia en trabajos similares	vs	Rendimiento de seguridad	4	7	2	10	1	4	4
Experiencia en trabajos similares	vs	Relacion que posee contratista con subcontratista	2	14	3	5	3	4	1
Experiencia en trabajos similares	vs	Reputacion e imagen del subcontratista	2	2	3	15	2	5	3
Experiencia en trabajos similares	vs	Calidad de sus trabajos realizados	2	0	0	10	3	11	6
Experiencia en trabajos similares	vs	Precio de oferta	8	4	5	11	3	1	0
Experiencia en trabajos similares	vs	Posibilidad de completar el trabajo a tiempo	4	3	2	13	5	4	1
Adecuacion de recursos	vs	Rendimiento de seguridad	4	2	2	9	3	8	4
Adecuacion de recursos	vs	Relacion que posee contratista con subcontratista	2	6	5	9	4	6	1
Adecuacion de recursos	vs	Reputacion e imagen del subcontratista	1	8	3	7	4	6	3
Adecuacion de recursos	vs	Calidad de sus trabajos realizados	1	1	1	8	5	11	5
Adecuacion de recursos	vs	Precio de oferta	5	9	2	9	4	3	0
Adecuacion de recursos	vs	Posibilidad de completar el trabajo a tiempo	3	0	1	16	7	5	0
Rendimiento de seguridad	vs	Relacion que posee contratista con subcontratista	7	11	4	5	4	1	0
Rendimiento de seguridad	vs	Reputacion e imagen del subcontratista	4	10	2	11	3	2	1
Rendimiento de seguridad	vs	Calidad de sus trabajos realizados	2	3	0	21	3	2	1
Rendimiento de seguridad	vs	Precio de oferta	9	7	5	7	3	1	0
Rendimiento de seguridad	vs	Posibilidad de completar el trabajo a tiempo	6	4	4	11	6	1	0
Relacion que posee contratista con subcontratista	vs	Reputacion e imagen del subcontratista	2	2	3	8	12	3	2
Relacion que posee contratista con subcontratista	vs	Calidad de sus trabajos realizados	0	2	0	8	10	9	3
Relacion que posee contratista con subcontratista	vs	Precio de oferta	2	3	1	12	9	4	1
Relacion que posee contratista con subcontratista	vs	Posibilidad de completar el trabajo a tiempo	1	0	3	8	5	14	1
Reputacion e imagen del subcontratista	vs	Calidad de sus trabajos realizados	0	1	3	16	3	8	1
Reputacion e imagen del subcontratista	vs	Precio de oferta	2	3	2	13	3	6	3
Reputacion e imagen del subcontratista	vs	Posibilidad de completar el trabajo a tiempo	0	1	3	11	3	12	2
Calidad de sus trabajos realizados	vs	Precio de oferta	5	10	4	11	2	0	0
Calidad de sus trabajos realizados	vs	Posibilidad de completar el trabajo a tiempo	3	4	3	20	2	0	0
Precio de oferta	vs	Posibilidad de completar el trabajo a tiempo	0	0	1	16	7	6	2

Nota: Elaboración propia, 2018

Se procedió a calcular el promedio por filas para sintetizar y hallar la opción elegida por los expertos para cada comparación de criterios, la importancia relativa entre criterios. Esto fue posible gracias al valor numérico asignado en la Tabla 17. La primera fila de comparación se calculó multiplicando la codificación de cada fila con la cantidad de votos de cada comparación respecto a la fila. El promedio de la primera comparación se calculó con la siguiente operación:

$$\frac{10(7) + 7(6) + 4(5) + 8(4) + 2(3) + 1(2) + 0(1)}{32} = 5$$

De igual modo se calcularon los 27 promedios de las filas restantes, obteniendo como resultado la columna de Promedio, tal y como se observa en la Tabla 19.

Tabla 19:

Promedio obtenido de las comparaciones

7	6	5	4	3	2	1	Promedio
10	7	4	8	2	1	0	5
4	7	2	10	1	4	4	4
2	14	3	5	3	4	1	5
2	2	3	15	2	5	3	4
2	0	0	10	3	11	6	3
8	4	5	11	3	1	0	5
4	3	2	13	5	4	1	4
4	2	2	9	3	8	4	4
2	6	5	9	4	6	1	4
1	8	3	7	4	6	3	4
1	1	1	8	5	11	5	3
5	9	2	9	4	3	0	5
3	0	1	16	7	5	0	4
7	11	4	5	4	1	0	5
4	10	2	11	3	2	1	5
2	3	0	21	3	2	1	4
9	7	5	7	3	1	0	5
6	4	4	11	6	1	0	5
2	2	3	8	12	3	2	4
0	2	0	8	10	9	3	3
2	3	1	12	9	4	1	4
1	0	3	8	5	14	1	3
0	1	3	16	3	8	1	3
2	3	2	13	3	6	3	4
0	1	3	11	3	12	2	3
5	10	4	11	2	0	0	5
3	4	3	20	2	0	0	5
0	0	1	16	7	6	2	3

Nota: Elaboración propia, 2018

El promedio tal y como se observa está aproximado a la unidad, esto con el objetivo de facilitar la decodificación al valor numérico establecido en la Tabla 20. Mediante la relación establecida en dicha tabla, se decodificó cada promedio con su respectivo valor numérico.

Tabla 20:

Decodificación de comparaciones al Valor numérico

7.00	5.00	3.00	1.00	0.33	0.20	0.14	Promedio	Valor
7	6	5	4	3	2	1		
10	7	4	8	2	1	0	5	3.00
4	7	2	10	1	4	4	4	1.00
2	14	3	5	3	4	1	5	3.00
2	2	3	15	2	5	3	4	1.00
2	0	0	10	3	11	6	3	0.33
8	4	5	11	3	1	0	5	3.00
4	3	2	13	5	4	1	4	1.00
4	2	2	9	3	8	4	4	1.00
2	6	5	9	4	6	1	4	1.00
1	8	3	7	4	6	3	4	1.00
1	1	1	8	5	11	5	3	0.33
5	9	2	9	4	3	0	5	3.00
3	0	1	16	7	5	0	4	1.00
7	11	4	5	4	1	0	5	3.00
4	10	2	11	3	2	1	5	3.00
2	3	0	21	3	2	1	4	1.00
9	7	5	7	3	1	0	5	3.00
6	4	4	11	6	1	0	5	3.00
2	2	3	8	12	3	2	4	1.00
0	2	0	8	10	9	3	3	0.33
2	3	1	12	9	4	1	4	1.00
1	0	3	8	5	14	1	3	0.33
0	1	3	16	3	8	1	3	0.33
2	3	2	13	3	6	3	4	1.00
0	1	3	11	3	12	2	3	0.33
5	10	4	11	2	0	0	5	3.00
3	4	3	20	2	0	0	5	3.00
0	0	1	16	7	6	2	3	0.33

Nota: Elaboración propia, 2018

A continuación, se procedió a elaborar la matriz de comparación de pares o matriz A, detallada en la Figura 2. En dicha matriz se comparan los 8 criterios con los valores de importancia relativa identificados previamente. La diagonal de dicha matriz está conformada por el valor 1 debido a que todas las comparaciones de la diagonal de la matriz son enfrentamientos de criterios iguales.

Los valores de la matriz sobre la diagonal están determinados por los valores numéricos de la comparación de criterios definidos en la Tabla 20. Por otro lado, los valores ubicados

en la zona inferior a la diagonal son la inversa de los valores sobre la diagonal, esto debido a que se tratan de comparaciones inversas a las previamente halladas. En otras palabras, comparando el criterio 1 con 2 se obtuvo un valor numérico de 3, lo que significa que al comparar el criterio 2 con 1 se obtiene un valor numérico de $1/3$, es decir, 0.33. La matriz A se aprecia de la siguiente forma:

Matriz A, comparación de pares.

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1.0	3.0	1.0	3.0	1.0	0.3	3.0	1.0
2	0.3	1.0	1.0	1.0	1.0	0.3	3.0	1.0
3	1.0	1.0	1.0	3.0	3.0	1.0	3.0	3.0
4	0.3	1.0	0.3	1.0	1.0	0.3	1.0	0.3
5	1.0	1.0	0.3	1.0	1.0	0.3	1.0	0.3
6	3.0	3.0	1.0	3.0	3.0	1.0	3.0	3.0
7	0.3	0.3	0.3	1.0	1.0	0.3	1.0	0.3
8	1.0	1.0	0.3	3.0	3.0	0.3	3.0	1.0

Nota: Elaboración propia, 2018

6.4. PESO DE LOS CRITERIOS DE SELECCIÓN

Para el cálculo de la Matriz normalizada o Anorm, tal y como se indica en la Figura 3, se sumó las columnas de los valores numéricos de la Matriz A. Esta operación se aprecia de la siguiente manera:

Suma de valores de la Matriz A.

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1.0	3.0	1.0	3.0	1.0	0.3	3.0	1.0
2	0.3	1.0	1.0	1.0	1.0	0.3	3.0	1.0
3	1.0	1.0	1.0	3.0	3.0	1.0	3.0	3.0
4	0.3	1.0	0.3	1.0	1.0	0.3	1.0	0.3
5	1.0	1.0	0.3	1.0	1.0	0.3	1.0	0.3
6	3.0	3.0	1.0	3.0	3.0	1.0	3.0	3.0
7	0.3	0.3	0.3	1.0	1.0	0.3	1.0	0.3
8	1.0	1.0	0.3	3.0	3.0	0.3	3.0	1.0
SUMA	8.0	11.3	5.3	16.0	14.0	4.0	18.0	10.0

Nota: Elaboración propia, 2018

A continuación, se calcularon los valores de la matriz Anorm según la Ecuación 3, dividiendo cada valor de la Matriz A con la suma de su fila respectiva. La matriz A norm se muestra se muestra debajo:

Matriz Anorm, matriz de comparación normalizada.

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.1	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1
2	0.0	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1
3	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3
4	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0
5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0
6	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3
7	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0
8	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1

Nota: Elaboración propia, 2018

El vector de pesos de los criterios es hallado según la Ecuación 4, promediando las filas de la Matriz Anorm. Esta representa la incidencia o importancia de cada criterio para seleccionar el subcontratista. De igual modo, la suma del vector de pesos debe ser igual a la unidad.

La operación se muestra de la siguiente manera:

Promedio de pesos de los criterios.

	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	Pesos
1.00	0.1	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.15
2.00	0.0	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.10
3.00	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	0.19
4.00	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.06
5.00	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.07
6.00	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	0.24
7.00	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.05
8.00	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.13
SUMA									1.00

Nota: Elaboración propia, 2018

Finalmente, se expone el vector de pesos de criterios en la Tabla 21. Se aprecia que el criterio con mayor incidencia es la calidad de trabajos realizados (C6) y el de menor incidencia, el precio de oferta(C7).

Tabla 21:

Vector de pesos de los criterios.

Pesos	Criterios
0.15	Experiencia en trabajos similares
0.1	Adecuacion de recursos (cantidad de maquinarias, personal clave...)
0.19	Rendimiento de seguridad
0.06	Relacion que posee contratista con subcontratista
0.07	Reputacion e imagen del subcontratista
0.24	Calidad de sus trabajos realizados
0.05	Precio de oferta
0.13	Posibilidad de completar el trabajo a tiempo

Nota: Elaboración propia, 2018

6.5. ÍNDICE DE CONSISTENCIA

Para realizar la razón de consistencia, primero se debe realizar el cálculo del λ_{max} . Este se obtiene multiplicando la matriz A x el vector de pesos de criterios. Al multiplicar se obtuvo una matriz de 8 x 1, tal y como se presenta a continuación.

Matriz A x Vector pesos de criterios

1.272
0.849
1.637
0.527
0.625
2.138
0.460
1.091

Luego se sumó los valores de esta matriz para obtener el λ_{max} .

8.598

Después, se utilizó la Ecuación 12 para calcular el índice de consistencia, donde “m”, la cantidad de criterios, es 8.

$$\frac{8.59 - 8}{8 - 1} = 0.0854$$

Para determinar el índice de aleatoriedad, se utilizó la Tabla 3 con el valor de “m”. y resultó:

$$RI = 1.41$$

Finalmente, se utilizó la Ecuación 13 para obtener la razón de consistencia.

$$\frac{0.0854}{1.41} = 0.0606$$

Según el apartado 1.4.2 comprobación de la consistencia, esta debe ser menor al 10% para matrices 4x4 o superior. Al poseer una matriz de 8 x 8 y obtener un valor de 6.06%, se puede corroborar que la matriz si posee consistencia.

$$0.0606 < 0.1$$

7 CAPÍTULO VII: ORGANIZACIÓN DEL RANKING DE SUBCONTRATISTAS CON EL MÉTODO PROMETHEE

En el presente capítulo se propondrá al subcontratista óptimo para el proyecto mediante la aplicación del método PROMETHEE I y II con los resultados de evaluación de los cuestionarios y los criterios y sus respectivos pesos de incidencia. Para ello se elabora una matriz de evaluación para cada proyecto, se establecerán las funciones de preferencia para obtener que subcontratista es preferente frente a otro en cada criterio de selección y se calculará los flujos de superación. De esta forma se obtendrá el ranking parcial y completo de subcontratistas para cada proyecto.

7.1. ELABORACIÓN DE LA MATRIZ DE EVALUACIÓN

Para continuar con el procedimiento de selección, se sintetizó la matriz de evaluación en base a las Tablas 13 y 14, para cada uno de los proyectos identificados previamente. Adicionalmente, se determinó los criterios de maximización y minimización, es decir aquellos criterios en cuya evaluación se prefieren valores mayores o menores para la selección. A continuación, se exponen las matrices de evaluación en las Tablas 22, 23 y 24.

Tabla 22:

Matriz de Evaluación para el Proyecto 1

Criterio	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Unidad	km	#	#	Escala	Escala	Escala	S/	#
Min/Max	Max	Max	Min	Max	Max	Max	Min	Max
Peso	0.15	0.11	0.19	0.06	0.07	0.24	0.05	0.13
SC1	301	7	0	4	3	5	678,730	3
SC2	421	8	2	4	4	3	654,240	4
SC3	321	6	1	2	3	4	692,910	3
SC4	621	10	4	4	5	4	733,610	7

Nota: Elaboración propia, 2018

Tabla 23:

Matriz de Evaluación para el Proyecto 2

Criterio	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Unidad	km	#	#	Escala	Escala	Escala	S/	#
Min/Max	Max	Max	Min	Max	Max	Max	Min	Max
Peso	0.15	0.11	0.19	0.06	0.07	0.24	0.05	0.13
SC5	742	6	0	4	4	5	555,887	9
SC6	415	10	2	3	3	3	466,715	3
SC7	549	8	1	3	4	3	475,303	7

Nota: Elaboración propia, 2018

Tabla 24:

Matriz de Evaluación para el Proyecto 3

Criterio	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Unidad	km	#	#	Escala	Escala	Escala	S/	#
Min/Max	Max	Max	Min	Max	Max	Max	Min	Max
Peso	0.15	0.11	0.19	0.06	0.07	0.24	0.05	0.13
SC8	426	5	3	3	4	5	678730	3
SC9	293	7	0	4	4	3	654240	4
SC10	351	8	2	3	2	4	692910	3

Nota: Elaboración propia, 2018

A partir de las matrices de evaluación se procedió el cálculo de las matrices de diferencias para cada criterio según el apartado 1.5.2. Para calcular dichas matrices, se restaron las evaluaciones de los subcontratistas respecto a cada criterio entre sí, y se obtuvieron los

valores de diferencia entre evaluaciones de los subcontratistas concursantes. Estas se exponen a continuación:

Matrices de diferencias de criterios entre subcontratistas del PROYECTO 1

Matriz de diferencias para C3 en Proyecto 1

C3	SC1	SC2	SC3	SC4
SC1	0	-2	-1	-4
SC2	2	0	1	-2
SC3	1	-1	0	-3
SC4	4	2	3	0

Matriz de diferencias para C4 en Proyecto 1

C4	SC1	SC2	SC3	SC4
SC1	0	0	2	0
SC2	0	0	2	0
SC3	-2	-2	0	-2
SC4	0	0	2	0

Matriz de diferencias para C5 en Proyecto 1

C5	SC1	SC2	SC3	SC4
SC1	0	-1	0	-2
SC2	1	0	1	-1
SC3	0	-1	0	-2
SC4	2	1	2	0

Matriz de diferencias para C6 en Proyecto 1

C6	SC1	SC2	SC3	SC4
SC1	0	2	1	1
SC2	-2	0	-1	-1
SC3	-1	1	0	0
SC4	-1	1	0	0

Matriz de diferencias para C7 en Proyecto 1

C7	SC1	SC2	SC3	SC4
SC1	0	24490.5	-14179.6	-54879.9
SC2	-24490.5	0	-38670.1	-79370.4
SC3	14179.6	38670.1	0	-40700.3
SC4	54879.9	79370.4	40700.3	0

Matriz de diferencias para C8 en Proyecto 1

C8	SC1	SC2	SC3	SC4
SC1	0	-1	0	-4
SC2	1	0	1	-3
SC3	0	-1	0	-4
SC4	4	3	4	0

Matrices de diferencias de criterios entre subcontratistas del PROYECTO 2

Matriz de diferencias para criterio 1 en Proyecto 2

C1	SC5	SC6	SC7
SC5	0	327	193
SC6	-327	0	-134
SC7	-193	134	0

Matriz de diferencias para criterio 2 en Proyecto 2

C2	SC5	SC6	SC7
SC5	0	-4	-2
SC6	4	0	2
SC7	2	-2	0

Matriz de diferencias para criterio 3 en Proyecto 2

C3	SC5	SC6	SC7
SC5	0	-2	-1
SC6	2	0	1
SC7	1	-1	0

Matriz de diferencias para criterio 4 en Proyecto 2

C4	SC5	SC6	SC7
SC5	0	1	1
SC6	-1	0	0
SC7	-1	0	0

Matriz de diferencias para criterio 5 en Proyecto 2

C5	SC5	SC6	SC7
SC5	0	1	0
SC6	-1	0	-1
SC7	0	1	0

Matriz de diferencias para criterio 6 en Proyecto 2

C6	SC5	SC6	SC7
SC5	0	2	2
SC6	-2	0	0
SC7	-2	0	0

Matriz de diferencias para criterio 7 en Proyecto 2

C7	SC5	SC6	SC7
SC5	0	89171.8	80583.81
SC6	-89171.8	0	-8587.99
SC7	-80583.81	8587.99	0

Matriz de diferencias para criterio 8 en Proyecto 2

C8	SC5	SC6	SC7
SC5	0	6	2
SC6	-6	0	-4
SC7	-2	4	0

Matrices de diferencias de criterios entre subcontratistas del PROYECTO 3

Matriz de diferencias para criterio 1 en Proyecto 3

C1	SC8	SC9	SC10
SC8	0	133	75
SC9	-133	0	-58
SC10	-75	58	0

Matriz de diferencias para criterio 2 en Proyecto 3

C2	SC8	SC9	SC10
SC8	0	-2	-3
SC9	2	0	-1
SC10	3	1	0

Matriz de diferencias para criterio 3 en Proyecto 3

C3	SC8	SC9	SC10
SC8	0	2	0
SC9	-2	0	-2
SC10	0	2	0

Matriz de diferencias para criterio 4 en Proyecto 3

C4	SC8	SC9	SC10
SC8	0	1	1
SC9	-1	0	0
SC10	-1	0	0

Matriz de diferencias para criterio 5 en Proyecto 3

C5	SC8	SC9	SC10
SC8	0	0	2
SC9	0	0	2
SC10	-2	-2	0

Matriz de diferencias para criterio 6 en Proyecto 3

C6	SC8	SC9	SC10
SC8	0	2	1
SC9	-2	0	-1
SC10	-1	1	0

Matriz de diferencias para criterio 7 en Proyecto 3

C7	SC8	SC9	SC10
SC8	0	85895.9	22613.3
SC9	-85895.9	0	-63282.6
SC10	-22613.3	63282.6	0

Matriz de diferencias para criterio 8 en Proyecto 3

C8	SC8	SC9	SC10
SC8	0	-1	0
SC9	1	0	1
SC10	0	-1	0

7.2. ESTABLECIMIENTO DE FUNCIONES DE PREFERENCIA

Posteriormente a la elaboración de Matrices de Evaluación, en la Tabla 25 se determinaron las funciones de preferencia para los criterios para establecer que subcontratista es preferente frente a otro en cada criterio de selección. Esta decisión se dio según las dimensiones, unidades de los criterios y la literatura de investigación. Polat, (2014)

Tabla 25:

Funciones de preferencia de los criterios de selección.

Abreviatura	Criterio	Función
C1	Experiencia en trabajos similares	V-Shape Indiferencia
C2	Adecuacion de recursos	V-Shape Normal
C3	Rendimiento de seguridad	Lineal
C4	Relacion que posee contratista con subcontratista	Level
C5	Reputacion e imagen del subcontratista	Level
C6	Calidad de sus trabajos realizados	Level
C7	Precio de oferta	V-Shape Indiferencia
C8	Posibilidad de completar el trabajo a tiempo	V-Shape Normal

Nota: Elaboración propia, 2018

En la Tabla 25 se relacionan los criterios con las funciones de preferencia que reflejan el comportamiento de la evaluación del criterio. Asimismo, se asignó los valores de “q” y “p” para cada función de preferencia. En la Tabla 26, los valores de “q” y “p” son constantes en los 3 proyectos, pero en el caso del C7 estos cambian al tratarse de distintos costos promedios.

Tabla 26:

Valores q y p para los criterios de selección

Criterio	q	p
Experiencia en trabajos similares	50	150
Adecuacion de recursos	0	2
Rendimiento de seguridad	-	-
Relacion que posee contratista con subcontratista	1	2
Reputacion e imagen del subcontratista	0	1
Calidad de sus trabajos realizados	0	1
Precio de oferta	18000	69000
Posibilidad de completar el trabajo a tiempo	0	2

Nota: Elaboración propia, 2018

En el caso del C1 y C7, se consideró el uso de la función V-Shape con Indiferencia debido a que el juicio experto consideró parcialmente preferente a un subcontratista sobre otro cuando la oferta era superada en un 3% del costo promedio del proyecto (valor q) y totalmente preferente cuando la oferta superaba un 10% del costo promedio (valor p) Polat (2014). El mismo caso se repite en el ámbito de la experiencia pues se consideró que a partir de los 50 km abastecidos, aproximadamente 2 proyectos, se consideraba una

alternativa parcialmente preferente y al superar en 150 km a los demás subcontratistas, era totalmente preferente en ese criterio.

Los criterios C2 y C8 fueron evaluados bajo la función V-Shape Normal porque no se evaluó una preferencia parcial, se consideró una preferencia del subcontratista frente a otro cuando la diferencia de las evaluaciones superaba las 2 unidades o proyectos.

Para el C3 se realizó la comparación con una función tipo Lineal, esto debido a que se estimó preferente al subcontratista que tuviese menos incidentes respecto a otro, considerando la unidad, a diferencia de otras funciones que poseen hitos de evaluación (p, q).

En el caso de C4, C5 y C6, se evaluó la preferencia con una función Level (Nivel). Al tratarse de una evaluación bajo la escala cualitativa expuesta en la Tabla 12, la preferencia fue establecida con un valor intermedio en caso la diferencia de evaluaciones sea mayor a la unidad, y completa, en caso sea superior en 2 unidades.

A continuación, se exponen las matrices de preferencia para cada proyecto, los valores de dichas matrices, cuyos fluctúan entre 0 y la unidad, reflejan que tan preferente es un subcontratista frente a otro en un determinado criterio de evaluación.

Matrices de preferencia para el PROYECTO 1.

Matriz de comparacion para C1 en Proyecto 1 (V-Shape Indiferencia q=50 p=)

C1	SC1	SC2	SC3	SC4
SC1	0	0	0	0
SC2	0.7	0	0.5	0
SC3	0	0	0	0
SC4	1	1	1	0

Matriz de comparacion para C2 en Proyecto 1 (V-Shape Normal p=2)

C2	SC1	SC2	SC3	SC4
SC1	0	0	0.5	0
SC2	0.5	0	1	0
SC3	0	0	0	0
SC4	1	1	1	0

Matriz de comparacion para C3 en Proyecto 1 (Lineal)

C3	SC1	SC2	SC3	SC4
SC1	0	1	1	1
SC2	0	0	0	1
SC3	0	1	0	1
SC4	0	0	0	0

Matriz de comparacion para C4 en Proyecto 1 (Level q=1 p= 2)

C4	SC1	SC2	SC3	SC4
SC1	0	0	0.5	0
SC2	0	0	0.5	0
SC3	0	0	0	0
SC4	0	0	0.5	0

Matriz de comparacion para C5 en Proyecto 1 (Level q=0 p= 1)

C5	SC1	SC2	SC3	SC4
SC1	0	0	0	0
SC2	0.5	0	0.5	0
SC3	0	0	0	0
SC4	1	0.5	1	0

Matriz de comparacion para C6 en Proyecto 1 (Level q=0 p= 1)

C6	SC1	SC2	SC3	SC4
SC1	0	1	0.5	0.5
SC2	0	0	0	0
SC3	0	0.5	0	0
SC4	0	0.5	0	0

Matriz de comparacion para C7 en Proyecto 1 (V-Shape Indiferencia q=18000)

C7	SC1	SC2	SC3	SC4
SC1	0	0	0	0.723135294
SC2	0.127264706	0	0.405296078	1
SC3	0	0	0	0.445103922
SC4	0	0	0	0

Matriz de comparacion para C8 en Proyecto 1 (V-Shape Normal p=2)

C8	SC1	SC2	SC3	SC4
SC1	0	0	0	0
SC2	0.5	0	0.5	0
SC3	0	0	0	0
SC4	1	1	1	0

Matrices de preferencia para el PROYECTO 2.

Matriz de comparacion para C1 en Proyecto 2 (V-Shape Indiferencia q=50 p=150)

C1	SC5	SC6	SC7
SC5	0	1	1
SC6	0	0	0
SC7	0	0.84	0

Matriz de comparacion para C2 en Proyecto 2 (V-Shape Normal p=2)

C2	SC5	SC6	SC7
SC5	0	0	0
SC6	1	0	1
SC7	1	0	0

Matriz de comparacion para C3 en Proyecto 2 (Lineal)

C3	SC5	SC6	SC7
SC5	0	1	1
SC6	0	0	0
SC7	0	1	0

Matriz de comparacion para C4 en Proyecto 2 (Level q=1 p= 2)

C4	SC5	SC6	SC7
SC5	0	0	0
SC6	0	0	0
SC7	0	0	0

Matriz de comparacion para C5 en Proyecto 2 (Level q=0 p= 1)

C5	SC5	SC6	SC7
SC5	0	0.5	0
SC6	0	0	0
SC7	0	0.5	0

Matriz de comparacion para C6 en Proyecto 2 (Level q=0 p= 1)

C6	SC5	SC6	SC7
SC5	0	1	1
SC6	0	0	0
SC7	0	0	0

Matriz de comparacion para C7 en Proyecto 2 (V-Shape Indiferencia q=14000 p=49000)

C7	SC5	SC6	SC7
SC5	0	0	0
SC6	1	0	0
SC7	1	0	0

Matriz de comparacion para C8 en Proyecto 2 (V-Shape Normal p=2)

C8	SC5	SC6	SC7
SC5	0	1	1
SC6	0	0	0
SC7	0	1	0

Matrices de preferencia para el PROYECTO 3.

Matriz de comparacion para C1 en Proyecto 3 (V-Shape Indiferencia q=50 p=150)

C1	SC8	SC9	SC10
SC8	0	0.83	0.25
SC9	0	0	0
SC10	0	0.08	0

Matriz de comparacion para C2 en Proyecto 3 (V-Shape Normal p=2)

C2	SC8	SC9	SC10
SC8	0	0	0
SC9	1	0	0
SC10	1	0.5	0

Matriz de comparacion para C3 en Proyecto 3 (Lineal)

C3	SC8	SC9	SC10
SC8	0	0	0
SC9	1	0	1
SC10	0	0	0

Matriz de comparacion para C4 en Proyecto 3 (Level q=1 p= 2)

C4	SC8	SC9	SC10
SC8	0	0	0
SC9	0	0	0
SC10	0	0	0

Matriz de comparacion para C5 en Proyecto 3 (Level q=0 p= 1)

C5	SC8	SC9	SC10
SC8		0	0
SC9		0	0
SC10		0	0

SC4

Matriz de comparacion para C6 en Proyecto 3 (Level q=0 p= 1)

C6	SC8	SC9	SC10
SC8		0	1
SC9		0	0
SC10		0	0.5

Matriz de comparacion para C6 en Proyecto 3 (Level q=0 p= 1)

C6	SC8	SC9	SC10
SC8		0	1
SC9		0	0
SC10		0	0.5

Matriz de comparacion para C7 en Proyecto 3 (V-Shape Indiferencia q=29000 p=9)

C7	SC8	SC9	SC10
SC8		0	0
SC9		0.83059708	0
SC10		0	0.500475912

7.3. CALCULO DE FLUJOS DE SUPERACIÓN

Una vez calculadas las matrices de preferencia, se procedió con la formulación de las matrices de índices de Preferencia Agregada. Los valores se calcularon según la Ecuación 17 y 18, multiplicando las preferencias de cada subcontratista por el peso de cada criterio respectivo. Por ejemplo, para el PROYECTO 1, el índice de preferencia del SC2 respecto al SC1 se calculó con la siguiente expresión matemática:

$$(0.7 * 0.15) + (0.5 * 0.1) + (0 * 0.19) + (0 * 0.06) + (0.5 * 0.07) + (0 * 0.24) + (0.13 * 0.05) + (0.5 * 0.13) = 0.261$$

Las matrices de preferencia agregada se muestran a continuación:

Matriz de índices de preferencia agregada del PROYECTO 1

	SC1	SC2	SC3	SC4
SC1	0.0000	0.1899	0.2711	0.2296
SC2	0.2613	0.0000	0.3282	0.2448
SC3	0.1218	0.3116	0.0000	0.2143
SC4	0.5711	0.5348	0.4805	0.0000

Nota: Elaboración propia, 2018

Matriz de índices de preferencia agregada del PROYECTO 2

	SC5	SC6	SC7
SC5	0.0000	0.7462	0.7099
SC6	0.1551	0.0000	0.1002
SC7	0.1551	0.4790	0.0000

Nota: Elaboración propia, 2018

Matriz de índices de preferencia agregada del PROYECTO 3

	SC8	SC9	SC10
SC8	0.0000	0.3665	0.2315
SC9	0.3999	0.0000	0.3542
SC10	0.1002	0.1837	0.0000

Nota: Elaboración propia, 2018

Acto seguido, se calculó los flujos de superación positivos y negativos tal como se presentó en el apartado 1.5.2. Para ello, se sumaron las filas y columnas de las matrices de preferencia agregada.

Sumatoria de índices de preferencia del PROYECTO 1.

	SC1	SC2	SC3	SC4	$\sum \pi(A_i, A_k)$
SC1	0.0000	0.1899	0.2711	0.2296	0.6906
SC2	0.2613	0.0000	0.3282	0.2448	0.8343
SC3	0.1218	0.3116	0.0000	0.2143	0.6477
SC4	0.5711	0.5348	0.4805	0.0000	1.5864
$\sum \pi(A_k, A_i)$	0.9542	1.0363	1.0798	0.6888	-

Nota: Elaboración propia, 2018

Sumatoria de índices de preferencia del PROYECTO 2

	SC5	SC6	SC7	$\sum \pi(A_i, A_k)$
SC5	0.0000	0.7462	0.7099	1.4561
SC6	0.1551	0.0000	0.1002	0.2553
SC7	0.1551	0.4790	0.0000	0.6341
$\sum \pi(A_k, A_i)$	0.3102	1.2253	0.8101	-

Nota: Elaboración propia, 2018

Sumatoria de índices de preferencia del PROYECTO 3

	SC8	SC9	SC10	$\sum \pi(A_i, A_k)$
SC8	0.0000	0.3665	0.2315	0.5979
SC9	0.3999	0.0000	0.3542	0.7541
SC10	0.1002	0.1837	0.0000	0.2838
$\sum \pi(A_k, A_i)$	0.5000	0.5502	0.5857	-

Nota: Elaboración propia, 2018

Una vez obtenidas las sumatorias de los índices de preferencia, aplicando la Ecuación 20 y 21, se calcularon los flujos de superación positivos y negativos para cada subcontratista.

Flujos de superación del PROYECTO 1

	$\varphi^+(A_i)$	$\varphi^-(A_i)$
SC1	0.2302	0.3181
SC2	0.2781	0.3454
SC3	0.2159	0.3599
SC4	0.5288	0.2296

Nota: Elaboración propia, 2018

Flujos de superación del PROYECTO 2

	$\varphi^+(A_i)$	$\varphi^-(A_i)$
SC5	0.7281	0.1551
SC6	0.1276	0.6126
SC7	0.3171	0.4050

Nota: Elaboración propia, 2018

Flujos de superación del PROYECTO 3

	$\phi+(Ai)$	$\phi-(Ai)$
SC8	0.2990	0.2500
SC9	0.3771	0.2751
SC10	0.1419	0.2929

Nota: Elaboración propia, 2018

7.4. RANKING PARCIAL DE SUBCONTRATISTAS

Luego de obtenidos los flujos negativos y positivos, se procede a la comparación de flujos según la Figura 6. Dicha comparación se utiliza para la elaboración de la matriz PROMETHE I, en ella se presenta la preferencia (P/-P), Indiferencia (I) e Incomparabilidad (R), de los subcontratistas evaluados. Las Matrices de comparación de flujos para cada proyecto, se muestran en las líneas siguientes:

Matriz de comparación de flujos para el PROYECTO 1

	SC1	SC2	SC3	SC4
SC1	=	R	P	-P
SC2	R	=	P	-P
SC3	-P	-P	=	-P
SC4	P	P	P	=

Nota: Elaboración propia, 2018

Matriz de comparación de flujos para el PROYECTO 2

	SC5	SC6	SC7
SC5	=	P	P
SC6	-P	=	-P
SC7	-P	P	=

Nota: Elaboración propia, 2018

Matriz de comparación de flujos para el PROYECTO 3

	SC8	SC9	SC10
SC8	=	R	P
SC9	R	=	P
SC10	-P	-P	=

Nota: Elaboración propia, 2018

El ranking parcial de los subcontratistas fue determinado con la metodología PROMETHEE I, en función a las comparaciones de flujos positivos y negativos. Cuanto mayor sea el flujo positivo y menor el flujo negativo, más adecuada es la alternativa para el problema. A continuación, se presentan gráficamente la preferencia parcial entre los subcontratistas en las Figuras 21, 22, y 23. Aquellas alternativas más preferentes se encuentran en el margen izquierdo, mientras que las menos preferentes, del margen derecho; asimismo, aquellas incomparables se sitúan en un mismo eje.

Figura 21: Ranking Parcial de subcontratistas en el PROYECTO 1. Por: Elaboración propia, 2018

Figura 22: Ranking Parcial de subcontratistas en el PROYECTO 2. Por: Elaboración propia, 2018

Figura 23: Ranking Parcial de subcontratistas en el PROYECTO 3. Por: Elaboración propia, 2018

7.5. RANKING COMPLETO DE SUBCONTRATISTAS

Para la obtención del ranking completo de los subcontratistas, se aplicó la metodología PROMETHEE II, calculando el flujo neto según la Ecuación 22. Este flujo representa la preferencia absoluta entre los subcontratistas, la alternativa con el mayor flujo neto es la más apropiada para el problema. Con PROMETHEE II se obtuvieron los rankings completos para los 3 proyectos expuestos en las Tablas 27, 28, y 29:

Tabla 27:

Ranking completo de subcontratistas para el PROYECTO 1

	RANKING	Flujo neto: $\phi^+(Ai) - \phi^-(Ai)$
SC4	1	0.2992
SC2	2	-0.0673
SC1	3	-0.0879
SC3	4	-0.1440

Nota: Elaboración propia, 2018

Tabla 28:

Ranking completo de subcontratistas para el PROYECTO 2

	RANKING	Flujo neto: $\phi^+(Ai) - \phi^-(Ai)$
SC5	1	0.5730
SC7	2	-0.0880
SC6	3	-0.4850

Nota: Elaboración propia, 2018

Tabla 29:

Ranking completo de subcontratistas para el PROYECTO 3

	RANKING	Flujo neto: $\phi^+(Ai) - \phi^-(Ai)$
SC9	1	0.1020
SC8	2	0.0490
SC10	3	-0.1509

Nota: Elaboración propia, 2018

8 CAPÍTULO VIII: ELABORACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA SELECCIÓN DEL SUBCONTRATISTA EN PROYECTOS DE CARRETERAS EN EL PERÚ

El presente capítulo tiene como finalidad describir el procedimiento paso a paso para seleccionar el subcontratista en proyectos de carreteras en el Perú de acuerdo a los intereses y necesidades del proyecto a aplicar. El procedimiento se mostrará de forma entendible y amigable, con ayuda de gráficos y ejemplos que facilitarán su uso. Finalmente, se mostrará comentarios de expertos sobre el procedimiento, el cual brindará mayor validez y seguridad a los próximos usuarios.

8.1. PROCEDIMIENTO

El procedimiento se encuentra detallado en el Anexo 7

8.2. VALIDACIÓN POR JUICIO EXPERTO

Se aplicó el cuestionario adjunto en el Anexo 6 a expertos, asimismo los resultados de estos se detallan en el Capítulo IX: RESULTADOS.

9 CAPITULO IX: RESULTADOS

En el presente capítulo se presentan los resultados correspondientes a cada objetivo específico. En primer lugar, la partida más incidente en costo imputable al subcontratista. En segundo lugar, se exponen los 8 criterios más relevantes en un proceso de selección. En tercer lugar, se evaluaron a los subcontratistas de cada proyecto de acuerdo con los 8 criterios. En cuarto lugar, se obtuvieron los pesos de incidencia de los criterios de selección mediante el método AHP. En quinto lugar, se obtuvo el ranking de subcontratistas mediante el método PROMETHEE. Finalmente, se describe el procedimiento para la selección de subcontratistas y esta es validada mediante juicio experto.

9.1. PARTIDAS SUBCONTRATADAS MÁS INCIDENTES EN LOS 3 PROYECTOS DE CARRETERAS

Al implementar el diagrama de Pareto con los datos obtenidos en las entrevistas a los expertos, se concretó que la partida subcontratada más incidente en sobrecosto en los 3 proyectos analizados fue la señalización. El diagrama se realizó utilizando los días de atraso y el sobrecosto que ocasionaron los subcontratistas en los proyectos.

En el primer proyecto los diagramas mostraron como partidas más incidentes la señalización y el concreto asfáltico.

Figura 24: Diagrama de Pareto del Sobrecosto. Por: Elaboración propia

Figura 25: Diagrama de Pareto de Días de atraso. Por: Elaboración Propia

En el segundo proyecto la única partida subcontractada fue la señalización, ya que el contratista contaba con la capacidad para realizar las demás partidas.

En el tercer proyecto las partidas más incidentes según el diagrama fueron la señalización y las obras de arte.

Figura 26: Diagrama de Pareto por días de atraso. Por: Elaboración propia

Figura 27: Diagrama de Pareto del Sobrecosto. Por: Elaboración propia

9.2. CRITERIOS DE SELECCIÓN RELEVANTES PARA LA SELECCIÓN DEL SUBCONTRATISTA

Se aplicó el juicio de expertos para determinar los 8 criterios más relevantes para el proceso de selección de subcontratistas en proyectos de carreteras y se obtuvieron los siguientes:

1. Experiencia en trabajos similares
2. Adecuación de recursos (cantidad de maquinarias, personal clave...)
3. Rendimiento de seguridad
4. Relación que posee contratista con el subcontratista
5. Reputación e imagen del subcontratista
6. Calidad de sus trabajos realizados
7. Precio de oferta
8. Posibilidad de completar el trabajo a tiempo

9.3. EVALUACIÓN DE SUBCONTRATISTAS EN CRITERIOS MÁS INCIDENTES.

Se obtuvo información de los subcontratistas con los registros históricos brindados por el contratista y aplicando encuestas a los gerentes de cada proyecto, para evaluarlos según los 8 criterios de selección más incidentes obtenidos. Además, se validó la información corroborando la similitud de respuestas y registros. Los criterios se dividieron en cualitativos y cuantitativos de acuerdo a su característica de cada una. Las tablas 14 y 15 muestran las evaluaciones de los subcontratistas según los criterios.

Tabla 30:

Evaluación de subcontratistas según criterios cualitativos

SC	Relación que posee contratista con subcontratista	Reputación e imagen del subcontratista	Calidad de sus trabajos realizados
SC1	Bueno	Regular	Excelente
SC2	Bueno	Bueno	Regular
SC3	Malo	Regular	Bueno
SC4	Bueno	Excelente	Bueno
SC5	Bueno	Bueno	Excelente
SC6	Regular	Regular	Regular
SC7	Regular	Bueno	Regular
SC8	Bueno	Bueno	Excelente
SC9	Excelente	Bueno	Regular
SC10	Regular	Malo	Bueno

Nota: Elaboración propia, 2018

Tabla 31:

Evaluación de subcontratistas según criterios cuantitativos

	Experiencia en trabajos similares	Adecuación de recursos	Rendimiento de seguridad	Precio de oferta	Posibilidad de completar el trabajo a tiempo
SC1	301	7	0	S/678,730.60	3
SC2	421	8	2	S/654,240.10	4
SC3	321	6	1	S/692,910.20	3
SC4	621	10	4	S/733,610.50	7
SC5	742	6	0	S/555887.43	9

SC6	415	10	2	S/466715.63	3
SC7	549	8	1	S/475303.62	7
SC8	426	5	3	S/1,012,241.1	3
SC9	293	7	0	S/926,345.2	4
SC10	351	8	2	S/989,627.8	3

Nota: Elaboración propia, 2018

9.4. INCIDENCIA DE LOS CRITERIOS DE SELECCIÓN.

Al aplicar el método AHP (Proceso Analítico Jerárquico) se calculó la incidencia de cada criterio para el proceso de selección tal y como se presenta nominalmente en la Tabla 32 y gráficamente en la Figura 28.

Tabla 32:

Criterios de selección y sus pesos.

Criterio	Peso
Experiencia en trabajos similares	0.15
Adecuacion de recursos	0.10
Rendimiento de seguridad	0.19
Relacion que posee contratista con subcontratista	0.06
Reputacion e imagen del subcontratista	0.07
Calidad de sus trabajos realizados	0.24
Precio de oferta	0.05
Posibilidad de completar el trabajo a tiempo	0.13

Nota: Elaboración propia, 2018

Figura 28: Criterios de selección y su incidencia. Por: Elaboración propia, 2018

9.5. SUBCONTRATISTA ÓPTIMO PARA EL PROYECTO.

Se elaboraron los rankings parciales y completos para los subcontratistas de cada proyecto y se comparó el subcontratista óptimo con el seleccionado tradicionalmente para la ejecución de la partida.

En el Proyecto 1, se determinó que el subcontratista óptimo es el SC4. Este obtuvo los puntajes más altos en el C1, C2, C5, y C8; y puntajes bajos en el C3 y C7. Debido a su alta experiencia en la ejecución de proyectos de señalización vertical, horizontal y auxiliar, criterio valorizado con un 15% de incidencia en la selección, se presenta en primer lugar a un subcontratista con lecciones aprendidas para aplicar en beneficio del proyecto. Por otro lado, SC1 fue el subcontratista que ejecutó el proyecto realmente, este contó con altas evaluaciones respecto al C3, C4, y C7; sin embargo, estos criterios según el juicio de expertos y el método AHP aplicado, no tienen una incidencia alta en la selección, por lo cual obtuvo el tercer lugar en el procedimiento propuesto. De igual modo, obtuvo una calificación baja en los criterios C1, C8 y C6; asimismo, dicho subcontratista culminó el trabajo con sobrecostos representados en la Figura 13. Estos adicionales fueron originados por una deficiente calidad en el trabajo de pintura en el pavimento al utilizar materiales no aptos e inadecuados. Esta se despintó rápidamente, perdiendo la capacidad de reflectarse durante la noche. También presentó retrasos a lo

largo de la ejecución, a tal extremo de realizar tan solo un 50% del porcentaje del plan cumplido durante un mes.

El ranking del proyecto 1 se puede observar en la tabla 33.

Tabla 33:

Ranking completo de subcontratistas para el PROYECTO 1

	RANKING	Flujo neto: $\varphi+(Ai)-\varphi-(Ai)$
SC4	1	0.2992
SC2	2	-0.0673
SC1	3	-0.0879
SC3	4	-0.1440

Nota: Elaboración propia, 2018

En el Proyecto 2, se determinó que el subcontratista óptimo es el SC5. Este obtuvo los puntajes más altos en el C1, C3, C6, Y C8; y puntajes bajos en el C2 y C7. Frente al alto record de trabajos culminados a tiempo y a la calidad de trabajo dictada como excelente, ambos criterios con una incidencia del 13% y 24% respectivamente en el proceso de selección propuesto, ocupa el primer lugar del ranking completo. El subcontratista seleccionado en la realidad fue, de igual modo, el SC5; este no presentó mayores retrasos o sobrecostos fuera de la oferta presentada según los registros, documentos y la entrevista al Gerente del proyecto. Cabe resaltar que durante el proceso de selección llevado a cabo por parte de la empresa contratista, se buscó un postor con referencias de culminar el trabajo a tiempo y sin sobrecostos, y con alta calidad del trabajo realizado. A pesar de ser el subcontratista con el mayor precio de oferta, fue elegido al cumplir dichos requisitos y obtuvo un resultado favorable para la empresa. El ranking del proyecto 2 se muestra en la tabla 34.

Tabla 34:

Ranking completo de subcontratistas para el PROYECTO 2

	RANKING	Flujo neto: $\varphi+(Ai)-\varphi-(Ai)$
SC5	1	0.5730
SC7	2	-0.0880
SC6	3	-0.4850

Nota: Elaboración propia, 2018

En el Proyecto 3, se determinó que el subcontratista óptimo es el SC9. Este obtuvo los puntajes más altos en el C3, C7, C8; y puntajes bajos en el C1 y C6. Dicho resultado se respalda con el menor número de incidentes y menor precio de oferta entre todas las alternativas. El subcontratista seleccionado fue el SC10, con alto puntaje en el C2 y C6, pero con una evaluación baja en los criterios C1, C5 y C7. Dicho subcontratista ocupó el tercer lugar en el procedimiento instaló para la señalización vertical, un modelo de capta faros de excelente calidad, de importación italiana y material duradero. Sin embargo, su falta de experiencia en la zona de trabajo evitó que se considerara la fácil remoción de dichos artefactos de las barreras de seguridad. En consecuencia, se produjeron sobrecostos y retrasos debido al nuevo suministro de capta faros e instalación. El ranking del proyecto 3 se muestra en la tabla 35.

Tabla 35:

Ranking completo de subcontratistas para el PROYECTO 3

	RANKING	Flujo neto: $\varphi+(Ai)-\varphi-(Ai)$
SC9	1	0.1020
SC8	2	0.0490
SC10	3	-0.1509

Nota: Elaboración propia, 2018

9.6. PROCEDIMIENTO DE SELECCIÓN DE SUBCONTRATISTA EN PROYECTOS DE CARRETERAS EN EL PERÚ.

Se elaboró el procedimiento de selección de subcontratistas en proyectos de carreteras en el Perú mediante el análisis multicriterio con el fin de obtener al más apropiado para el proyecto. El procedimiento se puede observar en el Anexo 7. Además, el juicio experto manifestó su opinión respecto a la implementación de la metodología integral AHP y PROMETHEE para la selección de los subcontratistas, hallándola válida y aplicable en los proyectos. La relación de los expertos que participaron en la validación se encuentra en el Anexo 5. A continuación se exponen algunos comentarios dirigidos al procedimiento:

“La subcontratación es un complemento del accionar del contratista y por ello son necesarios en actividades que no son el núcleo del negocio. Por otro lado, el subcontratista debe ser visto como los recursos organizados que tiene el contratista.” Rojas, O, (2018).

“La propuesta es de gran valía, ya que además de cubrir un vacío en la estandarización del proceso de selección de subcontratistas, permite a los profesionales contar con una metodología objetiva que permita sustentar y respaldar la aceptación o no de una empresa subcontratista. Convoco a los autores a difundir su trabajo, como un aporte en la gestión de proyectos, sobre todo considerando que el rubro de subcontratistas se incrementa día a día en nuestro país, y consecuentemente se incrementa la necesidad de una adecuada selección, que aporte y sume al logro del proyecto” Llerena, D, (2018).

“El criterio Calidad de trabajos realizados, generalmente condiciona su permanencia en la cartera de subcontratistas, es decir, si una obra consecuencia de un subcontrato es de baja calidad, ese subcontratista generalmente es puesto en observación temporal, es decir, no participa en procesos de selección generales lo que en la práctica significa que está "castigado" y sujeto de seguimiento que puede llegar, si persiste la mala calidad, a su definitiva exclusión de la cartera de subcontratistas. Igual, en el caso del criterio capacidad del contratista, esta es fundamental porque de ese criterio se deriva, por ejemplo, otro criterio que es posibilidad de que el tiempo de terminación de la obra. En otras palabras, una subcontratista preparada con equipos, personal, instalaciones, no debe tener problemas para cumplir con los plazos contratados.” Pajuelo, M, (2018).

10 CAPÍTULO X: CONCLUSIONES

En el presente capítulo se expondrán las conclusiones obtenidas del desarrollo del proyecto de investigación. Se explicará que conlleva el hecho que la partida subcontratada más incidente en costo por reprocesos y retrabajos del subcontratista sea la Señalización vertical, horizontal y auxiliar, qué criterios son evaluados por los ingenieros para la selección del subcontratista apropiado, qué implica el puntaje post evaluación de un subcontratista frente a otro, entre otros.

10.1. OBJETIVO 1

1. Se determinó que la partida con mayor incidencia en sobrecosto y atrasos en los 3 proyectos fue la de Señalización vertical, horizontal y auxiliar; siendo, la partida más subcontratada.
2. La partida de Señalización vertical, horizontal y auxiliar fue subcontratada en los 3 proyectos de carreteras, ya que esta partida no era una partida esencial del contrato que determino la selección del contratista.
3. Los ingenieros indicaron que los retrabajos en la partida fueron causados debido a la calidad de los materiales que utilizaron los subcontratistas, el clima no considerado de la ubicación de los proyectos y la logística.

10.2. OBJETIVO 2

1. Se identificó que los 8 criterios de selección más relevantes para subcontratistas en proyectos de carreteras en el Perú son los siguientes: Experiencia en trabajos similares, adecuación de recursos, rendimiento de seguridad, relación que posee contratista con el subcontratista, reputación e imagen del subcontratista, calidad de sus trabajos realizados, precio de oferta y la posibilidad de completar el trabajo a tiempo.
2. Se puede observar que los expertos al buscar al subcontratista más apropiado consideran criterios más allá del menor precio de oferta.
3. Los expertos consideraron el precio de oferta dentro de los criterios más relevantes al elegir al subcontratista, aun cuando los artículos científicos indican que las elecciones basadas en este criterio suelen causar retrabajos en los proyectos.

10.3. OBJETIVO 3

1. Luego de realizar la evaluación de los subcontratistas según los diferentes criterios cuantitativos y cualitativos, se observó que todos los subcontratistas presentan altos puntajes en ciertos criterios, pero menor nivel en otros. Es por ello, que obtener un mayor puntaje en un criterio, no garantiza el mismo nivel en los demás.
2. La información que brindan los subcontratistas para la evaluación, se debe corroborar con los registros históricos guardados y es conveniente que tengan documentos que certifiquen la información.
3. Se concluye que una alternativa no puede ser superior en todos los aspectos, todos los subcontratistas presentan fortalezas y debilidades.

10.4. OBJETIVO 4

1. Se calculó la incidencia o importancia de cada criterio expuestos en la Tabla 53, donde el criterio más importante, con una incidencia del 25%, es la calidad del trabajo realizado, en contraste del menos importante, con una incidencia del 5%, es el precio de oferta.
2. Los resultados reflejan prioridad asumida por los expertos involucrados en los proyectos de carreteras, donde mayor prioridad se le da a una alternativa cuyo trabajo es respaldado por certificados de calidad frente a una alternativa cuyo atractivo es el bajo precio de oferta pero que a largo plazo puede convertirse en un sobre costo mayor al ahorro de la oferta debido a retrabajos, atrasos.
3. El método AHP calcula la importancia de los criterios sin dificultad, pues al ser un modelo matemático, no toma en cuenta la afinidad al momento de darle mayor importancia a un criterio. Por otro lado, es necesario verificar la consistencia lógica de los datos recogidos para la evaluación.

10.5. OBJETIVO 5

1. En el proyecto 1 se encontró que el SC4 era la alternativa más apropiada para el proyecto según la metodología propuesta, siendo superior en experiencia en trabajos similares (C1), adecuación de recursos (C2), reputación e imagen del subcontratista (C5) y en posibilidad de completar el trabajo a tiempo (C8). Sin embargo, en el proyecto, la empresa contratista trabajó con el SC1 y presentó problemas de sobre costos debido a la mala calidad de su trabajo realizado y retrasos a lo largo de la ejecución, sin poder culminar el trabajo a tiempo.

2. En el proyecto 2 se determinó que el subcontratista óptimo es el SC5. Este obtuvo los puntajes más altos en experiencia en trabajos similares (C1), rendimiento de seguridad (C3), calidad de sus trabajos realizados (C6), y la posibilidad de completar el trabajo a tiempo (C8). El subcontratista seleccionado en la realidad fue de igual manera el SC5, en donde los resultados fueron satisfactorios, sin sobrecostos y de buena calidad. Asimismo, pudo culminar los trabajos a tiempo sin ocasionar retrasos en el proyecto; lo que compenso el precio de oferta, el cual él no fue el menor.
3. En el proyecto 3, se determinó que el subcontratista óptimo fue el SC9 obteniendo los mejores puntajes en el rendimiento de seguridad (C3), precio de oferta (C7) y la posibilidad de completar el trabajo a tiempo (C8). La mayor ventaja que posee el subcontratista es debido a su buen rendimiento de seguridad, el cual es muy importante tener en cuenta según el juicio experto. El subcontratista que fue seleccionado en el proyecto fue el SC10, el cual poseía el mayor puntaje en la adecuación de recursos (C2) y en la calidad de sus trabajos realizados (C6), pero poseía baja experiencia en trabajos similares (C1). Esto conllevó a sobrecostos debido a la utilización de productos y materiales que no eran beneficiosos para la utilización en la zona del proyecto.

10.6. OBJETIVO 6.

1. El procedimiento de decisión integrado propuesto trae diversos beneficios para las empresas dedicadas a la construcción de carreteras. Uno de ellos es poseer una representación visual del problema de selección mediante la jerarquización y descomposición en niveles.
2. El procedimiento agiliza la selección del subcontratista al no requerir subjeciones por parte de los ingenieros a cargo de las adquisiciones, sino de una evaluación basada en características proporcionadas por los mismos subcontratistas al postular a la oferta o adquiridas por medio de los instrumentos expuestos en la investigación.
3. La metodología propuesta puede ser implementada con éxito por los equipos de proyectos de carreteras, pues es fácil de usar con la ayuda del procedimiento adjunto, en donde se explican las metodologías de AHP y PROMETHEE, y todas las técnicas necesarias para lograr concluir la metodología. Además, el resultado es objetivo, es decir, se respalda de una puntuación y comparación cuantificada.

11 CAPÍTULO XI: RECOMENDACIONES

En el presente capítulo se expondrán las recomendaciones respectivas para complementar el trabajo de investigación en un futuro proyecto. Las sugerencias se encontrarán alineadas a cada objetivo específico desarrollado y estarán orientadas a facilitar la ejecución de cada entregable mediante el uso de nuevas herramientas, comparación con proyectos adicionales, tomar en cuenta la literatura de investigación como punto de partida, entre otros.

11.1 OBJETIVO 1

1. Se pueden utilizar otras herramientas básicas en conjunto, para determinar con más precisión la partida más incidente en costo por reprocesos del subcontratista. Una opción es utilizar el diagrama de Ishikawa para poder identificar las causas de sus errores y sus efectos que impactaron en la obra.
2. Si se requiere mayor precisión al hallar la partida subcontratada más incidente en costo por reprocesos y retrabajos, también es viable comparar en más de 3 proyectos de carreteras. Esto hará que se pueda comparar más resultados de subcontratistas en los proyectos.
3. Se recomienda entrevistar directamente a los ingenieros que forman parte de la obra a analizar, ya que son ellos los que se percatan de los errores ocasionados por los subcontratistas y conocen el costo que les ocasiona subsanar el error.

11.2 OBJETIVO 2

1. Para identificar criterios nuevos de selección se debe tener en cuenta la literatura de investigación como punto de partida. Asimismo, los expertos a evaluarse deben pertenecer al perfil profesional establecido para validar la matriz de comparación de pares.
2. Se recomienda aplicar como mínimo a 32 expertos según los artículos de investigación, para discriminar los 8 criterios más relevantes. Esto con el fin de obtener un resultado apropiado para la metodología.
3. El número de criterios no debe de exceder a 8 para mantener una consistencia lógica menor al 10% recomendada en la literatura de investigación.

11.3 OBJETIVO 3.

1. Se sugiere solicitar la información necesaria para la evaluación de los subcontratistas según los criterios dentro de la propuesta para la oferta. Esto con la finalidad de agilizar el proceso de evaluación para la selección del subcontratista óptimo.
2. Es recomendable mantener una base de datos actualizada con ayuda del área de calidad con la información característica de los subcontratistas para la posterior evaluación según los criterios. De igual modo, indicadores, buenas prácticas, lecciones aprendidas, y hechos significativos de las experiencias con los subcontratistas que colaboraron en los proyectos.
3. Es oportuno corroborar los datos proporcionados por los subcontratistas con la base de datos con los registros históricos de estos, con el fin de validarlos.

11.4 OBJETIVO 4

1. Se puede presentar la situación en la que varios criterios pueden tener una estructura incierta y no pueden medirse con precisión. En dichos casos, los números difusos son una opción viable a usar durante la elaboración de la matriz de evaluación.
2. Es necesario verificar el índice de consistencia luego de obtener la incidencia de los criterios, para asegurar que no existe incomparabilidad entre criterios evaluados.
3. Si el índice de consistencia es mayor a 0.1, se debe volver a realizar las encuestas a los expertos. Esto puede ocurrir debido a que las respuestas obtenidas no poseen coherencia.

11.5 OBJETIVO 5

1. Si al utilizar el PROMETHEE 1 el ranking da como resultado una prioridad determinada y a primera impresión no es necesario hallar el PROMETHEE 2, se recomienda calcular el flujo neto para confirmar el resultado.
2. Se recomienda relacionar las funciones de preferencia con el juicio de experto tomando en cuenta la dimensión, medida, unidad y forma de evaluación según su comportamiento, compararlos y otorgar características de preferencia. De esta manera el ranking de subcontratistas tendrá un resultado satisfactorio.

3. Si desea agilizar el proceso para hallar el ranking de subcontratistas se recomienda utilizar el programa Visual PROMETHEE, pues tan solo es necesario establecer funciones a los criterios con sus pesos respectivos y las características de los subcontratistas postores.

11.6 OBJETIVO 6

1. Es recomendable utilizar gráficos y diagramas que faciliten el entendimiento del procedimiento.
2. Se recomienda incluir las opiniones del juicio experto en el procedimiento, pues este brinda en los usuarios confianza al aplicarlo en sus proyectos.
3. Para describir el procedimiento se recomienda que este tenga un fundamento teórico para que se respalde en investigaciones, estructura para que el usuario pueda identificar de forma macro y rápida las instrucciones y desarrollo paso a paso detallado para que sea de fácil aplicación para los usuarios.

12 CAPÍTULO XII: REFERENCIAS

En el presente capítulo se listan las referencias consultadas para la elaboración del proyecto de investigación. Las referencias utilizadas son obras escritas por un solo autor/institución, Artículos en revistas académicas, Obra publicada en internet, Artículo publicado en una revista en línea, Sitio web, enciclopedias y diccionarios, decretos supremos. Las referencias online se encuentran referenciadas mediante enlaces web o DOI vigente con fechas de consulta actualizadas a la fecha de publicación del presente trabajo.

Arroyo, P., Fuenzalida, C., Albert, A., & Hallowel, M. (2016). Collaborating in decision making of sustainable building design: an experimental study comparing CBA and WRC methods. *Energy and Buildings*, 128, 132-142. doi:10.1016/j.enbuild.2016.05.079

Arroyo, P., Tommelein, I., & Ballard, G. (2014). Comparing weighting rating and calculating vs. choosing by advantages to design choices. *22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (22), 401-412. doi:10.1016/j.proeng.2017.07.226

Arslan, G., Kivrak, S., & Birgonul, M. (2008). Improving sub-contractor selection process in construction projects: web-based subcontractor evaluation system (WEBSES). *Automation in Construction*, 17(4), 480-488. doi:10.1016/j.autcon.2007.08.004

Ayala, F., & Sainz de Baranda, P. (2012). Fiabilidad y validez de las pruebas sit-and-reach: revisión sistemática. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 5 (2), 57-66. doi:10.1016/S1888-7546(12)70010-2

Bendaña, R., Del Caño, A., & De la Cruz, M. (2008). Contractor selection: fuzzy control approach. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 35(5), 473-486. doi:10.1139/L07-127

Brace, I. (2011). *Diseño de cuestionarios*. Bogotá: Larousse. Obtenido de <http://bookparadise.online/pdf?title=Dise%C3%B1o+De+Cuestionarios&geo=es&i=OTc4LTYwNzQzODI0OTU%3D&src=blogspot#read> (Consulta: 10 de enero de 2020)

- Carmines, N., & Zeller, R. (1979). *Reliability and validity assessment*. Londres:: Sage. doi:10.4135/9781412985642
- Clouthry, R., & Hinze, J. (2012). Subcontracting practices in the construction industry of Pakistan. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(12), 1353–1359. doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000562
- Dakshina, G., Kosmopoulou, G., & Lamarche, C. (2017). Subcontracting and the survival of plants in the road construction industry: A panel quantile regression analysis. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 137 (8), 113-131. doi:10.1016/j.jebo.2017.02.016
- Diaz, L., Torruco, U., Martinez, M., & Valera, M. (2013). La entrevista, recurso flexible y dinámico. *Metodología de Investigación en Educación Médica*, 2 (7), 162-167. doi:10.1016/S2007-5057(13)72706-6
- Garcia, A. (28 de Mayo de 2018). *Arquhys Arquitectura*. Recuperado el 11 de Enero de 2020, de Concepto de Pavimento: <http://www.arqhys.com/contenidos/pavimento-concepto.html>
- Hernandez, R. (2014). *Metología de la Investigación*. México D.F.: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Huancauqui, E. (15 de Mayo de 2018). *Derechos y deberes del contratista durante la ejecución*. Recuperado el 11 de Enero de 2020, de OSCE: http://www.osce.gob.pe/consucode/userfiles/image/cap1_m4_prov.pdf
- Institute, P. M. (2016). *Guia de los fundamentos para la dirección de proyectos*. Pensilvania: Project Management Institute.
- Janesick, V. (1998). *Stretching” exercises for qualitative researchers*. Thousand Oaks: Sage. doi:10.1177/136078041101600402
- Liang, J., Wu, X., & Chen, W. (2014). The Study on Sub-Contract in EPC Engineering. *Aplied Mechanics and Materials*, 638(11), 2342-2345. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.638-640.2342
- Liu, J., Xia, B., & Yang, P. (2017). Effect of Perceived Justice on Subcontractor Willingness to Cooperate: The Mediating Role of Relationship Value. *Journal of*

Construction Engineering and Management, 143, 1-8.
doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001350

Makkinga, R. (2018). Successful verification of subcontracted work in the construction industry. *Systems Engineering*, 21 (2), 131-140. doi:10.1002/sys.21425

Mbachu, J. (2008). Conceptual framework for the assessment of subcontractors' eligibility and performance in the construction industry. *Construction Management and Economics*, 26(5), 471–484. doi:10.1080/01446190801918730

Mecar, P. (2015). Proposal of Subcontractors' Evaluation Methodology after the Realisation of the Construction Project. *Applied Mechanics and Materials*, 796 (5), 119-124. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.796.119

Ministerio de Transporte y Comunicaciones, (. (22 de Febrero de 2013). *Aprueban documento de carácter normativo y de cumplimiento obligatorio "Especificaciones Técnicas de Pinturas para Obras Viales" (Directiva N°539-99-MTC/15.17)*.
Obtenido de MTC:
https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/otras/RD%20N°%2002-2013-MTC-14.pdf. (Consulta: 26 de enero del 2020)

Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (. (26 de Julio de 2005). *Funciones de la supervisión en obras de infraestructura vial (Directiva N°005-2005-MTC/14)*.
Obtenido de MTC:
https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/323586/1_0_2005_.pdf
(Consulta: 26 de enero de 2020)

Moretti, L., & Valbonesi, P. (2015). Firms, qualifications and subcontracting in public procurement: an empirica investigation. *The Journal of Law, Economics, and Organization*, 31 (3), 568-598. doi:10.1093/jleo/ewv001

Ng, S., & Tang, Z. (2009). Factors contributing to the success of equipment-intensive subcontractors in construction. *International Journal of Project Management*, 27(7), 736–744. doi:10.1016/j.ijproman.2008.09.006

Polat, G. (2014). Subcontractor selection using the integration of the AHP and PROMETHEE methods. *Journal of Civil Engineering and Management*, 15 (1), 1-15. doi:10.3846/13923730.2014.948910

- Pratt, M., & Rafaeli, A. (2017). Organizational Dress as a Symbol of Multilayered Social Identities. *Academy of Management Journal*, 40 (4), 65-72. doi:10.2307/256951
- Real Academia Española, (. (2018). *Subcontratar*. En *Diccionario esencial de la lengua española (DRAE)*. 23a edición. Obtenido de <http://dle.rae.es/srv/search?m=30&w=subcontratar> (Consulta: 20 de enero del 2020)
- Reynafarje, S. (24 de Abril de 2018). *Signo Vital*. Recuperado el 11 de Enero de 2020, de Beneficios de las carreteras de asfalto: <http://signovial.pe/blog/beneficios-de-las-carreteras-de-asfalto/>
- Saaty, T. (1980). *The analytic hierarchy process*. New York: McGraw-Hill. doi:10.2307/27784145
- Schottle, A., Arroyo, P., & Bade, M. (2015). Comparing three methods in the tendering procedure to select the project team. *23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (23), 267-276. Recuperado el 11 de Enero de 2020, de <https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/attachment-d9262f74-69e9-4b58-b42b-20537945b478.pdf>
- Taoufikallah , A. (27 de Abril de 2018). *El Método AHP*. Recuperado el 10 de Enero de 2020, de StudyLib Web Site: <http://studylib.es/doc/4997148/capitulo-4-el-m%C3%A9todo-ahp>
- Yongtao, T., & Bin, X. (2017). Relationships between main contractors and subcontractors and their impacts on main contractor competitiveness: An empirical study in Hong Kong. *Journal of Construction Engineering and Management*, 143 (2), 1-10. doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001311

13 ANEXOS

13.1 ANEXO 1: Cuestionario de selección de criterios relevantes para selección de subcontratistas en proyectos de carreteras

- Nombres y Apellidos:
- Labor que lleva a cabo en el Proyecto Vial:

¿Cuáles considera los 8 criterios más relevantes en la selección de subcontratistas para proyectos de carreteras?

- ☐ Tamaño y capacidad de negocio
- ☐ Experiencia en trabajos similares
- ☐ Capacidad financiera
- ☐ Carga actual de trabajo
- ☐ Calidad de sus trabajos realizados
- ☐ Competencia técnica
- ☐ Precio de oferta
- ☐ Adecuación de recursos (cantidad de maquinarias, personal clave...)
- ☐ Metodología a desarrollar
- ☐ Rendimiento de seguridad
- ☐ Relación que posee contratista con subcontratista
- ☐ Reputación e imagen del subcontratista
- ☐ Posibilidad de completar el trabajo a tiempo

Gracias por colaborar con esta investigación, ¡éxitos!

13.2 ANEXO 2: Cuestionario de evaluación de importancia entre criterios

Cuestionario 2

Sección 1

Criterios de selección de subcontratistas en proyectos de carreteras

El proyecto consiste en la implantación de un procedimiento para seleccionar el subcontratista óptimo para los proyectos de carreteras a ejecutarse. Para ello se requiere de la identificación de los 8 criterios más relevantes durante la selección del subcontratista y de la importancia relativa existente entre ellos.

Duración aproximada: 8 minutos

- Nombres y Apellidos:
- Labor que lleva a cabo en el Proyecto Vial:

Sección 2

Criterios de selección más importantes

- (a) Experiencia en trabajos similares vs (b) Adecuación de recursos (cantidad de maquinarias, personal clave...)

☐ (a) es absolutamente más importante que (b)

☐ (a) es más importante que (b)

☐ (a) es ligeramente más importante que (b)

☐ (a) y (b) son igual de importantes

☐ (b) es ligeramente más importante que (a)

☐ (b) es más importante que (a)

☐ (b) es absolutamente más importante que (a)

(a) Experiencia en trabajos similares vs (b) Rendimiento de seguridad

☐ (a) es absolutamente más importante que (b)

☐ (a) es más importante que (b)

☐ (a) es ligeramente más importante que (b)

- ☐ (a) y (b) son igual de importantes
- ☐ (b) es ligeramente más importante que (a)
- ☐ (b) es más importante que (a)
- ☐ (b) es absolutamente más importante que (a)
- (a) Experiencia en trabajos similares vs (b) Relación que posee contratista con subcontratista
 - ☐ (a) es absolutamente más importante que (b)
 - ☐ (a) es más importante que (b)
 - ☐ (a) es ligeramente más importante que (b)
 - ☐ (a) y (b) son igual de importantes
 - ☐ (b) es ligeramente más importante que (a)
 - ☐ (b) es más importante que (a)
 - ☐ (b) es absolutamente más importante que (a)

- (a) Experiencia en trabajos similares vs (b) Reputación e imagen del subcontratista
 - ☐ (a) es absolutamente más importante que (b)
 - ☐ (a) es más importante que (b)
 - ☐ (a) es ligeramente más importante que (b)
 - ☐ (a) y (b) son igual de importantes
 - ☐ (b) es ligeramente más importante que (a)
 - ☐ (b) es más importante que (a)
 - ☐ (b) es absolutamente más importante que (a)
- (a) Experiencia en trabajos similares vs (b) Calidad de sus trabajos realizados
 - ☐ (a) es absolutamente más importante que (b)
 - ☐ (a) es más importante que (b)

- ☐ (a) es ligeramente más importante que (b)
- ☐ (a) y (b) son igual de importantes
- ☐ (b) es ligeramente más importante que (a)
- ☐ (b) es más importante que (a)
- ☐ (b) es absolutamente más importante que (a)
- (a) Experiencia en trabajos similares vs (b) Precio de Oferta
 - ☐ (a) es absolutamente más importante que (b)
 - ☐ (a) es más importante que (b)
 - ☐ (a) es ligeramente más importante que (b)
 - ☐ (a) y (b) son igual de importantes
 - ☐ (b) es ligeramente más importante que (a)
 - ☐ (b) es más importante que (a)
 - ☐ (b) es absolutamente más importante que (a)
- ☐ (a) y (b) son igual de importantes
- ☐ (b) es ligeramente más importante que (a)
- ☐ (b) es más importante que (a)
- ☐ (b) es absolutamente más importante que (a)

- (a) Experiencia en trabajos similares vs (b) Posibilidad de completar el trabajo a tiempo
 - ☐ (a) es absolutamente más importante que (b)
 - ☐ (a) es más importante que (b)
 - ☐ (a) es ligeramente más importante que (b)
 - ☐ (a) y (b) son igual de importantes
 - ☐ (b) es ligeramente más importante que (a)
 - ☐ (b) es más importante que (a)
 - ☐ (b) es absolutamente más importante que (a)
- (a) Adecuación de recursos (cantidad de maquinarias, personal clave...) vs (b) Rendimiento de seguridad
 - ☐ (a) es absolutamente más importante que (b)
 - ☐ (a) es más importante que (b)

☐ (a) es ligeramente más importante que (b)

☐ (a) y (b) son igual de importantes

☐ (b) es ligeramente más importante que (a)

☐ (b) es más importante que (a)

☐ (b) es absolutamente más importante que (a)

- (a) Adecuación de recursos (cantidad de maquinarias, personal clave...) vs (b) Relación que posee contratista con subcontratista

☐ (a) es absolutamente más importante que (b)

☐ (a) es más importante que (b)

☐ (a) es ligeramente más importante que (b)

☐ (a) y (b) son igual de importantes

☐ (b) es ligeramente más importante que (a)

☐ (b) es más importante que (a)

☐ (b) es absolutamente más importante que (a)

- (a) Adecuación de recursos (cantidad de maquinarias, personal clave...) vs (b) Reputación e imagen del subcontratista

☐ (a) es absolutamente más importante que (b)

☐ (a) es más importante que (b)

☐ (a) es ligeramente más importante que (b)

☐ (a) y (b) son igual de importantes

☐ (b) es ligeramente más importante que (a)

☐ (b) es más importante que (a)

☐ (b) es absolutamente más importante que (a)

- (a) Adecuación de recursos (cantidad de maquinarias, personal clave...) vs (b) Calidad de sus trabajos realizados

☐ (a) es absolutamente más importante que (b)

☐ (a) es más importante que (b)

☐ (a) es ligeramente más importante que (b)

☐ (a) y (b) son igual de importantes

☐ (b) es ligeramente más importante que (a)

☐ (b) es más importante que (a)

☐ (b) es absolutamente más importante que (a)

- (a) Adecuación de recursos (cantidad de maquinarias, personal clave...) vs (b) Precio de oferta

☐ (a) es absolutamente más importante que (b)

☐ (a) es más importante que (b)

☐ (a) es ligeramente más importante que (b)

☐ (a) y (b) son igual de importantes

☐ (b) es ligeramente más importante que (a)

☐ (b) es más importante que (a)

☐ (b) es absolutamente más importante que (a)

- (a) Adecuación de recursos (cantidad de maquinarias, personal clave...) vs (b) Posibilidad de completar el trabajo a tiempo

☐ (a) es absolutamente más importante que (b)

☐ (a) es más importante que (b)

☐ (a) es ligeramente más importante que (b)

☐ (a) y (b) son igual de importantes

☐ (b) es ligeramente más importante que (a)

☐ (b) es más importante que (a)

☐ (b) es absolutamente más importante que (a)

- (a) Rendimiento de seguridad vs (b) Relación que posee contratista con subcontratista

☐ (a) es absolutamente más importante que (b)

☐ (a) es más importante que (b)

☐ (a) es ligeramente más importante que (b)

☐ (a) y (b) son igual de importantes

☐ (b) es ligeramente más importante que (a)

☐ (b) es más importante que (a)

☐ (b) es absolutamente más importante que (a)

- (a) Rendimiento de seguridad vs (b) Reputación e imagen del subcontratista

☐ (a) es absolutamente más importante que (b)

☐ (a) es más importante que (b)

☐ (a) es ligeramente más importante que (b)

☐ (a) y (b) son igual de importantes

☐ (b) es ligeramente más importante que (a)

☐ (b) es más importante que (a)

☐ (b) es absolutamente más importante que (a)

- (a) Rendimiento de seguridad vs (b) Calidad de sus trabajos realizados

☐ (a) es absolutamente más importante que (b)

☐ (a) es más importante que (b)

☐ (a) es ligeramente más importante que (b)

☐ (a) y (b) son igual de importantes

☐ (b) es ligeramente más importante que (a)

☐ (b) es más importante que (a)

☐ (b) es absolutamente más importante que (a)

- (a) Rendimiento de seguridad vs (b) Precio de oferta

☐ (a) es absolutamente más importante que (b)

☐ (a) es más importante que (b)

☐ (a) es ligeramente más importante que (b)

☐ (a) y (b) son igual de importantes

☐ (b) es ligeramente más importante que (a)

☐ (b) es más importante que (a)

☐ (b) es absolutamente más importante que (a)

- (a) Rendimiento de seguridad vs (b) Posibilidad de completar el trabajo a tiempo

☐ (a) es absolutamente más importante que (b)

☐ (a) es más importante que (b)

☐ (a) es ligeramente más importante que (b)

☐ (a) y (b) son igual de importantes

☐ (b) es ligeramente más importante que (a)

☐ (b) es más importante que (a)

☐ (b) es absolutamente más importante que (a)

- (a) Relación que posee contratista con subcontratista vs (b) Reputación e imagen del subcontratista

☐ (a) es absolutamente más importante que (b)

☐ (a) es más importante que (b)

☐ (a) es ligeramente más importante que (b)

☐ (a) y (b) son igual de importantes

☐ (b) es ligeramente más importante que (a)

☐ (b) es más importante que (a)

☐ (b) es absolutamente más importante que (a)

- (a) Relación que posee contratista con subcontratista vs (b)
Calidad de sus trabajos realizados

☐ (a) es absolutamente más importante que (b)

☐ (a) es más importante que (b)

☐ (a) es ligeramente más importante que (b)

☐ (a) y (b) son igual de importantes

☐ (b) es ligeramente más importante que (a)

☐ (b) es más importante que (a)

☐ (b) es absolutamente más importante que (a)

- (a) Relación que posee contratista con subcontratista vs (b)
Precio de oferta

☐ (a) es absolutamente más importante que (b)

☐ (a) es más importante que (b)

☐ (a) es ligeramente más importante que (b)

☐ (a) y (b) son igual de importantes

☐ (b) es ligeramente más importante que (a)

☐ (b) es más importante que (a)

☐ (b) es absolutamente más importante que (a)

- (a) Relación que posee contratista con subcontratista vs (b)
Posibilidad de completar el trabajo a tiempo

☐ (a) es absolutamente más importante que (b)

☐ (a) es más importante que (b)

☐ (a) es ligeramente más importante que (b)

☐ (a) y (b) son igual de importantes

☐ (b) es ligeramente más importante que (a)

☐ (b) es más importante que (a)

☐ (b) es absolutamente más importante que (a)

- (a) Reputación e imagen del subcontratista vs (b) Calidad de sus trabajos realizados

☐ (a) es absolutamente más importante que (b)

☐ (a) es más importante que (b)

☐ (a) es ligeramente más importante que (b)

☐ (a) y (b) son igual de importantes

☐ (b) es ligeramente más importante que (a)

☐ (b) es más importante que (a)

☐ (b) es absolutamente más importante que (a)

- (a) Reputación e imagen del subcontratista vs (b) Precio de oferta

☐ (a) es absolutamente más importante que (b)

☐ (a) es más importante que (b)

☐ (a) es ligeramente más importante que (b)

☐ (a) y (b) son igual de importantes

☐ (b) es ligeramente más importante que (a)

☐ (b) es más importante que (a)

☐ (b) es absolutamente más importante que (a)

- (a) Reputación e imagen del subcontratista vs (b) Posibilidad de completar el trabajo a tiempo

☐ (a) es absolutamente más importante que (b)

☐ (a) es más importante que (b)

☐ (a) es ligeramente más importante que (b)

☐ (a) y (b) son igual de importantes

- ☐ (b) es ligeramente más importante que (a)
- ☐ (b) es más importante que (a)
- ☐ (b) es absolutamente más importante que (a)
- (a) Calidad de sus trabajos realizados vs (b) Precio de oferta
 - ☐ (a) es absolutamente más importante que (b)
 - ☐ (a) es más importante que (b)
 - ☐ (a) es ligeramente más importante que (b)
 - ☐ (a) y (b) son igual de importantes
 - ☐ (b) es ligeramente más importante que (a)
 - ☐ (b) es más importante que (a)
 - ☐ (b) es absolutamente más importante que (a)

- (a) Calidad de sus trabajos realizados vs (b) Posibilidad de completar el trabajo a tiempo
 - ☐ (a) es absolutamente más importante que (b)
 - ☐ (a) es más importante que (b)
 - ☐ (a) es ligeramente más importante que (b)
 - ☐ (a) y (b) son igual de importantes
 - ☐ (b) es ligeramente más importante que (a)
 - ☐ (b) es más importante que (a)
 - ☐ (b) es absolutamente más importante que (a)
- (a) Precio de oferta vs (b) Posibilidad de completar el trabajo a tiempo
 - ☐ (a) es absolutamente más importante que (b)
 - ☐ (a) es más importante que (b)
 - ☐ (a) es ligeramente más importante que (b)

☐ (a) y (b) son igual de importantes

☐ (b) es ligeramente más importante que (a)

☐ (b) es más importante que (a)

☐ (b) es absolutamente más importante que (a)

Gracias por colaborar con esta investigación, ¡éxitos!

13.3 ANEXO 3: Cuestionario de evaluación de empresa subcontratista

Cuestionario 3

Sección 1

Evaluación de empresa subcontratista concursante

Nombres y Apellidos:

Razón social de la empresa subcontratista

1.- ¿Ha trabajado antes con esta empresa?

☐ Si

☐ No, pase a la sección 2

2.- Si marcó Si en la pregunta (1), responda lo siguiente:

¿Cómo describiría la calidad del trabajo realizado?

☐ Excelente

☐ Buena

☐ Regular

☐ Mala

☐ Muy mala

3.- Si marcó Si en la pregunta (1), responda lo siguiente: ¿Ocurrió algún incidente o accidente en el trabajo del subcontratista?

4.- Si marcó SI en la pregunta (1), responda lo siguiente: ¿El subcontratista cumplió con su trabajo en el plazo establecido? Si no fue así, ¿cuántos días existieron de retraso?

Sección 2

5.- ¿Cómo describiría su relación con el subcontratista?

☐ Excelente

☐ Buena

☐ Regular

☐ Mala

☐ Muy mala

6.- ¿Cuál es su percepción de la imagen del subcontratista?

☐ Excelente

☐ Buena

☐ Regular

☐ Mala

☐ Muy mala

7.- ¿El subcontratista tiene experiencia previa en trabajos similares? ¿Recibió experiencia por cantidad en m2 o por cantidad de trabajos realizados? ¿Qué cantidad?

13.4 ANEXO 4: Expertos que participaron en la investigación

Nombres y Apellidos	Organización	Experiencia	Formación
Milton Hidalgo Alvan	Consortios Vías Perú	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniero residente en mantenimiento de carreteras de amazonas en Consorcio Vías Perú. • Gerente Vial en Consorcio Vías Perú. • Jefe zonal del ministerio de transportes y comunicación – Provias departamental. • Ingeniero Residente en mantenimiento de la carretera Catac Chavín Huari - Colca Vichon. • Ingeniero residente en Empresa Nacional de Ferrocarriles ENAFER SA. 	<ul style="list-style-type: none"> • Egresado de la carrera de ingeniería civil en la Universidad Nacional de ingeniería.
Juan Carlos Rivera Mujica	COSAPI	<ul style="list-style-type: none"> • Gerente Vial en Servicio de Gestión y Conservación del corredor Vial Dv. Humajalzo - Desaguadero y Tacna – Tarata, en COSAPI. • Gerente de Proyecto en consorcio Cowsa – Corporacion Mayo. • Gerente de desarrollo de Negocios Conseciones Viales en Graña y Montero. • Gerente de desarrollo empresarial en empresa. • Jucarimu Consultores y Contratistas SAC. • Gerente Vial en conservación de carreteras del país en empresa ICCGSA. • Ingeniero Supervisor en provias nacional de Arequipa, Moquegua y Tacna en SINMAC. 	<ul style="list-style-type: none"> • Egresado de la carrera de ingeniería Civil en la universidad nacional San Antonio Abad del Cusco. • Diplomado en Pavimentos Asfálticos en Universidad Nacional de Ingeniería. • Master en Administración Internacional de Negocios MBA Executive, Business Administration and Management, General en Escuela Europea de Negocios. • Especialización en Estructuración, regulación y experiencias en APP, Escuela de gestión pública en la universidad del Pacífico.

Christian Ñaña Castillo	Aldesa Construcciones SA	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniero de Producción en Aldesa Construcciones SA. • Ingeniero Asistente en área de Evaluación de proyectos en CENIP UNI. • Ingeniero Asistente de supervisión en CENIP UNI. 	<ul style="list-style-type: none"> • Egresado de la carrera de ingeniería civil en la Universidad Nacional de Cajamarca. • Estudio de portugués la Universidad de San Martin de Porres. • Estudio de ingles la Universidad de San Martin de Porres.
Mónica Rodriguez	Rutas de Lima SAC	<ul style="list-style-type: none"> • Responsable de compras y subcontratos en rutas de lima SAC. • Ejecutiva comercial en Polylon S.A. 	<ul style="list-style-type: none"> • Master en Gerencia y Administración. • Profesional en Mercadeo y Negocios.
Hugo Melendez	ICGSA	<ul style="list-style-type: none"> • Jefe de Planeamiento y Control de Proyectos en ICGSA. • Jefe de Producción en ICGSA. 	<ul style="list-style-type: none"> • Egresado de la carrera de ingeniería civil en la Pontificia Universidad Católica del Perú. • Certificación PMP.
Arturo Díaz Nuñez	OBRAINSA	<ul style="list-style-type: none"> • Gerente de Proyecto en proyectos viales. • Ingeniero de producción en proyectos viales. • Ingeniero residente en proyectos viales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniero civil por la Universidad Nacional San Luis Gonzaga. • Maestría en Gestión de Proyectos por la universidad Esan.
Leticia Isabel Lam Ortigas	MGM Constructora Consultora SAC	<ul style="list-style-type: none"> • Sub Gerente. • Ingeniera Residente. 	<ul style="list-style-type: none"> • MBA Gerencial. • Egresada de Ingeniería Civil en San Luis Gonzaga de Ica.
Manuel Pajuelo	INTERSUR	<ul style="list-style-type: none"> • Gerente de Operaciones y mantenimiento vial en Intersur concesiones S.A. • Jefe de Proyectos. • Gerente general en Operador Logístico del Oriente S.R.L. • Jefe de Operaciones en Point support & service S.A.C. • Gerente de Operaciones en Inversiones Yurimaguas S.R.L. • Analista senior de planeamiento corporativo en Petroles el Perú S.A. 	<ul style="list-style-type: none"> • Magister en Gestión pública • Diplomatura en Dirección de Operaciones • Egresado de Ingeniería industrial en la UNI

Oscar Rojas	Corporación Mayo	<ul style="list-style-type: none"> • Gerente Vial en Corporación Mayo. • Gerente Vial en Línea Amarilla SAC. • Jefe de Mantenimiento Vial en Operadora Sur Perú. 	<ul style="list-style-type: none"> • Magister de Ingeniería estructural en la UNI • Diplomado en Regulación de Servicios Públicos
Santiago Manuel Collave González	Consorcio TRILCE	<ul style="list-style-type: none"> • Gerente de obra en Consorcio Trilce. • Gerente de obra en Consorcio Libertad. • Gerente de proyectos en Constructora J&M SRL. 	<ul style="list-style-type: none"> • Magister en Dirección de Empresas en la Universidad ESAN. • Gerencia de Proyectos bajo enfoque PMI en la UNI. • Especialización en Sistemas integrados de Gestión SIG en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. • Especialización en Gestión de la Construcción en la UPC • Especialización en Contrataciones del Estado
Danny Pizarro	OHL Perú	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniero de producción en OHL Perú. • Ingeniero de producción en Grupo Aldesa. • Jefe de producción en Cosapi. • Ingeniero residente en Consorcio Metro Línea 2. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bachiller de Ingeniería Civil en la UNI. • Maestría en Gerencia de Proyectos de Construcción en Universidad ESAN. • Especialización en Productividad en Proyectos de Construcción en UPC.
Marina Galarreta	OHL Concesiones	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniera de control de proyectos en Autopista del Norte. • Ingeniera de control de proyectos en OHL concesiones. • Gestión de proyectos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniería Civil en la Pontificia Universidad Católica del Perú. • Especialización en gestión de proyectos.

Humberto Ramírez	Plannek Ingeniería & Gerencia	<ul style="list-style-type: none"> • Gerente General PLANNEK Ingeniería & Gerencia. • Gerente en proyectos de gran envergadura en transnacionales de construcción. • Profesor en Maestría de dirección de la Construcción en la Escuela de Postgrado UPC. • Experiencia en Perú, Chile y Bolivia. • Manejo de contratos: EPCM, EPC, EPC+C, Admin. Directa, Suma Alzada y Precios Unitarios. • Ejecutivo de 24 años de experiencia profesional • Conferencista en Gerencia de Proyectos. 	<ul style="list-style-type: none"> • MBA Universidad de los Andes, Bogotá Colombia. • Ingeniero Civil por la Universidad Ricardo Palma, Lima Perú.
Renzo Sánchez Bracamonte	JLV Consultores	<ul style="list-style-type: none"> • Jefe de Fideicomiso y Leasing en JLV consultores. • Jefe de Proyectos en JLV consultores. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniería Civil en la Universidad Privada Antenor Orrego.
Wilfredo Altamirano Acuña	JNR. CONSULTORE S S.A.	<ul style="list-style-type: none"> • Jefe de Ingeniería. • Asistente en Ingeniería Estructural. 	<ul style="list-style-type: none"> • Diplomatura de Estudio en Diseño Estructural. • Ingeniería Civil en Universidad Nacional de Ingeniería.
Jeffrey Arturo Sánchez Rojas	JJC Contratistas Generales S.A.	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniero de Planeamiento en JJC Contratistas Generales S.A. • Ingeniero de Planeamiento en OBRAINSA. • Asistente de Producción en Construcciones Subterráneas, Odebrecht. • Asistente de Producción en JJC Contratistas Generales S.A. • Ingeniero practicante de Supervisión, Despliegue y Infraestructura en torre de Telefónica. • Ingeniero practicante en operaciones de cantera en Minera Chinalco. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniero Civil en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. • Curso “Our Energy Future, Energy Management and Systems Technology/Technician” en Universidad de California, San Diego. • Curso “Budgeting and Scheduling Projects, Project Management” en Universidad de California, Irvine. • Curso “Managing Project risks and Changes, Project Management” en Universidad de California, Irvine.

			<ul style="list-style-type: none"> • Curso “Expansión Internacional, Alianzas Globales y Plan de Marketing, International Business/Trade/Commerce” en Universidad de la Rioja.
Marisol Sánchez Ladrón de Guevara	Lindeo Ingenieros S.L.	<ul style="list-style-type: none"> • Jefe de Producción en Autovía. • Jefa de Obra encargada de la gestión de recursos humanos y materiales. • Responsable División Ingeniería Civil. • Responsable de departamento de obras civiles. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniería Civil, caminos, canales y puertos. • Programa de doctorado en Área de Planificación Urbanística y Ordenación del territorio en Universidad de Granada. • Suficiencia Investigadora (DEA, Master) en Universidad de Granada.
Wilder Eduardo Dextre Leon	Grupo Aruntani	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniero de Planeamiento y Programación en JJC Contratistas Generales S.A. • Ingeniero de Producción en JJC Contratistas Generales S.A. • Ingeniero de Estructuras y Obras de Arte en Conirsa. • Jefe de Oficina Técnica en Grupo Polo. • Jefe de Ingeniería en Grupo Aruntani. • Jefe de Ingeniería en Consorcio Minero Horizonte. • Asistente de Estudios en Ingedisa. • Asistente de Obra en OCI UNI. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniero Civil en Universidad Nacional de Ingeniería. • Magister en Dirección de la Construcción en Universidad de Ciencias Aplicadas. • Maestría en gestión estratégica en minería en Cámara Minera del Perú (UNH). • Diplomado en Gerencia de Proyectos de gestión de proyectos en BS Grupo.
Jorge Jurado Velarde	Altesa Contratistas Generales S.A.	<ul style="list-style-type: none"> • Subgerente general en Altesa. • Gerente de proyectos en Altesa. • Gerente de oficina en Altesa. • Especialista en obras públicas y proyectos de inversión de infraestructura, carreteras saneamiento, irrigaciones, electrificación y puentes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniero Civil por la Universidad Ricardo Palma. • Maestría en Administración de Empresas. • Maestría en gestión de Proyectos.

Gustavo Bustinza Mamani	Operadora Surperu S.A.	<ul style="list-style-type: none"> • Jefe de operaciones y mantenimiento vial en Operadora Surperu S.A. • Socio gerente en Acroconst eirl. 	<ul style="list-style-type: none"> • Maestría por la Universidad de Piura. • Ingeniero Civil por la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
Hugo Huapaya	THHR Ingenieros y constructores SAC	<ul style="list-style-type: none"> • Gerente general en THHR Ingenieros y constructores S.A.C. • Docente en Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas UPC. • Coordinador Maestría en Gestión Inmobiliaria. • Docente en Universidad Ricardo Palma. • Gerente de Desarrollo urbano y Rural. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniero civil por la Universidad de San Martín de Porres. • Maestría en gestión de proyectos de ingeniería • Maestría en dirección de empresas inmobiliarias y constructoras. • Doctorado en Educación por la Universidad de San Martín de Porres.
Edwin Hilario Villaca Acero	Nippon koei LAC	<ul style="list-style-type: none"> • Supervisor de obra en Nippon Koei LAC. • Asistente del Jefe de campo en mejoramiento de carreteras en Inversiones Farric. • Asistente de Catedra en Universidad Nacional de Ingeniería. • Supervisor de Obra contratista . • Investigador en la universidad nacional de ingeniería. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniero Civil por la Universidad Nacional de Ingeniería. • Técnico en soldadura universal por SENATI. • Maestría en Gestión y Administración de la construcción por la universidad nacional de ingeniería. • Estudios en inversión publica y privada, asociaciones APP y obras por impuesto, escuela de gobierno y políticas públicas en Pontificia Universidad Católica del Perú.
Cesar Peche	Obras de Ingeniería S.A.C.	<ul style="list-style-type: none"> • Especialista de Suelos en Obras de Ingeniería S.A.C. • Especialista en Pavimentos en Obras de ingeniería S.A.C. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniero Civil por la universidad nacional San Luis Gonzaga de Ica. • Maestría de dirección y gerencia de proyectos en universidad de ciencias aplicadas.

Ricardo Plascencia Hurtado	Consortio Vial Selva Central	<ul style="list-style-type: none"> • Gerente vial en consorcio vial selva central. • Gerente de proyecto de obras de infraestructura vial, hidráulica y marítima en Activa Perú M&O construction SAC. • Jefe de Oficina técnica en OHL. • Jefe de control de gestión de proyectos del grupo MAYO-MPM. • Jefe de Oficina Técnica en consorcio Ancón Pativilca. • Jefe de Oficina Técnica en BESCO S.A. • Jefe de Oficina Técnica en Corporación Sagitario S.A. • Jefe de Oficina Técnica en Altesa Contratistas Generales S.A. • Ingeniero de Producción en Consorcio Vegsa-Mendes junior Group. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniero Civil por la Universidad Nacional de Ingeniería. • Maestría en Ingeniería Civil con Mención en ingeniería vial por la Universidad de Piura. • Diplomado en preparación y formulación de proyectos de inversión por la universidad ESAN.
Juan Carlos Yarasca Arcos	V&JIC S.A.	<ul style="list-style-type: none"> • Supervisor civil en V&JIC S.A. • Ingeniero Residente en construcción de pistas, edificaciones y otros en ingenieros asociados e.i.r.l. • Ingeniero Residente en Alfa ingenieros eirl. • Residente de Obras en omega constructores y consultores S.A.C. • Residente de Obra en Santo Domingo Contratista. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniero Civil por la Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica. • Inspector de detalles en INDECI.
Gregor Mariño Calderon	Xima consultores	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniero jefe de producción en Xima. • Especialista en Xima. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniero Civil por la Universidad Nacional de Ingeniería.
Edwin Flores	Obras de Ingeniería S.A.C.	<ul style="list-style-type: none"> • Jefe de Obras en Municipalidad Provincial de Pomabamba. • Especialista en Obras de Arte en Obrainsa. • Subgerente de Planeamiento Urbano y Rural en municipalidad provincial de Huaraz. • Responsable de Área de Ingeniería. • Responsable de Programa de Ingeniería. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniero Civil por la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.

		<ul style="list-style-type: none"> • Responsable Servicio de Ingeniería. • Gerente de Ingeniería en NEXO Ingeniería & Construcción S.A.C. • Ingeniero de Producción en NEXO Ingeniería & Construcción S.A.C • Supervisor de Obra en Municipalidad Provincial de Huaraz. • Residente de Obra en Municipalidad Distrital de Yungar. • Tecnico Especializado en Odebrecht. 	
Victor Cabezas Domínguez	Dolmen Constructora & Consultora SAC.	<ul style="list-style-type: none"> • Gerente general en Dolmen Constructora & Consultora SAC. • Ingeniero residente de Obra en Constructora & Consultora SAC. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniero Civil por la universidad San Luis Gonzaga de Ica.
Gustavo Llerena	Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas	<ul style="list-style-type: none"> • Supervisor de Provias Nacional • Gerente de Proyecto • Docente en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. • Residente de Obra • Consultor en Gestión y Dirección de Proyectos de Infraestructura 	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniero Civil por la Universidad Nacional de Ingeniería. • Magister en Gestión Vial en la Universidad de Piura. • Magister en Gestión Ambiental por la Universidad Nacional de Ingeniería
Luis Antonio Obeso Moncada	Gobierno regional Cajamarca	<ul style="list-style-type: none"> • Experiencia en gestión Pública. • Especialista en contrataciones con el estado. • Oficina de procesos de selección en el gobierno regional Cajamarca. 	<ul style="list-style-type: none"> • Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo • Magister en Gestión Pública por la Universidad Cesar Vallejo
Jorge Pérez Balcázar	Grupo Graña y Montero	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniero de Planeamiento en Graña y Montero. • Ingeniero de Planeamiento y Control en OBRAINSA. • Ingeniero asistente de control de proyectos en Grupo Graña y Montero. • Ingeniero Trainee en Grupo Graña y Montero. • Asistente de Costos y Presupuestos en ICC. • Supervisor de Campo en MyM Consultores SRL. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniero civil por la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas

		<ul style="list-style-type: none"> • Asistente de Costos en IESA S.A. 	
Oscar Rojas Alania	Corporación Mayo S.A.C.	<ul style="list-style-type: none"> • Gerente Vial en Corporación Mayo S.A.C. • Gerente de Mantenimiento Vial en Linea Amarilla S.A.C. • Jefe de Mantenimiento Vial en Operadora del Sur Perú. • Jefe de Mantenimiento Vial en Consorcio Constructor Tramo 4 • Gerente de oficina en corporación OHL S.A.C. • Supervisor técnico en Provías Nacional. • Jefe de infraestructura en PRODAPP. • Gerente Técnico ajunto en Coviperu concesiones. • Ingeniero Coordinador de contratos en HOB. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniero Civil por la Universidad Nacional Federico Villa Real. • Ingeniero Estructural por la Universidad Nacional de Ingeniería. • Diplomado de regulación de servicios públicos por la Pontificia Universidad Católica del Perú.

13.5 ANEXO 5: Expertos que validaron el procedimiento

Nombres y Apellidos	Organización	Experiencia	Formación
Gustavo Llerena	Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas	<ul style="list-style-type: none"> • Supervisor de Provias Nacional • Gerente de Proyecto • Docente en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. • Residente de Obra • Consultor en Gestión y Dirección de Proyectos de Infraestructura 	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniero Civil por la Universidad Nacional de Ingeniería. • Magister en Gestión Vial en la Universidad de Piura. • Magister en Gestión Ambiental por la Universidad Nacional de Ingeniería
Manuel Pajuelo	INTERSUR	<ul style="list-style-type: none"> • Gerente de Operaciones y mantenimiento vial en Intersur concesiones S.A. • Jefe de Proyectos. • Gerente general en Operador Logístico del Oriente S.R.L. • Jefe de Operaciones en Point support & service S.A.C. • Gerente de Operaciones en Inversiones Yurimaguas S.R.L. • Analista senior de planeamiento corporativo en Petroles el Perú S.A. 	<ul style="list-style-type: none"> • Magister en Gestión pública • Diplomatura en Dirección de Operaciones • Egresado de Ingeniería industrial en la UNI
Arturo Díaz	OBRAINSA	<ul style="list-style-type: none"> • Gerente de Proyecto en proyectos viales • Ingeniero de producción en proyectos viales • Ingeniero residente en proyectos viales 	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniero civil por la Universidad Nacional San Luis Gonzaga • Maestría en Gestión de Proyectos por la universidad Esan.
Oscar Rojas	Corporación Mayo	<ul style="list-style-type: none"> • Gerente Vial en Corporación Mayo. • Gerente Vial en Línea Amarilla SAC. • Jefe de Mantenimiento Vial en Operadora Sur Perú. 	<ul style="list-style-type: none"> • Magister de Ingeniería estructural en la UNI • Diplomado en Regulación de Servicios Públicos

Marina Galarreta	OHL Concesiones	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniera de control de proyectos en Autopista del Norte. • Ingeniera de control de proyectos en OHL concesiones. • Gestión de proyectos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniería Civil en la Pontificia Universidad Católica del Perú. • Especialización en gestión de proyectos.
Victor León Huayanca	Graña Montero y	<ul style="list-style-type: none"> • Gerente de proyectos de hoteles, edificios residenciales, edificios de oficinas, centros empresariales, supermercados, plantas industriales, retail, iglesias. 	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo de Gerentes de Proyectos en la UPAD • Maestría en Administración de negocios y gestión de empresas
Sofía Villagarcía	Graña Montero y	<ul style="list-style-type: none"> • Jefa de Oficina Técnica en proyectos de hospitales, edificios residenciales, oficinas 	<ul style="list-style-type: none"> • Magister en Construction Management en Universidad de Sao Paulo.
Alberto Shiroma	Graña Montero y	<ul style="list-style-type: none"> • Gerente de Proyecto en Ampliación INEN • Director de Proyecto en Morelco SAS • Jefe de desarrollo de nuevos negocios (Área infraestructura) 	<ul style="list-style-type: none"> • Gestión con liderazgo en INCAE Business School • Desarrollo de Gerentes de Proyectos en la Escuela de dirección de la Universidad de Piura.
Adrian Gutiérrez	Obras de Ingeniería S.A.	<ul style="list-style-type: none"> • Jefe de Planeamiento y Control en Construcción y mejoramiento carretera Matarani – Pta. Bombon • Responsable de Planeamiento y Mediciones Consorcio Gestiones Viales del Norte. 	<ul style="list-style-type: none"> • Project Management Professional del PMI • PM&B Consulting en Universidad de Piura • Ingeniero de la universidad Pontificia Universidad Católica del Perú
Wilber Cuba	Obras de Ingeniería S.A.	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniero de Planeamiento y Control e proyecto “Construcción de Puentes por reemplazo en la Zona Centro-Sur”. • Ingeniero de Planeamiento y Control en la Construcción del Hospital regional de Huánuco. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniero Civil de la universidad de Ingeniería • Diplomado en gestión de proyectos.

13.6 ANEXO 6: Cuestionario para validación de expertos

- Nombres y Apellidos:
- Labor que lleva a cabo:

1.- ¿Considera que el procedimiento es entendible y fácil de utilizar?

☐ Sí

☐ No

2.- ¿Considera mejorar algún aspecto del procedimiento?

☐ Sí

☐ No

3.- Si marcó Si en la pregunta (2), ¿qué aspecto recomendaría mejorar?

Si marco no, continúe a la pregunta 4

4.- ¿Considera que el procedimiento es aprovechable solo para proyectos de carreteras?

☐ Sí

☐ No

5.- Si marcó No ¿En que otro tipo de proyectos cree que es factible aplicarlo?

6.- ¿Usted cree que al utilizar el procedimiento en sus proyectos podría disminuir sus costos por reprocesos y re-trabajos al subcontratar?

☐ Sí

☐ No

7.- Si marcó Sí en la pregunta (6), ¿Qué beneficios cree que pueda tener?

13.7 ANEXO 7: “Procedimiento de selección de subcontratistas en proyectos de carreteras en el Perú mediante el análisis multicriterio”

AUTORES:

**CASANOVA VISE, FRANCO ENRIQUE
DIAZ MENDOZA, RENATO FABRICCIO**

ASESORA:

GONZALES DEL VALLE MORALES, MONICA YSABEL

Lima, 2020

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	4
AUDIENCIA OBJETIVO	4
OBJETIVO	5
JUSTIFICACIÓN	5
ALCANCE	5
PARTICIPANTES	6
1. FUNDAMENTO	7
1.1. MÉTODO AHP (PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO).....	7
1.2. MÉTODO PROMETHEE (MÉTODO DE ORGANIZACIÓN DE CLASIFICACIÓN DE PREFERENCIAS PARA LA EVALUACIÓN DE ENRIQUECIMIENTO).....	8
2. ESTRUCTURA.....	10
2.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS CRITERIOS DE SELECCIÓN MÁS IMPORTANTES Y SUS PESOS DE INCIDENCIA (APLICACIÓN DEL MÉTODO AHP)	10
2.2. EVALUACIÓN DE SUBCONTRATISTAS RESPECTO A LOS CRITERIOS DE EVALUACIÓN	10
2.3. ELABORACIÓN DE MATRIZ DE ÍNDICE DE PREFERENCIA	11
2.4. ELABORACIÓN DEL RANKING PARCIAL DE SUBCONTRATISTAS PROMETHEE I 11	
2.5. ELABORACIÓN DEL RANKING COMPLETO DE SUBCONTRATISTAS PROMETHEE II 11	
2.6. DIAGRAMA DE LA ESTRUCTURA.....	12
3. DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO.....	13
3.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS CRITERIOS DE SELECCIÓN MÁS IMPORTANTES Y SUS PESOS DE INCIDENCIA (APLICACIÓN DEL MÉTODO AHP).....	13
3.1.1. Elaboración de cuestionarios	13
3.1.2. Elaboración de matriz de comparación	15
3.1.3. Peso de los criterios de selección	17
3.1.4. Índice de consistencia.....	20
3.2. EVALUACIÓN DE SUBCONTRATISTAS RESPECTO A LOS CRITERIOS DE EVALUACIÓN	22

3.2.1.	Criterios de evaluación de subcontratistas	22
3.2.2.	Recopilación de información de los subcontratistas	23
3.2.3.	Elaboración de la matriz de evaluación	27
3.3.	ELABORACIÓN DE MATRIZ DE ÍNDICE DE PREFERENCIA	29
3.3.1.	Establecimiento de funciones de preferencia	29
3.3.2.	Formulación de la matriz de índices de preferencia	32
3.3.3.	Cálculo de flujos de superación.....	33
3.4.	ELABORACIÓN DEL RANKING PARCIAL DE SUBCONTRATISTAS PROMETHEE I	35
3.5.	ELABORACIÓN DEL RANKING COMPLETO DE SUBCONTRATISTAS PROMETHEE	
II		37

INTRODUCCIÓN

La guía titulada: “Procedimiento para seleccionar al subcontratista en proyectos de carreteras en el Perú”, es un documento elaborado con el objetivo de mejorar la selección de los subcontratistas orientada a la obtención de resultados que puedan beneficiar al proyecto y disminuir en su trabajo el riesgo de: sobrecostos, demoras, re trabajos.

Este detalla el procedimiento necesario para llevar a cabo una buena elección del subcontratista, utilizando criterios de selección preferentes y la metodología multicriterio para tomar la mejor decisión en los proyectos de carreteras del Perú.

Además, a través de la metodología se desea incorporar un lineamiento que evite cualquier tipo de selección cuyo procedimiento afecte a la moral y ética de la empresa.

Se presentó la Guía “Procedimiento de selección de subcontratistas en proyectos de carreteras en el Perú mediante el análisis multicriterio” a expertos, los cuales manifestaron su opinión respecto a la implementación de la metodología integral AHP y PROMETHEE para la selección de los subcontratistas, hallándola válida y aplicable en los proyectos.

“La subcontratación es un complemento del accionar del contratista y por ello son necesarios en actividades que no son el núcleo del negocio. Por otro lado, el subcontratista debe ser visto como los recursos organizados que tiene el contratista.”

AUDIENCIA OBJETIVO

El procedimiento está dirigido para el uso de las empresas que se dedican a la construcción de proyectos de carreteras en el Perú, que deseen subcontratar alguna de partida y aspiren lograr la satisfacción del cliente, reducir el riesgo de sobrecostos y evitar problemas que puedan ocasionar.

OBJETIVO

Desarrollar un procedimiento para la selección del subcontratista óptimo en proyectos de carreteras en el Perú evaluando características específicas de subcontratistas mediante el análisis multicriterio.

JUSTIFICACIÓN

A la fecha, la literatura de investigación no propone procedimientos para la selección de subcontratistas en proyectos de construcción de carreteras. El enfoque de la mayor parte de las investigaciones está centrado en la gestión de contrataciones del contratista y el control durante las distintas fases del proyecto con los subcontratistas. Esto causa decisiones subjetivas basadas en criterios tradicionales como el menor precio de oferta, las referencias u opiniones de conocidos; que pueden ocasionar sobre costo e insatisfacción de los clientes.

ALCANCE

Elaboración del ranking de subcontratistas para la partida que se desea subcontratar en un proyecto de carreteras en el Perú.

PARTICIPANTES

- Proyectos de Carreteras del Perú
- Ingenieros involucrados en el proyecto de carreteras.
- Contratista
- La Entidad
- El Cliente
- Subcontratistas postores de la partida a subcontratar en el proyecto de carreteras
- Método AHP (Proceso Analítico Jerárquico)
- Método PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation)
- Cuestionarios
- Entrevistas
- Hojas de cálculo de Microsoft Excel

1. FUNDAMENTO

1.1. MÉTODO AHP (PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO)

Esta herramienta, basada en matemáticas y psicología, fue propuesta por Tomas L. Saaty en 1980 y ha sido extensivamente estudiada y refinada, desde entonces. Es muy útil para solventar problemas complejos de toma de decisiones y ayudar al usuario a adoptar la solución más adecuada a través de una estructura jerárquica. Este método provee un marco de referencia racional y comprensivo para estructurar un problema de decisión, representar y cuantificar sus elementos, relacionar esos elementos a los objetivos generales, y evaluar alternativas de solución. Es usado alrededor del mundo en una amplia variedad de situaciones de decisión, en campos tales como gobierno, negocios, industria, salud y educación.

Figura 1. Estructura jerárquica general del método AHP. Recuperado de “Portfolio selection through hierarchies”, por Saaty, T, Rogers, P, Pell, R, 1988

Esta metodología descompone la estructuras compleja del problema en varios componentes, ordenándolos en una estructura jerárquica tal y como se muestra en la Figura 1, donde se obtienen valores numéricos para los juicios de preferencia y, finalmente los sintetiza para determinar qué variable tiene la mayor prioridad para el proceso específico.

AHP se basa en 3 principios, los cuales determinarán el proceso en general: La construcción de la jerarquía, el establecimiento de prioridades y la consistencia lógica. El primero es el proceso de agrupar los criterios y su descomposición interna de acuerdo con la importancia relativa de los elementos en cada nivel de la jerarquía.

El Establecimiento de prioridades se basa en ordenar los criterios en lo que requiere el proyecto para la tarea específica a desarrollar. Para ello, se necesita comparar los criterios entre ellos para poder observar las diferencias y obtener la preferencia de uno sobre otro.

La Consistencia lógica, evita la posibilidad del ordenamiento jerárquico para los elementos de forma racional. Debido a la ausencia de valores cuantitativos exactos para la escala cualitativa en la mente humana, está no está preparada para emitir juicios 100% consistentes, dando como resultado la preferencia sobre algún criterio que no resulte el más relevante.

Con la ayuda de este principio se les asignará la incidencia o peso a los criterios, evitando la preferencia humana hacia alguno. Gracias a estos procesos se determina la decisión final sobre los pesos de todos los criterios para determinar los más importantes que requiere la tarea a desarrollar dentro del proyecto.

1.2. MÉTODO PROMETHEE (Método de organización de clasificación de preferencias para la evaluación de enriquecimiento)

Este método multicriterio es muy utilizado para la toma de decisiones, para alternativas que ya se han clasificado previamente. Este método incluye el Método PROMETHEE I Y PROMETHEE II para poder obtener una clasificación completa de las alternativas y que resultan sencillas de aplicar. Para poder determinar el ranking parcial (PROMETHEE I) u ranking completo (PROMETHEE II) entre las diferentes alternativas se realiza el cálculo de la matriz de índices de preferencia. “Para poder calcular esta matriz es necesario conocer cuál es el criterio generalizado bajo el cual se evalúa cada uno de los criterios” Palomo (2012). Esto quiere decir, que se debe identificar el objetivo específico del caso de estudio a utilizar. Además, el método define las relaciones de dominancia de las alternativas con los criterios a través de la asignación de preferencia, indiferencia e incomparabilidad. Una alternativa es preferente frente a otra cuando es superior en todos los criterios que se evaluaron en ellas. Son incomparables cuando la alternativa A es

superior frente a la B en algún criterio y inferior en otro criterio; y son indiferentes si las alternativas no son superadas respecto a los criterios ninguna de la otra. El método tiene como objetivo reducir las alternativas denominadas como incomparables, ya que para poder diferenciarlas es necesario agregar información adicional, lo cual genera que ocurran suposiciones, Arroyo, Tommelein, & Ballard (2014)

Por otro lado, se debe asignar flujos de relevancia que pueden ser negativos o positivos. Esto se realiza con la finalidad de obtener la dominancia y debilidad que presenta una alternativa frente a las demás.

La información necesaria para el método PROMETHEE son los denominados pesos relativos de cada criterio. Estos son números no negativos y adimensionales y se obtienen a través de un método multicriterio.

2. ESTRUCTURA

La estructura del procedimiento para la selección de subcontratistas en proyectos de carreteras es la siguiente:

2.1. Identificación de los criterios de selección más importantes y sus pesos de incidencia (Aplicación del Método AHP)

En primer lugar, se elaboran los cuestionarios para reconocer la importancia relativa entre los 8 criterios de selección más importantes y posteriormente es aplicado a los expertos.

En segundo lugar, se procesa la información obtenida de los cuestionarios mediante una matriz de comparación, obteniendo así la matriz de comparación de pares “A”

En tercer lugar, se calculan los valores del vector de pesos de criterios promediando cada fila de la matriz “A”. Este vector representa la incidencia o importancia de cada criterio para seleccionar el subcontratista

En cuarto lugar, para corroborar que el cálculo de pesos de criterios sea válido, se debe calcular el índice de consistencia.

2.2. Evaluación de subcontratistas respecto a los criterios de evaluación

En primer lugar, se identifican los subcontratistas postores y se precisan para los criterios de selección con parámetros de dimensión, unidades de medida, posibles instrumentos de investigación e indicando si son cuantitativos o cualitativos.

En segundo lugar, se debe recolectar información sobre los criterios mediante encuestas o cuestionarios a la empresa contratista, registros históricos e información validada.

En tercer lugar, los resultados obtenidos de la evaluación se deben sintetizar en una matriz de evaluación y se determinan los criterios de maximización y minimización

2.3. Elaboración de matriz de índice de preferencia

En primer lugar, se establecen las funciones de preferencia para los criterios con la finalidad de establecer que subcontratista es preferente frente a otro en cada criterio de selección.

En segundo lugar, una vez calculadas las funciones de preferencia, se procede con la formulación de la matriz de índices de preferencia agregada

En tercer lugar, se procede con el cálculo de los flujos de superación positivos y negativos para cada subcontratista.

2.4. Elaboración del ranking parcial de subcontratistas PROMETHEE I

En sexto lugar, luego de obtenidos los flujos negativos y positivos, se debe proceder a la comparación de flujos para la elaboración de la matriz de comparación de flujos PROMETHEE I.

2.5. Elaboración del ranking completo de subcontratistas PROMETHEE II

En séptimo lugar, para la obtención del ranking completo de los subcontratistas, se procede a aplicar la metodología PROMETHEE II. Para ello, se debe calcular el flujo neto.

2.6. Diagrama de la estructura

Figura 2: Flujograma del procedimiento para seleccionar al subcontratista óptimo para el proyecto. Por: Elaboración propia, 2018

3. DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO

3.1. Identificación de los criterios de selección más importantes y sus pesos de incidencia (aplicación del método AHP)

Para realizar la metodología AHP y calcular los índices de cada criterio, es indispensable en primer lugar determinar cuáles son los criterios de selección más relevantes para el proyecto a realizar. Por otro lado, el autor Thomas L. Saaty (1995) recomienda solo utilizar 8 criterios de selección o menor para que no ocurra una inconsistencia lógica mayor al 10%, lo que haría invalida la comparación.

3.1.1. Elaboración de cuestionarios

Luego de identificar los 8 criterios de selección más importantes que se utilizarán para seleccionar al subcontratista en el proyecto, se procede a aplicar un cuestionario que ayudará a reconocer la importancia relativa entre los criterios de selección. Esta se recomienda aplicar a expertos en temas de subcontratación o que intervengan en los procesos de selección. La ecuación para determinar las comparaciones necesarias para el cuestionario es la siguiente:

$$\frac{m * (m - 1)}{2}$$

En donde: m = número de criterios de selección

Al aplicar la ecuación utilizando 8 criterios de selección esta resulta ser de 28 comparaciones como se puede observar.

$$\frac{8 * 8 - 8}{2} = 28$$

Después, se procede a formular las comparaciones para el cuestionario con los criterios seleccionados, como se puede apreciar en la Tabla 1.

Tabla 1:

Comparación de criterios de selección

Criterio (a)	vs	Criterio (b)
Criterio 1	vs	Criterio 2

Nota: Elaboración propia, 2018

El cuestionario se debe elaborar con respuestas cerradas de selección múltiple, donde los expertos participantes brinden una importancia relativa entre los criterios comparados. Las opciones recomendadas para el cuestionario según la literatura de investigación y su valor numérico se presentan en la Tabla 2. También, se debe asignar una codificación de las opciones de comparación para el cálculo posterior de incidencia con el objetivo de hallar la opción promedio y finalmente el valor de cada criterio. Dicha codificación debe tener un mismo intervalo entre opciones de comparación para ser aplicable en la ponderación. Se pueden adoptar distintas opciones de comparación, valores intermedios según el tipo de medición a aplicar por los expertos. Un ejemplo de las opciones, el valor numérico, y la codificación numérica según la literatura, se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2:

Ejemplo de opciones de comparación entre criterios de selección

Opciones de comparación	Valor Numérico	Codificación
(a) y (b) son equivalentes	1	1
(a) es ligeramente mejor que (b)	3	2
(a) es ciertamente mejor que (b)	5	3
(a) es considerablemente mejor que (b)	7	4
(a) es absolutamente mejor que (b)	9	5

Nota: Elaboración propia, 2018

Una vez determinadas las comparaciones y las opciones para definir la importancia relativa entre criterios, se sintetiza las preguntas en el cuestionario. Acto seguido, se debe aplicar los cuestionarios a los expertos del proyecto.

3.1.2. Elaboración de matriz de comparación

Una vez finalizada la aplicación de los cuestionarios, se procesa la información y se contabilizan los resultados del total de comparaciones realizadas de acuerdo con las preferencias de comparación de los expertos. Este proceso se puede realizar como se aprecia en la Tabla 3.

Tabla 3:

Recuento de encuestas de criterios de selección.

Criterio (a)	vs	Criterio (b)	7	6	5	4	3	2	1	Promedio
Criterio 1	vs	Criterio 2	10	7	4	8	2	1	0	5
Criterio 1	vs	Criterio 3								
Criterio 1	vs	Criterio 4								
Criterio 1	vs	Criterio 5								
Criterio 1	vs	Criterio 6								
Criterio 1	vs	Criterio 7								
Criterio 1	vs	Criterio 8								

Nota: Elaboración propia, 2018

Después, se procede a calcular el promedio por filas para sintetizar y hallar la opción elegida por los expertos para cada comparación de criterios, la importancia relativa entre criterios. Esto es posible gracias al valor numérico asignado en la Tabla 2. La primera fila de comparación se calculó multiplicando la codificación de cada fila con la cantidad de votos de cada comparación respecto a la fila entre el total de respuestas obtenidas por los encuestados. La ecuación es la siguiente:

$$\frac{A(7) + B(6) + C(5) + D(4) + E(3) + F(2) + G(1)}{m}$$

En donde:

m: Total de encuestados

A: Total de respuestas A en la comparación

B: Total de respuestas B en la comparación

C: Total de respuestas C en la comparación

D: Total de respuestas D en la comparación

E: Total de respuestas E en la comparación

F: Total de respuestas F en la comparación

G: Total de respuestas G en la comparación

Para el ejemplo, el promedio de la primera comparación se realiza con el cálculo de la siguiente operación:

$$\frac{10(7) + 7(6) + 4(5) + 8(4) + 2(3) + 1(2) + 0(1)}{32} = 5$$

De igual modo, se calcularán la cantidad de promedios de las comparaciones restantes, obteniendo como resultado la columna de Promedio, cuyos valores deben estar aproximados a la unidad, con el objetivo de facilitar la decodificación al valor numérico establecido en la Tabla 2. Mediante la relación establecida en dicha tabla, se decodifica cada promedio con su respectivo valor numérico.

Tabla 4:

Decodificación de comparaciones al Valor numérico

			Valores Numéricos								
			7.00	5.00	3.00	1.00	0.33	0.20	0.14		
			Codificación								
Criterio (a)	vs	Criterio (b)	7	6	5	4	3	2	1	Promedio	Valor
Criterio 1	vs	Criterio 2	10	7	4	8	2	1	0	5	3.00
Criterio 1	vs	Criterio 3									
Criterio 1	vs	Criterio 4									
Criterio 1	vs	Criterio 5									
Criterio 1	vs	Criterio 6									
Criterio 1	vs	Criterio 7									
Criterio 1	vs	Criterio 8									

Nota: Elaboración propia, 2018

A continuación, se procede a elaborar la matriz de comparación de pares o llamada matriz “A” para el ejemplo. En dicha matriz se comparan los criterios que se hayan seleccionado con los valores de importancia relativa identificados previamente.

La diagonal de dicha matriz estará conformada por el valor 1 debido a que todas las comparaciones de la diagonal de la matriz son enfrentamientos de criterios iguales.

Los valores de la matriz sobre la diagonal están determinados por los valores numéricos de la comparación de criterios definidas con el resultado de las encuestas realizadas, en donde, para el ejemplo son los que se pueden observar en la Tabla 4. Por otro lado, los valores ubicados en la zona inferior a la diagonal serán la inversa de los valores sobre la diagonal, esto debido a que se tratan de comparaciones inversas a las previamente halladas. En el ejemplo mostrado, la comparación del criterio 1 con 2 es de un valor numérico de 3, lo que significa que al comparar el criterio 2 con 1 se obtendrá un valor numérico de $1/3$, es decir, 0.33. Este ejemplo de la matriz “A” se aprecia en la Tabla 5.

Tabla 5:

Matriz “A”, comparación de pares.

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1.0	3.0						
2	0.3	1.0						
3			1.0					
4				1.0				
5					1.0			
6						1.0		
7							1.0	
8								1.0

Nota: Elaboración propia, 2018

3.1.3. Peso de los criterios de selección

Para el cálculo de la Matriz normalizada o Anorm se suma las columnas de los valores numéricos de la matriz de comparación de pares o para el ejemplo Matriz “A” como se observa en la Tabla 6.

Tabla 6:

Suma de valores de la Matriz A.

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1.0							
2	0.3	1.0						
3	1.0		1.0					
4	0.3			1.0				
5	1.0				1.0			
6	3.0					1.0		
7	0.3						1.0	
8	1.0							1.0
SUMA	8.0							

Nota: Elaboración propia, 2018

$$1 + 0.3 + 1 + 0.3 + 1 + 3 + 0.3 + 1 = 8$$

A continuación, se debe calcular los valores de la matriz Anorm. En esta matriz se divide cada valor de la matriz de comparación de pares con la suma de su columna respectiva detallada en la Tabla 6. La matriz Anorm del ejemplo está expuesta en la Tabla 7.

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1.0							
2	0.3	1.0						
3	1.0		1.0					
4	0.3			1.0				
5	1.0				1.0			
6	3.0					1.0		
7	0.3						1.0	
8	1.0							1.0
SUMA	8.0							

$$\frac{1}{8} = 0.1$$

Tabla 7:

Matriz Anorm, matriz de comparación normalizada.

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.1							
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								

Nota: Elaboración propia, 2018

El vector de pesos de los criterios se halla calculando el promedio de cada fila de la Matriz Anorm. Este vector representa la incidencia o importancia de cada criterio para seleccionar el subcontratista. De igual modo, la suma del vector de pesos debe ser igual a la unidad. En la tabla 8 se puede observar el peso de cada criterio para el ejemplo y la igualdad del vector a la unidad.

Tabla 8:

Promedio de pesos de los criterios.

	1	2	3	4	5	6	7	8	Promedio
1	0.1	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.15
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									

Nota: Elaboración propia, 2018

$$\frac{0.1 + 0.3 + 0.2 + 0.2 + 0.1 + 0.1 + 0.2 + 0.1}{8} = 0.15$$

3.1.4. Índice de consistencia

Para ello, primero se debe realizar el cálculo de la matriz “Nmax”. Este se obtiene multiplicando la Matriz de comparación de pares (Tabla 5) x el vector de pesos de criterios (Tabla 8). Al multiplicar se obtendrá una matriz de 8 x 1. A continuación, se puede observar el cálculo de la matriz “Nmax” de la aplicación del ejemplo:

Matriz A x Vector pesos de criterios = Matriz Nmax

	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	1.0	3.0							%C1
2	0.3	1.0							%C2
3			1.0						%C3
4				1.0					%C4
5					1.0				%C5
6						1.0			%C6
7							1.0		%C7
8								1.0	%C8

Nota: Elaboración propia, 2018

Luego se suman los valores de esta matriz para obtener el λ_{max} .

$$A + B + C + D + E + F + G + H = \lambda_{max}$$

Después, para calcular el índice de consistencia se resta el $\lambda_{\max}$ con el número de criterios utilizados para la metodología y se divide entre el número de criterios menos uno. Para el ejemplo, la operación para calcular el índice de consistencia donde la cantidad de criterios es 8, es la siguiente:

$$\frac{\lambda_{\max} - 8}{8 - 1} = \text{Índice de consistencia}$$

Para calcular el índice de aleatoriedad se observa la Tabla 9, elaborada por Thomas Saaty para valores del tamaño de matriz $m < 11$.

Tabla 9

Valores del índice de aleatoriedad

m	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.51

Para el ejemplo, donde la cantidad de criterios es 8, el valor es de 1.41. Finalmente, se divide el índice de consistencia entre la consistencia aleatoria para obtener la razón de consistencia. Para el ejemplo:

$$\frac{\text{Índice de consistencia}}{1.41} = \text{Razón de consistencia}$$

Para la comprobación de la consistencia, esta debe ser menor al 10% para matrices 4x4 o superior para ser considerada una comparación lógica.

3.2. Evaluación de subcontratistas respecto a los criterios de evaluación

En segundo lugar, es necesario identificar los subcontratistas que formarán parte del proceso de selección. Cabe resaltar que, en proyectos públicos, licitados con el Estado, los subcontratistas deben estar inscritos y habilitados en el Registro Nacional de Proveedores. Asimismo, la subcontratación a realizarse debe ser menor al 40% del trabajo total y no pueden ser prestaciones esenciales que determinaron la selección del contratista.

3.2.1. Criterios de evaluación de subcontratistas

Previo a la realización del procedimiento, se aplicó el juicio de expertos para determinar los 8 criterios más relevantes para el proceso de selección de subcontratistas en proyectos de carreteras y se obtuvieron los siguientes:

1. Experiencia en trabajos similares
2. Adecuación de recursos (cantidad de maquinarias, personal clave...)
3. Rendimiento de seguridad
4. Relación que posee contratista con el subcontratista
5. Reputación e imagen del subcontratista
6. Calidad de sus trabajos realizados
7. Precio de oferta
8. Posibilidad de completar el trabajo a tiempo

Estas serán utilizadas para evaluar a los subcontratistas postores del proyecto.

Asimismo, luego de aplicar el método AHP (Proceso Analítico Jerárquico) se calculó la incidencia de cada criterio durante el proceso de selección con la colaboración del juicio experto, esta se expone en la Tabla 10.

Tabla 10:

Criterios de selección y sus pesos.

Criterio	Peso
Experiencia en trabajos similares	0.15
Adecuacion de recursos	0.10
Rendimiento de seguridad	0.19
Relacion que posee contratista con subcontratista	0.06
Reputacion e imagen del subcontratista	0.07
Calidad de sus trabajos realizados	0.24
Precio de oferta	0.05
Posibilidad de completar el trabajo a tiempo	0.13

Nota: Elaboración propia, 2018

El proceso y evaluación para determinar nuevos criterios e incidencias para la empresa se adjuntan en el apartado 3.1, en caso la empresa decida realizar la evaluación según el juicio experto de los profesionales con los que laboran, enfocados en las necesidades y capacidades específicas de esta.

3.2.2. Recopilación de información de los subcontratistas

En segundo lugar, es necesario obtener información de los subcontratistas respecto a cada criterio con la finalidad de evaluarlos para el procedimiento. En la Tabla 11, se presentan los criterios de selección con parámetros de dimensión, unidades de medida, posibles instrumentos de investigación e indicando si pertenecen a criterios cualitativos o cuantitativos.

Tabla 11:

Clasificación de criterios cualitativos y cuantitativos

Criterio	Tipo	Dimensión	Unidad de medida	Instrumento de investigación
Experiencia en trabajos similares	Cuantitativo	Cantidad de trabajos de magnitud similar	Cantidad de trabajos	Base de datos del contratista, subcontratista, OSCE
Adecuación de recursos	Cuantitativo	Unidades	Cantidad de recursos	Base de datos del contratista brindada por el subcontratista
Rendimiento de seguridad	Cuantitativo	Unidades	Cantidad de incidencias	Encuesta al contratista, registro de datos históricos
Relación con el contratista principal	Cualitativo	Excelente, Bueno, Regular, Malo, Muy Malo	Confianza brindada por el contratista	Encuesta al contratista
Reputación e imagen de la empresa subcontratista	Cualitativo	Excelente, Bueno, Regular, Malo, Muy Malo	Reputación adquirida por trabajos realizados	Encuesta al contratista
Calidad del trabajo realizado	Cualitativo	Excelente, Bueno, Regular, Malo, Muy Malo	Satisfacción del cliente (Supervisión)	Encuesta al contratista
Precio de Oferta	Cuantitativo	Cotización	Soles o Dólares	Cotización de la oferta del subcontratista brindada a el contratista
Capacidad de completar el trabajo a tiempo	Cuantitativo	Cantidad de trabajos cumplidos según el cronograma	Cantidad de trabajos	Registros históricos, encuesta al contratista

Nota: Elaboración Propia, 2018

Por ejemplo, dentro de la cotización provista al contratista por parte de cada subcontratista se identificará el precio de oferta. Por otro lado, se solicitará al subcontratista anexas dentro de la propuesta, la experiencia previa en trabajos similares medida en unidad de

trabajo. Un factor importante a tomar en cuenta durante la evaluación de la empresa empleadora, son las referencias y experiencia de esta en trabajos similares al cual postulan.

Se debe realizar una encuesta para recolectar información sobre los criterios que puedan calificarse por este medio a los miembros del proyecto encargados de la subcontratación, ya que poseen mayor información sobre los subcontratistas. Según la clasificación de criterios realizada, los posibles criterios a evaluar por este medio son los siguientes:

- La calidad de trabajos realizados
- Relación que posee contratista con el subcontratista
- Reputación e imagen del subcontratista
- Posibilidad de completar el trabajo a tiempo
- Rendimiento de seguridad
- Experiencia en trabajos similares

Así mismo, los criterios de la calidad de trabajos realizados, posibilidad de completar el trabajo a tiempo, rendimiento de seguridad y experiencia deben complementarse con la información de los registros históricos y documentos del subcontratista. De esta forma, se corrobora las respuestas con la similaridad de respuestas y registros.

Los criterios considerados cualitativos serán evaluados por percepción del subcontratista, por medio de su impresión obtenida en cuanto a experiencias con el subcontratista en trabajos previos o comentarios de personas de confianza que hayan trabajado con ellos.

El tipo de preguntas que poseerá la encuesta serán de caracteres cerrados y abiertos en las cuales el encuestado tendrá la posibilidad de brindar su opinión al respecto sobre los subcontratistas.

Los criterios cualitativos: Relación que posee contratista con el subcontratista, reputación e imagen del subcontratista, y calidad de sus trabajos realizados se deben medir en una escala cualitativa, la cual es presentada en la Tabla 12.

Tabla 12:

Escala cualitativa

Valor Cualitativo	Valor Numérico
Excelente	5
Bueno	4
Regular	3
Malo	2
Muy malo	1

Nota: Elaboración Propia, 2018

La evaluación obtenida de los subcontratistas respecto a los criterios cualitativos se debe sintetizar en una matriz como la expuesta en la Tabla 13.

Tabla 13:

Evaluación de subcontratistas según criterios cualitativos

	Relación que posee contratista con el subcontratista	Reputación e imagen del subcontratista	Calidad de sus trabajos realizados
SC1	Bueno (4)	Regular	Excelente
SC2	Bueno (4)		
SC3			
SC4			

Para la evaluación de los subcontratistas según los criterios cuantitativos, se utilizan las herramientas de investigación identificadas en la Tabla 11 y los cuestionarios. La experiencia en trabajos similares, medida por la unidad de trabajo abastecido en el proyecto, se identifica con ayuda de cuestionarios y documentos que posean. Por otro lado, la adecuación de recursos, cuantificado según el personal clave, se determina de igual modo por documentos que posean y del subcontratista. También, el rendimiento de

seguridad, definido por la cantidad de incidentes en los últimos 3 proyectos que hayan realizado se obtiene por documentos del subcontratista. De igual modo, el precio de oferta se identifica en la cotización brindada por el subcontratista. Finalmente, la posibilidad de completar el trabajo a tiempo, que consiste en la cantidad de trabajos culminados dentro del tiempo establecido, se reconoce por medio de los registros históricos que se posea del subcontratista.

Los resultados obtenidos de la evaluación se deben sintetizar en una matriz de evaluación como la expuesta en la Tabla 14 a continuación.

Tabla 14:

Evaluación de subcontratistas según criterios cuantitativos

Subcontratista	Experiencia en trabajos similares	Adecuación de recursos	Rendimiento de seguridad	Precio de oferta	Posibilidad de completar el trabajo a tiempo
SC1	301				
SC2	421				
SC3					
SC4					

Nota: Elaboración propia, 2018

3.2.3. Elaboración de la matriz de evaluación

En tercer lugar, se procede con la elaboración de la matriz de evaluación, la cual se obtiene mediante la síntesis de las Tablas 13 y 14. Adicionalmente, se determinó los criterios de maximización y minimización, es decir aquellos criterios en cuya evaluación se prefieren valores mayores o menores para la selección. A continuación, se exponen la matriz de evaluación en la Tabla 15.

Tabla 15:

Matriz de Evaluación para el Proyecto 1

Criterio	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Unidad	km	#	#	Escala	Escala	Escala	S/	#
Min/Max	Max	Max	Min	Max	Max	Max	Min	Max
Peso	0.15	0.11	0.19	0.06	0.07	0.24	0.05	0.13
SC1	301							
SC2	421							
SC3								
SC4								

Nota: Elaboración propia, 2018

A partir de la matriz de evaluación se debe proceder el cálculo de la matriz de diferencias para cada criterio entre los subcontratistas a comparar. Para calcular dichas matrices, se restaron las evaluaciones de los subcontratistas respecto a cada criterio entre sí, y se obtienen los valores de diferencia entre evaluaciones de los subcontratistas concursantes. En la Tabla 16 se expone un ejemplo de estas matrices.

Tabla 16:

Matrices de diferencias de criterios entre subcontratistas en el Criterio 1 del Proyecto

Matriz de diferencias para C1 en el Proyecto

C1	SC1	SC2	SC3	SC4
SC1	0	SC1-SC2	SC1-SC3	SC1-SC4
SC2	120	SC2-SC2	SC2-SC3	SC2-SC4
SC3	SC3-SC1	SC3-SC2	SC3-SC3	SC3-SC4
SC4	SC4-SC1	SC4-SC2	SC4-SC3	SC4-SC4

Nota: Elaboración propia, 2018

$$421 - 301 = 120$$

d

La matriz de diferencias se debe calcular para cada uno de los criterios de selección, siguiendo el mismo procedimiento, restando las evaluaciones de los subcontratistas en cada criterio para obtener el valor “d” utilizado en el cálculo de la preferencia.

3.3. Elaboración de matriz de índice de preferencia

En cuarto lugar, de forma posterior a la elaboración de Matrices de Evaluación, se determinan las funciones de preferencia para los criterios con la finalidad de establecer que subcontratista es preferente frente a otro en cada criterio de selección. Esta decisión se da según las dimensiones y unidades de los criterios.

3.3.1. Establecimiento de funciones de preferencia

En la Tabla 17 se observan las funciones de preferencia para cada criterio según la literatura de investigación y el juicio de expertos.

Tabla 17:

Funciones de preferencia de los criterios de selección.

Abreviatura	Criterio	Función
C1	Experiencia en trabajos similares	V-Shape Indiferencia
C2	Adecuación de recursos	V-Shape Normal
C3	Rendimiento de seguridad	Lineal
C4	Relación que posee contratista con subcontratista	Level
C5	Reputación e imagen del subcontratista	Level
C6	Calidad de sus trabajos realizados	Level
C7	Precio de oferta	V-Shape Indiferencia
C8	Posibilidad de completar el trabajo a tiempo	V-Shape Normal

Nota: Elaboración propia, 2018

En la Tabla 18, se relacionan los criterios con las funciones de preferencia que reflejan el comportamiento de la evaluación del criterio. Asimismo, se deben asignar los valores de q y p para cada función de preferencia. Estos representan los límites de evaluación tal y como se muestra en la Figura 2.

Tabla 18:

Valores q y p para los criterios de selección

Criterio	q	p
Experiencia en trabajos similares	50	150
Adecuacion de recursos	0	2
Rendimiento de seguridad	-	-
Relacion que posee contratista con subcontratista	1	2
Reputacion e imagen del subcontratista	0	1
Calidad de sus trabajos realizados	0	1
Precio de oferta	18000	69000
Posibilidad de completar el trabajo a tiempo	0	2

Nota: Elaboración propia, 2018

Figura 2: Funciones de preferencia para criterios. Adaptado de Polat, G (2014)

En el caso del C1 y C7, se consideró el uso de la función V-Shape con Indiferencia debido a que el juicio experto consideró parcialmente preferente a un subcontratista sobre otro cuando la oferta era superada en un 3% del costo promedio del proyecto (valor q) y totalmente preferente cuando la oferta superaba un 10% del costo promedio (valor p) Polat (2014). El mismo caso se repite en el ámbito de la experiencia pues se consideró que a partir de los 50 km abastecidos, aproximadamente 2 proyectos, se consideraba una

alternativa parcialmente preferente y al superar en 150 km a los demás subcontratistas, era totalmente preferente en ese criterio.

Los criterios C2 y C8 fueron evaluados bajo la función V-Shape Normal porque no se evaluó una preferencia parcial, se consideró una preferencia del subcontratista frente a otro cuando la diferencia de las evaluaciones superaba las 2 unidades o proyectos.

Para el C3 se realizó la comparación con una función tipo Lineal, esto debido a que se estimó preferente al subcontratista que tuviese menos incidentes respecto a otro, considerando la unidad, a diferencia de otras funciones que poseen hitos de evaluación (p,q).

En el caso de C4, C5 y C6, se evaluó la preferencia con una función Level (Nivel). Al tratarse de una evaluación bajo la escala cualitativa expuesta en la Tabla 12, la preferencia fue establecida parcial cuando la diferencia de evaluaciones sea mayor a la unidad, y completa, en caso sea superior en 2 unidades.

Se debe sintetizar la información y elaborar las matrices de preferencia tal y como se expone en la Tabla 19. Los valores de dichas matrices, que fluctúan entre 0 y la unidad, reflejan que tan preferente es un subcontratista frente a otro en un determinado criterio de evaluación.

Por ejemplo, para calcular la preferencia relativa entre el subcontratista 2 y el subcontratista 1 en el Criterio 1, se utiliza una función V-Shape Indiferencia, referenciada en la Figura 2. Al graficarla con los valores p y q establecidos en la Tabla 18 y el valor de d, según la Tabla 16, se obtiene la Figura 3

Figura 3: Función de preferencia con los valores p y q del subcontratista 2 respecto al subcontratista 1 en el Criterio 1. Por: Elaboración propia, 2018.

Al aplicar la ecuación correspondiente a la función V-Shape indiferencia, referenciado en la Figura 2. Esto con la finalidad de calcular los valores de la matriz de comparacion para criterios.

3.3.2. Formulación de la matriz de índices de preferencia

Tabla 19:

Matriz de preferencia del Criterio 1 para el Proyecto.

Matriz de comparacion para C1 en el Proyecto (V-Shape Indiferencia q=50 p=150)

C1	SC1	SC2	SC3	SC4
SC1				
SC2	0.7			
SC3				
SC4				

Nota: Elaboración propia, 2018

$$P(d) = \frac{120 - 50}{150 - 120} = 0.7$$

La matriz de preferencia se debe calcular para cada uno de los criterios de selección, siguiendo el mismo procedimiento, evaluando los valores p y q en la función respectiva según la Tabla 18, y aplicando la ecuación de P (d) que corresponde a la función para cada criterio.

3.3.3. Cálculo de flujos de superación

En quinto lugar, una vez calculadas las matrices de preferencia, se debe proceder con la formulación de la matriz de índices de Preferencia Agregada. Los valores se calculan multiplicando las preferencias de cada subcontratista por el peso de cada criterio respectivo. Por ejemplo, el índice de preferencia del SC2 respecto al SC1 se calcula con la siguiente expresión matemática:

Tabla 20:

Matriz de índices de preferencia agregada del Proyecto

	SC1	SC2	SC3	SC4
SC1				
SC2	0.261			
SC3				
SC4				

Nota: Elaboración propia, 2018

$$(0.7 * 0.15) + (0.5 * 0.1) + (0 * 0.19) + (0 * 0.06) + (0.5 * 0.07) + (0 * 0.24) + (0.13 * 0.05) + (0.5 * 0.13) = 0.261$$

Acto seguido, se calcularán los flujos de superación positivos y negativos. Para ello, se deben sumar las filas y columnas de las matrices de preferencia agregada.

Tabla 21:

Sumatoria de índices de preferencia del Proyecto.

	SC1	SC2	SC3	SC4	$\sum \pi(A_i, A_k)$
SC1	0.000	0.190	0.271	0.230	0.691
SC2	0.261				
SC3	0.122				
SC4	0.571				
$\sum \pi(A_k, A_i)$	0.954				

Nota: Elaboración propia, 2018

$$0 + 0.190 + 0.271 + 0.230 = 0.691$$

$$0 + 0.261 + 0.122 + 0.571 = 0.954$$

Una vez obtenidas las sumatorias de los índices de preferencia de las filas y columnas, aplicando las siguientes ecuaciones, se calcularon los flujos de superación positivos y negativos para cada subcontratista según la Ecuación 1:

Ecuación 1: Flujo de relevancia positivo y negativo

$$\varphi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(Ai, Ak)$$

$$\varphi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(Ak, Ai)$$

Donde:

$\varphi^+(a)$ = Flujo de relevancia positivo

$\varphi^-(a)$ = Flujo de relevancia negativo

$\pi(Ai, Ak)$ = Grado de preferencia de i frente al resto de alternativas

n = Número de alternativas del problema

	SC1	SC2	SC3	SC4	$\sum \pi(A_i, A_k)$
SC1	0.000	0.190	0.271	0.230	0.691
SC2	0.261				
SC3	0.122				
SC4	0.571				
$\sum \pi(A_k, A_i)$	0.954				

$$\frac{1}{4-1} * 0.691 = 0.230$$

$$\frac{1}{4-1} * 0.954 = 0.318$$

Tabla 22:

Flujos de superación del Proyecto

	$\phi^+(A_i)$	$\phi^-(A_i)$
SC1	0.230189485	0.318052973
SC2	0.278094962	0.345419834
SC3	0.215906683	0.359923558
SC4	0.52878946	0.229584224

Nota: Elaboración propia, 2018

3.4. Elaboración del ranking parcial de subcontratistas PROMETHEE I

En sexto lugar, luego de obtenidos los flujos negativos y positivos, se debe proceder a la comparación de flujos según la Figura 4.

$$\begin{aligned}
 aP^I b &\Leftrightarrow \begin{cases} \phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ y } \phi^-(a) < \phi^-(b), \text{ o} \\ \phi^+(a) = \phi^+(b) \text{ y } \phi^-(a) < \phi^-(b), \text{ o} \\ \phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ y } \phi^-(a) = \phi^-(b) \end{cases} \\
 aI^I b &\Leftrightarrow \phi^+(a) = \phi^+(b) \text{ y } \phi^-(a) = \phi^-(b) \\
 aR^I b &\Leftrightarrow \begin{cases} \phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ y } \phi^-(a) > \phi^-(b), \text{ o} \\ \phi^+(a) < \phi^+(b) \text{ y } \phi^-(a) > \phi^-(b) \end{cases}
 \end{aligned}$$

Figura 4: Clasificación PROMETHEE. Por Brans, J.P (1985)

Dicha comparación se utiliza para la elaboración de la matriz de comparación de flujos PROMETHEE I. En ella se presenta la Preferencia positiva o negativa (P/-P), Indiferencia (I) e Incomparabilidad (R), de los subcontratistas evaluados. Por ejemplo, para comparar los flujos del subcontratista 2 respecto al subcontratista 1, se observa que los flujos positivo y negativo del subcontratista 2 son mayores a los flujos del subcontratista 1, cumpliendo la comparación de Incomparabilidad (R) expuesta en la Figura 4.

	$\phi+(A_i)$	$\phi-(A_i)$
SC1	0.230	0.318
SC2	0.278	0.345

$0.278 > 0.230$, $0.345 > 0.318$. Se cumple las condiciones de Incomparabilidad (R).

Tabla 23:

Matriz de comparación de flujos para el Proyecto

	SC1	SC2	SC3	SC4
SC1	=			
SC2	R			
SC3				
SC4				

Nota: Elaboración propia, 2018

El ranking parcial de los subcontratistas es determinado con la metodología PROMETHEE I, en función a las comparaciones de flujos positivos y negativos. Cuanto mayor sea el flujo positivo y menor el flujo negativo, más adecuada es la alternativa para el problema. A partir de la matriz de comparación de flujos se puede establecer una jerarquía en la que se expone gráficamente la preferencia parcial entre los subcontratistas, donde aquellos más preferentes se encuentran en el margen izquierdo, mientras que los menos preferentes, del margen derecho; asimismo, aquellos incomparables se sitúan en un mismo eje. Dicha jerarquía gráfica se expone en la Figura 5.

Figura 5: Ranking parcial de subcontratistas en el Proyecto. Por: Elaboración propia, 2018

3.5. Elaboración del ranking completo de subcontratistas PROMETHEE II

Finalmente, para la obtención del ranking completo de los subcontratistas, se procede a aplicar la metodología PROMETHEE II. Para ello, se debe calcular el flujo neto según la Ecuación.

Ecuacion 1: Flujo neto de relevancia

$$\varphi(a) = \varphi^+(a) - \varphi^-(a)$$

Donde:

$\varphi(a)$ = Flujo neto de relevancia

$\varphi^+(a)$ = Flujo de relevancia positivo

$\varphi^-(a)$ = Flujo de relevancia negativo

Este flujo representa la preferencia absoluta entre los subcontratistas, la alternativa con el mayor flujo neto es la más apropiada para el problema. Con PROMETHEE II se obtiene el siguiente ranking completo para el proyecto:

	$\phi+(Ai)$	$\phi-(Ai)$
SC1		
SC2		
SC3		
SC4	0.529	0.230

$0.529 - 0.230 = 0.299$

Tabla 24:

Ranking completo de subcontratistas para el Proyecto

	RANKING	Flujo neto:
SC4		0.299
SC2		
SC1		
SC3		

Nota: Elaboración propia, 2018

Se presentó la Guía “Procedimiento de selección de subcontratistas en proyectos de carreteras en el Perú mediante el análisis multicriterio” a expertos, los cuales manifestaron su opinión respecto a la implementación de la metodología integral AHP y PROMETHEE para la selección de los subcontratistas, hallándola válida y aplicable en los proyectos.