

Universidad de Lima
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Carrera de Ingeniería Industrial



**PROPUESTA DE MEJORA PARA LA REDUCCIÓN
DE COSTOS DE PRODUCCIÓN EN PROYECTOS
DE PILOTES PRE - EXCAVADOS EN LA
EMPRESA PSV CONSTRUCTORES S.A.**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial

Natalia Alejandra Peña Camerano

Código 20102608

Diana Alejandra Ramírez Campos

Código 20101813

Asesor

Julio Roberto Echazú Brown

Lima – Perú

Octubre de 2020





**IMPROVEMENT PROPOSAL FOR THE
REDUCTION OF PRODUCTION COSTS IN
DRILLING RIGS PROJECTS OF PSV
CONSTRUCTORES COMPANY**

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	xi
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO I: CONSIDERACIONES GENERALES DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1 Antecedentes de la empresa	1
1.1.1 Breve descripción de la empresa y reseña histórica	1
1.1.2 Descripción de los productos o servicios ofrecidos	2
1.1.3 Descripción del mercado objetivo de la empresa	6
1.1.4 Estrategia genérica de la empresa	6
1.1.5 Descripción de la problemática actual	7
1.2 Objetivos de la investigación	8
1.2.1 Objetivo general	8
1.2.2 Objetivos específicos	8
1.3 Alcance y limitaciones de la investigación	8
1.4 Justificación de la investigación	9
1.4.1 Técnica	9
1.4.2 Económica	10
1.4.3 Social	11
1.5 Hipótesis de la investigación	12
1.6 Marco referencial de la investigación	12
1.7 Marco conceptual	15
CAPÍTULO II: ANÁLISIS SITUACIONAL DE LA EMPRESA Y SELECCIÓN DEL PROCESO A SER MEJORADO	17
2.1 Análisis Externo de la Empresa	17
2.1.1 Identificación y evaluación de las oportunidades y amenazas del entorno	17
2.1.2 Análisis del entorno global (PEST)	18
2.1.3 Resumen de análisis PEST	21
2.1.4 Análisis del entorno competitivo	22
2.2 Análisis Interno de la Empresa	25
2.2.1 Análisis del direccionamiento estratégico: visión, misión y objetivos organizacionales	25
2.2.2 Análisis de la estructura organizacional	27

2.2.3 Identificación y descripción general de los procesos claves	28
2.2.4 Análisis de los <i>indicadores generales</i> de desempeño de los procesos claves - línea base	31
2.2.5 Determinación de posibles oportunidades de mejora	32
2.2.6 Identificación y evaluación de las fortalezas y debilidades de la empresa.....	35
2.2.7 Selección del sistema o proceso a mejorar	38
CAPÍTULO III: DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA O PROCESO OBJETO DE ESTUDIO	48
3.1 Análisis del sistema o proceso objeto de estudio	48
3.1.1 Descripción detallada del sistema o proceso objeto de estudio.....	48
3.2 Análisis de los indicadores específicos de desempeño del sistema o proceso ..	52
3.3 Determinación de las causas raíces de los problemas hallados.....	57
CAPÍTULO IV: DETERMINACIÓN DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN.....	61
4.1 Planteamiento de alternativas de solución	61
4.2 Selección de alternativas de solución.....	69
4.2.1 Determinación y ponderación de criterios evaluación de las alternativas.....	69
4.2.2 Evaluación cualitativa y/o cuantitativa de alternativas de solución	71
4.2.3 Priorización de soluciones seleccionadas	73
CAPÍTULO V: DESARROLLO Y PLANIFICACIÓN DE LAS SOLUCIONES .	74
5.1 Ingeniería de las soluciones	74
5.1.1 Implementación software MATLAB	74
5.1.2 Solución mejora cadena de suministro	84
5.2 Plan de implementación de las soluciones	89
5.2.1 Objetivos y metas de la solución: Función de varias variables	89
5.2.2 Objetivos y metas de la solución: Mejora cadena de suministro.....	90
5.2.3 Elaboración de la inversión requerida para la ejecución de las soluciones	91
5.2.4 Actividades y cronograma de implementación de la solución	92
CAPÍTULO VI: EVALUACIÓN ECONÓMICA FINANCIERA DE LA SOLUCIÓN	94
CONCLUSIONES	98
RECOMENDACIONES	99
BIBLIOGRAFÍA	101
ANEXOS.....	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 Participación por producto.....	3
Tabla 1. 2 Lista Consumibles	4
Tabla 1. 3 ABC Consumibles	5
Tabla 2. 1 Matriz EFE.....	18
Tabla 2. 2 Indicadores de gestión generales	32
Tabla 2. 3 Matriz de Posibles Oportunidades de Mejora.....	33
Tabla 2. 4 Matriz EFI.....	36
Tabla 2. 5 Matriz FODA cruzado	37
Tabla 2. 6 Matriz de enfrentamiento de factores	38
Tabla 2. 7 Cuadro de puntuación	39
Tabla 2. 8 Matriz de Enfrentamiento de Factores vs. Procesos	40
Tabla 2. 9 Problemas	41
Tabla 2. 10 Frecuencia acumulada	41
Tabla 2. 11 Cuadro de posibles soluciones.....	43
Tabla 2. 12 Herramienta de los 5 porqués	45
Tabla 3. 1 Diagrama de Análisis de Proceso (DAP).....	50
Tabla 3. 2 Indicadores específicos de desempeño	52
Tabla 3. 3 Tabla de indicadores promedio de plazo anual.....	53
Tabla 3. 4 Tabla de indicadores promedio tope por penalidad.....	54
Tabla 3. 5 Causas raíces.....	58
Tabla 3. 6 Frecuencia acumulada	58
Tabla 4. 1 Alternativas de solución	61
Tabla 4. 2 Volumen pica.....	68
Tabla 4. 3 Especificaciones según medidas.....	69
Tabla 4. 4 Criterios de alternativas de solución.....	71
Tabla 4. 5 Evaluación de alternativas de solución.....	72
Tabla 5. 1 Errores relativos porcentuales para cada función encontrada en el grupo 1..	78
Tabla 5. 2 Errores relativos porcentuales para cada función encontrada en el grupo 2..	79
Tabla 5. 3 Número total de picas por proyecto del grupo 1 y grupo 2.	82
Tabla 5. 4 Implementación por puestos	83
Tabla 5. 5 Días entrega	85

Tabla 5. 6 Total número de picas (2014-2018).....	86
Tabla 5. 7 Implementación por puestos	88
Tabla 5. 8 Objetivos y metas (Función de varias variables)	89
Tabla 5. 9 Objetivos y metas (Intervenir cadena de suministro)	90
Tabla 5. 10 Inversión función de varias variables	91
Tabla 5. 11 Inversión mejora cadena de suministro	91
Tabla 5. 12 Actividades y cronograma de implementación.....	92
Tabla 5. 13 Cronograma de Actividades	93
Tabla 6. 1 Ahorro promedio anual.....	96
Tabla 6. 2 Cálculo CAPM.....	96
Tabla 6. 3 Beneficio Neto Proyectado	97
Tabla 6. 4 Costo Total Proyecto - Quebrada Llocllamayo (2017).....	109
Tabla 6. 5 Tipo de proveedor internacional vs. nacional.....	110
Tabla 6. 6 Costo comparativo proveedor internacional vs. nacional - Quebrada Llocllamayo (2017).....	110
Tabla 6. 7 Porcentaje de costo de picas vs. costo directo - Quebrada Llocllamayo (2017)	111
Tabla 6. 8 Costo adicional incurrido por picas de emergencia - Quebrada Llocllamayo (2017).....	111
Tabla 6. 9 Costo adicional incurrido por gastos generales – Quebrada Llocllamayo (2017).....	112
Tabla 6. 10 Costo adicional incurrido por penalidades - Quebrada Llocllamayo (2017)	113

ÍNDICE DE FIGURAS

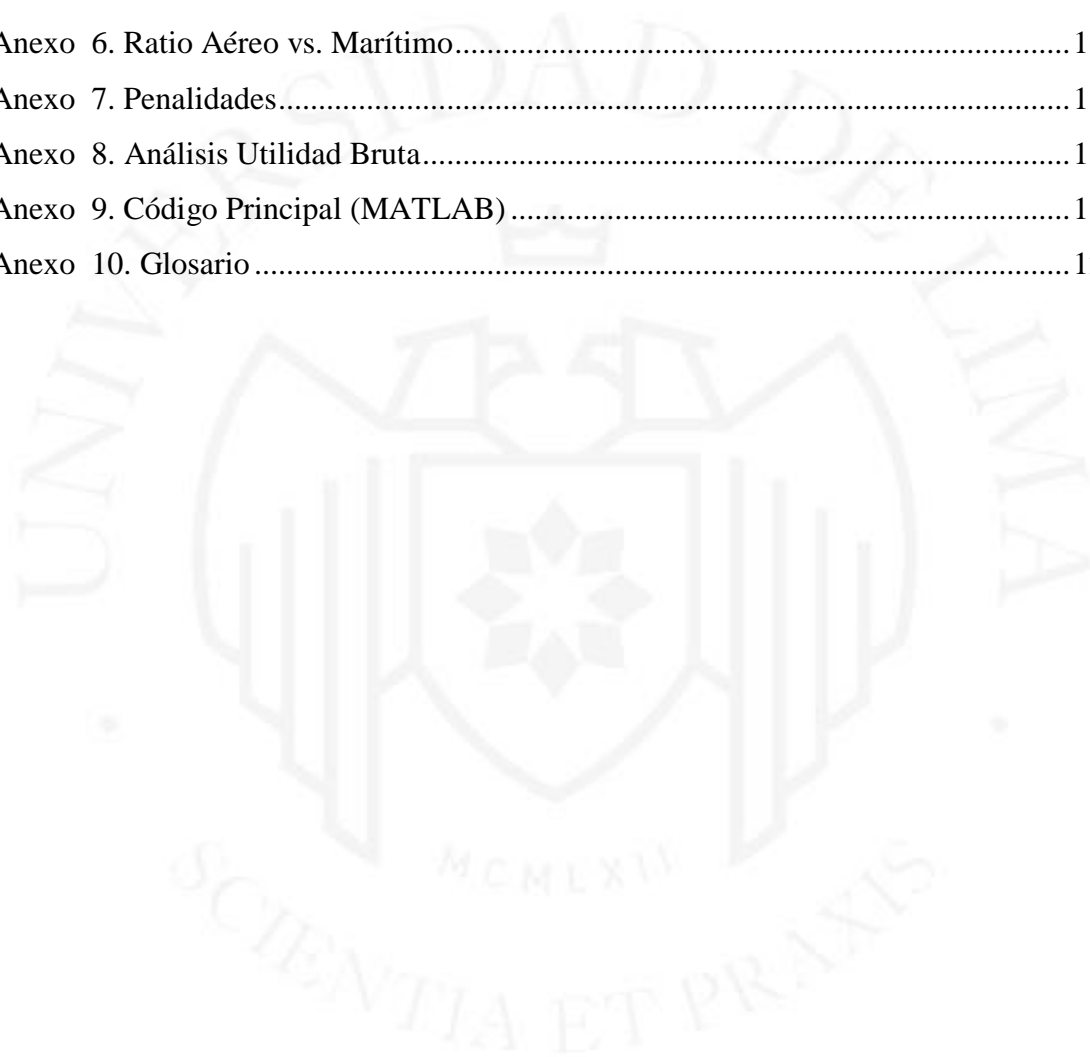
Figura 1. 1 Porcentaje participación (Perú)	4
Figura 1. 2 Gráfico ABC Consumibles.....	5
Figura 1. 3 Mapa Conceptual.....	16
Figura 2. 1 Crecimiento anual PBI construcción (2012-2016).....	19
Figura 2. 2 Indicadores de daños registrados Fenómeno El Niño 82-83 / 97-98 / 2017	20
Figura 2. 3 Análisis PEST.....	22
Figura 2. 4 Análisis competitivo.....	25
Figura 2. 5 Organigrama de puestos	27
Figura 2. 6 Mapa de procesos	28
Figura 2. 7 Diagrama de Pareto de problemas.....	42
Figura 2. 8 Diagrama Causa-Efecto (Ishikawa).....	44
Figura 2. 9 Diagrama de Árbol de la realidad actual	47
Figura 3. 2 Flujograma de proceso de producción.....	49
Figura 3. 3 Procedimiento constructivo pilotes pre-excavados	49
Figura 3. 4 Gráfico de indicador promedio de plazo anual.....	53
Figura 3. 5 Gráfico de indicador promedio tope por penalidad.....	54
Figura 3. 6 Margen bruto inicial	56
Figura 3. 7 Margen operativo inicial	56
Figura 3. 8 Margen neto inicial.....	57
Figura 3. 9 Diagrama de Pareto causas raíces	59
Figura 4. 1 Ejemplos de curvas donde se puede aplicar la linealización de datos.....	62
Figura 4. 2 Graficas de dispersión iniciales	63
Figura 4. 3 Propuesta de estrategias en la cadena de suministro	66
Figura 4. 4 Propuesta de cámara al vacío	67
Figura 4. 5 Dimensiones de Pica 30/38	68
Figura 5. 1 Gráficos de dispersión.....	74
Figura 5. 2 Ajuste de curvas grupo 1 para factor $k = LD$	76
Figura 5. 3 Ajuste de curvas grupo 2 para factor $k = L/D$	77
Figura 5. 4 Ajuste de curvas grupo 2 para factor $k = LD$	78
Figura 5. 5 Ajuste de curvas grupo 2 para factor $k = L/D$	79

Figura 5. 6 Función de picas modificada grupo 1.....	80
Figura 5. 7 Función de picas modificada grupo 2.....	81
Figura 6. 1 Margen bruto inicial vs. final	94
Figura 6. 2 Margen operativo inicial vs. final.....	95
Figura 6. 3 Margen neto inicial vs. final.....	95



ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Data de proyectos Soletanche Bachy Perú.....	104
Anexo 2. Data de proyectos PSV Constructores	106
Anexo 3. Proyectos por año (2014-2018) PSV Constructores	107
Anexo 4. Proyecto “Quebrada Llocllamayo”	109
Anexo 5. Indicador de retraso.....	114
Anexo 6. Ratio Aéreo vs. Marítimo.....	115
Anexo 7. Penalidades.....	116
Anexo 8. Análisis Utilidad Bruta.....	117
Anexo 9. Código Principal (MATLAB).....	119
Anexo 10. Glosario.....	121



RESUMEN

La globalización y la tendencia del ser humano a hacer un *match* entre la naturaleza y la infraestructura necesaria para la actividad industrial, integran la combinación más efectiva a la hora de generar mejoras en los cimientos de las grandes edificaciones y puentes del mundo. Entre más altura tenga un edificio o entre más distancia tengan los apoyos de un puente, mayores serán las exigencias de las cimentaciones que los soportan. Las cimentaciones profundas realizadas con pilotes perforados se han convertido en la solución más práctica y económica al momento de satisfacer los requerimientos de las resistencias dependientes de las superestructuras.

Estos pilotes varían en longitud y diámetro según las demandas del proyecto, y para su proceso de ejecución se utilizan accesorios de perforación y maquinaria pesada que permite, en síntesis, realizar un agujero en el suelo, similar a la acción de perforar una pared de una casa con un taladro eléctrico de mano. Las herramientas de perforación utilizan unos consumibles conocidos como “picas”, las cuales constituyen el elemento fusible en el tren de producción, dado que presentan un costo relativamente bajo comparado con el costo de la máquina en sí, y se fabrican y se usan exclusivamente para que se desgasten, fracturen o fallen durante el proceso de perforación de los pilotes.

De manera *a priori*, no existe actualmente una manera de predecir el número de picas que se utilizarán en la ejecución de los pilotes de un proyecto. Lo anterior no tuviera ningún interés si no fuera porque estos insertos no se fabrican en el país, sino que se traen desde China o Alemania vía marítima con un tiempo de entrega que oscila entre los 45 a 60 días. Cuando la estimación del número de picas no es la correcta y el proyecto se queda sin estos consumibles sin haber terminado la totalidad de los pilotes perforados, la cadena de suministro tiene que intervenir para acelerar la adquisición vía aérea, que igual se traduce a un tiempo muerto de producción de 7 a 10 días, acompañado del incremento de los gastos generales, adquisición de un producto a un costo mayor y lo más impactante para la empresa, penalidades por paralizaciones o estar fuera de plazo contractual.

Bajo este contexto, la pregunta problema que nace es la siguiente: **¿Es posible reducir los costos de producción en un proyecto de pilotes pre-excavados con ciertas**

características geométricas que permitan garantizar la rentabilidad del proyecto y satisfacción del cliente para evitar impactos negativos?

Palabras claves: cimentaciones profundas, herramientas de perforación, picas, cadena de suministro, tiempo muerto de producción.



ABSTRACT

Globalization and human being tendency to create a connection between nature and the infrastructure necessary for industrial activity constitute the most effective combination when generating improvements in the foundations of the great buildings and bridges of the world. The taller a building is or the greater the distance between the supports of a bridge, the greater the demands are of the foundations that support them. Deep foundations carried out with drilled piles have become the most practical and economical solution when satisfying resistance requirements dependent on superstructures.

These piles vary in length and diameter according to the demands of the project, and in order for it to be executed, drilling accessories and heavy machinery are used, that allow in synthesis, to make a hole in the ground, similar to the action of drilling a hole in the wall of a house with an electric hand drill. Drilling tools use consumables known as bits, which constitute the fusible element in the production train, since they have a relatively low cost compared to the cost of the machine itself, and are manufactured and used exclusively to wear out, fracture or fail during the drilling process of the piles.

A priori, there is currently no way to predict the number of bits that will be used in the execution of the piles of an “x” project. The above would have no interest if the bits are made in the country of “x” project, however, because they are brought in from China or Germany by sea, with a delivery time ranging from 45 to 60 days, there is a lot of interest on behalf of the companies. When the estimate of the number of bits is not correct and the project runs out of these consumables without having finished all the drilled piles, the logistics supply chain has to intervene to accelerate the acquisition by air, which also translates to a dead time of production from 7 to 10 days, accompanied by the increase in general expenses, acquisition of a product at a higher cost and the most shocking for the company, penalties for stoppages or being out of contractual term.

Under this context, the question that arises is the following: **Is it possible to reduce production costs in a drilling rigs project with certain geometric characteristics that guarantees the profitability of the project and customer satisfaction to avoid negative impacts?**

Key words: deep foundations, drilling tools, bits, supply chain, production dead period.

CAPÍTULO I: CONSIDERACIONES GENERALES DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Antecedentes de la empresa

1.1.1 Breve descripción de la empresa y reseña histórica

PSV Constructores S.A. inicia su trayectoria en Perú en el año 2000, y desde entonces, se ha consolidado como una empresa orientada al desarrollo de diseños, gerencia de proyectos y construcciones de obras civiles y montaje; especializada en cimentaciones profundas y obras portuarias. “Durante su trayectoria empresarial, PSV ha logrado ubicarse como la más importante empresa en ingeniería de cimentaciones profundas e ingeniería marítima y portuaria, gracias a su personal, uso de estrictas metodologías y procesos, implementación de tecnología propia y constante actualización e investigación en técnicas de cimentaciones profundas” (PSV Constructores, 2019). PSV tiene como objetivo convertir las necesidades de sus clientes en soluciones de ingeniería utilizando la creatividad, calidad y economía en el plazo preciso.

Durante los primeros años (1997-1998), Perú sufre el Fenómeno del Niño, lo cual afectó la cimentación de muchos de los puentes de Perú. “PSV optó por integrar una nueva tecnología de trabajo para cimentaciones profundas como son los pilotes pre-excavados y vaciados en sitio, los cuales tiene gran aceptación en los diseñadores y/o proyectistas del Ministerio de Transporte” (PSV Constructores, 2019). En el 2011, PSV decide crear una sucursal en Colombia la cual se llamaría “PSV Constructores Colombia SA”. Años antes (2007) PSV crea la primera sucursal en la ciudad de Guayaquil, Ecuador. Años más tarde (2015), inicia operaciones en Chile en la ciudad de Concepción.

“En la actualidad, para PSV es importante trabajar bajo constante mejora en sus procesos, es por eso que optó por certificarse en el sistema de gestión integrada ISO 9001: 2015, que permite estandarizar los procesos en términos de calidad. Posteriormente implementó ISO 14001:2015 para manejo medio ambiental, así como OHSAS 18001:2007 en seguridad y salud ocupacional. Estos procesos se revisan anualmente en busca de la mejora continua con la participación de cada uno de los colaboradores” (PSV Constructores, 2019).

1.1.2 Descripción de los productos o servicios ofrecidos

La empresa PSV administra los siguientes tipos de segmentos:

1. Anclajes y micro pilotes: “los anclajes son un sistema constructivo para cimentaciones profundas que trabajan como soporte y sujeción; con esta técnica se puede alcanzar hasta una profundidad del orden de los 30 metros con solo una clava de muro de 3 m. El micro pilote es un elemento para las cimentaciones, resistente a los esfuerzos de tracción y compresión; está compuesto por un tubo de acero colocado en el interior de un taladro perforado en el terreno y recibido en el mismo mediante una lechada de cemento inyectado. El elemento resistente del pilote es una armadura de forma tubular que se coloca en el taladro con roscado o soldadura de los diferentes tramos” (Construmática, 2019).
2. Pilotes hincados y tablestacas: los pilotes hincados, a diferencia de los pilotes pre-excavados, son pre-fabricados y no es necesario extraer el terreno, su forma es cilíndrica y están hechos de hormigón. Su finalidad es desplazar lateralmente el terreno mediante el hincado, el cual se realiza con una máquina pilotera, la cual levanta la unidad (pilote pre-fabricado), la coloca contra el suelo y con ayuda de golpes en la parte superior, desde una altura considerable y calculada previamente, se logra colocarla totalmente en la profundidad indicada. Funcionan muy bien para terrenos arcillosos y arenosos ayudando a que esta superficie se vuelva más homogénea.
3. Pilotes pre-excavados: cimentaciones de forma cilíndrica de diferentes diámetros y largos fundidos in situ. Para su ejecución, se debe excavar previamente el terreno según especificaciones y luego se procede a rellenarlo con hormigón fresco y armaduras (mallas cilíndricas de fierro).
4. Obras portuarias: tales como “muelles, varaderos, caissons, muros marinos, obras de defensa ribereña, dragados, líneas submarinas, recorrido de amarraderos, pilotaje submarino, mantenimiento y reparación de estructuras submarinas, terminales pesqueros, etc” (PSV Constructores, 2019).
5. Pruebas de carga: las pruebas de carga en pilotes se realizan para establecer la relación entre la carga y el desplazamiento en el sistema pilote-suelo, determinar la capacidad de carga del sistema pilote-suelo, determinar la

distribución de cargas del sistema pilote-suelo y ensayar el procedimiento constructivo, las técnicas y equipo hincado. Existen dos tipos: estática y dinámica. La primera se divide en vertical, lateral y carga combinada; la segunda, solamente en vertical.

6. Otros: “diseño y construcción de recalce de estructuras que han tenido problemas de asentamiento, diseño y construcción de estructuras especiales mixtas de concreto y acero” (PSV Constructores, 2019).

Tabla 1. 1

Participación por producto

PARTICIPACIÓN POR PRODUCTO (S/)								
Segmento	2015	%	2016	%	2017	%	2018	%
Anclajes y micro pilotes	121,200	0.24%	900	0.0045%	-	-	190,000	0.97%
Pilotes hincados y tablestacas	12,921,600	25.77%	17,759,500	88.55%	3,904,800	8.29%	1,493,300	7.60%
Pilotes pre-excavados	7,018,900	14.00%	922,500	4.60%	11,436,300	24.29%	13,052,600	66.40%
Obras portuarias	6,567,500	13.10%	-	-	31,697,400	67.33%	4,921,900	25.04%
Pruebas de carga	23,026,600	45.91%	-	-	36,000	0.076%	-	-
Otros	495,000	0.99%	1,372,200	6.84%	-	-	-	-
TOTAL	50,150,800		20,055,100		47,074,500		19,657,800	

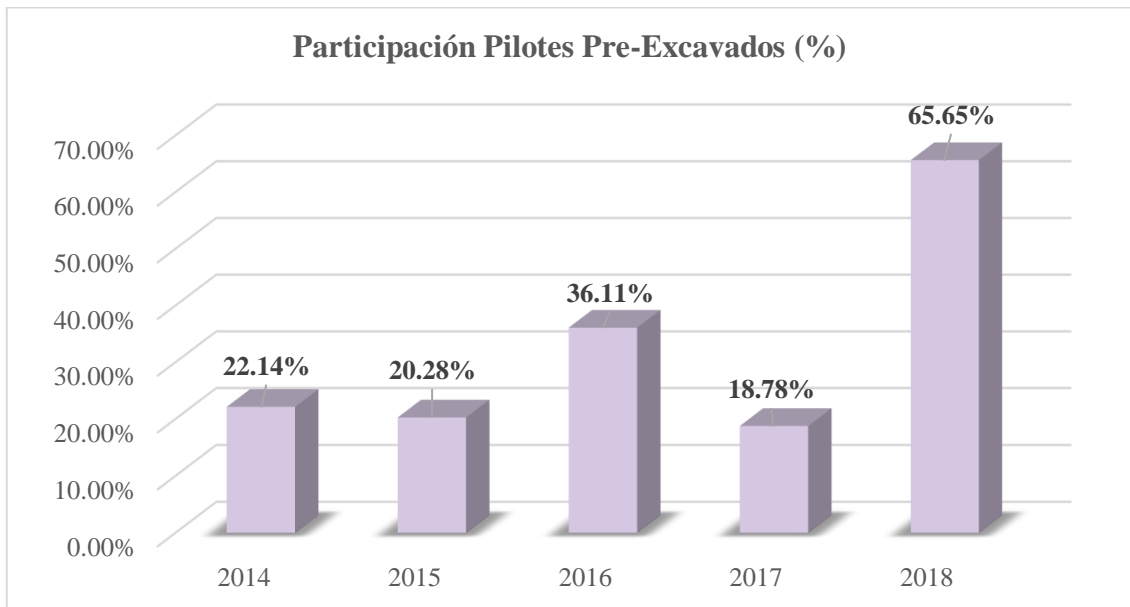
Fuente: PSV Constructores (2019)

De la gran variedad de servicios que ofrece PSV, los pilotes pre-excavados constituyen el centro de la presente investigación, esto debido a que “uno de los factores que viene impulsando nuestro crecimiento económico es la mejora de la infraestructura” (Diario Gestión, 2015). Los pilotes pre-excavados o barrenados son parte de un tipo de cimentaciones conocidas como cimentaciones profundas.

En la siguiente tabla se observa el porcentaje crecimiento anual de pilotes pre-excavados desde el 2014 hasta el 2018 en Perú, donde se puede notar que la tendencia va en aumento.

Figura 1. 1

Porcentaje participación (Perú)



Fuente: PSV Constructores (2019)
Elaboración propia

En la siguiente tabla se realiza un procedimiento ABC de elementos fusibles, o también llamados consumibles, con data del año 2018.

Tabla 1. 2

Lista Consumibles

Consumibles 2018 (S/)							
Consumibles	Cantidad	Precio Unitario	Inversión	Inversión Acumulada	% Inversión Acumulada	Zona	%
Wideas	325	148.17	48,155.25	48,155.25	33.01%	A	77.93%
Picas	430	97.80	42,054.00	90,209.25	61.84%	A	
Porta wideas	130	180.51	23,466.30	113,675.55	77.93%	A	
Disco de corte	3,142	6.80	21,365.60	135,041.15	92.57%	B	14.65%
Porta picas	119.4	47.36	5,654.19	140,695.34	96.45%	C	7.43%
Disco de desbaste	393	7.20	2,829.60	143,524.94	98.39%	C	
Soldadura	222	10.59	2,350.98	145,875.92	100.00%	C	
TOTAL			145,875.92				

Elaboración propia

Utilizando una tabla resumen de los valores encontrados arriba, se obtiene el diagrama ABC, el cual distribuye en A (0-80%), B (81%-95%) y C (96%-100%). La tabla muestra que el 77.93% del total de la inversión en consumibles está conformado por: wideas, picas y porta wideas, con lo cual se concluye que verídicamente es de gran interés disminuir los costos de adquisición de consumibles.

Tabla 1. 3

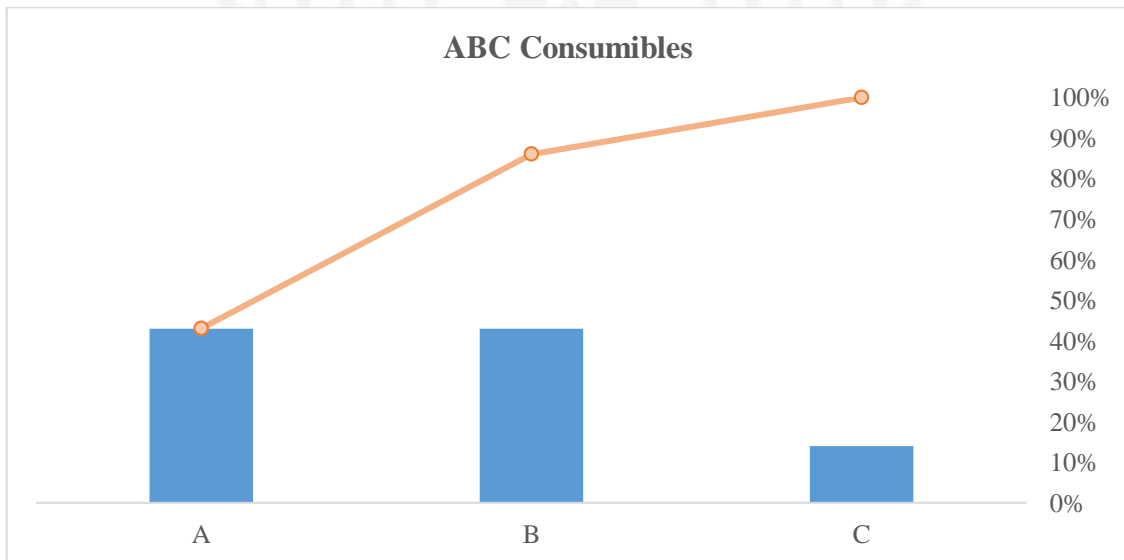
ABC Consumibles

Porcentaje	Zona	Número de elementos	%	% Acumulado	% Inversión	% Inversión Acumulada
0-80%	A	3	43%	43%	77.93%	77.93%
81%-95%	B	3	43%	86%	14.65%	92.57%
96%-100%	C	1	14%	100%	7.43%	100.00%
		7				

Elaboración propia

Figura 1. 2

Gráfico ABC Consumibles



Elaboración propia

1.1.3 Descripción del mercado objetivo de la empresa

Entre los clientes más importantes se encuentra Southern Perú, una empresa del sector minero – metalúrgico de talla mundial, productora de cobre y subproductos valiosos. Por otro lado, está Intersur, que nace a raíz de la carretera interoceánica entre Perú y Brasil como iniciativa de IIRSA, consorcio que se conforma por tres grandes empresas constructoras brasileñas: Andrade Gutiérrez, Camargo Correa y Queiroz Galvão. “Perenco Perú Petroleum, subsidiaria de la empresa petrolera anglo francés Perenco, se dedica a la exploración y producción de hidrocarburos en la cuenca de Marañón, en la región de Loreto al norte del Perú” (BNAMERICAS, 2019).

CONIRSA, por su parte, es un consorcio integrado por Odebrecht, Graña y Montero, ICCGSA y JJC Contratistas Generales, y son responsables de los tramos 1, 2 y 3 de la carretera Interoceánica.

Finalmente, “ENAPU (Empresa Nacional de Puertos) cumple con la misión de administrar, operar y mantener los Terminales Portuarios de la República, brinda servicios a los movimientos de naves y cargas del comercio exterior peruano” (Empresa Nacional de Puertos, 2019).

1.1.4 Estrategia genérica de la empresa

De acuerdo a “las estrategias genéricas de Michael Porter se dispone lo siguiente:

- Liderazgo global en costos
- Diferenciación
- Enfoque o concentración” (Porter, 1980)

Podemos situar de acuerdo al tipo de estrategia que aplica PSV en el cuadrante de enfoque o concentración, esto debido a que se busca procurar ante todo dar un servicio de excelente calidad en un mercado particular, los pilotes pre-excavados. Cabe resaltar que los tiempos de entrega juegan un rol importante en este tipo de estrategia, la cual PSV busca en todo momento.

La ventaja competitiva de PSV Constructores se basa en el trabajo especializado, lo que lleva a la empresa a concentrar su experiencia en excavaciones profundas en los últimos años, extendiendo su reconocimiento en el mercado nacional e internacional en dicho rubro.

Muchas empresas del sector diversifican los servicios que ofrecen, lo que genera ocasionalmente desconfianza sobre la experiencia para realizar ciertos proyectos. En contraste, PSV cuenta con maquinaria especializada dirigida por un músculo ingenieril sólido, formado y reestructurado por varios años de experiencia. La formación integral de la mano de obra directa, y su participación de manera rotativa en cada una de las actividades y procesos constructivos de la empresa, han permitido la optimización continua de sus herramientas y metodologías para llevar a cabo cada tarea.

Para poder encajar en un marco competitivo internacional, PSV cuenta con equipos del *state-of-the-art* en el campo de pilotes perforados.

1.1.5 Descripción de la problemática actual

Problemática interna de la empresa: PSV Constructores ha presentado una reducción del margen bruto entre los años 2014-2018 desde 40.69% hasta 23% (↓17.69%), por otro lado, el margen neto presenta una reducción desde 6.18% hasta 3.06% (↓3.12%).

Actualmente, existe un aumento en los costos de producción debido a la falta de consumibles (picas) que se utilizan en la ejecución de un proyecto de pilotes pre-excavados. Es en esta demora, donde la empresa es susceptible a penalidades por paralización de obra, cuyo impacto económico se suma a la imagen negativa de PSV al sembrar tiempos muertos de producción ante el cliente.

Problemática externa de la empresa: **La cadena de suministro interna de PSV está amarrada a las proyecciones del área de ingeniería de proyectos, así como por los proveedores externos, internos y medios de transporte disponibles en la actualidad para realizar cualquier adquisición. Hablando expresamente de las picas, que se utilizan en el proceso de perforación de un pilote, estas pueden ser enviadas desde China o Alemania vía aérea o marítima con tiempos de entrega promedio de 7 y 30 días, respectivamente.**

Cuando un proyecto se encuentra con la realidad de que el número de picas que estimaron no fue suficiente, inmediatamente comunican al área logística, pero no existe otra alternativa más que esperar, en el mejor de los casos y a un alto costo, los 7 días de entrega por avión.

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Establecer una propuesta de mejora para reducir los costos de producción por falta de consumibles en proyectos de pilotes pre-excavados de la empresa PSV Constructores utilizando herramientas de ingeniería industrial.

1.2.2 Objetivos específicos

- Diagnóstico actual de la empresa PSV Constructores y la cadena de valor.
- Descripción e identificación de los problemas existentes, las causas raíces y selección del proceso a mejorar.
- Planteamiento de las alternativas de solución y selección de la mejor alternativa utilizando herramientas de ingeniería.
- Desarrollo de la ingeniería de las alternativas de solución y elaboración de un plan de implementación, incluyendo la inversión e implementación de objetivos y metas.
- Evaluación económico-financiera de las soluciones y demostrar viabilidad.

1.3 Alcance y limitaciones de la investigación

La presente investigación se desarrolla en el campo de acción de la empresa PSV Constructores, esencialmente en la ejecución de pilotes pre-excavados con un formato estándar de perforación, el cual contempla una máquina perforadora, sus accesorios (barrenas, baldes y similares) y sus consumibles (picas). De esta manera, las expresiones matemáticas encontradas solo son confiables en proyectos que utilicen técnicas de perforación estándar. Por lo anterior, cualquier extrapolación que se realice a otros procedimientos de ejecución puede traer consigo desviaciones sustancialmente importantes a la hora de estimar el número de picas.

Existe una gran cantidad de factores que afectan el rendimiento de las picas en los pilotes pre-excavados, algunos de ellos pueden clasificarse como “externos al proceso” y que han sido omitidos en esta investigación por tratarse de malas prácticas ingenieriles, como la habilidad del operador.

Es importante señalar que los datos analizados en esta investigación provienen de proyectos ejecutados por un grupo reducido de operadores con equipos de características de desempeño muy similar. Lo anterior reduce de manera significativa los valores atípicos que puedan presentarse al momento de encontrar un modelo o una función que relacione las variables que intervienen en el proceso de perforación.

Por otra parte, debido a la limitada cantidad de datos de proyectos ejecutados en suelos rocosos, fue menester extraer dicha estratigrafía de los análisis, por lo que ninguna de las formulaciones encontradas deberá usarse en este tipo de suelos.

1.4 Justificación de la investigación

La relevancia del proyecto de investigación radica en dejar registrada una metodología y entregar una herramienta en código abierto que se convertirá en un modelo para realizar optimizaciones en la cadena logística de una empresa para la adquisición de un insumo.

Así mismo, encontrar un punto óptimo para la compra de picas minimizará los costos de producción, maximizará la utilidad, reducirá los tiempos de ejecución y mantendrá la imagen de la empresa intacta en cuanto a planificación estratégica e implementación de procesos de mejora continua.

1.4.1 Técnica

PSV Constructores ha ejecutado más de 25 proyectos relacionados con pilotes pre-excavados y cada uno cuenta con una documentación extensiva y bien organizada compilada en un *dossier*¹ de obra. Actualmente, esta información solo está almacenada en las oficinas centrales. Paralelamente, se utilizarán datos de fuentes externas a fin de incrementar la confiabilidad de los resultados obtenidos a través del análisis estadístico.

Por otra parte, reunir y clasificar toda la información es la tarea más sencilla. La siguiente etapa de la investigación se basa en el análisis de las variables geométricas encontradas y la determinación de una correlación con un ajuste significativo. Para lograr este paso se hará uso del software MATLAB, que combina el “entorno de escritorio perfeccionado para el análisis interactivo y los procesos de diseño con un lenguaje de

¹ Conjunto de documentos o informes de obra, al término de la misma.

programación que expresa las matemáticas de matrices y arreglos directamente” (Mathworks, 2019). Se utilizará la técnica de mínimos cuadrados para determinar los coeficientes de las funciones de ajustes, se espera obtener un error relativo porcentual menor al 30%.

1.4.2 Económica

El impacto económico que se espera obtener una vez que la empresa PSV implemente el modelo de predicción de picas para la ejecución de pilotes pre-excavados toca tres puntos:

- **Costo directo:** Existen proveedores locales e internacionales para el suministro de picas, no obstante, los primeros no son fabricantes, por lo que sus precios están inflados con gastos de envío y manejo administrativo. Por lo anterior, PSV realiza las compras a proveedores de China y Alemania y la carga es enviada vía aérea o marítima, según la necesidad de la obra. El costo de la pica en sí no presenta variación significativa entre un proveedor y otro, sin embargo, una primera revisión a las órdenes de importación de la empresa reveló que traer una pica por mar cuesta la mitad del envío por tierra. Las picas representan entre el 5 – 15 [%] del costo de un pilote, lo que conduce a una disminución de no menor del 10% del costo directo por pilote.
- **Paralizaciones:** Los tiempos improductivos imputables a la empresa no son causales de reconocimiento de gastos generales ni ampliaciones de plazo, tal como lo señala el artículo 171 de la Ley de Contrataciones del Estado (para obras realizadas para el estado solamente), para las obras privadas se maneja según el acuerdo contractual.

Los gastos generales representan cerca del 10% en los proyectos de perforación, esto implica que por cada día de obra paralizada exista un impacto negativo de un décimo del presupuesto base dividido entre el plazo de ejecución.

- **Penalidades:** Cuando las paralizaciones ocasionan que la obra se encuentre fuera del plazo contractual, la empresa debe asumir el pago de penalidades que serán descontadas de sus facturaciones o en la liquidación final de obra, tal como lo señala el “artículo 132 y 133 de la Ley de Contrataciones del Estado” (Organismo Supervisor de las Contrataciones del Estado , 2019) (si

fuera el caso de un contrato con el estado), en el caso de obras privadas, los montos pueden ser aún mayores, según la gravedad del incumplimiento y no solo tratarse por demoras en el tiempo de ejecución, sino también por incumplimiento de determinadas cláusulas.

$$Penalidad\ diaria = \frac{0.10 \times Monto}{F \times Plazo}$$

La correcta implementación de la correlación propuesta permite reducir el costo directo de ejecución de los pilotes pre-excavados, disminuir los gastos generales del proyecto y evitar penalidades por incumplimiento del plazo contractual. Mejorar la productividad y la eficiencia, en el sentido de obtener mejores resultados en la utilización de picas en pilotes pre-excavados y, por consiguiente, mejorar la eficiencia del consumo real en comparación a lo proyectado.

1.4.3 Social

- Aportar al crecimiento en infraestructura del país (Cimientos para puentes, edificaciones, carreteras, puertos y otros más).
- Mejorar la imagen corporativa y el posicionamiento en el mercado para PSV debido a su sobresaliente labor en ingeniería y desarrollo en el ámbito de pilotes perforados.
- Creación de puestos de trabajo locales, en el lugar de obra (limpieza, comida, transporte, mano de obra, etc.)

Finalmente, adicional a todos los beneficios económicos mencionados se debe señalar que con la implementación de esta mejora PSV abre sus puertas a la investigación, consolidando su posición en el mercado y expandiendo su reconocimiento debido a futuras ponencias en el marco geotécnico, campo que se encuentra aún poco explorado y con más dudas que certezas en cuanto a modelamiento matemático se refiere.

1.5 Hipótesis de la investigación

La reducción de costos de producción en un proyecto de pilotes pre-excavados debido a la falta de consumibles (picas) en la empresa PSV Constructores es factible técnica y económicamente.

1.6 Marco referencial de la investigación

La base teórica de la presente investigación cuenta con algunas de las tesis que se pueden encontrar en el repositorio de la biblioteca física y en la nube digital de la Universidad de Lima, con mayor fuerza aquellas referidas a la mejora de un sistema o proceso en una empresa existente; así como también artículos científicos publicados por revistas indexadas.

Tesis 1: “Mejora en el proceso de elaboración y gestión de los pronósticos de la demanda en una empresa dedicada a la elaboración de productos de belleza”. (Gordillo, 2016)

En el Capítulo III: La gestión del proceso de demanda, se muestra cómo se filtran los componentes aleatorios y cómo se separan de los componentes sistemáticos, a través del análisis de la rotación de inventarios, esto representa un punto de partida importante debido a la gran cantidad de variables que existen en el proceso de perforación de pilotes. Realizar una preselección de las variables de interés representa el punto de inflexión para lograr un modelo matemático con un nivel de ajuste aceptable.

Tesis 2: “Gestión de la demanda para optimizar la supply chain de la empresa VAN SAC”. (López, Pérez, & Villamonte, 2017)

Esta tesis analiza la cadena de suministro con respecto al abastecimiento de materia prima para una línea de producción y cómo el área de compras basada en pronósticos realiza las adquisiciones locales e internacionales. Para el diagnóstico de las operaciones de abastecimiento utiliza dos herramientas de análisis la primera es: VSM (Value Stream Mapping), evalúa aquellas acciones que agregan o no valor y son necesarias para el movimiento de consumibles a través de la cadena de valor (flujo de materiales). La otra herramienta es “*Rethinking the supply chain*”, sus siglas en inglés representan: FSM (Metodología del Mapa Estratégico Funcional), el cual plantea la situación inicial y la comparación con la situación luego de realizar las mejoras.

Fue de gran ayuda la revisión de artículos sobre investigaciones similares aplicadas a diferentes procesos de perforación en tierra y territorio marino, cuyo factor común era la gestión de compras, así como los métodos para predecir con mayor exactitud el consumo de materiales, los costos de transporte y otras actividades que generan un mayor costo de operación.

Tesis 3: “Optimization of an Upstream Supply Chain”. (Engh, 2015)

Se detalla cómo utilizar la optimización de los parámetros utilizados en una excavación para hacer más efectivo el costo de operación desde la exploración del terreno hasta el tiempo propio de operación, esto mediante la utilización de modelos matemáticos y simulaciones en softwares que se encargan de brindar las mejores alternativas tanto para actividades planificadas como eventos fortuitos.

Dentro del capítulo “*The supply chain planning and logistics*” se describe la gestión logística como un arte multidisciplinaria donde convergen la matemática, la ciencia informática, el conocimiento empírico y el poder adquisitivo, todo esto apoyado en el uso de algoritmos y modelos matemáticos cuya salida es la programación óptima de los consumibles.

Artículo 1: “Comparison of drilling performance of chisel and button bits on the electrohydraulic driller”. (Su, Yarali, & Akcin, 2013).

Revela la importancia de las variables a tener en cuenta al momento de analizar un proyecto de excavación, resaltando las características del material (como textura, composición y dureza), el tipo de maquinaria y los accesorios que se colocan en ella, así como la disposición y programación de parámetros para su mejor desempeño en función del ambiente de trabajo, sea en tierra firme o con la presencia de agua. El rendimiento de las picas puede aumentar según los grados de inclinación al momento de ser colocados.

Artículo 2: “Drilling rigs and their role in logistics and supply chain management (SCM) for optimization of drilling industry through reducing waiting time of drilling rigs”. (Zamanifard, 2016).

Corresponde a una investigación centrada en planificación de la SCM (*Supply Chain Management*), enfocándose en la intervención logística a fin de reducir tiempos de transporte de maquinaria y adquisición de materiales, así mismo el contar con personal

experimentado y el seguimiento de modelos estadísticos de otros proyectos con características similares.

Artículo 3: “Chisel edge and cutting lip shape optimization for improved twist drill point design”. (Paul, Kapoor, & DeVor, 2005)

Abre campo a la optimización de eficiencia y rendimiento de accesorios con función similar a las picas, mediante la variación de los perfiles de corte de los elementos. El objetivo principal es la disminución en la fuerza de corte y el torque que se aplica al realizar las excavaciones, optimizando el rendimiento del material, mediante el uso de diferentes ecuaciones que, combinadas y usando las mismas variables, muestren las diferencias entre cada ensayo. Se logró obtener una mejora promedio del 40%.

Artículo 4: “Real Time Optimization of Drilling Parameters During Drilling Operations”. (Eren, 2010)

Para realizar la recolección de datos es importante que sean confiables y exactos, por lo que se requiere el uso de sensores calibrados o información claramente especificada y suministrada por una fuente confiable. El objetivo es demostrar el efecto en la disminución de costos mediante la optimización en la operación de excavación, implementando la prevención y la planificación estratégica para evitar sucesos inesperados que alteren los márgenes previstos.

Artículo 5: “Optimization Drilling Parameters Performance During Drilling in Gas Wells”. (Mehaysen & Mahasneh, 2017).

Explica un procedimiento para optimizar los parámetros de perforación tales como WOB (peso de la herramienta), ROP (velocidad de penetración), RPM (revoluciones por minuto), tasa de flujo y perforación y diámetro del agujero.

La optimización es muy importante durante la operación de perforación para ahorrar tiempo y costo de operación, lo cual incide directamente en las utilidades. El resultado de la investigación permitió conocer el punto óptimo de operación. Se realizaron diferentes ensayos a distintas profundidades y con un rango de carga de material entre las 33,000 libras y 44,000 libras. Se encontró que el tiempo de producción representa el 60.5% del tiempo total de operación.

Artículo 6: “An Integrated Approach for Drilling Optimization Using Advanced Drilling Optimizer”. (Hankins , Salehi , & Fatemeh, 2015)

Resalta la importancia de los softwares de modelación que permiten simular los posibles acontecimientos con base en parámetros históricos. Así mismo, se detalla una secuencia de pasos para generar un modelo con cierta autonomía de mejora continua después de cada aplicación.

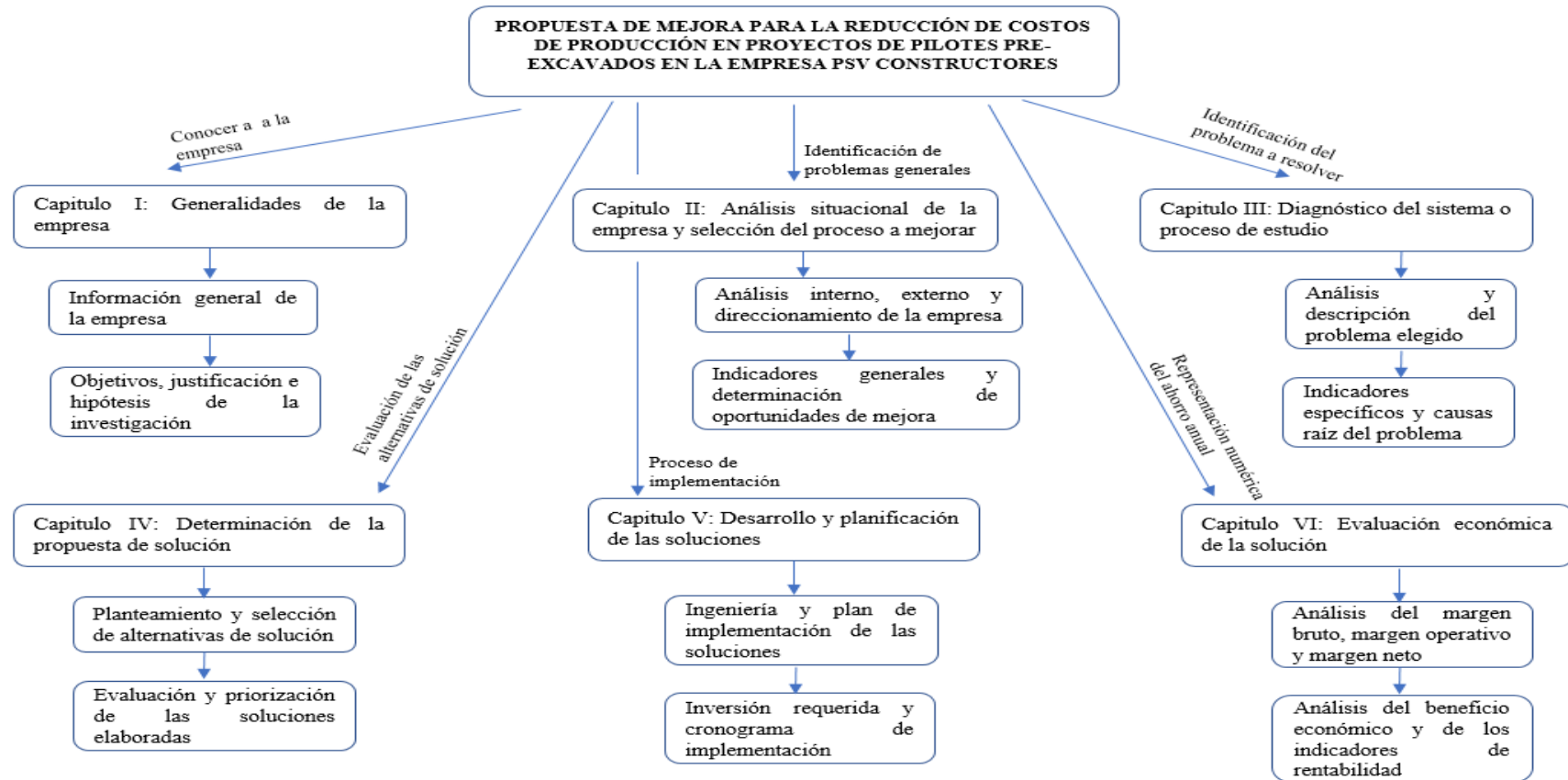
Un punto importante es la diferencia de obras de construcción en tierra firme versus lecho marino donde las condiciones son más complicadas por la fuerza del mar y las olas, que no solo hacen más difícil la construcción si no que desgastan las estructuras más rápidamente, estos eventos ocurren en PSV Constructores ya que se han realizado diversos proyectos sobre lecho marino. El uso de modelos permite recrear condiciones y tomar mejores decisiones sobre la ejecución de la obra.

1.7 Marco conceptual

En la siguiente figura 1.3 se describe el contenido general de cada capítulo de la presente investigación:

Figura 1.3

Mapa Conceptual



Elaboración propia

CAPÍTULO II: ANÁLISIS SITUACIONAL DE LA EMPRESA Y SELECCIÓN DEL PROCESO A SER MEJORADO

2.1 Análisis Externo de la Empresa

2.1.1 Identificación y evaluación de las oportunidades y amenazas del entorno

Las **oportunidades** que identificamos en la empresa son las siguientes:

- “Grandes empleadores de la población económicamente activa (PEA) peruana es el sector constructor” (Molina, Rios, & Yanque, 2017).
- Incremento del 5% del PGR (Presupuesto General de la República de Perú) (S/ 177 MM), mayor gasto corriente e IBI (Índice Bruto Interno).
- Mercado pesquero 2020, inversión en infraestructura portuarias.
- Minerías continúan con su plan de inversiones privadas y desarrollo de proyectos: Gasoducto Sur Peruano.
- Nuevos proyectos industriales: Línea 2 del Metro de Lima.

Las **amenazas** que identificamos en la empresa son las siguientes:

- Fenómeno El Niño o Niño Costero.
- Equipos con nuevas tecnologías, equipos complementarios en producción.
- Caída de la inversión en infraestructura, efecto “Lava Jato”.
- Incremento en los costos de maquinaria, combustible y mano de obra.

En la siguiente tabla 2.1 se muestra la matriz EFE de los factores externos de la empresa:

Tabla 2. 1*Matriz EFE*

FACTORES EXTERNOS	PESO	CALIF.	TOTAL
Oportunidades			
Grandes empleadores de la población económicamente activa (PEA) peruana es el sector constructor	0.125	3	0.375
Incremento del 5% del PGR (S/ 177 MM), mayor gasto corriente e IBI	0.1	4	0.4
Mercado pesquero 2020, inversión en infraestructura portuarias	0.09	3	0.27
Mineras continúan con su plan de inversiones privadas y desarrollo de proyectos: Gasoducto Sur Peruano	0.075	4	0.3
Nuevos proyectos industriales: Línea 2 del Metro de Lima	0.25	4	1
Amenazas			
Fenómeno El Niño o Niño Costero	0.10	2	0.2
Equipos con nuevas tecnologías, equipos complementarios en producción	0.08	1	0.08
Caída de la inversión en infraestructura, efecto “Lava Jato”	0.12	2	0.24
Incremento en los costos de maquinaria, combustible y mano de obra por mejora de tecnología	0.06	2	0.12
Total			2.985

Elaboración propia

De esta matriz EFE, se aprecia que el valor de la suma de la ponderación de Oportunidades (2.345) es mayor a la de Amenazas (0.64), por la teoría en la que se basa esta matriz, el significado es que el entorno externo es favorable para la empresa (2.985).

2.1.2 Análisis del entorno global (PEST)

Político: Dentro de las políticas del Gobierno de Kuczynski (2016-2018) para incentivar la inversión privada está la propuesta de cinco proyectos: «El Gasoducto Sur Peruano, la Línea 2 del Metro de Lima, Chavimochic Tercera Etapa, el aeropuerto de Chinchero y la pista de aterrizaje 2 del aeropuerto Jorge Chávez». “En este panorama, el Gobierno anunció el destrabe de la ampliación del Jorge Chávez, así como de la Línea 2 del Metro de Lima, proyectos con una inversión comprometida de más de US\$ 1.500 millones y de US\$ 5.500 millones, respectivamente” (Diario La República , 2017).

“Un primer efecto, es la caída de la inversión en infraestructura, que para este año representaba el 13% de la inversión total. Otro efecto se ve en la confianza de los empresarios en el Perú, cuya expectativa está siendo afectada” (Diario Gestión, 2017a).

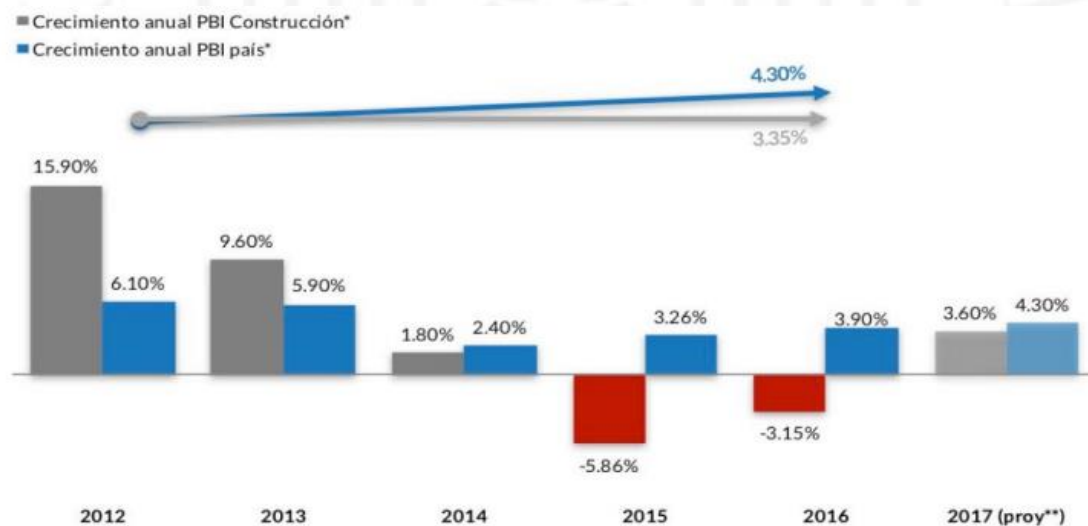
“Las causas de la no inversión y su postergación hasta el año 2018 es consecuencia del efecto del caso Lava Jato, pues ello trajo consigo la paralización de obras en infraestructura de envergadura que estaban relacionadas con la empresa brasileña ODEBRECHT y que eran las banderas principales de este Gobierno” (Diario Gestión, 2017b).

Económico: “El sector construcción tiene un efecto multiplicador: cuando se genera un puesto de trabajo en construcción, se generan cuatro puestos de trabajo en otros sectores y se pagan tres dólares en sueldos en otros sectores por cada dólar gastado en remuneraciones para la construcción” (Soto, 2012).

“Uno de los grandes empleadores de la población económicamente activa (PEA) peruana es el sector constructor, que en los últimos 5 años ha generado un promedio del 5.9% de empleo en el país, a pesar de no haber tenido un panorama favorable en los años 2015 y 2016” (Molina, Rios, & Yanque, 2017), como se muestra en la figura 2.1.

Figura 2. 1

Crecimiento anual PBI construcción (2012-2016)



Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) (2016) – Series Nacionales. Proyección: Reporte de inflación – Panorama actual y proyecciones macroeconómicas 2016-2018 – Banco Central de Reserva del Perú (BCRP) (2016)

Estos datos son muy importantes para entender la necesidad del gobierno de invertir en infraestructura, uno de los más importantes ejemplos es, la carga vehicular que soporta Lima. El parque automotor se encuentra fuera de control y no cuenta con sistemas

de transporte masivo como son los ya existentes Metropolitano y Tren Eléctrico, es por este motivo que empresas como PSV, surge la oportunidad de crecimiento en la participación del mercado ya que se opta por la tecnología de cimentación profunda para construir, puentes, carreteras, *bypass*, viaductos, etc.

Socio-Cultural: “Otro de los factores que ha generado un impacto negativo en el país es el Fenómeno El Niño o Niño Costero, presentándose a través de lluvias, inundaciones o desbordamientos y huaicos, que superan los USD\$ 3.100 millones en pérdidas económicas, equivalentes al 1.6% del PBI” (Molina, Rios, & Yanque, 2017).

Las pérdidas económicas se traducen en la destrucción de carreteras y viviendas, puentes, entre otros, como se muestra en la tabla 2.2.

Figura 2. 2

Indicadores de daños registrados Fenómeno El Niño 82-83 / 97-98 / 2017

Indicadores		1982-83	1977-98	2017
Personas afectadas	Und	133,000	350,000	742,101
Personas damnificadas	Und			120,899
Personas fallecidas	Und	233	285	90
Viviendas afectadas	Und	125,703	130,000	164,386
Viviendas inhabitables	Und			14,668
Viviendas destruidas	Und		5,782	14,301
Centros educativos afectados	Und	875	811	
Postas médicas afectadas	Und	101	598	
Carreteras afectadas	Kms	2,600	6,392	4,500
Carreteras destruidas	Kms	122	884	1,903
Caminos rurales afectados	Kms			4,878
Caminos rurales perdidos	Kms			829
Puentes afectados	Und		28	271
Puentes destruidos	Und	47	62	159
Hidroeléctricas destruidas	Und	3		
Aeropuertos afectados	Und	4	2	
Cultivos afectados	Has	442,623	75,579	
Cultivos perdidos	Has	192,825	42,738	
Cabezas de ganado perdidas	Und	2,600	1,111	

Fuente: Centro de Operaciones de Emergencia Nacional - COEN (2017)
Elaboración propia

Tecnología: “La industria de la construcción, en general, sufre una tradicional vacilación a la hora de adoptar tecnologías emergentes, causada en parte porque los proyectos tardan años en planificarse y completarse. Sin embargo, hace poco las empresas líderes en construcción progresista han comenzado a aprovechar y darse cuenta de la potencia de la tecnología, ya sea en realidad virtual, drones autónomos, inteligencia artificial, impresión tridimensional (3D) en concreto y mucho más.

Gracias a increíbles avances tecnológicos, se ha generado un gran valor optimizando la eficiencia y la productividad en cada etapa, desde la planificación hasta la construcción” (Diario Gestión, 2018).

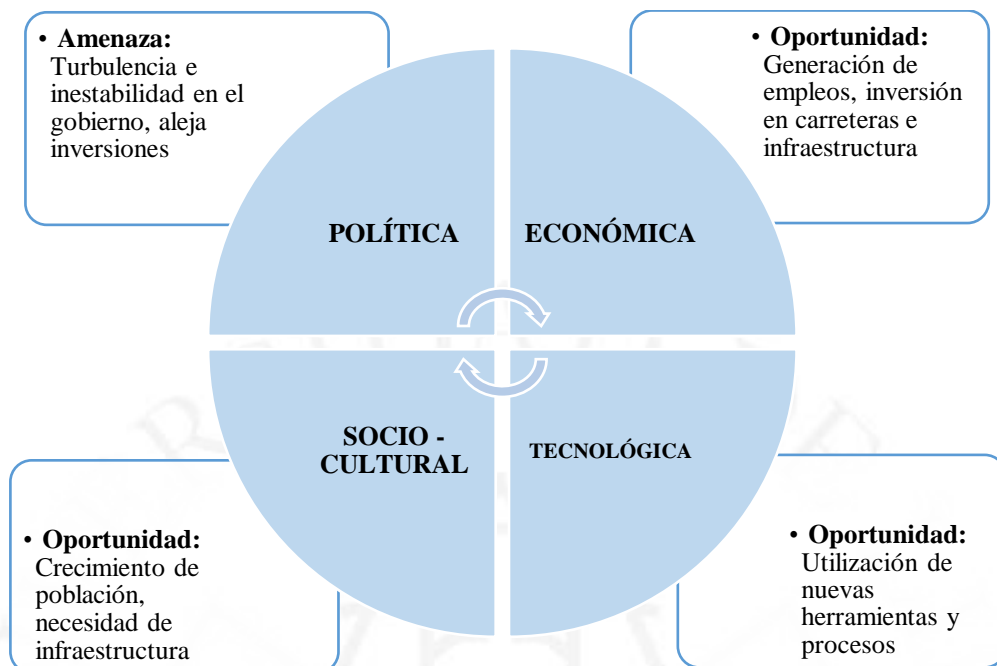
Del análisis del entorno global se concluye que existe un mayor número de **oportunidades**, por lo tanto, el impacto general para la empresa es positivo. No se encuentran **indiferencias** y la única **amenaza** encontrada es el factor político, el cual puede frenar la inversión en el desarrollo de infraestructura.

2.1.3 Resumen de análisis PEST

De lo descrito en el punto 2.1.2, la calificación brindada a cada caso es calificada como: **amenaza, indiferencia u oportunidad.**

Figura 2. 3

Análisis PEST



Elaboración propia

Del análisis del entorno global se concluye que existe un mayor número de **oportunidades**, por lo tanto, el impacto general para la empresa es positivo. No se encuentran **indiferencias** y la única **amenaza** encontrada es el factor político, el cual puede frenar la inversión en el desarrollo de infraestructura.

2.1.4 Análisis del entorno competitivo

- Poder de negociación de los clientes

La utilización de pilotes en el sector construcción es, en esencia, diferenciada principalmente porque los clientes no pueden encontrar productos alternativos fácilmente, lo que no les permite tener una variada cartera de proveedores. No existe un ahorro significativo en el proceso de adquisición del producto, esto se debe a que el precio deja de ser una variable numérica entre los competidores y el interés se centraliza en la calidad de los pilotes.

Actualmente, Perú cuenta con la operación de cuatro empresas dedicadas al rubro de excavación de pilotes, lo que lo convierte prácticamente en un monopolio, permitiendo

imponer cierto dominio del oferente ante el cliente. Los pilotes no son un *commodity*², esto quiere decir que el precio tiene calidad negociable, su asignación numérica se basa en la experiencia de sus trabajadores y en la realización de proyectos similares. **Lo mencionado permite decir que la presión ejercida es MEDIA.**

- Poder de negociación de proveedores

Al ser un producto diferenciado y dominado por un número concentrado de empresas, existe el riesgo de aumento de precios por alza de materias primas, lo cual reduciría la rentabilidad, **por este motivo la presión ejercida es BAJA.** Los proveedores son internacionales como opción preferente, pero también existen proveedores nacionales. Los internacionales se cotizan en China y Alemania y son; Tech Gong, China Unimate y Bauer respectivamente, los nacionales son: Betek, Headmark, Yacsa y SPG. La elección del proveedor dependerá de la necesidad o urgencia de la obra.

- Amenaza de nuevos entrantes

Según la diferenciación del producto existe una barrera alta para poder ganar un lugar en el sector y vencer a las empresas ya posicionadas en el mercado, como es el caso de PSV Constructores. Así mismo, la necesidad de capital es muy elevada y los grandes recursos financieros que se necesitan para poder competir representan también un obstáculo de entrada por el alto costo que representa la maquinaria, herramientas y consumibles.

Lo anterior es una evidencia de las pocas probabilidades de romper las barreras de entrada, especialmente porque se trata de un segmento que requiere de mucha experiencia y calidad profesional en el rubro, la mayoría de empresas entrantes podría venir del extranjero. Si es local, la pared es aún más alta. PSV tiene 12 años de experiencia con pilotes pre-excavados y 18 años con pilotes hincados. **Lo mencionado permite decir que la presión ejercida es BAJA.**

- Amenaza de productos sustitutos

La aparición de una mejora tecnológica que incremente notablemente los rendimientos de producción o disminuya el costo de la misma siempre es posible, pero por tratarse de un rubro altamente especializado, los sustitutos se vuelven poco probables. Los procedimientos de perforación de pilotes se mantienen casi invariantes en el tiempo, los

² Materias primas y materiales que se transan internacionalmente.

cambios son más morfológicos que de proceso. Existe, por lo tanto, una marcada tendencia a seguir utilizando los pilotes pre-excavados como la solución más viable a la hora de realizar cimentaciones profundas. **Lo mencionado permite decir que la presión ejercida es BAJA.**

- Rivalidad entre competidores

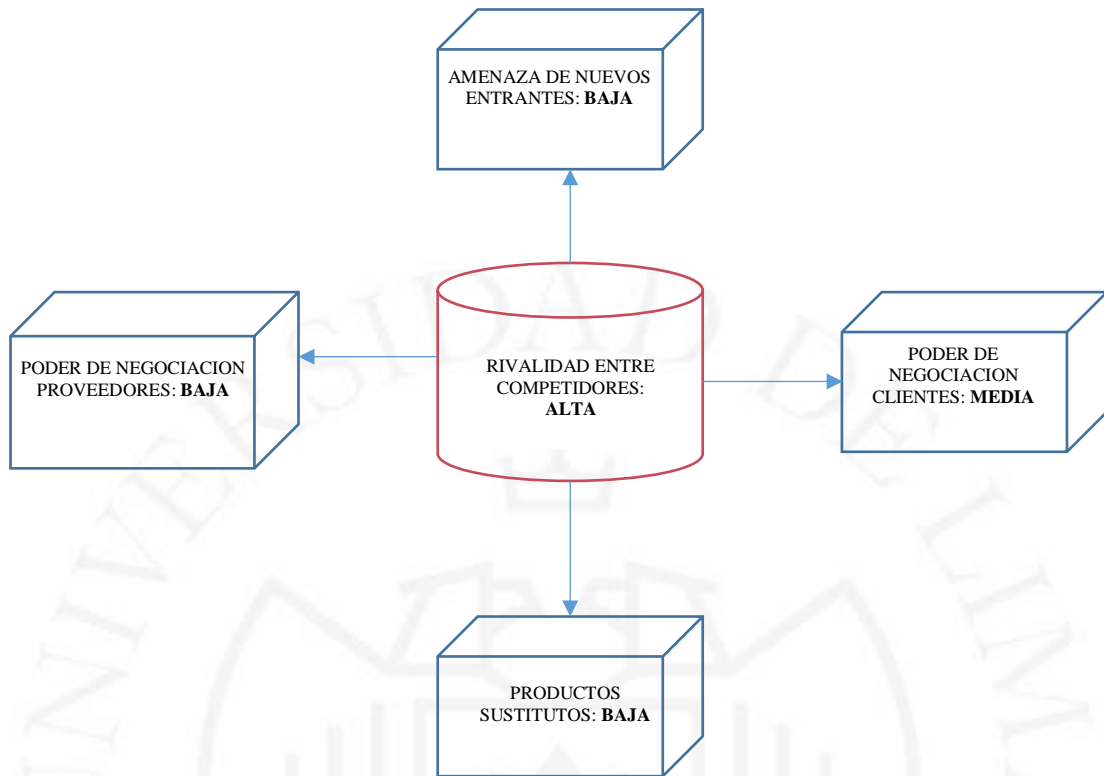
El hecho de que el número de competidores sea bajo implica una rivalidad alta entre ellos. Los principales competidores de PSV son, en su mayoría, internacionales. La razón es que tienen mayor poder de inversión para cubrir el presupuesto de los proyectos y pueden ofrecer precios más competitivos.

La competencia nacional no cuenta con los mismos servicios de PSV, por lo cual tienen menor participación en el mercado. Entre los competidores internacionales están: Terratest Peru SAC (España), Soletanche Bachy Peru (Francia) y Mota Engil (Portugal). Por otra parte, el único competidor nacional es RyM, el cual solo se especializa en hincado de pilotes más no en pilotes pre-excavados. **Lo mencionado permite decir que la presión ejercida es ALTA.**

Del análisis del entorno competitivo se concluye que el mercado de pilotes es de nivel **MEDIO**, por lo tanto, se puede inferir el impacto para la empresa sería económico al existir una mayor competencia en los precios ofrecidos en el mercado. Se debe reducir el margen de ganancia y así mismo, el costo de operación para lograr competir con las demás empresas, además de tener como impacto negativo que las mencionadas en su mayoría son de capital extranjero.

Figura 2. 4

Análisis competitivo (Fuerzas de Porter)



Elaboración propia

2.2 Análisis Interno de la Empresa

2.2.1 Análisis del direccionamiento estratégico: visión, misión y objetivos organizacionales

2.2.1.1 Visión

“Ser reconocidos como la empresa peruana referente en cimentaciones profundas, obras portuarias y montaje, con destacada presencia en Sudamérica, que garantice servicios de alta calidad y seguridad con estándar internacional a través de los cuales se logre satisfacer las expectativas de clientes, colaboradores, accionistas y comunidad” (PSV Constructores, 2019).

2.2.1.2 Misión

“Desarrollar proyectos de cimentación profunda, obras portuarias y montaje en general contando con profesionales de amplia experiencia brindando a nuestros clientes soluciones integrales de calidad basadas en la creatividad, ingeniería y la ética profesional, garantizando la salud y la integridad física de nuestros trabajadores, así como la conservación del medio ambiente” (PSV Constructores, 2019).

2.2.1.3 Objetivos Organizacionales Estratégicos

Perspectiva Financiera

- Buscar incremento de ingresos.
- Optimizar eficiencia operativa.
- Maximizar el uso de capital.

Perspectiva de cliente

- Mantener o mejorar la calidad del servicio.
- Generar valor con prácticas de responsabilidad social.
- Minimizar impactos ambientales.

Perspectiva de procesos internos

- Nuevas tecnologías e innovación en el servicio.
- Mejorar eficiencia en las operaciones.
- Optimizar procesos de mantenimiento.
- Operar con altos estándares de salud, seguridad y medio ambiente.
- Desarrollar relaciones externas armoniosas.

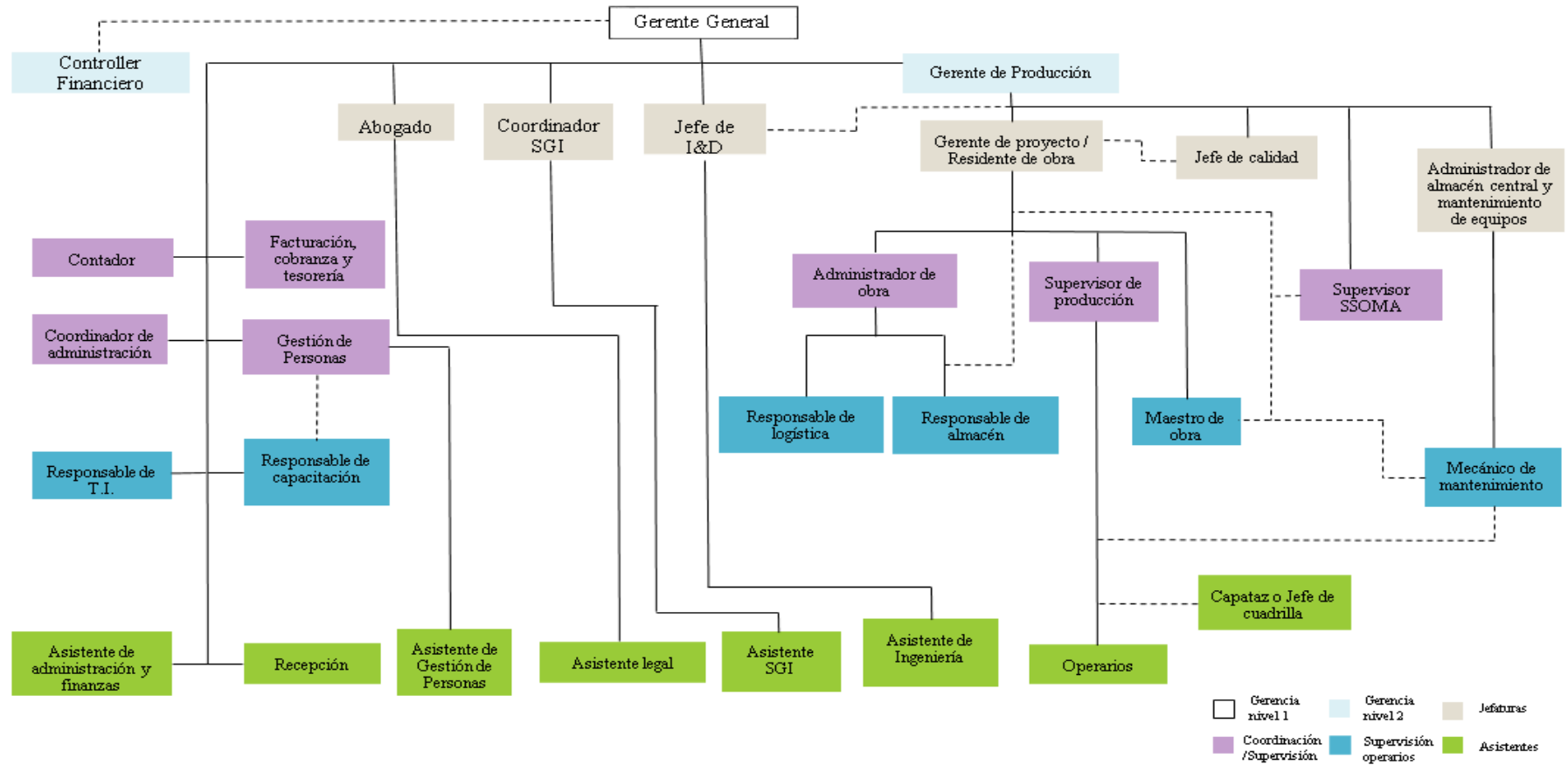
Perspectiva de innovación y aprendizaje

- Aumentar la productividad y satisfacción personal.
- Mejorar la efectividad de la cultura organizacional.
- Implementar plan de capacitación a todo nivel de organización.

2.2.2 Análisis de la estructura organizacional

Figura 2. 5

Organigrama de puestos



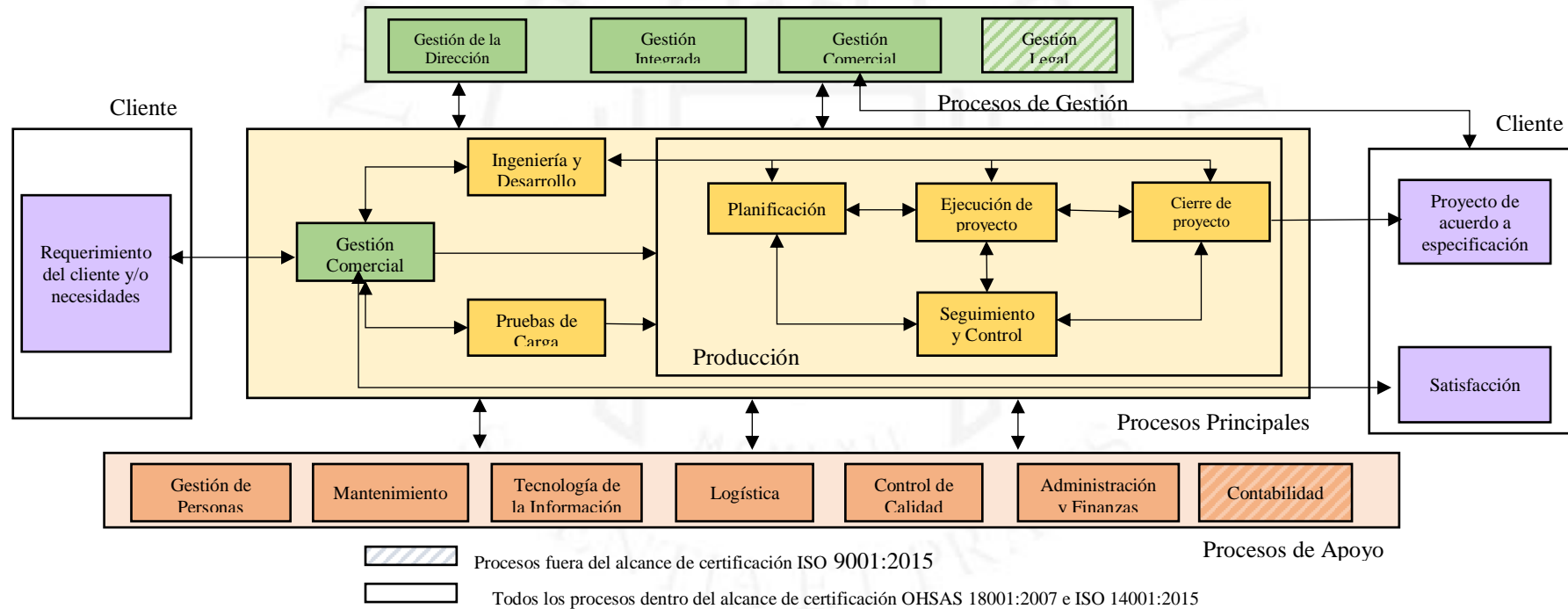
Fuente: PSV Constructores (2019)

2.2.3 Identificación y descripción general de los procesos claves

“La cadena de valor permite a la empresa entender cuáles partes de sus operaciones generan valor y que sean fuente de una ventaja competitiva, ya sea en las actividades de apoyo o en las actividades principales” (Hitt & Ireland , 2003).

Figura 2. 6

Mapa de procesos



Fuente: PSV Constructores (2019)

ENTRADA

El mapa de procesos de PSV empieza desde la llegada de un requerimiento y/o necesidades del cliente con los términos de referencia, un contrato de por medio, especificaciones técnicas, documentos y planos de ingeniería de detalle.

PROCESOS PRINCIPALES

Gerencia Comercial: Recibe la propuesta del proyecto y realiza un registro de este mismo, creando una carpeta compartida a todas las áreas para el proyecto a ejecutar. El encargado de este proceso es el Gerente Comercial en conjunto con el Gerente de Producción.

Ingeniería y Desarrollo: La función principal de esta área es analizar el tipo de proyecto y realizar un presupuesto, teniendo en cuenta todos los elementos y actores que participan en el proyecto. Este proceso es el más importante, ya que se plantea la solución de acuerdo a la información recibida para el requerimiento del cliente y se selecciona la información a utilizar.

Los especialistas realizarán los cálculos necesarios para diseñar el producto con la condición que cumpla con los requerimientos del cliente. Se elaboran los planos y documentos que conforman el expediente técnico (memoria descriptiva, especificaciones técnicas y memoria de cálculo).

Área de Producción: Una vez listo el presupuesto se envía al área de Producción, donde hacen una revisión exhaustiva de los montos, disponibilidad de maquinaria e inversión necesaria, así mismo como la obtención margen de ganancia deseada. Esta actividad puede repetirse múltiples veces hasta llegar a un monto con el cual PSV puede ofertar y ser un buen postor ante el cliente, y se decide enviar la propuesta formal al cliente.

Las fases por las cuales pasa el requerimiento en el área de Producción son las siguientes:

1. Planificación
2. Ejecución de Proyecto
3. Seguimiento y Control
4. Cierre de Proyecto

Pruebas de carga: Los objetivos principales de las pruebas de carga en pilotes son para establecer la relación entre la carga y el desplazamiento en el sistema pilote-suelo, determinar la capacidad de carga del sistema pilote-suelo, determinar la distribución de cargas del sistema pilote-suelo y ensayar el procedimiento constructivo, las técnicas y equipo hincado. Existen dos tipos: estática y dinámica. La primera se divide en vertical, lateral y carga combinada; la segunda, solamente en vertical.

PROCESOS DE APOYO

Logística: Si fuese necesario se realiza la solicitud de compra al área Logística, dicha solicitud es enviada al área de administración y compras con el presupuesto aceptado por Gerencia de Producción y se procede a programar las compras, así como las órdenes de importación si fuese necesario. Luego de esto, conociendo las fechas de inicio de obra, todas las áreas mencionadas realizarán las coordinaciones necesarias para estar listas e iniciar la obra.

Gestión de personas: Gestiona el capital humano de la empresa, es decir de la obra a realizarse, orientado al desarrollo y productividad aplicando herramientas de retención, fidelización, desempeño, bienestar, así como los procesos de captación y selección de personal.

Administración y Finanzas: Esta área recibe la solicitud de compra, si fuese necesaria, y espera aprobación de Gerencia de Producción para solicitar proveedores y tiempos de entrega. Luego de verificar proveedores, se comparan los costos y los tiempos óptimos para los materiales. Finalizado esto, realizan la orden de importación si es necesaria.

Mantenimiento: Encargada de asegurar la administración del almacén central y trazabilidad de los almacenes de obra, así como coordinar el mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos, asegurando una buena oferta de hora-máquina y pueda rendir en su capacidad nominal en cualquiera de los proyectos de la empresa.

Tecnología de la Información: Su función es velar que los sistemas estén operativos y en línea, se resguarde de manera eficiente la información. Mantener la operatividad del sistema ERP y resolver los problemas de TI que se puedan presentar en el día a día a los usuarios.

Control de Calidad: Durante este proceso, el Jefe de Control de Calidad asegura que los productos terminados que la empresa desarrolla y entrega a sus clientes cumplan con los estándares de calidad apropiados y ofrecidos en la propuesta. Durante el proyecto, podrán aclarar dudas del cliente sobre las pruebas y ensayos de calidad que se realizará según cronograma.

Contabilidad: El proceso consiste en llevar la gestión y analizar las acciones contables que permitan contar con información confiable sobre la situación económica y financiera de la empresa.

PROCESOS DE GESTIÓN

Gestión de la Dirección: Se encarga de gestionar con indicadores todas las áreas de la empresa, principalmente los procesos principales, de manera que le permita alcanzar los objetivos planteados en el corto y largo plazo.

Gestión Integrada: La función principal es la de mejorar continuamente los procesos dentro de la empresa en base a los indicadores establecidos y obtener las certificaciones que se proyecten en el plan de trabajo. Así mismo, obtener el logro de las “Auditorías de Seguimiento” en las normas implementadas; ante una eventual auditoría externa.

Gestión Legal: Revisa temas de contratos, adendas, órdenes de cambio y brinda soporte legal durante todo el transcurso del proyecto en conjunto con todas las áreas de la empresa. Coordina las acciones jurídicas que permitan sostener la operación dentro de las normativas dadas, sin riesgos de índole legal.

2.2.4 Análisis de los *indicadores generales de desempeño de los procesos claves* - línea base

Los indicadores de desempeño ayudan a la empresa a medir su performance durante un periodo de tiempo determinado y sirven para sacar conclusiones, convirtiendo estas métricas en oportunidades de mejora. Nos apoyamos en resultados obtenidos del último Balanced Scorecard (BSC) realizado en el 2018 como se muestra en el extracto de la tabla 2.2.

Tabla 2. 2

Indicadores de gestión generales

Perspectiva	Objetivos estratégicos	Indicadores generales	Unidad	Valor actual	Valor meta	Responsable
Financiera	Buscar incremento de ingresos	<i>Revenue Growth Rate (Crecimiento de Ingresos)</i>	Porcentaje	-27%	+5%	Gerencia General
	Optimizar eficiencia operativa	<i>Current Ratio (Razón corriente)</i>	Porcentaje	0.99	1.25	Gerencia General
	Maximizar el uso de capital	<i>ROA (Rendimiento sobre la inversión)</i>	Porcentaje	0.02	0.2	Gerencia General
Clientes	Mantener o mejorar la calidad del servicio	<i>Nivel de Satisfacción del cliente</i>	Porcentaje	71.86%	80%	Coordinador de SGI
	Generar valor con prácticas de responsabilidad social	<i>Cumplimiento de responsabilidad social</i>	Porcentaje	100%	70%	Gestión de Personas
	Minimizar impactos ambientales	<i>Cumplimiento del plan de capacitación medioambiental</i>	Porcentaje	90%	90%	Coordinador de SGI
		<i>Participación del plan de capacitación medioambiental</i>	Porcentaje	63%	70%	Coordinador de SGI
Procesos internos	Nuevas tecnologías e innovación en el servicio	<i>Incremento en capacidad de equipos</i>	Porcentaje	12.50%	15%	Almacén Central
	Mejorar eficiencia en las operaciones	<i>Eficiencia</i>	Porcentaje	74%	80%	Logística
	Optimizar procesos de mantenimiento	<i>Disponibilidad</i>	Porcentaje	72%	80%	Almacén Central
	Operar con altos estándares de salud, seguridad y medioambiente	<i>Número de no conformidades mayores por proceso</i>	Numero	0	0	Coordinador de SGI
		<i>Número de no conformidades menores por proceso</i>	Numero	OHSAS 18001:2	0	Coordinador de SGI
	Cumplimiento de plazos de ejecución	<i>Número de proyectos ejecutados según tiempo de contrato</i>	Porcentaje	65%	90%	Gestión Comercial
Innovación y aprendizaje	Aumentar la producción y satisfacción personal	<i>Cumplimiento del plan de capacitación interna</i>	Porcentaje	95%	70%	Gestión de Personas
		<i>Participación del plan de capacitación interna</i>	Porcentaje	87%	80%	Gestión de Personas
	Mejorar la efectividad de la cultura organizacional	<i>Asistencia a reuniones de comunicación interna</i>	Porcentaje	48%	80%	Gestión de Personas
	Implementar plan de capacitación a todo nivel organizacional	<i>Cumplimiento del plan de capacitación externa</i>	Porcentaje	88%	90%	Gestión de Personas
		<i>Participación del plan de capacitación externa</i>	Porcentaje	77%	80%	Gestión de Personas

Fuente: PSV Constructores (2018)

Elaboración propia

2.2.5 Determinación de posibles oportunidades de mejora

En la siguiente tabla 2.3, se muestra la matriz de posibles oportunidades de mejora encontradas para los procesos principales y procesos de apoyo.

Tabla 2. 3

Matriz de Posibles Oportunidades de Mejora

MATRIZ DE POSIBLES OPORTUNIDADES DE MEJORA	
PROCESOS DE GESTIÓN	PROBLEMAS
Gestión de la Dirección	El análisis y la toma de decisiones es centralizado y muchas veces pueden tomar mucho tiempo
	No se realiza seguimiento de los indicadores semestrales
	No existe un <i>feedback</i> objetivo o autoevaluación
Gestión Integrada	Escaso seguimiento / cronograma del status de cada proyecto
	Escasas inspecciones físicas de SST y medio ambiente en los proyectos fuera de Lima
	Déficit de la alimentación del sistema interno con la documentación que los residentes de obra deben colgar en las carpetas compartidas semanalmente
Gestión Legal	Los contratos de los proyectos no son transmitidos al área de Gestión Integrada
	La negociación de adendas no se considera en los presupuestos iniciales o no son modificadas posteriormente
Gestión Comercial	No se cuenta con un <i>hit rate</i> de proyectos que se deben realizar anualmente en montos económicos
	No existe un plan de proyecto en conjunto con todas las áreas bajo el estándar del PMI
	Déficit en la atención de los requerimientos durante la ejecución del proyecto
	Se incurren en altos costos de producción como, compras de emergencia
PROCESOS PRINCIPALES	
Ingeniería y desarrollo	Existen retrasos por falta de consumibles no proyectados adecuadamente en la etapa de planeación de obra
	No se realiza una comparación entre el costo de obra proyectado inicialmente y el costo final
	Existe una deficiencia en el análisis de la información recopilada de cada proyecto, que puede ser utilizada en la elaboración de pronósticos y mejorar la proyección de los costos
	Se incurre en altos costos por días de retraso

(continúa)

(continuación)

Producción	Se prioriza la producción, lo que causa posibles fatigas en los equipos
	Déficit en el plan de atención de los requerimientos de consumibles y materiales
	Altos costos por fletes o precio de compra de consumibles de emergencia al no contar con <i>stock</i>
	Se generan días de retraso por desabastecimiento de consumibles y accesorios de perforación
PROCESOS DE APOYO	
Mantenimiento	El mantenimiento de equipos mayores y menores es correctivo no preventivo
	No se realizan informes del status de la maquinaria al inicio y fin de la obra
	Déficit en la capacitación y posterior evaluación en el procedimiento del manejo de los equipos por los operarios (certificación de operarios)
	Existe uso negligente o sobre esfuerzo de los equipos, provocando daños mayores
Logística	No se cuenta con un área de logística definida, por lo que no existe un cronograma de abastecimiento del almacén provisional de un proyecto de pilotes pre-excavados
	Los almacenes provisionales de cada proyecto no presentan informes de salida y entrada de <i>stock</i>
	Existe persistente falta de stock de EPPS y consumibles
	No existe cronograma / programación para adquisición de equipos menores y accesorios (son adquiridos al momento, compra de emergencia)
Control de Calidad	El área de SGI (Sistema de Gestión Integrado) no verifica la obtención de certificaciones de maquinaria y equipos siguiendo un cronograma
	La coordinación de visitas de inspección a las obras no tiene una frecuencia establecida y obligatoria
	Las pruebas de integridad (PIT) y <i>cross hole</i> se realizan por una sola persona, lo cual genera retrasos cuando hay demanda de las mismas en proyectos paralelos
	No se cuenta con todas las certificaciones de calidad de los accesorios de izaje y herramientas

Elaboración propia

2.2.6 Identificación y evaluación de las fortalezas y debilidades de la empresa

Las **fortalezas** que identificamos en la empresa son las siguientes:

- Profesionales altamente calificados, experiencia en el desarrollo de la técnica. de cimentación con pilotes pre-excavados.
- Experiencia en procesos de cimentación profunda (19 años).
- Maquinaria apropiada para el desarrollo de actividades del negocio.
- Políticas comerciales con objetivos tangibles, así como desarrollo de un proyecto de pilotes pre-excavados (en proceso).

Las **debilidades** que identificamos en la empresa son las siguientes:

- Deuda moderada: tributaria, interna y externa.
- No se tiene un Plan de Logística Integral.
- Estructura organizacional y su gestión no responde necesidades operativas, administrativas y financieras.
- Baja capacidad de rendimiento y disponibilidad de equipos por falta de gestión de mantenimiento (preventivo, correctivo y predictivo).

A continuación, en la tabla 2.4 se presenta la matriz EFI o matriz de evaluación de factores internos:

Tabla 2. 4*Matriz EFI*

FACTORES INTERNOS	PESO	CALIF.	TOTAL
Fortalezas			
Profesionales altamente calificados, experiencia y certificaciones	0.16	4	0.64
Experiencia en procesos de cimentación profunda (19 años)	0.10	4	0.40
Maquinaria apropiada para el desarrollo de actividades del negocio	0.16	3	0.48
Políticas comerciales con objetivos tangibles, así como desarrollo logístico (en proceso)	0.08	3	0.24
Debilidades			
Deudas: tributaria, interna y externa	0.14	1	0.14
No se tiene un Plan de Logística Integral	0.12	1	0.12
Estructura organizacional y su gestión no responde necesidades operativas, administrativas y financieras	0.10	2	0.20
Baja capacidad de rendimiento y disponibilidad de equipos por falta de gestión de mantenimiento (preventivo, correctivo y predictivo)	0.14	1	0.14
Total			2.36

Elaboración propia

La suma total de los ponderados se encuentra por debajo de 2.5, lo cual indica que tiene una posición interna débil mientras que las calificaciones muy por encima caracterizan a la organización que es internamente fuerte. En la tabla 2.4, se obtiene como resultado 2.36 lo que indica una posición interna débil.

A continuación, se muestra la matriz FODA cruzada de las fuerzas externas e internas de la empresa:

Tabla 2. 5

Matriz FODA cruzado

		FACTORES INTERNOS	
		Fortalezas	Debilidades
MATRIZ FODA CRUZADO		<p>F1. Profesionales altamente calificados, experiencia y certificaciones</p> <p>F2. Experiencia en procesos de cimentación profunda (19 años)</p> <p>F3. Maquinaria apropiada para el desarrollo de actividades del negocio</p> <p>F4. Políticas comerciales con objetivos tangibles, así como desarrollo logístico (en proceso)</p>	<p>D1. Deudas: tributaria, interna y externa</p> <p>D2. No se tiene un Plan de Logística Integral</p> <p>D3. Estructura organizacional y su gestión no responde necesidades operativas, administrativas y financieras</p> <p>D4. Baja capacidad de rendimiento y disponibilidad de equipos por falta de gestión de mantenimiento (preventivo, correctivo y predictivo)</p>
Oportunidades			
FACTORES EXTERNOS	O1. Desarrollo del sistema de reconstrucción con cambios, construcción de puentes	F1-O3: Desarrollar un plan comercial agresivo (inteligencia comercial) el cual permita acceder a procesos licitatorios posicionándose previamente a los cronogramas de los procesos	D3-D1-O1: Crear un equipo de trabajo multidisciplinario con el fin de gestionar el plan comercial "Sector Estatal" (incluye provisión de fondos)
	O2. Incremento del 5% del PGR (177 MMM Soles), mayor gasto corriente e IBI	F1-F4-O2: Definir los mercados y clientes clave especificando los montos objetivo para cada uno de ellos	D3-O2: Crear un equipo de trabajo multidisciplinario con el fin de gestionar el plan comercial en los diferentes sectores del Gobierno
	O3. Mercado pesquero 2020, inversión en infraestructura portuarias	F1-F4-O3: Preparar plan comercial en forma conjunta con las áreas de ingeniería y operaciones. Potencial: alcance, montos y tiempo	D1-D3-O3: Destinar fondos financieros para visitas y homologaciones pendientes así como levantamiento de proyectos en campo (visita a pesqueras en zonas de Paita y Chimbote)
	O4. Mineras continúan con su plan de inversiones y desarrollo de proyectos	F1-F3-F4-O4: Continuar efectivizar homologaciones con empresas mineras, así mismo monitorear proyectos	D1-D3-O4: Destinar fondos financieros para visitas y homologaciones pendientes así como levantamiento de proyectos en campo (visita a mineras)
	O5. Nuevos proyectos industriales	F1-F3-F4-O5: Basado en la experiencia, establecer nichos comerciales industriales y valoración de proyectos	D1-D3: Creación de grupos de trabajo por sector y programar visitas (incluido fondos) a diferentes industrias
Amenazas			
FACTORES EXTERNOS	A1. Nuevas empresas y alianzas estratégicas en la competencia	F2-A1: Establecer nuevas políticas de fusiones y consorcios con el fin de lograr ventaja competitiva en procesos licitatorios	D3-A1: Determinar integrantes de comisión evaluadora de fusiones y consorcios (parte de reestructuración organizacional)
	A2. Equipos con nuevas tecnologías, equipos complementarios en producción	F1-F3-A2: Formar un comité técnico para la evaluación de nuevos equipos con tecnología de punta, análisis técnico y económico	D3-A2: Determinar integrantes de comisión evaluadora de equipos (parte de reestructuración organizacional)
	A3. Alta capacidad y espalda financiera de la competencia	F3-A3: Establecer nuevos canales financieros en bancos, entidades crediticias bajo escenario de fideicomisos y líneas de crédito con el fin de reducir el riesgo de insolvencia y falta de capital de trabajo	D1-A3: Crear el Presupuesto de ventas, costos y gastos; coordinar y gestionar con entidades financieras planes de reflotamiento financiero y líneas crediticias
	A4. Incremento en los costos de maquinaria, combustible y mano de obra	F4-A4: Gestión Logística: desarrollo de proveedores y subcontratistas	D2-A4: Desarrollar Plan Maestro Logístico Integral con el fin de reducir costos y generar eficiencia y rentabilidad en los procesos logísticos

Elaboración propia

2.2.7 Selección del sistema o proceso a mejorar

A continuación, se describe los factores considerados parte de los problemas y que pueden afectar los procesos que ya fueron descritos previamente. Mediante un ranking de factores se identifica los procesos más críticos, hasta llegar al proceso a ser mejorado.

Los factores considerados son:

1. Costos y gastos variables por días de retraso
2. Elaboración de pronósticos y cronogramas
3. Realización de actividades según manual de procedimientos
4. Verificación del desarrollo de plazos de ejecución
5. Profesionales competentes / capacitados

Tabla 2. 6

Matriz de enfrentamiento de factores

FACTORES	1. Costos y gastos variables por días de retraso	2. Elaboración de pronósticos y cronogramas	3. Realización de actividades según manual de procedimientos	4. Verificación del desarrollo de plazos de ejecución	5. Profesionales competentes /capacitados	Suma	%
1.Costos y gastos variables por días de retraso	X	1	1	1	1	4	36%
2.Elaboración de pronósticos y cronogramas	1	X	1	1	0	3	27%
3.Realización de actividades según manual de procedimientos	1	0	X	0	1	2	18%
4.Verificación del desarrollo de plazos de ejecución	0	0	0	X	1	1	9%
5.Profesionales competentes/ capacitados	0	0	0	1	X	1	9%
TOTAL						11	100%

Elaboración propia

De esta matriz se tiene como resultado que el factor que tiene mayor importancia es el de “Costos y gastos variables por días de retraso” con un resultado ponderado de 36%.

El siguiente paso es realizar otra tabla para calificar las oportunidades de mejora según los procesos que se indicaron en el punto 2.2.5.

Se utiliza un cuadro de puntuación con los aspectos a evaluar y la calificación correspondiente, la cual sirve para la matriz de enfrentamiento de factores y procesos siguientes.

Tabla 2. 7

Cuadro de puntuación

Cuadro de puntuación	
Aspecto a evaluar	Calificación
Poco importante	2
Importante	4
Muy importante	6

Elaboración propia

La siguiente tabla 2.8 demuestra el proceso más crítico:

Tabla 2. 8

Matriz de Enfrentamiento de Factores vs. Procesos

PROCESOS	Pond.	Gestión de la dirección		Gestión Integrada		Ingeniería y Desarrollo		Producción		Mantenimiento		Logística	
		Punt.	Calif.	Punt.	Calif.	Punt.	Calif.	Punt.	Calif.	Punt.	Calif.	Punt.	Calif.
1. Costos y gastos variables por días de retraso	36%	4	1.44	2	0.72	6	2.16	6	2.16	2	0.72	6	2.16
2. Elaboración de planeamiento y cronogramas	27%	6	1.62	6	1.62	6	1.62	6	1.62	6	1.62	6	1.62
3. Realización de actividades según manual de procedimientos	18%	4	0.72	6	1.09	4	0.72	6	1.09	6	1.09	6	1.09
4. Verificación del desarrollo de plazos de ejecución	9%	4	0.36	4	0.36	6	0.54	6	0.54	4	0.36	4	0.36
5. Profesionales competentes / capacitados	9%	6	0.54	4	0.36	6	0.54	6	0.54	6	0.54	6	0.54
TOTAL POR PROCESO		4.68		4.15		5.58		5.95		4.33		5.77	

Elaboración propia

De la tabla 2.8 se concluye que el proceso más crítico y el que debe ser analizado es el de: Producción, por obtener la mayor puntuación.

Para realizar la selección del proceso a mejorar se identifica en la tabla anterior 2.8 que el área o proceso a mejorar se encuentra en la de **Producción**. Luego de determinar los principales problemas de esta área, se utiliza la herramienta de diagrama de Pareto para darle un valor a cada uno e identificar el de mayor peso.

Tabla 2. 9

Problemas

Ítem	Problemas	Frecuencia (F)	Impacto (I)	Efecto (F*I)
A	Sobre esfuerzo durante jornada de trabajo, lo que causa posibles fatigas en los equipos	6	5	30
B	Déficit en el plan de atención de los requerimientos de consumibles y materiales	4	5	20
C	Altos costos por precio de compra de consumibles de emergencia al no contar con <i>stock</i>	9	8	72
D	Se generan días de retraso por desabastecimiento de consumibles y accesorios de perforación	5	3	15

Elaboración propia

Después, se ordena de mayor a menor según el puntaje asignado y el porcentaje:

Tabla 2. 10

Frecuencia acumulada

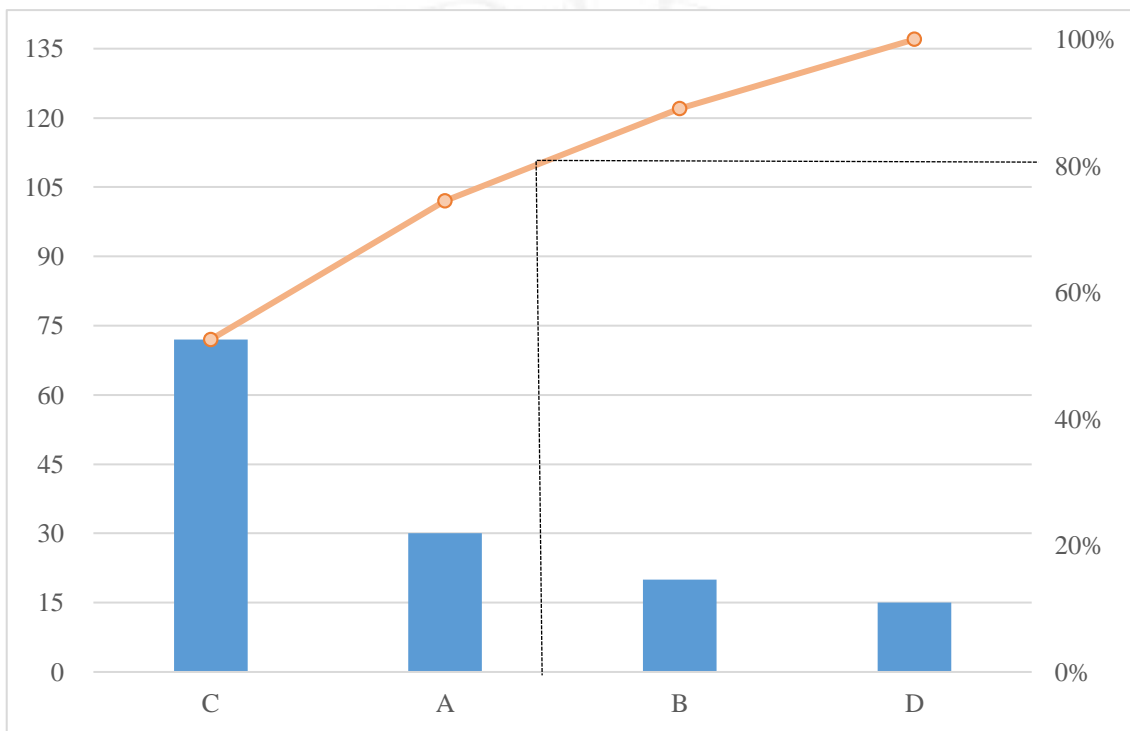
Causa	Efecto	%	% Acumulado	Frecuencia	80-20
C	72	52.55%	52.55%	37.84	80
A	30	21.90%	74.45%	6.57	80
B	20	14.60%	89.05%	2.92	20
D	15	10.95%	100.00%	1.64	20

Elaboración propia

En la siguiente figura 2.7 se muestra el diagrama de Pareto, donde se representa los problemas principales sobre el eje equis. Luego, se traza una línea horizontal y vertical negra al 80% y se analiza el principio de 80% - 20%. El trazo de color melón representa el valor porcentual acumulado de los problemas.

Figura 2. 7

Diagrama de Pareto de problemas



Elaboración propia

De acuerdo al diagrama de Pareto, se debe analizar y plantear alternativas de solución para los siguientes problemas principales, por representar el 80% de los problemas encontrados:

C: Altos costos de producción que incurren en penalidades, paralizaciones y costos directos.

A: Sobre esfuerzo durante jornada de trabajo, lo que causa posibles fatigas en los equipos

Luego de analizar los problemas y sus posibles soluciones se tiene la siguiente tabla con las propuestas:

Tabla 2. 11

Cuadro de posibles soluciones

Ítem	Problema	Solución propuesta
C	Altos costos de producción que incurren en penalidades, paralizaciones y costos directos	Realizar un plan de adquisición de <i>stock</i> anual o utilizar alguna herramienta estadística que permita predecir con cierta exactitud el número de picas (consumibles) que se necesita para determinado proyecto
A	Sobre esfuerzo durante jornada de trabajo, lo que causa posibles fatigas en los equipos	Mejorar el plan de mantenimiento preventivo y correctivo a fin de hacerlo obligatorio dentro del plan de ejecución del proyecto y después del cierre

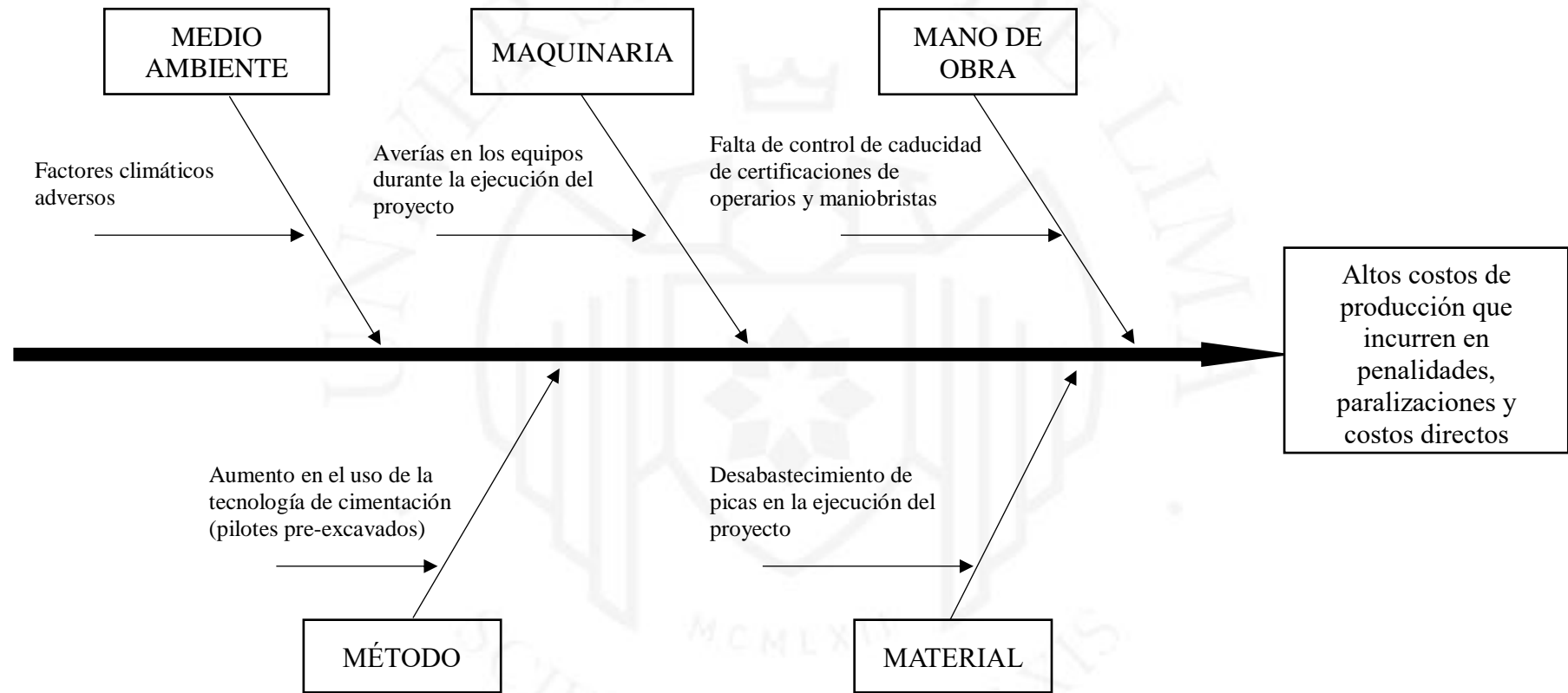
Elaboración propia

El enfoque de esta tesis es netamente estadístico y de planificación de stock, es por ello que se enfoca en resolver el primer problema C: **Altos costos de producción que incurren en penalidades, paralizaciones y costos directos.**

Para complementar, se presenta el diagrama Ishikawa (Causa-Efecto) en la figura 2.8 que permite identificar las causas raíces del problema hallado líneas arriba.

Figura 2. 8

Diagrama Causa-Efecto (Ishikawa)



Elaboración propia

Después se realiza un análisis del diagrama Ishikawa (causa-efecto) mostrado arriba utilizando la herramienta de los 5 porqués, método basado en realizar preguntas relacionadas una a la anterior para explorar las relaciones de causa-efecto que genera un problema.

Tabla 2. 12

Herramienta de los 5 porqués

Ítem	Causas raíces	Utilización de los cinco porqués para cada causa				
		1	2	3	4	5
	Medio ambiente	¿Por qué afectan los factores climáticos?	¿Por qué es importante?	¿Por qué afecta la paralización del proyecto?		
A	Factores climáticos adversos	Porque no son esperados, por ejemplo: fenómeno El Niño, huaycos, aluviones, inundaciones, heladas etc.	Porque existe paralización del proyecto (tiempo indefinido)	Porque el promedio de pilotes elaborados por día es cero o menor a lo proyectada e incurre en costos directos extras (HH y HM)	Se retrasa el cronograma de ejecución planificado y puede afectar el inicio de otro proyecto	
	Maquinaria	¿Por qué se generan averías en los equipos durante la ejecución del proyecto?	¿Por qué hay negligencia?	¿Por qué falta mantenimiento preventivo?		
C	Averías en los equipos durante la ejecución del proyecto	Porque hay manipulación negligente del operario del equipo y falta de mantenimiento preventivo (pilotea, grúas, máquinas de soldar, etc.	No se realizan las capacitaciones o evaluaciones a los operarios previo al inicio del proyecto	No se cumple cronograma de mantenimiento preventivo, durante y al terminar un proyecto	Priorización de producción vs. mantenimiento	

(continúa)

(continuación)

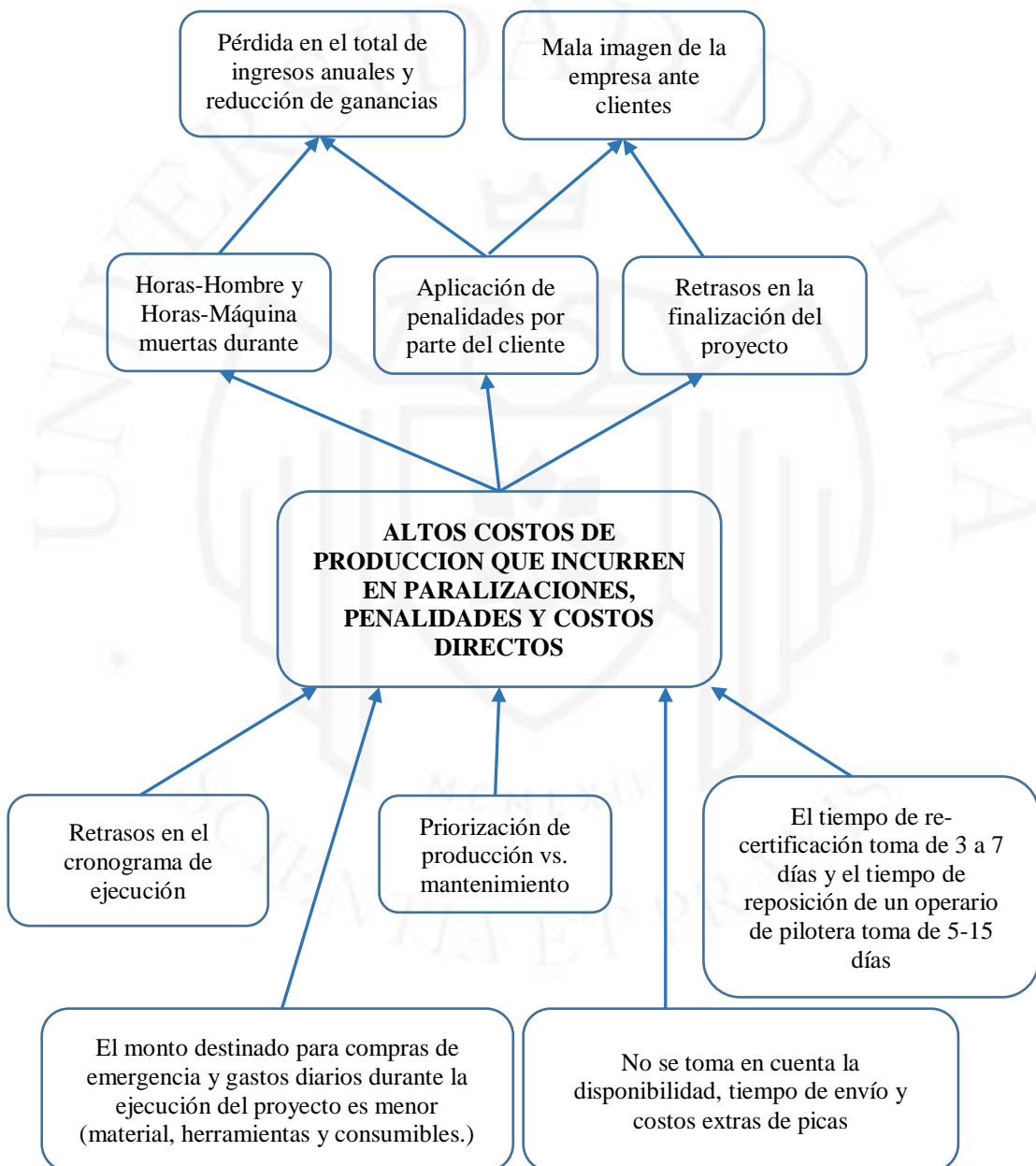
Mano de Obra		¿Por qué no se controlan las certificaciones?	¿Por qué no se renuevan a tiempo?	¿Por qué se deben tener las certificaciones activas?	¿Por qué afecta la restricción?	
F	Falta de control de caducidad de certificaciones de operarios y maniobristas	Porque no se lleva un calendario de renovación, las certificaciones pueden caducar durante la ejecución del proyecto	Porque se utilizan las H-H y H-M para realizar el entrenamiento, no se cuenta con simuladores de los tableros de control (grúas y piloteras)	Porque se restringe el ingreso a obra si no cuenta con la certificación, los operarios de piloteras son escasos por ser una técnica de cimentación especializada	Reducción en la fuerza de trabajo (cuadrilla de obreros, operarios y maniobristas)	El tiempo de re-certificación toma de 3 a 7 días y el tiempo de reposición de un operario de pilotera toma de 5-15 días
Método		¿Por qué aumenta el uso de pilotes pre-excavados?	¿Por qué afecta el crecimiento de la demanda?	¿Por qué importa la disponibilidad de equipos?		
I	Aumento en el uso de la tecnología de cimentación (pilotes pre excavados)	Porque se utiliza la técnica en nuevas obras de infraestructura (puentes, carreteras, edificaciones, puertos, etc.) y crece la demanda de proyectos en todo el territorio nacional e internacional (Chile, Ecuador y Colombia)	La atención de cada proyecto depende de la disponibilidad de maquinaria para iniciar un proyecto (actualmente se cuenta con 5 piloteras). La inversión por cada pilotera es aproximadamente de 1 millón de dólares.	Porque destinar ingresos a la compra de nuevos equipos, reduce la liquidez, propicia déficit económico y deudas	El monto destinado para compras de emergencia y gastos diarios durante la ejecución del proyecto es menor (material, herramientas, consumibles etc.)	
Material		¿Por qué hay desabastecimiento de picas?	¿Por qué no se cuenta con lo necesario?	¿Por qué afecta el mayor desgaste?	¿Por qué afecta la disminución del rendimiento?	
L	Desabastecimiento de picas en la ejecución del proyecto	Porque no se cuenta con las picas necesarias, no existe stock y se incurre en altos costos por mayor fatiga en los equipos	Porque según el tipo de suelo a perforar (puede ser de mayor dificultad al esperado), el desgaste de picas será mayor por metro lineal	El rendimiento de perforación disminuye al no tener suficientes picas	Demora en la ejecución de pilotes diarios (baja el rendimiento proyectado)	No se toma en cuenta la disponibilidad, tiempo de envío y costos extras de picas

Elaboración propia

A continuación, el diagrama de Árbol de la realidad actual, el cual representa el problema principal (hallado en el diagrama de Pareto de problemas), causas raíces y las consecuencias que genera.

Figura 2. 9

Diagrama de Árbol de la realidad actual



Elaboración propia

CAPÍTULO III: DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA O PROCESO OBJETO DE ESTUDIO

3.1 Análisis del sistema o proceso objeto de estudio

3.1.1 Descripción detallada del sistema o proceso objeto de estudio

Producción de pilote pre-excavado: Los pilotes se clasifican, según su técnica de ejecución, en pilotes perforados o pre-excavados y pilotes hincados. Son los primeros los de mayor uso debido a su alta resistencia a la corrosión, su facilidad de alcanzar grandes profundidades con secciones transversales de gran tamaño y su tasa de éxito en la mayoría de suelos.

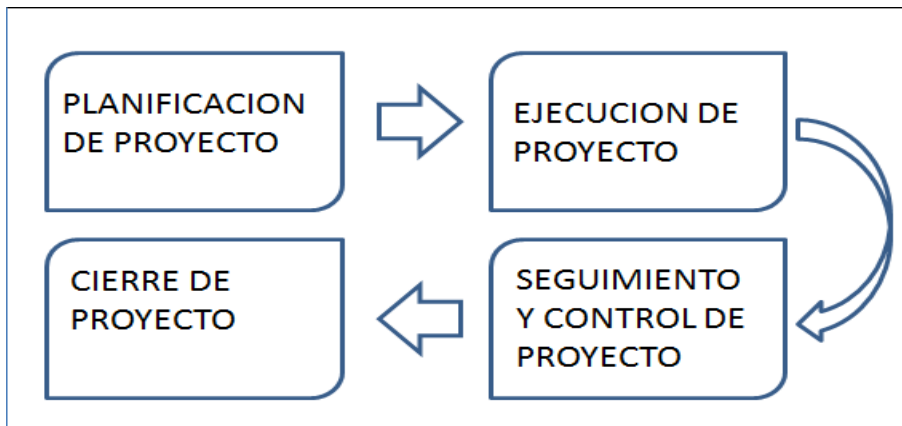
Por otra parte, los pilotes pre-excavados necesitan de una máquina perforadora junto con sus herramientas de perforación (*core-barrel, auger, bucket*, entre otras). Cada uno de estos accesorios utilizan unos elementos abrasivos y de alta resistencia llamados picas, que se encargan de realizar el “corte” del suelo donde se está realizando la perforación. Son quizás el elemento más importante a la hora de mejorar el desempeño del equipo, dado que representa el símil en el efecto del filo de una broca (herramienta de perforación) de acero a la hora de perforar una plancha (suelo).

La adquisición a tiempo de una cantidad adecuada de picas para la totalidad del proyecto representa lograr cumplir con el rendimiento proyectado, el cual influye en el indicador de cumplimiento de plazo (plazo real / plazo de ejecución).

A continuación, se muestra el flujograma de proceso de producción:

Figura 3. 1

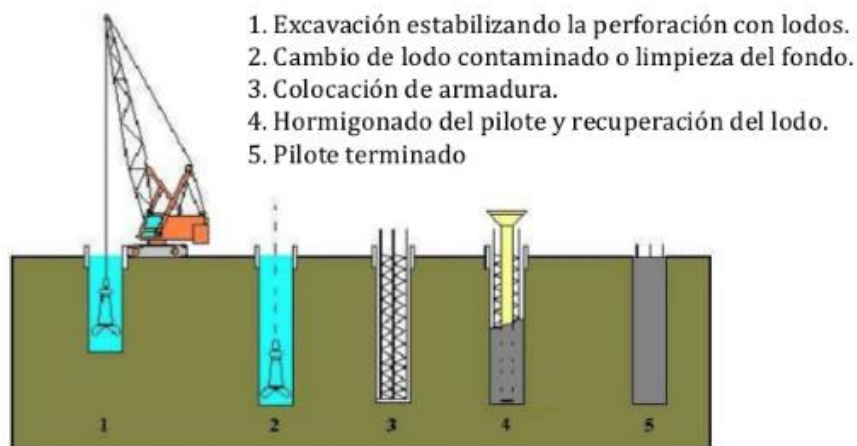
Flujograma de proceso de producción



Elaboración propia

Figura 3. 2

Procedimiento constructivo pilotes pre-excavados



Fuente: PSV Constructores (2019)

En la siguiente tabla se presenta el DAP (Diagrama de Análisis de Proceso) de un pilote pre-excavado elaborado por la empresa PSV Constructores:

Tabla 3. 1

Diagrama de Análisis de Proceso (DAP)

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO Cimentación de pilotes pre-excavados (Escardó)										
Diagrama No.	Hoja No.	OPERARIO <input type="checkbox"/>			MATERIAL <input type="checkbox"/>			EQUIPO <input checked="" type="checkbox"/>		
RESUMEN										
Objetivo: Revisión de Proceso de cimentación profunda		ACTIVIDAD			ACTUAL		ACTUAL		PROPUESTA	
		Proceso analizado: Cimentación de pilotes pre excavados, Escardó		Operación			85.85		Durante la perforación, se realiza la excavación en la cual se utilizan las picas (si estas están muy desgastadas no ayudan a la excavación, por lo cual deben ser cambiadas), si no se cuenta con stock en el almacén la obra, se origina una demora por abastecimiento de las mismas.	
Método:		Transporte			18					
Actual		Espera			22.35					
Propuesto		Inspección			6.5					
Localización: San Miguel - Callao		Almacenamiento			0					
Operario: Operario pilotera, maniobristas		Distancia (m)			21218					
Elaborado por: Ing. Oscar Rodríguez		Tiempo (hora / hombre)			140.7					
Aprobado por:		Costo pilote (1000 mm x 22 mts)			\$7,040					
Fecha: 15/05/19		Total			132.7					
Comentarios										
Descripción		Cantidad	Distancia	Tiempo	Símbolo					Observaciones
1	Movilización	1	6,810	8	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	De Chilca a San Miguel
2	Transporte de accesorios y armadura	1	6,810	8	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	De Chilca a San Miguel
3	Armado e instalación de equipos	1	0	12	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	En sitio
4	Instalación de funda metálica (0-6 mts)	1	0	0.15	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Diámetro nominal 1000 mm
5	Perforación con auger (0-6 mts)	1	6	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Equipo con picas
6	Retiro material de columna (0-6 mts)	1	6	0.15	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Columna ascendente
7	Empalme de funda (6-12 mts)	1	0	0.45	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Soldadura de cellocor 6010 + supercito 7011

(continúa)

(continuación)

8	Verificación e inspección	1	0	0.25	●			●		Verificación de soldadura (facilidades)
9	Instalación de funda metálica (6-12 mts)	1	0	0.2	●			●		Diámetro nominal 1000 mm
10	Perforación con auger (6-12 mts)	1	12	1	●					Equipo con picas
11	Retiro material de columna (6-12 mts)	1	12	0.2						Columna ascendente
12	Empalme de funda (12-18 mts)	1	0	0.45				●		
13	Verificación e inspección	1	0	0.25	●			●		Verificación de soldadura (facilidades)
14	Instalación de funda metálica (12-18 mts)	1	0	0.2	●					Diámetro nominal 1000 mm
15	perforación con auger (12-18 mts)	1	18	1	●					Equipo con picas
16	Retiro material de columna (12-18 mts)	1	18	0.2						Columna ascendente
17	Empalme de funda (18-22 mts)	1	0	0.45				●		Soldadura de cellocor 6010 + supercito 7011
18	Verificación e inspección	1	0	0.25				●		Verificación de soldadura (facilidades)
19	Instalación de funda metálica (18-22 mts)	1	0	0.3	●					Diámetro nominal 1000 mm
20	Perforación con auger (18-22 mts)	1	22	0.5	●					Equipo con picas
21	Retiro material de columna (18-22 mts)	1	22	0.2	●					Columna ascendente
22	Limpieza del material excedente (0-22mts)	1	0	1				●		
23	Verificación e inspección	1	0	0.5				●		
24	Instalación de armadura de fierro	1	50	1	●					Incluye instalación centralizadores
25	Transporte de concreto	1	600	2				●		Realizada por el proveedor
26	Vaciado concreto(sistema tremie)	1	22	2.5	●					
27	Retiro de funda (oxicorte) (18-22 mts)	1	0	0.75	●					Se va retirando fundas según el avance del vaciado del concreto
28	Retiro de funda (oxicorte) (12-18 mts)	1	0	0.75	●					
29	Retiro de funda (oxicorte) (6-12 mts)	1	0	0.75	●					
30	Retiro de funda (oxicorte) (0-6 mts)	1	0	75	●					
31	Verificación e inspección	1	0	0.25				●		
32	Prueba de integridad	1	0	5				●		
33	Desarmado y desinstalación	1	0	8				●		
34	Desmovilización	1	6810	8				●		
TOTAL		34	21,218.0	140.7						

Fuente: PSV Constructores (2019)

Elaboración propia

3.2 Análisis de los indicadores específicos de desempeño del sistema o proceso

Tabla 3. 2

Indicadores específicos de desempeño

Indicadores específicos	Fórmula
Indicador de plazo	$\frac{\text{Plazo real}}{\text{Plazo de ejecución}}$
Indicador tope por penalidad	$\frac{\text{Plazo de ejecución} + \text{Días tope contrato}}{\text{Plazo de ejecución}}$
Ratio aéreo vs. marítimo	$\frac{\text{Monto flete aéreo}}{\text{Monto flete marítimo}}$
% Margen Bruto inicial	$\frac{\text{Utilidad Bruta}}{\text{Ventas}} \times 100$
% Margen Operativo inicial	$\frac{\text{Utilidad Operativa}}{\text{Ventas}} \times 100$
% Margen Neto inicial	$\frac{\text{Utilidad Neta}}{\text{Ventas}} \times 100$

Fuente: PSV Constructores (2019)
Elaboración propia

El éxito de esta investigación se mide mediante estos seis indicadores, los cuales se fundamentan en los resultados iniciales de la empresa, antes de realizar la mejora. Primero se va a analizar los indicadores de producción: de plazo, de tope por penalidad y el ratio aéreo vs. marítimo, el primero sirve principalmente para medir aquellos proyectos que presentaron más días del plazo de ejecución, que es el contractual.

El segundo sirve para comparar el tope de días para no incurrir en penalidades en un proyecto de pilotes pre-excavados. Este debe compararse con el indicador de plazo, si el primero es mayor, entonces se incurrió en penalidades contractuales. El último ratio aéreo vs. marítimo sirve para mostrar el porcentaje adicional que se incurre por picas de emergencia en promedio en los últimos años. La siguiente tabla muestra los promedios del indicador de plazo anual:

Tabla 3. 3

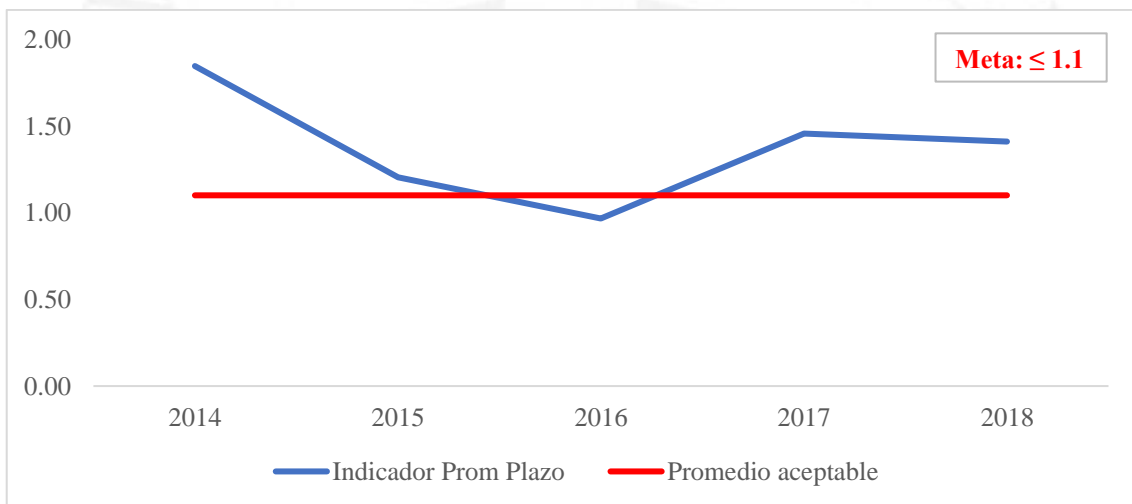
Tabla de indicadores promedio de plazo anual

Año	Indicador Promedio Plazo	Promedio aceptable
2014	1.85	1.1
2015	1.20	1.1
2016	0.97	1.1
2017	1.45	1.1
2018	1.41	1.1

Fuente: PSV Constructores (2019)
Elaboración propia

Figura 3. 3

Gráfico de indicador promedio de plazo anual



Elaboración propia

Como se muestra en el gráfico, en los años donde existen retrasos por falta de picas (2014, 2017, 2018) el indicador se muestra fuera de rango. En la siguiente tabla, se compara el indicador promedio de plazo con el indicador promedio de tope por penalidad:

Tabla 3. 4

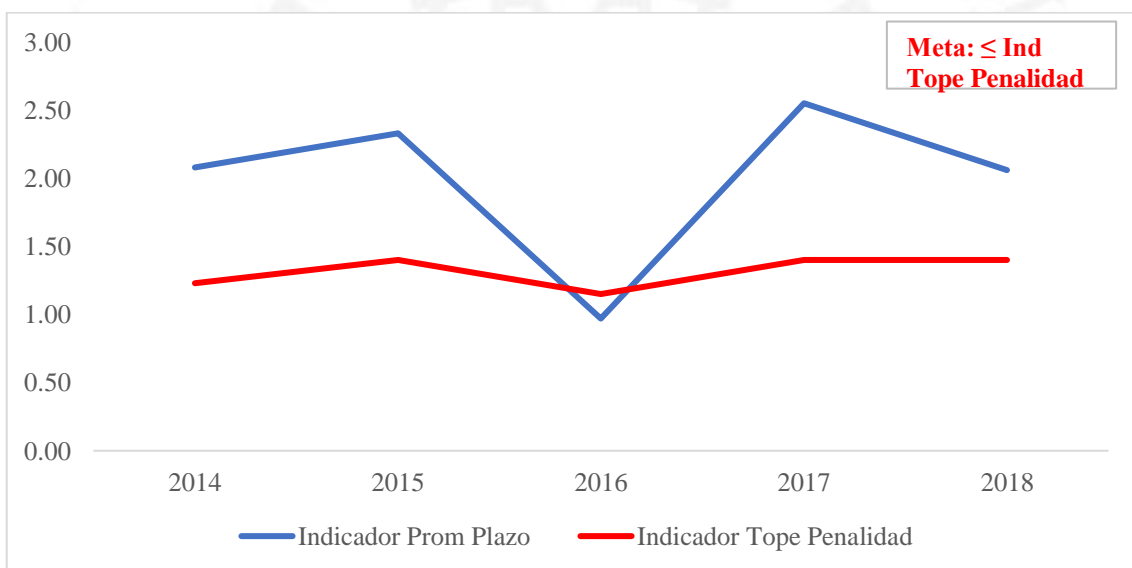
Tabla de indicadores promedio tope por penalidad

Año	Indicador Promedio Plazo	Indicador Tope Penalidad
2014	2.08	1.23
2015	2.33	1.40
2016	0.97	1.15
2017	2.55	1.40
2018	2.06	1.40

Fuente: PSV Constructores (2019)
Elaboración propia

Figura 3. 4

Gráfico de indicador promedio tope por penalidad



Elaboración propia

Como se muestra en el gráfico anterior, el indicador promedio de plazo supera al indicador promedio tope por penalidad en aquellos años donde existe retraso por picas.

Posteriormente se evalúa el ratio de flete aéreo vs. marítimo, el cual nos indicara la proporcionalidad de solicitar picas vía aérea por emergencia o en el otro caso realizarlo mediante una solicitud anticipada por mar, siendo esta ultima la más conveniente. En la siguiente figura se muestra el comportamiento de este indicador:

Tabla 3. 5

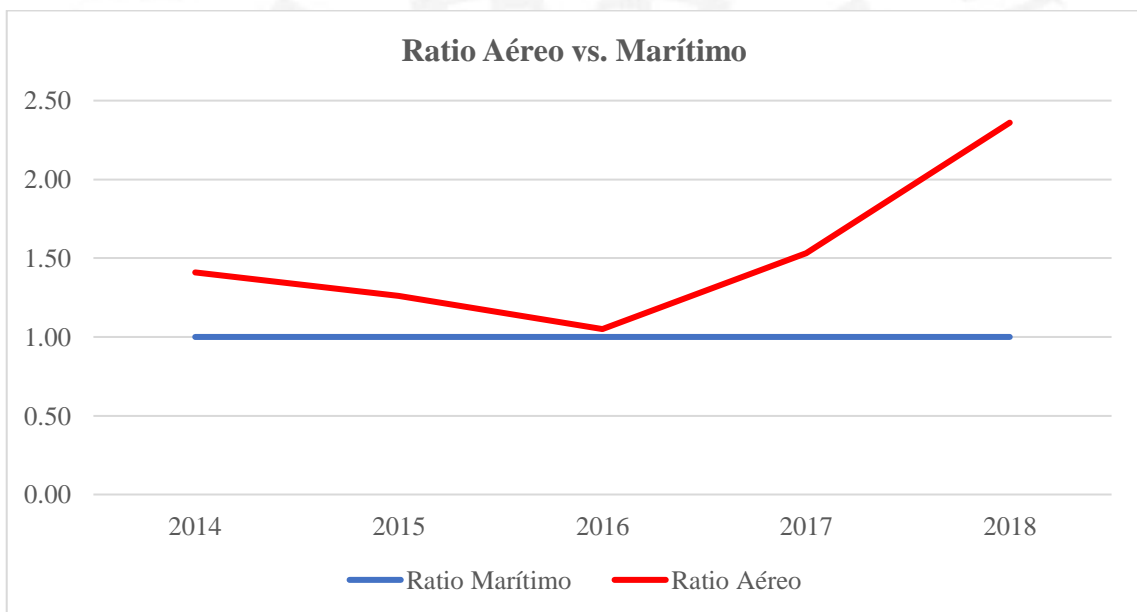
Tabla de ratio flete aéreo vs. flete marítimo

Año	Ratio Marítimo	Ratio Aéreo
2014	1.00	1.41
2015	1.00	1.26
2016	1.00	1.05
2017	1.00	1.53
2018	1.00	2.36

Fuente: PSV Constructores (2019)
Elaboración propia

Figura 3. 5

Ratio aéreo vs. marítimo

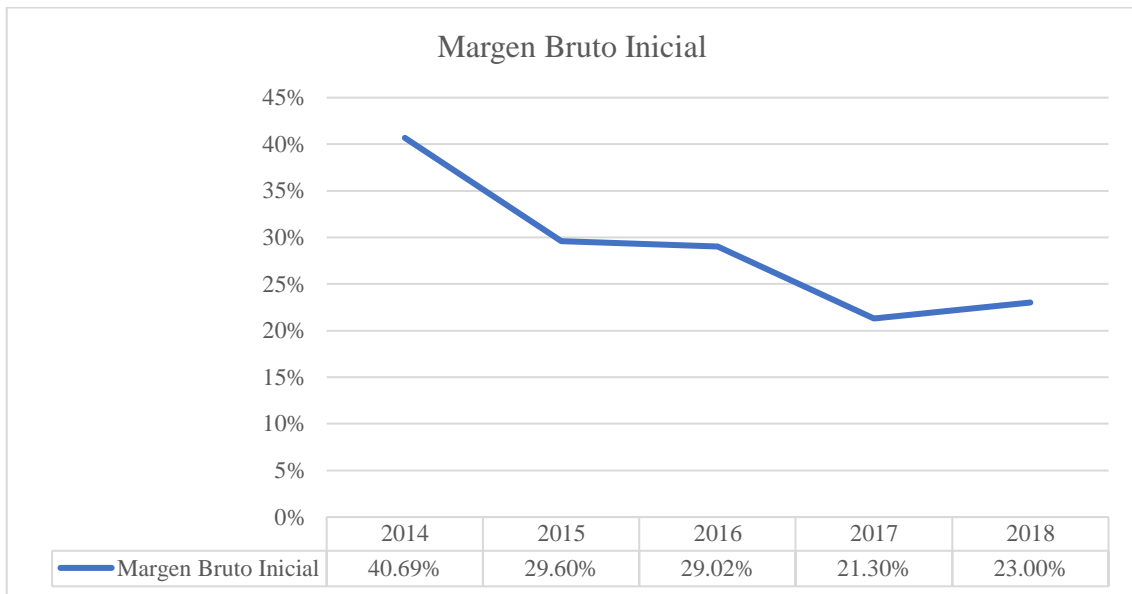


Elaboración propia

En segundo lugar, se tienen los indicadores de rentabilidad iniciales (antes de la mejora): margen bruto, margen operativo y margen neto:

Figura 3. 6

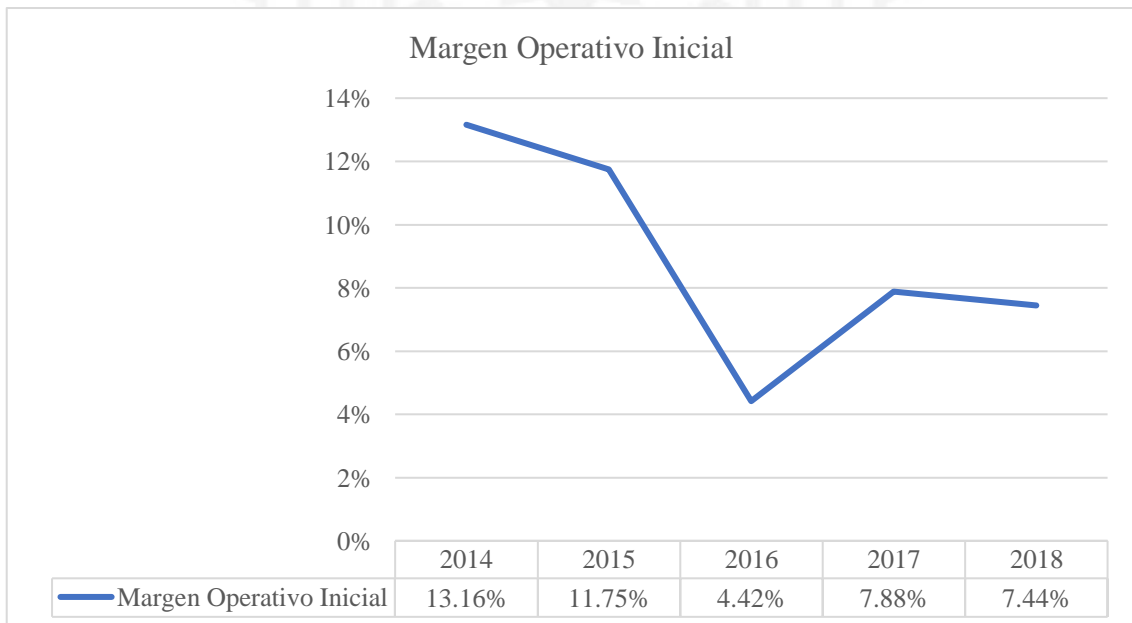
Margen bruto inicial



Fuente: PSV Constructores (2019)
Elaboración propia

Figura 3. 7

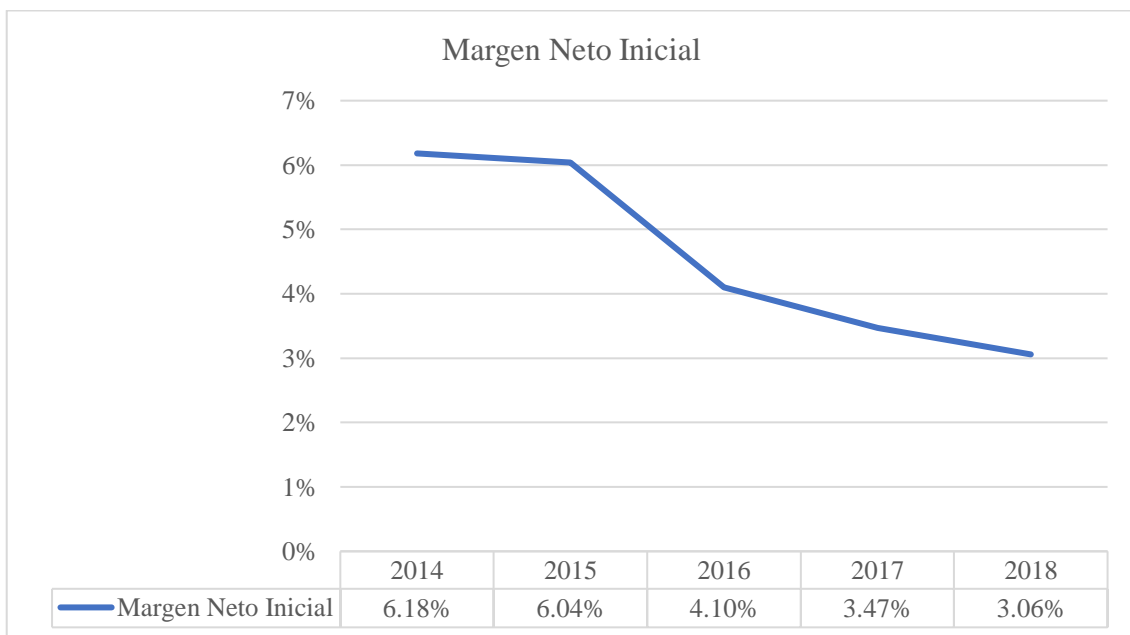
Margen operativo inicial



Fuente: PSV Constructores (2019)
Elaboración propia

Figura 3. 8

Margen neto inicial



Fuente: PSV Constructores (2019)
Elaboración propia

Después de la mejora, estos tres últimos indicadores de rentabilidad serán evaluados para verificar que el proyecto de investigación cumple.

3.3 Determinación de las causas raíces de los problemas hallados

Del diagrama Causa-Efecto mostrado en la figura 2.8 se obtiene algunas causas raíces identificadas en las flechas del diagrama, así como también en la utilización de los 5 porqués, la cual contribuye a encontrar causas raíz más profundas que ayudan a atacar el problema planteado en esta investigación.

A continuación, se utiliza nuevamente la herramienta del diagrama de Pareto para valorizar, ponderar estas causas encontradas y hallar la causa principal que permita presentar las opciones de solución. La metodología a seguir es la misma a la usada previamente en el punto 2.2.7.

Tabla 3. 6*Causas raíces*

Ítem	Causas raíces	Frecuencia (F)	Impacto (I)	Efecto (F*I)
Medio ambiente				
A	Se retrasa el cronograma de ejecución planificado y puede afectar el inicio de otro proyecto	3	6	18
Maquinaria				
B	Priorización de producción vs. mantenimiento	8	6	48
Mano de Obra				
C	El tiempo de re-certificación toma de 3 a 7 días y el tiempo de reposición de un operario de pilotera toma de 5-15 días	5	7	35
Método				
D	El monto destinado para compras de emergencia y gastos diarios durante la ejecución del proyecto es menor (material, herramientas, consumibles etc.)	4	5	20
Material				
E	No se toma en cuenta la disponibilidad, tiempo de envío y costos extras de picas	9	10	90

Elaboración propia

Después, se ordena de mayor a menor según el puntaje asignado y el porcentaje:

Tabla 3. 7*Frecuencia acumulada*

Causa	Efecto	%	% Acumulado	Frecuencia	80-20
E	90	42.65%	42.65%	38.39	80
B	48	22.75%	65.40%	10.92	80
C	35	16.59%	81.99%	5.81	20
D	20	9.48%	91.47%	1.90	20
A	18	8.53%	100.00%	1.54	20

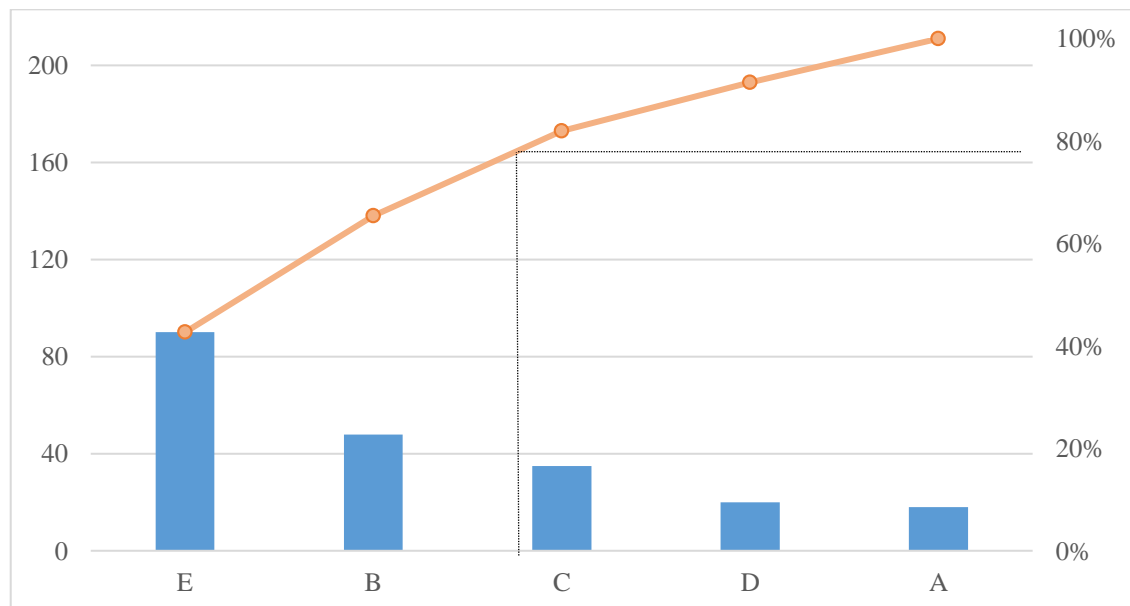
Elaboración propia

En la siguiente figura 3.9 se muestra el diagrama de Pareto, donde se representan las causas raíces más importantes sobre el eje equis.

Luego, se traza una línea horizontal y vertical negra al 80% y se analiza el principio de 80% - 20%. El trazo de color melón representa el valor porcentual acumulado de las causas raíz.

Figura 3. 9

Diagrama de Pareto causas raíces



Elaboración propia

De acuerdo con el diagrama de Pareto, se debe analizar y plantear alternativas de solución para las siguientes causas raíz, por encontrarse dentro del 80%.

E: No se toma en cuenta la disponibilidad, tiempo de envío y costos extras de picas.

B: Priorización de producción vs. mantenimiento.

Es de mayor interés atacar la primera causa **E: No se toma en cuenta la disponibilidad, tiempo de envío y costos extras de picas**, ya que representa la frecuencia más alta debido a que las picas son un consumible muy importante en la etapa de producción y son clave en el rendimiento de metros lineales excavados por hora y por consiguiente el número de pilotes elaborados por día, de esta proyección depende el tiempo total el cual se ofrece al cliente, la finalización de un proyecto.

La causa B, “Priorización de producción vs. mantenimiento”, no es tomada en cuenta dado a que no es parte del enfoque de la presente investigación, como se mencionó previamente es netamente estadístico y de planificación de stock.

Se considera por teoría aprendida en el curso de Gestión de Mantenimiento del 9no ciclo de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad de Lima; los equipos tendrán un mayor tiempo de vida si se realiza un mantenimiento preventivo, el cual tiene como ventaja que es programado (según horómetro), en el cual se realizan inspecciones, ajustes, limpiezas y sustitución preventiva, tales como cambios de aceite y otros. Es también importante mencionar que para lograr un buen uso de la pilotoera, el estado de las picas entra a tallar, estas deben ser cambiadas cada cierta cantidad de metros lineales según el desgaste que presenten las mencionadas. Sin picas, el rendimiento proyectado de perforación (pilotes por jornada de trabajo) disminuye y aumenta la fatiga de la maquinaria, por esta razón es de mayor importancia la causa E, que permite un mejor desempeño de la maquinaria y una mejor producción diaria. En el siguiente capítulo se proponen las soluciones para la causa raíz mencionada.

CAPÍTULO IV: DETERMINACIÓN DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN

4.1 Planteamiento de alternativas de solución

Las alternativas de solución planteadas son las siguientes:

Tabla 4. 1

Alternativas de solución

Nro.	ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN
1	Función de varias variables utilizando métodos numéricos en MATLAB
2	Intervenir la cadena de suministro que implemente el método de stock de seguridad

Elaboración propia

1. Función de varias variables utilizando métodos numéricos en MATLAB

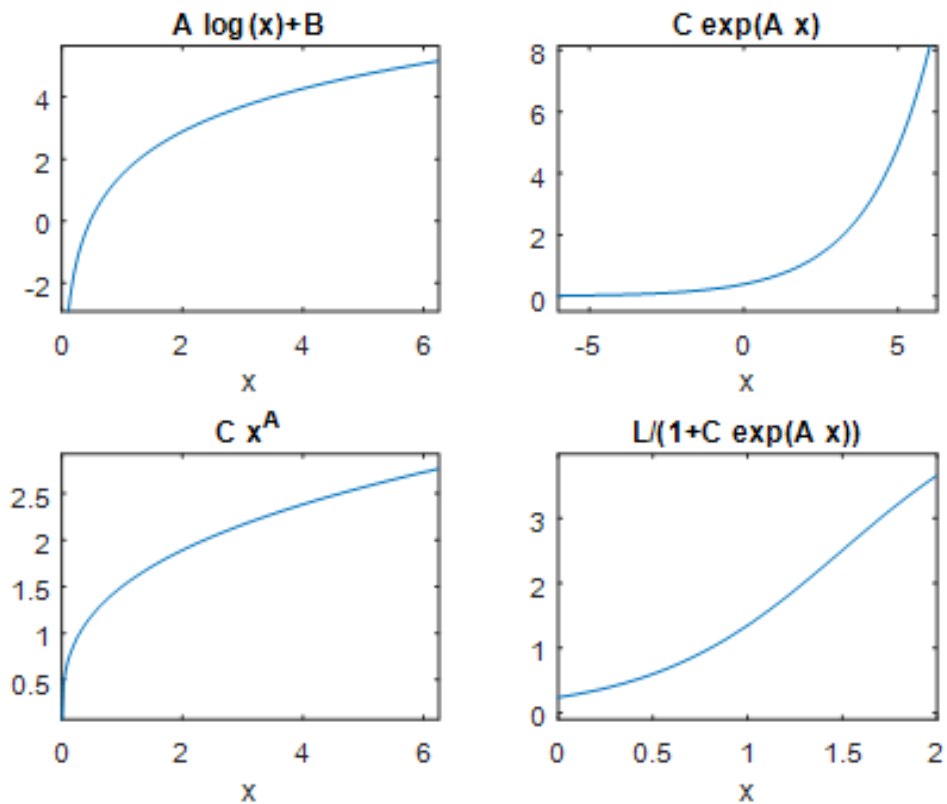
Principalmente, encontrar una función p que permita estimar la cantidad de picas requeridas para un proyecto de pilotes pre-excavados a partir de ciertas variables geométricas y parámetros de suelo conocidos:

- D (diámetro)
- L (longitud)
- Tipo de suelo
- Número de pilotes

La expresión que se desea encontrar dependerá del comportamiento de las variables visualizadas en los gráficos de dispersión. Se utilizarán diversos tipos de ajustes de curvas, principalmente aquellos en donde se puede aplicar el método de linealización de datos, como los que se muestran en la figura 4.1.

Figura 4. 1

Ejemplos de curvas donde se puede aplicar la linealización de datos



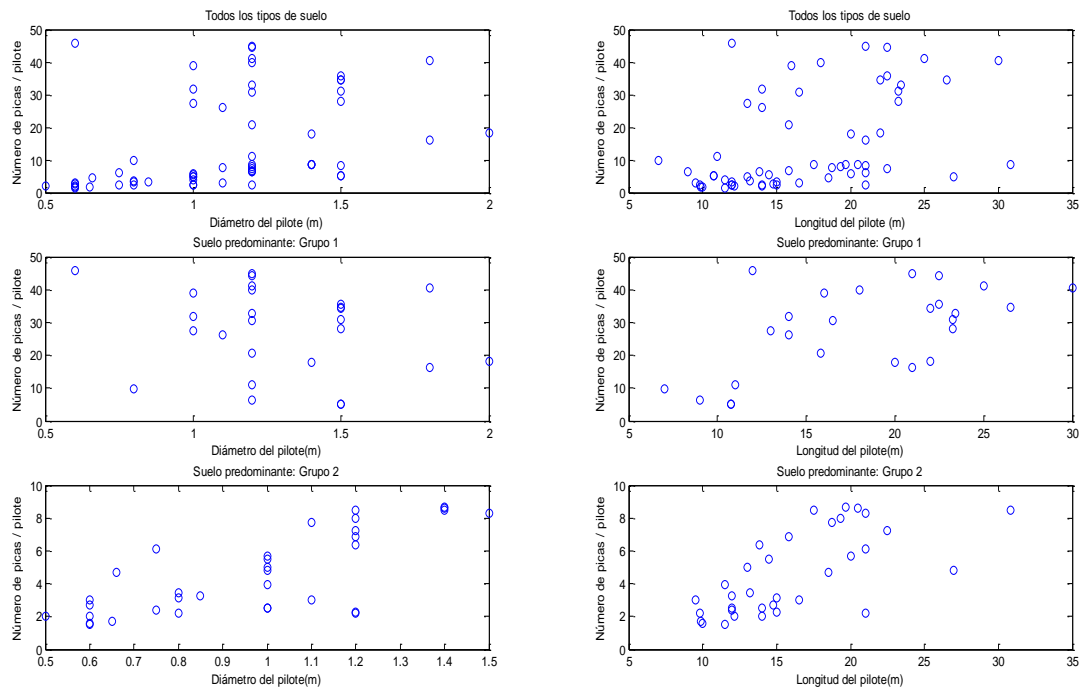
Fuente: MATLAB (2019)

Teniendo éxito en la determinación de p , la empresa PSV Constructores podrá hacer uso de la fórmula encontrada a fin de estimar con una confiabilidad adecuada el número de picas que demandará cierto proyecto, alejándose de la incertidumbre que otorga la estimación empírica de los ingenieros de la empresa.

La expresión que se desea encontrar dependerá del comportamiento de las variables visualizadas en los gráficos de dispersión iniciales de la figura 4.2:

Figura 4. 2

Gráficas de dispersión iniciales



Fuente: MATLAB (2019)
Elaboración propia

Se utilizarán diversos tipos de ajustes de curvas, principalmente aquellos en donde se puede aplicar el método de linealización de datos. La linealización de datos es aquel que utiliza el cambio de variables en una función dada, con regresión no lineal, y ajusta o aproxima dicha función a una tipo de lineal de la forma $y = Ax + B$.

Debido a que la mecánica de suelos es tan compleja y poco precisa, los modelos matemáticos aplicables suelen tener confiabilidades bajas comparadas con otros campos. El ajuste mínimo esperado para los datos recolectados es del 50%, por lo que éste será considerado como uno de los criterios de salida del algoritmo que se implemente para el cálculo de los coeficientes de la función de interés p . Para aplicar esta solución se debe tener en cuenta lo siguiente:

- La cantidad de puntos, es decir cada proyecto analizado, es muy importante si no se tiene una cantidad mínima de puntos, entonces el coeficiente de correlación será muy pobre y no se obtendrá un resultado confiable. Para elaborar esta propuesta de solución se utiliza la data proveniente de sesenta

proyectos, treinta de PSV Constructores y treinta más de la empresa Solentanche Bachy Peru, esta data la encuentran en el Anexo 1 y Anexo 2.

- Línea de ajuste óptimo aplicando la teoría del punto anterior, retirando los datos extraños y erráticos, esto es para evitar que la curva presente cambios bruscos. El mejor resultado se obtiene cuando el desplazamiento entre los puntos dentro de la curva sean lo menor posible.
- El análisis de mínimos cuadrados ayuda a expresar el comportamiento de los puntos, disminuyendo la distancia perpendicular de cada punto a la recta. Estas distancias tienen valores variables y los puntos pueden tener coordenadas con números positivos y negativos (sobre o debajo de la recta). Al realizar una sumatoria común se pueden anular lo que provoca un resultado engañoso y no representa al resultado verdadero. Las distancias son elevadas al cuadrado (obteniendo solo resultados positivos) y se divide entre el número total de puntos. El resultado es el error cuadrático medio.
- La relación entre variables es la clave y el análisis de cómo influye una sobre otra. Por ejemplo, la variable de suelo predominante (grava, arena, roca, bolonería, arena, arcilla, etc.) influye sobre el resultado que se obtiene si se tiene en cuenta el desgaste de las picas. Los puntos obtenidos de esta relación entre variables, dibujados en un plano cartesiano, son conocidos como diagrama de dispersión, lo cual permite hacer un análisis cualitativo. Como se identifica previamente, los parámetros de la regresión lineal son la pendiente y la ordenada de la forma $y = ax + b$. En el capítulo 5, luego de desarrollar la solución presentada en este punto, se ejemplifican los gráficos obtenidos para su evaluación visual, utilizando MATLAB.

2. Intervenir la cadena de suministro que implemente el método de stock de seguridad

Actualmente la empresa cuenta con un Almacén Central en el distrito de Chilca, provincia de Cañete, el cual realiza las siguientes funciones:

- Almacena equipos mayores (piloteras³, grúas, martillos, barras kelly⁴, etc.)
- Almacena equipos menores (moto soldadoras, grupos de oxicorte, grupo electrógeno, luminarias, motores, sistemas de bombeo, etc.)
- Herramientas y repuestos: todos los elementos necesarios para realizar los mantenimientos de los equipos mencionados líneas arriba.

Las principales carencias encontradas, y por las cuales se propone como alternativa de solución en la intervención de la cadena logística, son:

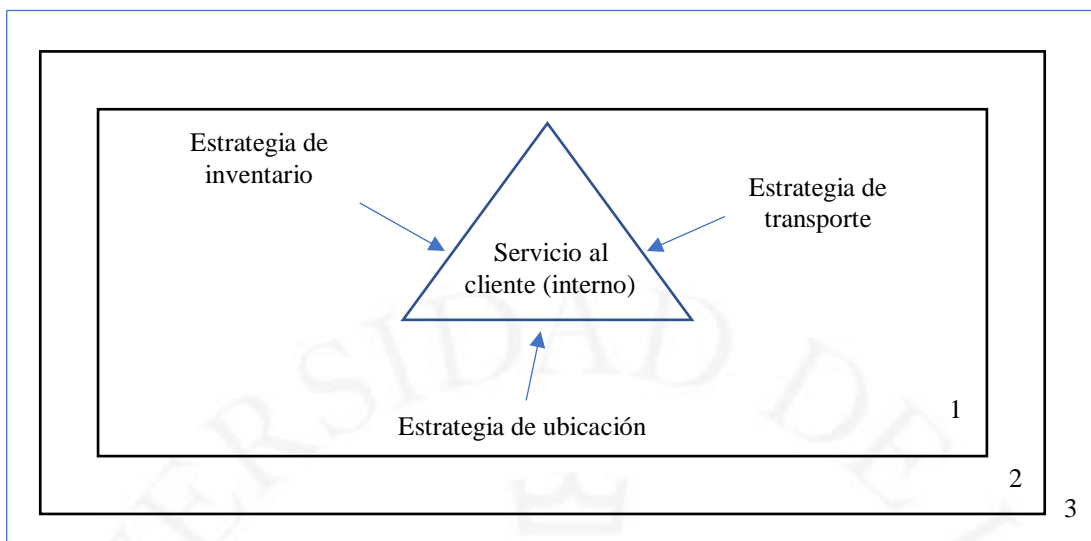
- Falta de estrategia de inventarios de consumibles: siendo como tal; pronósticos, inventarios, órdenes de compras, y programación de adquisición de nuevas picas para reposición en almacén central.
- Retrasos en la atención del cliente interno: el jefe de proyecto y gerencia general no cuentan con un rango definido de tiempo para la aprobación de órdenes de compra y la disposición de recursos económicos para adquirir los productos y herramientas que son solicitados por el almacén provisional de obra, comúnmente los consumibles (picas).
- No se cuenta con un stock de seguridad de consumibles (picas) para evitar el desabastecimiento durante la ejecución del proyecto e incurrir en costos por penalidades y paralizaciones.

3 Son máquinas diseñadas para la excavación o hincado de pilotes, PSV cuenta con el modelo BG20H y BG20V de la marca alemana Bauer.

4 Es una barra rotaria adherida a la plataforma de la maquina pilotera, fundamental para realizar la actividad de perforación.

Figura 4. 3

Propuesta de estrategias en la cadena de suministro



Fuente: Ballou, Ronald H.; Quinta edición, Edit. Pearson Educación. México 2004
Elaboración propia

De la figura mostrada arriba, el campo 1 representa la planeación, el campo 2 representa la organización y el campo 3 representa el control. Complementar las 3 fases evita incurrir en retrasos por falta de consumibles, utilizar una mejor planeación ayuda a mejorar la organización y manejo del tiempo en las jornadas de trabajo, especialmente en lo relacionado a las actividades que deben realizar las cuadrillas para lograr el número de pilotes ejecutados por día y, por último, el control que debe llevar el encargado de almacén en obra (si hubiese) sobre la entrada y salida de cualquier material, herramienta y otros. Es importante resaltar que el Ingeniero asistente y el encargado de almacén (si hubiese) deben ser responsables del seguimiento del consumo de picas e informar al Jefe de proyecto del rendimiento de perforación diaria.

Dentro de la planeación se observa la estrategia de inventario, la cual no es clara en la actualidad y se divide entre almacén central y el Administrador de obra. La estrategia de transporte en la empresa consiste en distribuir las camionetas disponibles en los distintos proyectos en ejecución, por lo cual es de vital importancia planificar las rutas y las tareas que debe realizar cada una durante la jornada para minimizar tiempos muertos. La estrategia de ubicación consiste en el reconocimiento de la zona y búsqueda de proveedores locales de algunos servicios como alimentación y mano de obra local. Estas tres estrategias son claves para dar apoyo al cliente interno (proyecto por ejecutar o en ejecución).

Una de las mejoras a plantear en esta investigación, relacionada a la falta de estrategia de inventarios, es la consideración de un stock de seguridad. El stock de seguridad es la cantidad de unidades de un producto determinado, que se tiene reservado para evitar un desabastecimiento. En el caso de PSV Constructores, al ser una empresa que ofrece un servicio, evitar los retrasos por deficiencia en la adquisición de consumibles es una situación que busca ser erradicada.

Adicionalmente, es uno de los conceptos más importantes en el control de inventarios de cualquier empresa, por pertenecer al rubro de servicio, el control de inventarios beneficia al cliente interno. El almacenaje de los consumibles está condicionado por el material con el que están fabricados (tungsteno o acero), el cual sufre un deterioro en la capa externa si se encuentra a la intemperie.

Es importante recalcar que el clima húmedo de Lima (almacén situado en Chilca) aumenta el deterioro de los consumibles, por lo cual se propone la adquisición de una cámara al vacío para una mejor conservación. La siguiente figura 4.3 es una imagen referencial de lo mencionado anteriormente.

Figura 4. 4

Propuesta de cámara al vacío



Fuente: Alibaba (2019)

Para decidir la capacidad de interna de la cámara de vacío es importante tener en cuenta la siguiente información:

Figura 4. 5

Dimensiones de Pica 30/38



Fuente: Bauer (2019)

Tabla 4. 2

Volumen pica

Volumen cono	184,569 mm
Volumen cilindro	272,188.22 mm
Volumen pica	456,757.22 mm

Fuente: Bauer (2019)

Elaboración propia

Tabla 4. 3*Especificaciones según medidas*

Tipo de maquina	W-6020	W-6050	W-6090	W-6210
Escala de temperatura	RT + 10 ~ 250°C			
Tensión de alimentación	220 V50Hz			
Potencia de entrada	450 W	1200 W	1400 W	2200 W
Fluctuación de la temperatura	± 1%			
Tiempo	0-9999 min			
Nivel de vacío	<133 Pascal			
Dimensión Interior	300 × 300 × 275mm	415×370×345 mm	450×450×450m m	560×600×640m m
Dimensión general	590 × 420 × 460mm	830×640×540 mm	610×660×1440 mm	720×805×1680 mm
Volumen interior	24,750,000 mm	52,974,750 mm	91,125,000 mm	215,040,000 mm
Número máximo de picas	54	115	199	470
Estante disponible	1	3	2	3
Bomba de vacío	Opcional	Opcional	Con	Con
Cámara de trabajo material	DE ACERO INOXIDABLE			

Fuente: Alibaba (2019)

Elaboración propia

Se utiliza el dato obtenido del volumen de una pica y el dato del volumen interno de la cámara de vacío y se puede elegir el precio y tamaño ideal.

La inversión para adquirir este producto es desde: USD\$ 722 hasta USD\$ 1,455 respectivamente, y de acuerdo con el tamaño requerido anteriormente, se obtiene que se necesita solicitar dos máquinas de mayor tamaño, el cual puede albergar hasta 470 picas.

4.2 Selección de alternativas de solución

4.2.1 Determinación y ponderación de criterios evaluación de las alternativas

La selección de las alternativas de solución se determina mediante los siguientes criterios o variables a evaluar (Ver Tabla 4.4). Así mismo, se propusieron los rangos bajo cada criterio a ser evaluado.

Criterio de evaluación:

1. Tiempos de implementación: son los rangos de tiempo (en días) que llevará a cabo la implementación de las alternativas de solución. Mientras menor tiempo tome realizar la implementación mayor puntaje tendrán las soluciones.
2. Costos de implementación: es el valor monetario o inversión en la cual la empresa estará dispuesta a entregar para la implementación de las alternativas de solución, mientras menor sea el requerimiento de inversión, mayor puntaje tendrán.
3. Escala de complejidad: es el nivel relativo de complejidad de implementación de la alternativa de solución propuesta. Mientras menor escala de complejidad tenga las alternativas de solución, mayor puntaje tendrán.
4. Beneficio económico: Indica nivel relativo de beneficio neto que brinda la solución. Mientras mayor beneficio tenga las alternativas de solución, mayor puntaje.
5. Confiabilidad: Se refiere a consistencia de los resultados. En el análisis de la confiabilidad los rangos van de 0 a 1, siendo 0 el de mayor error en la medición y 1 como máxima confiabilidad.

Tabla 4. 4*Crterios de alternativas de solució*

CRITERIOS DE EVALUACIÓ	PUNTAJE
Tiempo de implementaci3n (días)	
30-60	50
61-120	30
121 a más	10
Costos de implementaci3n (S/)	
10,000-15,000	30
15,001-20,000	20
20,001-25,000	10
25,001 a más	0
Escala de complejidad	
Alta	10
Media	30
Baja	50
Beneficio econ3mico	
<5%	0
>5%-<10%	10
>10%-20%	20
>20%	30
Confiabilidad	
0	0
<0.5	10
>=0.5	20
1	30

Elaboraci3n propia

4.2.2 Evaluaci3n cualitativa y/o cuantitativa de alternativas de solució

Se realiza la evaluaci3n de las alternativas de solució para un mejor análisis. En el siguiente cuadro (Ver Tabla 4.5), de evaluaci3n de alternativas de solució se determina la solució o primera iniciativa a implementar en PSV Constructores.

Tabla 4. 5*Evaluación de alternativas de solución*

CRITERIOS DE EVALUACIÓN	PUNTAJE	Función de varias variables	Intervenir cadena de suministro
Tiempo de implementación (días)			
30-60	50		
61-120	30	50	30
121 a más	10		
Costos de implementación (S/)			
10,000-15,000	30		
15,001-20,000	20	0	10
20,001-25,000	10		
25,001 a más	0		
Escala de complejidad			
Alta	10		
Media	30	10	30
Baja	50		
Beneficio económico			
<5%	0		
>5%-<10%	10	20	20
>10%-20%	20		
>20%	30		
Confiabilidad			
0	0		
<0.5	10		
>=0.5	20	20	0
1	30		
	PUNTAJE TOTAL	100	90
Elaboración propia			

Como se observa en el cuadro de evaluación anterior, la herramienta o propuesta de mejora con mayor puntaje es la función de varias variables, aunque no por tanta ventaja.

4.2.3 Priorización de soluciones seleccionadas

Dadas las soluciones y de acuerdo al análisis realizado, se procede a la priorización según el orden de puntuación mostrado arriba:

La primera, es una función con varias variables, arroja un resultado experimental para luego ser evaluado en un software de análisis estadístico, que brinda mayor confiabilidad en los resultados. Este software (MATLAB) es una herramienta que facilita el análisis de las variables mencionadas previamente y predice, de forma más exacta, el consumo de picas para cualquier tipo de proyecto con distintas especificaciones. La explicación del por qué planteamos esta solución tiene una relación estrecha con el valor económico que representa el ahorro, por ejemplo, del precio unitario (por pica), el costo del flete aéreo vs. flete marítimo y lo más importante, el tiempo de envío según la planificación de las entregas de productos.

La segunda opción es realizar una mejora en el área logística, en la actualidad, no se maneja un pronóstico de stock de seguridad en el almacén central de la empresa. Si no se implementa esta solución, continuarán presentando retrasos de abastecimiento de picas, que afecta la cadena logística. Incluir un stock de seguridad que debe ser administrado por el almacén central y, en casos de emergencia, enviado hacia el proyecto que solicite consumibles. Finalmente, es importante resaltar la forma en la que se almacena ya que las picas están hechas de acero y son fáciles de corroer.

En conclusión, se decide por optar implementar las dos soluciones, a fin de implementar no solamente un método matemático basado en principios de regresión lineal, sino también incluir un stock de seguridad reforzando la cadena logística. Toda la ingeniería y la evaluación económica-financiera deberán reflejar si las dos soluciones son viables.

CAPÍTULO V: DESARROLLO Y PLANIFICACIÓN DE LAS SOLUCIONES

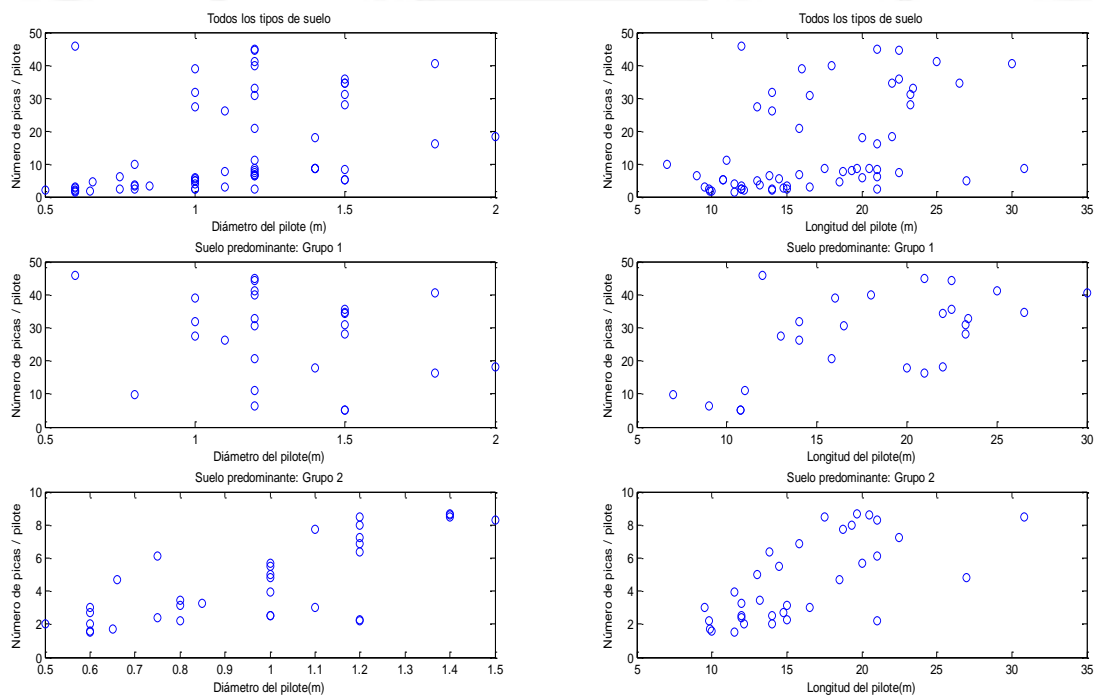
5.1 Ingeniería de las soluciones

5.1.1 Implementación software MATLAB

Una vez se tienen todos los datos tabulados como se muestran en la figura 5.1, se debe analizar el comportamiento de la variable principal (número de picas por pilote) con respecto a las variables geométricas de interés (longitud y diámetro) y el tipo de suelo.

Figura 5. 1

Gráficos de dispersión. En el eje de las ordenadas se observa el número de picas por pilote, en el eje de las abscisas aparecen los parámetros geométricos L y D



Fuente: MATLAB (2019)
Elaboración propia

De los gráficos de dispersión que se muestran en la figura 5.1 se puede concluir lo siguiente:

1. No existe una tendencia marcada del número de picas “N” con respecto a las variables geométricas L y D cuando se analizan los datos como un todo.
2. Una vez se realizan las gráficas de dispersión después de agrupar los datos por el tipo de suelo predominante, se pueden identificar algunas relaciones entre las variables.
3. En el grupo 1, caracterizado por el conjunto de datos donde el suelo predominante es grava o bolonería, es notorio que el número de picas tiende a aumentar a medida que incrementa la longitud del pilote. Un comportamiento similar es visible en el grupo 2, el cual está integrado por suelos con estratigrafía limosa, arenosa y/o arcillosa.
4. La relación entre el número de picas y el diámetro del pilote no es muy clara, por lo que se considera como la variable *comodín* que permitirá reducir el error a la hora de determinar la función de interés.

El objetivo ahora es determinar una fórmula (o varias) $p = f(L, D, Suelo)$ que relacione las variables. Generalmente, según el comportamiento de la variable de interés se selecciona un tipo de fórmula en particular y se procede a determinar los coeficientes desconocidos que aparecen en dichas expresiones matemáticas.

Se han seleccionado cuatro tipos de funciones para realizar el ajuste de curvas con las variables mencionadas. A continuación, se aplica el procedimiento de linealización de datos para ajuste de curvas. La idea principal es realizar una transformación de variables para obtener una relación lineal. Luego se utiliza la técnica de mínimos cuadrados para encontrar la función con el mejor ajuste posible.

- Determinación de la función P , suelo predominante - Grupo 1

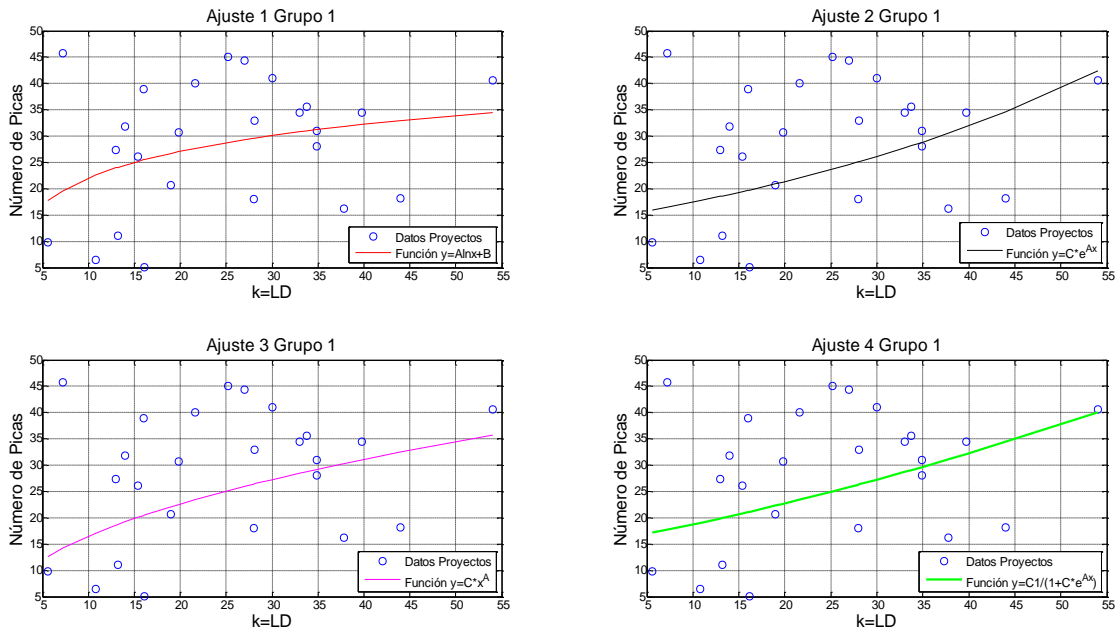
El primer paso es ordenar los datos de la tabla 5.1 en orden creciente con respecto a las variables geométricas de interés, correspondientes a suelos predominantes grava y bolonería. Para ello, se exportarán los datos de Excel a Matlab y se utilizarán los comandos propios del programa para realizar los diferentes ajustes de curvas.

Como la incidencia del diámetro no es muy clara, se determinarán todas las funciones de ajuste de curvas para dos valores de k , el primero será el producto del

diámetro del pilote (D) y la longitud (L), mientras que el segundo será el cociente, y por lo tanto adimensional, entre la longitud (L) y el diámetro (D).

Figura 5. 2

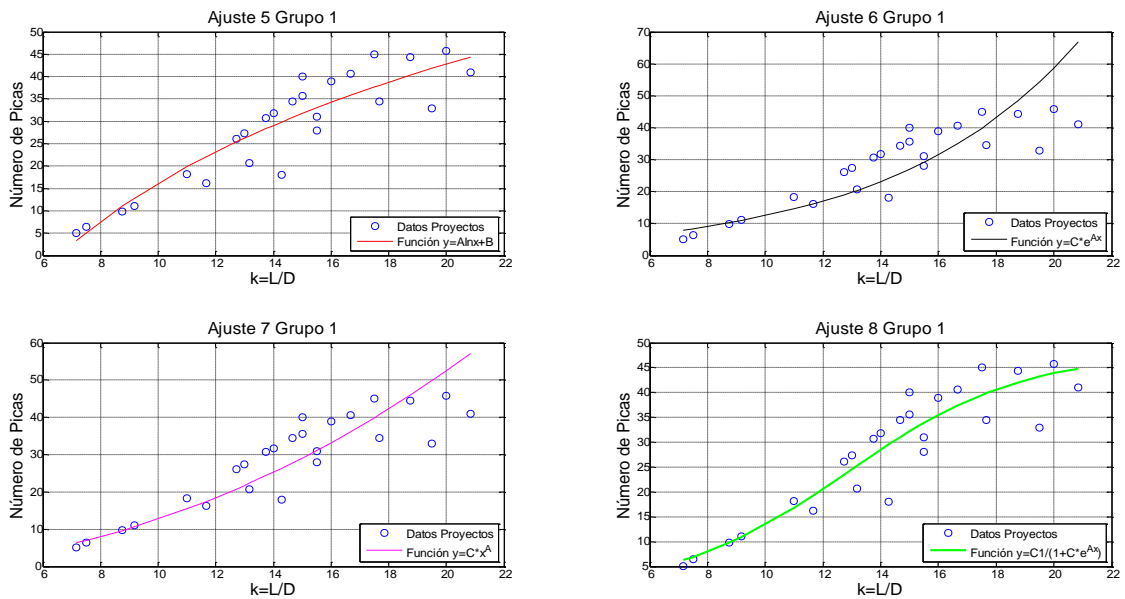
Ajuste de curvas grupo 1 para factor $k = LD$



Fuente: MATLAB (2019)
Elaboración propia

Figura 5.3

Ajuste de curvas grupo 2 para factor $k = L/D$



Fuente: MATLAB (2019)
Elaboración propia

Ahora se determina el error relativo porcentual promedio para cada función encontrada mediante la siguiente expresión:

$$\bar{e}_r = \frac{\sum_{i=1}^n |P(k) - \hat{P}_{proyectos}|}{n} \times 100\%$$

Donde $P(k)$ representa el número de picas obtenido de la función de ajuste y $\hat{P}_{proyectos}$ es el número de picas proveniente de los datos recolectados.

Tabla 5. 1

Errores relativos porcentuales para cada función encontrada en el grupo 1

Ajuste	Función P	Error relativo porcentual (%)
1	$7.35 \ln(LD) + 5.1$	36.0
2	$14.3e^{0.02LD}$	39.2
3	$5.75(LD)^{0.46}$	38.2
4	$100/(1 + 5.51e^{-0.024LD})$	38.1
5	$38.4 \ln(L/D) - 72.4$	14.2
6	$2.63e^{(0.155L/D)}$	24.0
7	$0.113(L/D)^{2.04}$	18.3
8	$48/(1 + 71.46e^{-0.332L/D})$	13.2

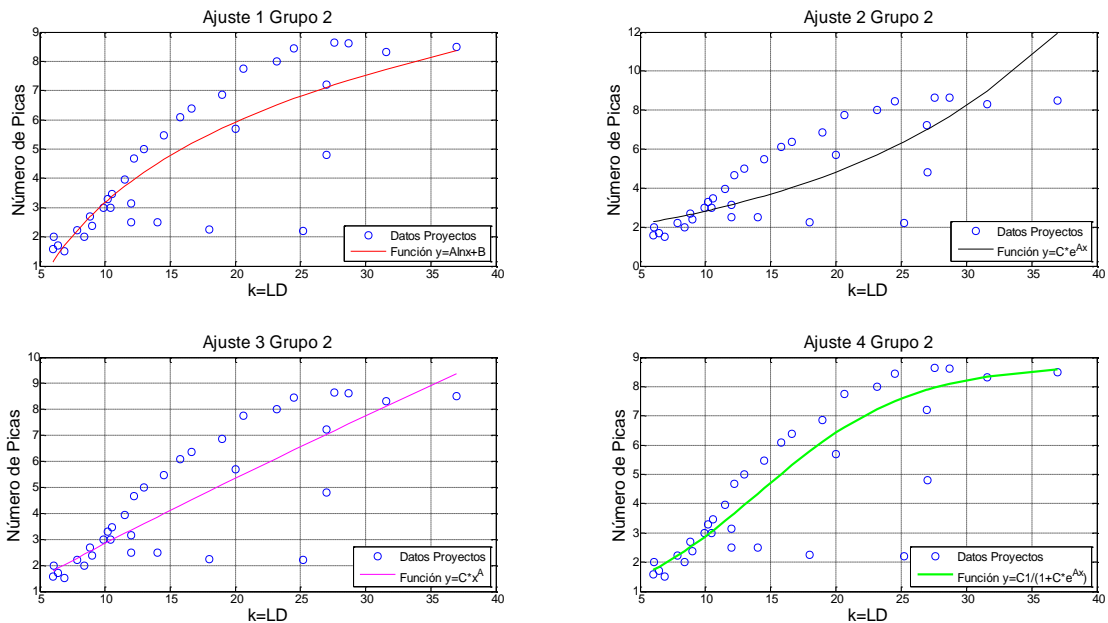
Fuente: MATLAB (2019)
Elaboración propia

- Determinación de la función P , suelo predominante - Grupo 2

Análogo al procedimiento utilizado para encontrar la función del grupo 1, se tomarán los datos correspondientes a suelos con presencia predominante de arcilla, limo y arena. Los resultados obtenidos se muestran en las figuras 5.4 y 5.5.

Figura 5. 4

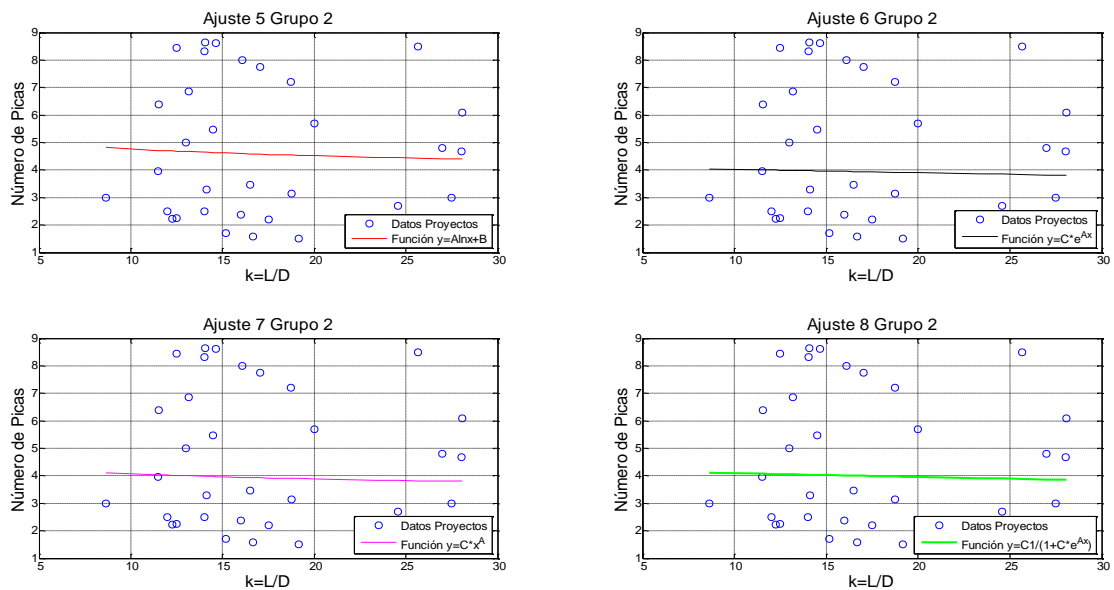
Ajuste de curvas grupo 2 para factor $k = LD$



Fuente: MATLAB (2019)
Elaboración propia

Figura 5. 5

Ajuste de curvas grupo 2 para factor $k = L/D$



Fuente: MATLAB (2019)
Elaboración propia

De manera similar se determinan los errores relativos porcentuales para cada una de las funciones encontradas. El resumen de los cálculos se registra en la tabla 5.2.

Tabla 5. 2

Errores relativos porcentuales para cada función encontrada en el grupo 2

Ajuste	Función P	Error relativo porcentual (%)
1	$3.97 \ln(LD) - 5.97$	20.6
2	$1.65e^{0.0536LD}$	27.5
3	$0.349(LD)^{0.91}$	22.7
4	$8.75/(1 + 11.41e^{-0.173LD})$	19.3
5	$-0.35 \ln(L/D) + 5.58$	47.9
6	$4.16e^{(-0.0031L/D)}$	46.9
7	$4.76(L/D)^{-0.0675}$	46.9
8	$250/(1 + 58.94e^{-0.0032L/D})$	46.8

Fuente: MATLAB (2019)
Elaboración propia

Una vez se han identificado las funciones que más se ajustan a los datos, se procede a mejorar la confiabilidad de la función utilizando el error porcentual que

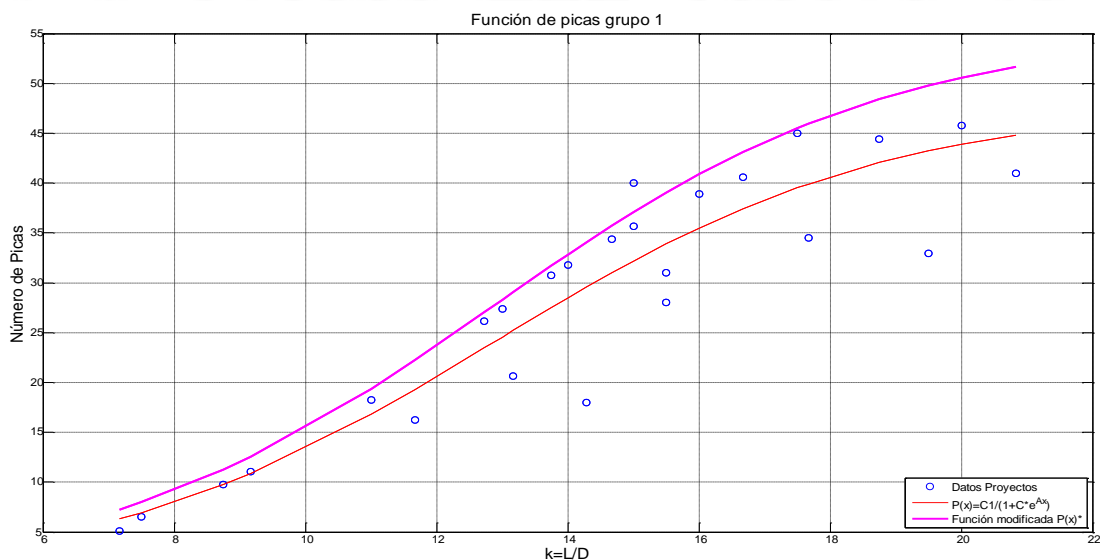
implícito en cada función. A esta función la llamaremos función de picas modificada, y estará dada por:

$$P(k)^* = \frac{P(k)}{1 - \bar{e}_r/100}$$

En la figura 5.6 se grafica la función de $P(k)$ y $P(k)^*$ para la función de ajuste 8 del grupo 1. Se puede observar que solo hay un punto por encima de la línea magenta. Esta función envolvente soluciona la problemática actual de la empresa a la hora de comprar picas, dado que garantiza que los valores obtenidos a partir de la ecuación están por encima de los valores demandados en los proyectos anteriores. Lo anterior garantiza la continuidad de la obra de principio a fin, por lo menos en el ámbito de suministro de estos consumibles.

Figura 5. 6

Función de picas modificada grupo 1

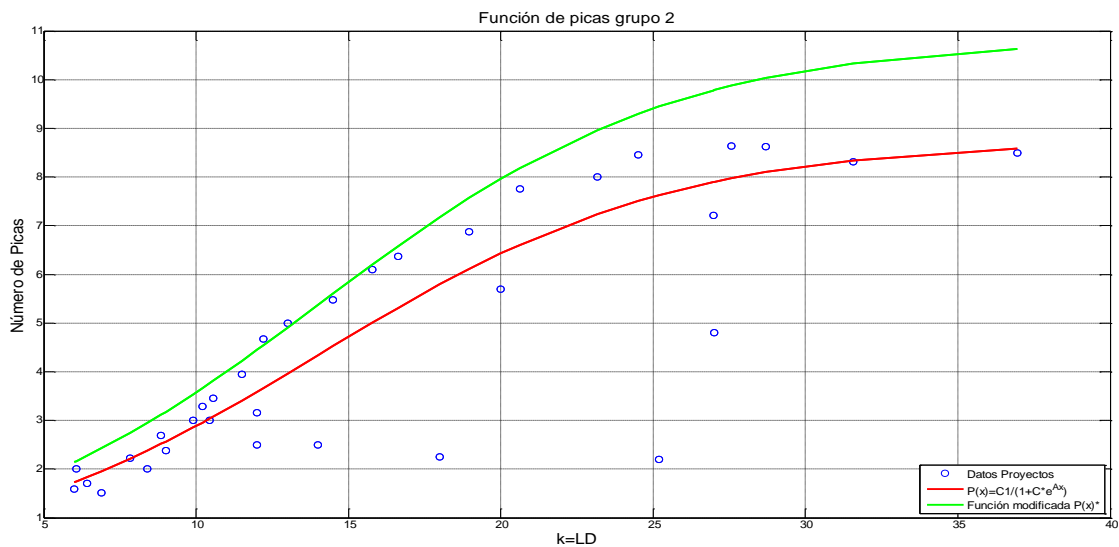


Fuente: MATLAB (2019)
Elaboración propia

Por otra parte, aplicando la misma formulación anterior en el grupo 2 se obtiene la figura 5.7:

Figura 5.7

Función de picas modificada grupo 2



Fuente: MATLAB (2019)
Elaboración propia

A continuación, se resumen las funciones encontradas para cada tipo de suelo:

$$P(L, D, \text{tipo de suelo})^* = \begin{cases} \frac{55.3}{1 + 71.46e^{-0.332L/D}}, & \text{Grava/bolonería} \\ \frac{10.8}{1 + 11.41e^{-0.173LD}}, & \text{Arcilla/Limo/Arena} \end{cases}$$

Las formulas obtenidas arriba, después de mejorar la confiabilidad de la función, son aplicadas a la data histórica del anexo 1 y anexo 2 según el grupo (tipo de suelo) al cual pertenecen. Los casos más representativos son 22 y están ordenados de mayor a menor según la diferencia entre las picas totales encontradas utilizando la formula versus el número de picas utilizadas (registros de cierre de proyecto), el rango de las diferencias encontradas es de 35 hasta 1 unidad. Esta diferencia puede ser beneficiosa, ya que el tener una cantidad extra mínima de picas, se puede enfrentar la solicitud de adicionales, si es que debido a la morfología del suelo, el rendimiento verdadero es menor al rendimiento real proyectado en la etapa de planificación.

Tabla 5. 3*Número total de picas por proyecto del grupo 1 y grupo 2.*

Proyecto	Número de pilotes	Número de Picas	Picas / Pilote	Suelo predominante	L/D	L*D	P(L,D, Tipo de suelo)	Picas totales	Diferencia
1	14	101	7.2	Arena	18.7	27	9.76	136	35
10	60	95	1.6	Arena limosa	16.7	6	2.14	128	33
22	24	207	8.6	Arena limosa	14.6	28.7	10.00	240	33
7	4	124	31	70% Grava - 30% Arena	15.5	34.9	39.05	156	32
17	22	784	35.6	Grava	15	33.8	37.08	815	31
12	20	688	34.4	Grava/Bolonería	14.7	33	35.85	716	28
3	12	61	5.1	30 % Granular / 70% Grava	7.2	16.1	7.33	87	26
6	12	61	5.1	70% Grava - 30% Arena	7.2	16.1	7.33	87	26
9	34	81	2.4	Suelo arenoso	16	9	3.17	107	26
21	28	767	27.4	Granular	13	13	28.30	792	25
13	16	104	6.5	Granular	7.5	10.8	7.99	127	23
8	8	20	2.5	Suelo arcilloso	14	14	5.37	42	22
11	18	553	30.7	Grava/Bolonería	13.8	19.8	31.93	574	21
5	36	1620	45	Granular / Bolonería	17.5	25.2	45.54	1639	19
18	14	255	18.2	Grava/Bolonería	11	44	19.38	271	16
20	40	158	4	Arena arcillosa	11.5	11.5	4.22	168	10
19	18	40	2.2	Arcilla	12.3	7.8	2.73	49	9
16	10	30	3	Arcilla	8.6	10.5	3.78	37	7
4	6	12	2	Arcilla	23.3	8.4	2.94	17	5
14	15	70	4.7	Arena limosa	28	12.2	4.53	67	3
15	32	195	6.1	Arcilla	28.1	15.8	6.20	198	3
2	6	30	5	Arena	13	13	4.90	29	1

Fuente: PSV Constructores (2019)

Elaboración propia

5.1.1.1 Guía de implementación

Luego de demostrar cómo se obtiene la función, el siguiente paso es explicar cómo se aplica en la realidad durante el desarrollo de un proyecto de pilotes pre-excavados.

Tabla 5. 4*Implementación por puestos*

Puestos Involucrados	Situación Actual	Implementación MATLAB
Gerente de producción	Estimación empírica del total de picas	Delegación de estimación mediante función a Jefe de proyecto
Jefe de proyecto	Apoyo a Gerente de producción en análisis de la estimación dada	Estimación utilizando función encontrada (MATLAB)
Administrador de obra	Coordinación de abastecimiento de picas (compra, traslado, reposición, etc.)	Coordinación de abastecimiento de picas (compra, traslado, reposición, etc.)
Asistente de ingeniería	Supervisión de consumo de picas durante el proyecto	Aplicación de la función durante ejecución para estimar la cantidad necesaria o si se solicita más picas

Elaboración propia

1. Se realiza la solicitud al área de TI (Tecnología de la Información) para programar la instalación de MATLAB en la computadora que realizará las actividades del software.
2. Se programa la capacitación con las personas que desarrollan estos puestos en la empresa durante un periodo de cuatro meses en el uso de MATLAB, permitiendo al final ser capaces de analizar el estudio de suelo y utilizar la función y sus variables correctamente.
3. Empezando un nuevo proyecto se implementa esta solución, el Gerente de producción trasmite la información necesaria y delega al Jefe de proyecto la actividad de la estimación de picas. Con este resultado se realiza la orden de compra para satisfacer ese requerimiento.
4. El Administrador de obra es quien debe realizar seguimiento al cronograma del proyecto con la información de la orden de compra generada para asegurar la llegada de este consumible previo al inicio de la obra. y recolectar las solicitudes de reposición si se necesitaran más y almacén central no contara con el stock para abastecer esa necesidad.
5. Durante la capacitación se indica al Ingeniero Asistente, quien está encargado de la producción diaria y de informar al Gerente de proyecto sobre el consumo de picas y la variación entre el rendimiento actual y el rendimiento proyectado

al inicio de metros lineales por hora excavados o de pilotes elaborados por día.

La finalidad de la aplicación de esta función es dar apoyo a todos los involucrados para que sean capaces de hacer seguimiento a las cantidades consumidas de picas y erradicar el escenario de desabastecimiento (días o semanas esperando llegada de nuevas picas), el cual genera retrasos traducidos en pérdidas económicas. Siguiendo esta idea se presenta la siguiente solución, relacionada con la cadena de suministro. Como se menciona en el capítulo anterior, existe un margen de error que puede significar que, aun utilizando la función, no alcance la proyección de unidades de picas y sea necesario recurrir a un stock de seguridad.

5.1.2 Solución mejora cadena de suministro

Para desarrollar esta solución, se utiliza la fórmula de stock de seguridad la cual se halla de la siguiente manera:

$$\text{Stock de seguridad} = \text{Desviación total} \times Z (ns = 95\%)$$

$$NS (95\%) = 1.65$$

$$\text{Desviación total} = \sqrt{\text{Desviación entrega}^2 + \text{Desviación demanda}^2}$$

Primero se halla la desviación de la entrega y para ello se necesita los días que demoraron las últimas 10 entregas de picas en los años de estudio. La siguiente tabla muestra a continuación el número de entregas por año.

Tabla 5. 5

Días entrega

Días demora entregas	
1	32
2	40
3	26
4	34
5	20
6	28
7	42
8	30
9	35
10	27

Fuente: PSV Constructores (2019)
Elaboración propia

Para hallar la desviación estándar primero se necesita el número promedio de picas anualmente según data y este valor es de 1,625.4 picas. En cuanto a los días de trabajo durante el año el total es de 288 días. La desviación estándar de la muestra es de 6.65 días.

$$Desviación entrega = \left(\frac{1625.4}{288} \right) \times 6.65 = 37.53 picas$$

Luego de hallar la desviación de la entrega se halla, por fórmula, la desviación de la demanda con la data del número de picas utilizadas en los años de análisis.

Tabla 5. 6

Total número de picas (2014-2018)

	Número de Picas
PSV CONSTRUCTORES	100
	165
	135
	110
	279
	117
	303
	119
	268
	267
	1,040
	30
	660
	48
	3,060
	996
	24
	12
	108
	61
27	
198	

Fuente: PSV Constructores (2019)
Elaboración propia

La desviación estándar de la muestra da como resultado 666.84 picas y teniendo en cuenta que el tiempo de entrega promedio es de 30 días y un proyecto dura alrededor de 60 días contractuales se tiene la siguiente formula:

$$Desviación\ demanda = \sqrt{\left(\frac{30}{60}\right)} \times 666.84 = 471.52\ picas$$

Finalmente, se procede a calcular la desviación total para luego utilizar en la fórmula de stock de seguridad:

$$\text{Desviación total} = \sqrt{37.53^2 + 471.52^2} = 473.01 \text{ picas}$$

Después utilizamos la fórmula del stock de seguridad antes mencionada para realizar los cálculos:

$$\text{Stock de seguridad} = 473.01 \times 1.65 = 780.46 \text{ picas}$$

Para hallar luego el costo por incurrir en un stock de seguridad se utiliza la siguiente fórmula:

I: Intereses de bancos, seguros, etc.

C: Costo promedio de las picas (internacional)

SS: Stock de Seguridad

$$\text{Costos totales} = I \times C \times SS = 0.167 \times 40 \times 780.46 = S/ 5,213.47$$

Es importante saber el número de picas de stock de seguridad, para determinar el número de cámaras al vacío adquirir para la solución. En este caso se deberán adquirir dos cámaras ya que la capacidad de una cámara al vacío con mayor capacidad es de 470 picas aproximadamente.

5.1.2.1 Guía de implementación

Luego de demostrar cómo se obtiene la cantidad necesaria de stock de seguridad, el siguiente paso es explicar cómo se aplica en la realidad durante el desarrollo de un proyecto de pilotes pre-excavados.

Tabla 5. 7*Implementación por puestos*

Puestos Involucrados	Situación Actual	Implementación stock de seguridad
Gerente de logística	No realiza la estimación de stock de seguridad	Realiza la estimación de stock de seguridad para futuras emergencias
Asistente de logística	No realiza solicitud de stock de seguridad	Realiza la futura solicitud, traslado y recepción de stock de seguridad
Administrador de almacén	No recibe picas para stock de seguridad	Recibe las picas para stock de seguridad y las contabiliza
Asistente de almacén	No ordena disposición de picas stock de seguridad en cámara de vacío	Ordena disposición, seguimiento y control de almacén de picas de stock de seguridad en cámara de vacío

Elaboración propia

1. Se realiza la estimación del stock de seguridad por parte de gerencia de logística, utilizando las fórmulas de cadena de suministro
2. Se programa la capacitación con las personas que desarrollan estos puestos en la empresa durante un periodo de cuatro meses en el abastecimiento de picas en stock y uso de herramientas de cadena de suministro.
3. Empezando un nuevo proyecto se implementa esta solución, el gerente de logística trasmite la cantidad de stock necesario anualmente, calcula las picas necesarias en ese momento. El asistente de logística realiza la solicitud de picas de stock de seguridad, traslado y recepción.
4. El administrador de almacén es quien debe recibir dichas picas de stock, contabilizarlas e informar al Asistente de almacén su futura disposición utilizando la cámara de vacío. Este último, debe ordenar su disposición y realizar el debido seguimiento y control de almacenaje para que no se corroan pronto.

5.2 Plan de implementación de las soluciones

5.2.1 Objetivos y metas de la solución: Función de varias variables

Tabla 5. 8

Objetivos y metas (Función de varias variables)

Alternativa de solución	Objetivos generales	Objetivos específicos	Metas
Función de varias variables	Establecer una propuesta de mejora para reducir los costos de producción por falta de consumibles en proyectos de pilotes pre-excavados de la empresa PSV Constructores utilizando herramientas de ingeniería industrial	Recolectar información de diferentes proyectos de pilotes pre-excavados e identificar las variables más relevantes que intervienen en el proceso de perforación para el posterior análisis estadístico	Obtener data de mínimo 60 proyectos de pilotes pre-excavados
		Realizar un diagrama de dispersión con los datos recolectados para identificar tendencias y modelos matemáticos que relacionen el número de picas en función de las variables más significativas	Encontrar un error relativo menor a 50%
		Desarrollar e implementar un código en Matlab para encontrar mediante métodos numéricos una correlación que permita estimar el número de picas en función de parámetros geométricos y clasificación del suelo donde se ejecutarán los pilotes pre-excavados	Encontrar una confiabilidad mayor al 50%
		Cuantificar el impacto económico actual asociado a los costos de producción y proyectar la mejora esperada que se obtendrá al implementar la correlación encontrada en el proceso de adquisición de picas	Obtener un VAN > 0 y una TIR > COK para que el proyecto sea factible

Elaboración propia

5.2.2 Objetivos y metas de la solución: Mejora cadena de suministro

Tabla 5. 9

Objetivos y metas (Intervenir cadena de suministro)

Alternativa de solución	Objetivos generales	Objetivos específicos	Metas
Intervenir la cadena de suministro	Establecer una propuesta de mejora para reducir los costos de producción por falta de consumibles en proyectos de pilotes pre-excavados de la empresa PSV Constructores utilizando herramientas de ingeniería industrial.	Elaborar una estrategia de inventarios de consumibles (picas), en el cual se contempla el uso por proyecto, su reposición y las condiciones de almacenaje que debe tener para evitar su deterioro.	Elaborar el inventario, y programación de adquisición de nuevas picas para reposición en el almacén central
		Mejorar el tiempo de atención al cliente interno (almacén central y provisional de proyecto), al generar y aprobar órdenes de compra previos al desabastecimiento de consumibles en almacén central.	Recibir órdenes de compra aprobadas, para reposición de inventario
		Calcular el stock de seguridad de consumibles (picas), con el que la empresa debe contar para evitar el desabastecimiento e incurrir en costos por penalidades y paralizaciones.	Obtener la cantidad de Picas con las que se debe contar el almacén central.
		Cuantificar el impacto económico actual asociado a los costos de producción y proyectar la mejora esperada que se obtendrá al implementar la correlación encontrada en el proceso de adquisición de picas	Obtener un VAN > 0 y una TIR > COK para que el proyecto sea factible

Elaboración propia

5.2.3 Elaboración de la inversión requerida para la ejecución de las soluciones

Tabla 5. 10

Inversión función de varias variables

INVERSION MATLAB (S/)				
	Cantidad	Horas	Días	Costo
1. Horas-Hombre				
Capacitación Gerente de Producción	1	8	21	33,600.00
Capacitación Jefe de Proyecto	5	8	21	168,000.00
Capacitación Administrador de Obra	5	8	21	168,000.00
Capacitación Asistente de Ingeniería	5	8	21	168,000.00
2. Equipos				
Computadora	1			3,000.00
Total Inversión				540,600.00

Elaboración propia

Tabla 5. 11

Inversión mejora cadena de suministro

INVERSION LOGÍSTICA (S/)				
	Cantidad	Horas	Días	Costo
1. Horas-Hombre				
Capacitación Administrador de Almacén	1	8	21	33,600.00
Capacitación Asistente de Almacén	1	8	21	33,600.00
Capacitación Gerencia de Logística	1	8	21	33,600.00
Capacitación Asistente de Logística	1	8	21	33,600.00
2. Equipos				
Cámara de Vacío	2			9,603.00
Computadora	1			3,000.00
Total Inversión				147,003.00

Elaboración propia

5.2.4 Actividades y cronograma de implementación de la solución

Las actividades a realizar para la implementación de la solución son las siguientes:

Tabla 5. 12

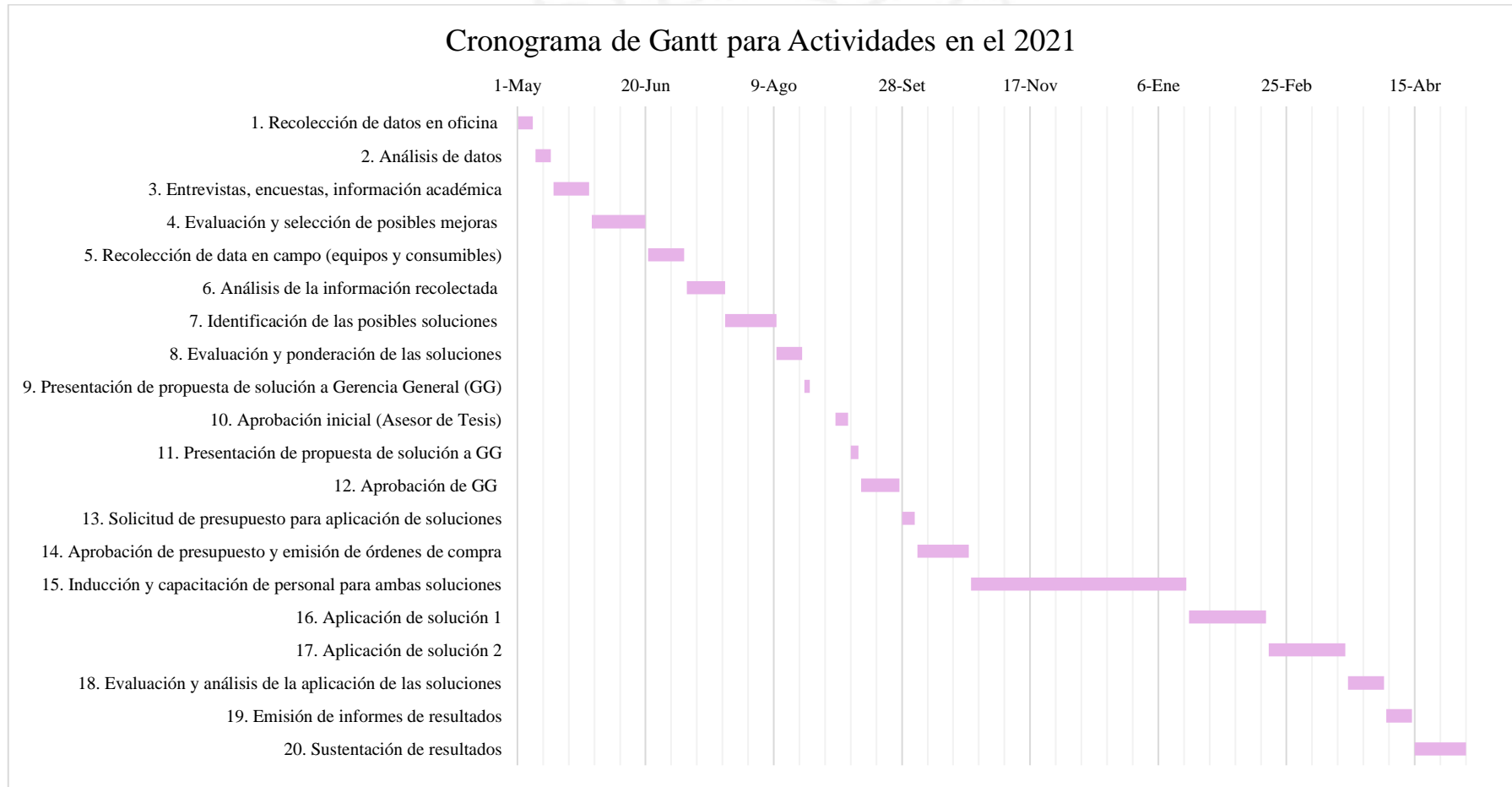
Actividades y cronograma de implementación

Nombre actividad	Fecha inicio	Duración (días)	Fecha fin
1. Recolección de datos en oficina	01-may	6	07-may
2. Análisis de datos	08-may	6	14-may
3. Entrevistas, encuestas, información académica	15-may	14	29-may
4. Evaluación y selección de posibles mejoras	30-may	21	20-jun
5. Recolección de data en campo (equipos y consumibles)	21-jun	14	05-jul
6. Análisis de la información recolectada	06-jul	15	21-jul
7. Identificación de las posibles soluciones	21-jul	20	10-ago
8. Evaluación y ponderación de las soluciones	10-ago	10	20-ago
9. Presentación de posibles de solución a Gerencia General (GG)	21-ago	2	23-ago
10. Aprobación inicial (Asesor de Tesis)	02-sep	5	07-sep
11. Presentación de propuesta de soluciones finales a GG	08-sep	3	11-sep
12. Aprobación de GG	12-sep	15	27-sep
13. Solicitud de presupuesto para aplicación de soluciones	28-sep	5	03-oct
14. Aprobación de presupuesto y emisión de órdenes de compra	04-oct	20	24-oct
15. Inducción y capacitación de personal para ambas soluciones	25-oct	84	17-ene
16. Aplicación de solución 1	18-ene	30	17-feb
17. Aplicación de solución 2	18-feb	30	19-mar
18.. Evaluación y análisis de la aplicación de las soluciones	20-mar	14	03-abr
19. Emisión de informes de resultados	04-abr	10	14-abr
20. Sustentación de resultados	15-abr	20	05-may

En la siguiente tabla 5.13 se presenta el Diagrama de Gantt de las actividades:

Tabla 5. 13

Cronograma de Actividades



Elaboración propia

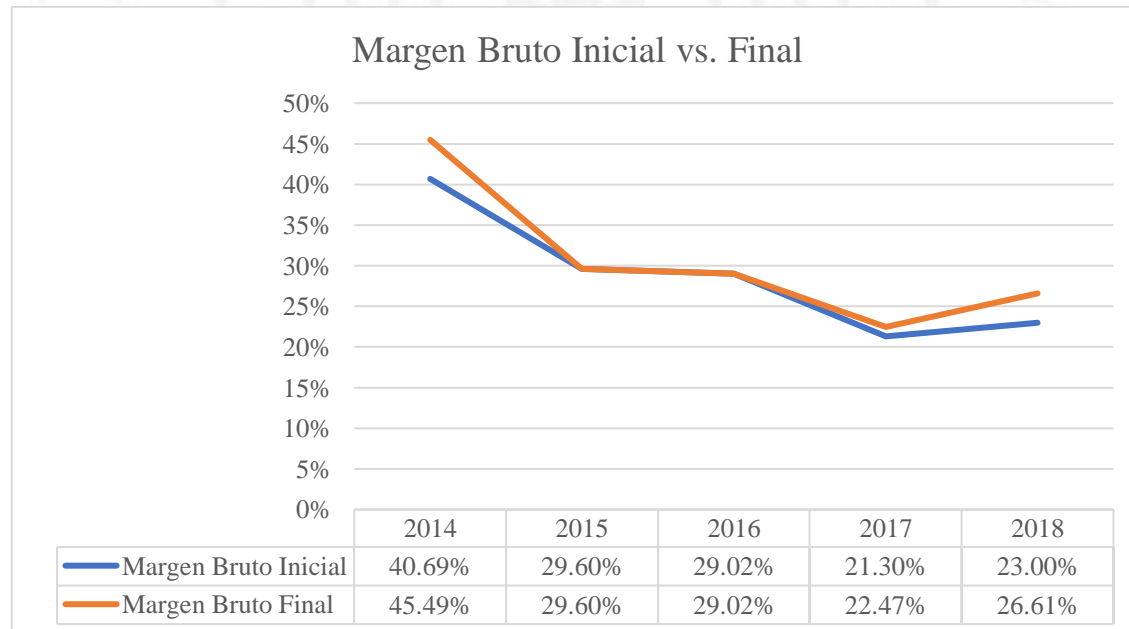
CAPÍTULO VI: EVALUACIÓN ECONÓMICA FINANCIERA DE LA SOLUCIÓN

Luego de realizar el análisis de los costos adicionales incurridos durante los años 2014-2018 (**Ver Anexo 4**) en la empresa PSV Constructores, se procede a calcular los indicadores específicos de rentabilidad (Margen Bruto, Margen Operativo y Margen Neto) después de la mejora. Adicionalmente, se realiza la evaluación del VAN, TIR, R B/C para confirmar la viabilidad del proyecto.

En primer lugar, se muestran los gráficos de comparación del margen bruto, margen operativo y margen neto inicial vs. final (después de la mejora):

Figura 6. 1

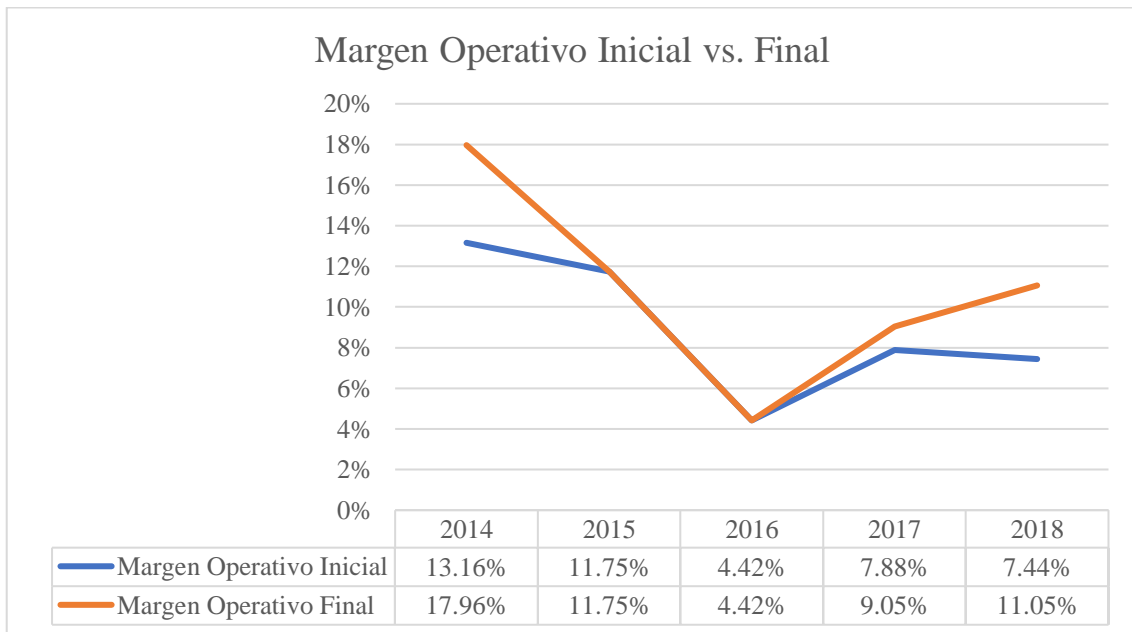
Margen bruto inicial vs. final



Elaboración propia

Figura 6. 2

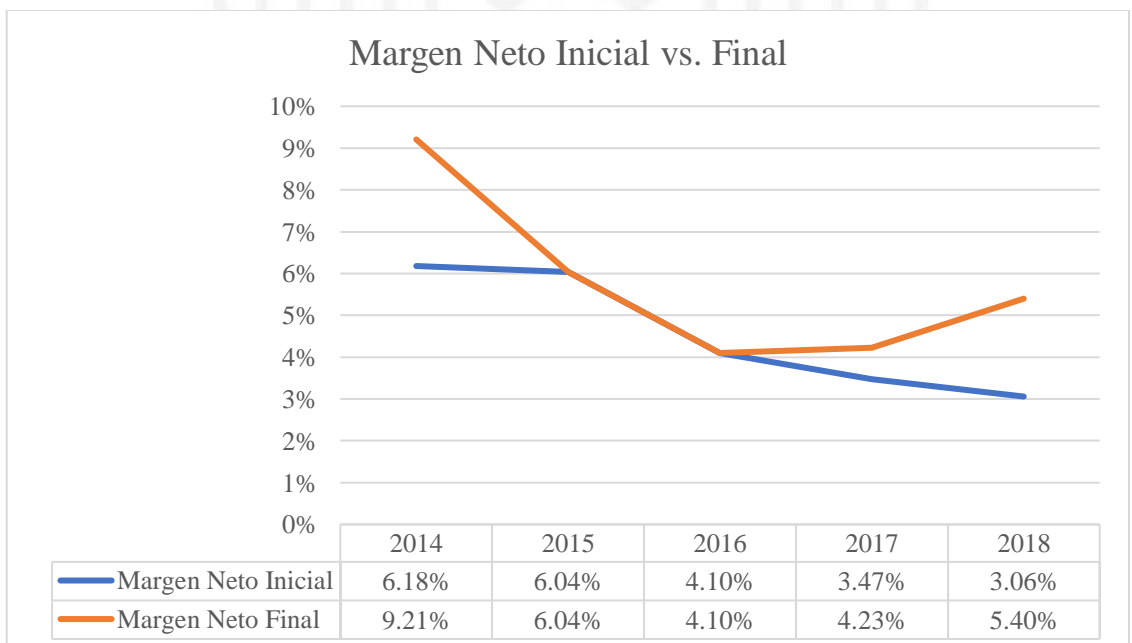
Margen operativo inicial vs. final



Elaboración propia

Figura 6. 3

Margen neto inicial vs. final



Elaboración propia

En segundo lugar, se tiene un ahorro promedio anual mostrado en la siguiente tabla 6.1 el cual nos ayuda como primer punto de partida:

Tabla 6. 1

Ahorro promedio anual

AÑO	TOTAL AHORRO
2014	1,167,005.36
2015	-
2016	-
2017	397,467.01
2018	1,072,169.49
PROMEDIO AHORRO	878,880.62

Elaboración propia

Para calcular los índices de rentabilidad, se utiliza el modelo CAPM (Modelo de Fijación de Precios de Activos), o mejor conocido por sus siglas en inglés (*Capital Asset Pricing Model*), para el proyecto que se plantea.

Tabla 6. 2

Cálculo CAPM

CAPM	11.70%
Rf	5.9%
Beta	0.74
Rm	13.73%

Elaboración propia

Luego de calcular la rentabilidad según el modelo CAPM, se procede a mostrar la tabla de la proyección anual en un escenario para 5 años (2019-2023). La tabla siguiente 6.3 muestra los valores que son determinantes para la evaluación.

Tabla 6. 3*Beneficio Neto Proyectado*

Años	0	2019	2020	2021	2022	2023
Ahorro total		878,880.62	878,880.62	878,880.62	878,880.62	878,880.62
Inversión 1	(540,600.00)					
Inversión 2	(147,003.00)					
Encargado de Mantenimiento		(30,000.00)	(30,000.00)	(30,000.00)	(30,000.00)	(30,000.00)
Asistente de Logística		(21,600.00)	(21,600.00)	(21,600.00)	(21,600.00)	(21,600.00)
Mantenimiento anual		(500.00)	(500.00)	(500.00)	(500.00)	(500.00)
Costo stock de seguridad		(5,213.47)	(5,213.47)	(5,213.47)	(5,213.47)	(5,213.47)
Depreciación maquinaria		(509.65)	(509.65)	(509.65)	(509.65)	(509.65)
Depreciación computadoras		(1,500.00)	(1,500.00)	(1,500.00)	(1,500.00)	
Beneficio Neto	(687,603.00)	819,557.50	819,557.50	819,557.50	819,557.50	821,057.50

Elaboración propia

Finalmente, los resultados de indicadores de rentabilidad dan como resultado lo siguiente:

VAN	2,289,990.09
TIR	116.70%
R B/C	4.33

El valor del VAN (Valor Actual Neto) es mayor a 0, el valor porcentual del TIR (Tasa Interna de Retorno) es mayor que la tasa de descuento y, por último, por cada sol invertido en el proyecto, se obtiene un retorno de S/ 4.33. En conclusión, el proyecto con las dos soluciones es sustancialmente viable.

CONCLUSIONES

- Se corroboran todos los impactos que se estimaron en el desarrollo económico con una correlación de confiabilidad elevada, con un ajuste elevado relativamente en el contexto de incertidumbre geológica por la variabilidad del suelo y estratigrafía en un proyecto. Obtener ajustes mayores al promedio es un resultado muy positivo.
- El consumo de picas en pilotes es directamente proporcional al diámetro y a la longitud del mismo.
- El impacto en el costo mediante esta implementación de la estimación con la fórmula encontrada aumenta la utilidad neta en un 10% como mínimo.
- Disminuir las paralizaciones por falta de consumibles utilizando este modelo matemático para la optimización de procesos de producción.
- El ajuste del grupo 1 representa en 86.8% los datos de los proyectos recolectados.
- El ajuste del grupo 2 representa en un 80.7% los datos de los proyectos recolectados.
- La ventaja de crear un código abierto es dejar una ventana para encontrar nuevas funciones y al mismo tiempo mejorar la confiabilidad de las mismas.

RECOMENDACIONES

- Realizar un seguimiento y control de los resultados obtenidos en distintos proyectos a fin de verificar el incremento en la confiabilidad.
- No usar la función encontrada para determinar la cantidad de picas en procesos de perforación con máquinas distintas a las *drilling rig machines*. Para efectos de esta investigación, la información es recolectada de los modelos BAUER BG20H y BAUER BGV.
- Se debe asegurar que, al finalizar la obra, los ingenieros a cargo del proyecto realicen la encuesta de satisfacción y presenten un informe de los resultados obtenidos a gerencia (calidad de servicio, responsabilidad social e impacto ambiental).
- Los almacenes temporales de obra deben rendir un inventario final de la totalidad de materiales restantes al finalizar la obra, especialmente de los consumibles como; picas y porta picas, así mismo este debe ser actualizado en el almacén central y corroborado por el encargado de almacén a su recepción.
- Dado al impacto en el tiempo de adquisición, se debe aplicar ambas soluciones para no incurrir en un desabastecimiento total de consumibles.
- La metodología y el código generado para determinar el número de picas para un proyecto pueden aplicarse a cualquier base de datos de otra compañía.

REFERENCIAS

- Engh, H. (2015). *Optimization of an Upstream Supply Chain*. Master Thesis , Norwegian University of Science and Technology, Norway. Obtenido de <https://pdfs.semanticscholar.org/2af3/4c12280703d7fd65223cc598d286e3b69965.pdf>
- Eren, T. (2010). *Real Time Optimization of Drilling Parameters during Drilling Operations*. doi:<http://dx.doi.org/10.2118/129126-ms>
- Gordillo, R. (2016). *Mejora en el proceso de elaboración y gestión de los pronósticos de la demanda en una empresa dedicada a la elaboración de productos de belleza*. Obtenido de http://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/ulima/3303/Gordillo_Cerrutti_Rodrigo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Hankins , D., Salehi , S., & Fatemeh, K. (2015). An Integrated Approach for Drilling Optimization Using Advanced Drilling Optimizer. *Journal of Petroleum Engineering*, 1-12. doi:<https://doi.org/10.1155/2015/281276>
- Hitt, M., & Ireland , R. (2003). *Administración estratégica, competitividad y conceptos de*. México: Thomson learning.
- Mehaysen , A., & Mahasneh, A. (2017). Optimization Drilling Parameters Performance During Drilling in Gas Wells. *International Journal of Oil, Gas and Coal Engineering*, 5(2), 19-
- Paul, A., Kapoor, S., & DeVor, R. (2005). Chisel edge and cutting lip shape optimization for improved twist drill point design. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45, 425-431. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2004.09.010>
- Su, O., Yarali, O., & Akcin, N. (2013). Comparison of Drilling Performance of Chisel and Button Bits on the Electro Hydraulic Driller. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 46(6), 1577-1587. doi:<https://doi.org/10.1007/s00603-012-0358-3>
- Zamanifard, H. (2016). Drilling rigs and their role in logistics and supply chain management (SCM) for optimization of drilling industry through reducing waiting time of drilling rigs. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 7(11). Obtenido de <http://www.ijser.org/researchpaper>

BIBLIOGRAFÍA

- Banco Central de Reserva del Perú. (2016). Obtenido de <https://www.bcrp.gob.pe>
- BNAMERICAS. (2019). Obtenido de <https://www.bnamericas.com>
- Bonilla , E., Díaz, B., Kleeberg, F., & Noriega, M. (2014). *Mejora continua de los procesos: herramientas y técnicas*. Lima: Fondo Editorial.
- Construmática. (2019). Obtenido de Construpedia:
<https://www.construmatica.com/construpedia/Anclajes>
- Diario Gestión. (2015). Obtenido de <https://gestion.pe/economia/megaconstrucciones-cinco-grandes-obras-impulsaron-crecimiento-peru-93774-noticia/>
- Diario Gestión. (Abril de 2017a). Obtenido de <https://gestion.pe/economia/caso-lavajato-proyectos-paralizados-peru-equivalen-4-7-pbi-132381-noticia/>
- Diario Gestión. (Octubre de 2017b). Obtenido de <https://gestion.pe/economia/caso-lavajato-continuara-impactando-economia-resta-ano-220086-noticia/>
- Diario Gestión. (Julio de 2018). Obtenido de <https://gestion.pe/fotogalerias/cinco-tecnologias-cambiando-sector-construccion-238741-noticia/?foto=8>
- Diario La República . (2017). Obtenido de <http://larepublica.pe/economia/1065692-shockde-inversion-publica-para-reimpulsar-crecimiento-economico>
- Empresa Nacional de Puertos. (2019). Obtenido de <http://www.enapu.com.pe>
- Gordillo, R. (2016). *Mejora en el proceso de elaboración y gestión de los pronósticos de la demanda en una empresa dedicada a la elaboración de productos de belleza*. Obtenido de http://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/ulima/3303/Gordillo_Cerrutti_Rodrigo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Hitt, M., & Ireland , R. (2003). *Administración estratégica, competitividad y conceptos* de. México: Thomson learning.
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2019). Obtenido de <https://www.indeci.gob.pe>
- López, C., Pérez, A., & Villamonte, J. (2017). *Gestión de la demanda para optimizar la cadena logística de la empresa VAN SAC*. Obtenido de <http://repositorio.up.edu.pe/handle/11354/1972>
- Mathews, J. H., & Fink, K. D. (2000). *Métodos Numéricos*. Madrid: PRENTICE HALL.
- Mathworks. (2019). Obtenido de <https://la.mathworks.com>

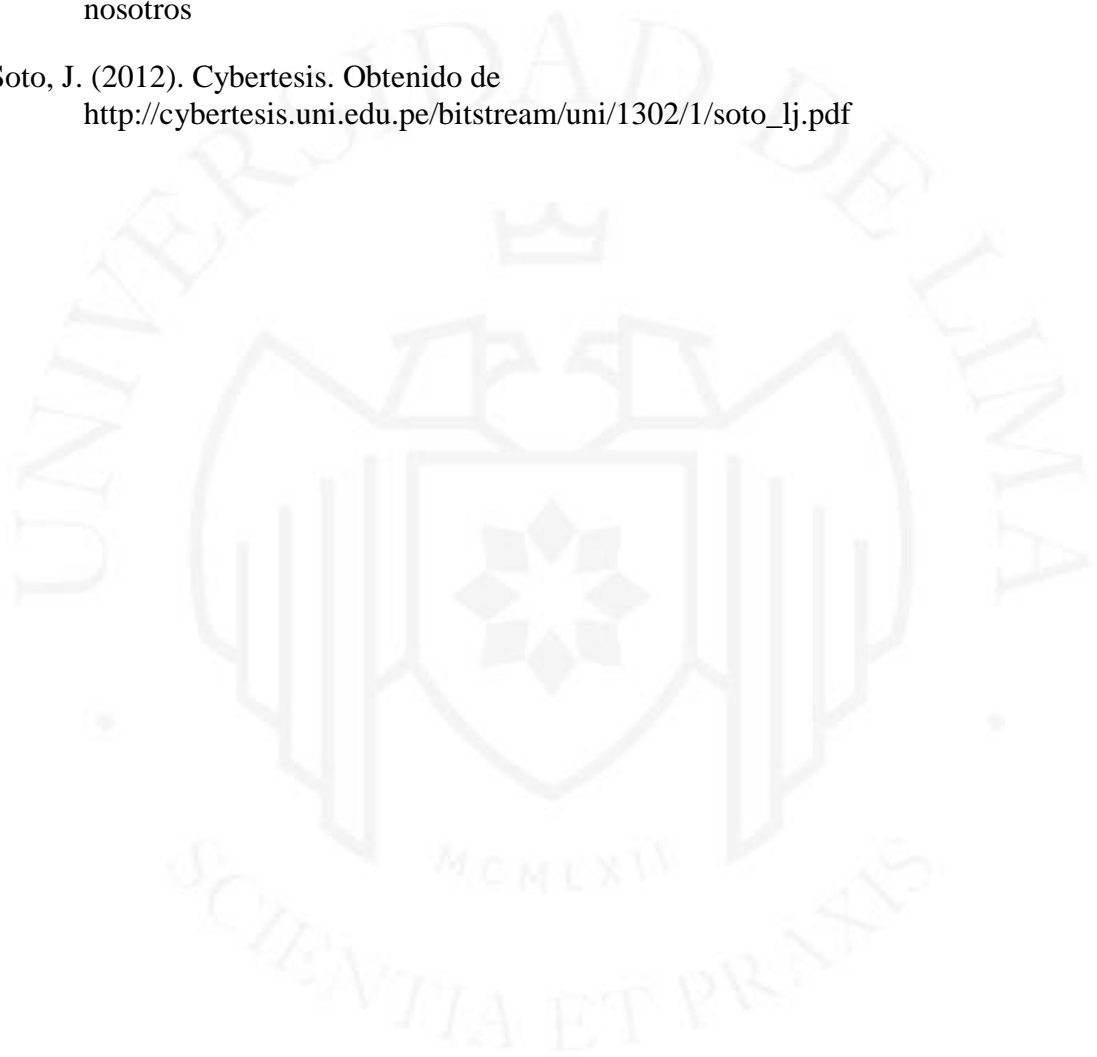
Molina, M., Rios, R., & Yanque, F. (2017). *Propuesta de mejora del proceso de abastecimiento de materiales para la Constructora EOM Grupo*. Lima. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11354/1991>

Organismo Supervisor de las Contrataciones del Estado . (2019). Obtenido de <http://www.osce.gob.pe>

Porter, M. E. (1980). *Estrategia competitiva: técnicas para el análisis de los sectores industriales y de la competencia*.

PSV Constructores. (2019). Obtenido de <https://www.psv.com.pe/la-compania/sobrenosotros>

Soto, J. (2012). Cybertesis. Obtenido de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1302/1/soto_lj.pdf





ANEXOS

Anexo 1. Data de proyectos Soletanche Bachy Perú

	Proyecto	Número de pilotes	Número de Picas	Picas / Pilote	Suelo predominante	D	L	L/D	L*D
SOLETANCHE	1	24	933	38.9	Grava/Bolonería	1	16	16	16
	2	60	95	1.6	Arena limosa	0.6	10	16.7	6
	3	12	549	45.8	Grava	0.6	12	20	7.2
	4	18	553	30.7	Grava/Bolonería	1.2	16.5	13.8	19.8
	5	20	688	34.4	Grava/Bolonería	1.5	22	14.7	33
	6	16	104	6.5	Granular	1.2	9	7.5	10.8
	7	15	70	4.7	Arena limosa	0.66	18.5	28	12.2
	8	32	195	6.1	Arcilla	0.75	21.05	28.1	15.8
	9	28	454	16.2	Grava/Bolonería	1.8	21	11.7	37.8
	10	10	30	3	Arcilla	1.1	9.5	8.6	10.5
	11	22	784	35.6	Grava	1.5	22.5	15	33.8
	12	14	255	18.2	Grava/Bolonería	2	22	11	44
	13	18	40	2.2	Arcilla	0.8	9.8	12.3	7.8
	14	40	158	4	Arena arcillosa	1	11.5	11.5	11.5
	15	28	767	27.4	Granular	1	13	13	13
	16	24	207	8.6	Arena limosa	1.4	20.5	14.6	28.7
	17	66	1363	20.7	Grava arenosa	1.2	15.8	13.2	19

(continúa)

(continuación)

SOLETANCHE	18	80	2541	31.8	Grava/Bolonería	1	14	14	14
	19	256	2500	9.8	Grava arenosa	0.8	7	8.8	5.6
	20	6	48	8	Arcilla	1.2	19.3	16.1	23.2
	21	124	961	7.8	Arcilla	1.1	18.75	17	20.6
	22	84	2195	26.1	Grava/Bolonería	1.1	14	12.7	15.4
	23	16	43	2.7	Arcilla	0.6	14.75	24.6	8.9
	24	44	366	8.3	Arcilla	1.5	21.05	14	31.6
	25	8	51	6.4	Arena arcillosa	1.2	13.85	11.5	16.6
	26	29	245	8.4	Arena	1.4	17.5	12.5	24.5
	27	38	261	6.9	Arcilla	1.2	15.8	13.2	19
	28	24	79	3.3	Arcilla	0.85	12	14.1	10.2
	29	47	521	11.1	Grava arenosa	1.2	11	9.2	13.2
	30	32	1421	44.4	Grava/Bolonería	1.2	22.5	18.8	27
	31	35	53	1.5	Arcilla	0.6	11.5	19.2	6.9
	32	17	93	5.5	Arcilla	1	14.5	14.5	14.5
	33	90	311	3.5	Arena	0.8	13.2	16.5	10.6
	34	36	1462	40.6	Grava arenosa	1.8	30	16.7	54
35	11	95	8.6	Arena arcillosa	1.4	19.7	14.1	27.6	

Fuente: Soletanche Bachy Perú (2019)
Elaboración propia

Anexo 2. Data de proyectos PSV Constructores

	Proyecto	Número de pilotes	Número de Picas	Picas / Pilote	Suelo predominante	D	L	L/D	L*D
PSV CONSTRUCTORES	36	24	60	2.5	Arcilla	1	12	12.0	12.0
	37	14	101	7.2	Arena	1.2	22.48	18.7	27.0
	38	195	332	1.7	Arcilla	0.65	9.87	15.2	6.4
	39	20	96	4.8	Arcilla	1	27	27.0	27.0
	40	36	1440	40.0	Granular / Bolonería	1.2	18	15.0	21.6
	41	520	1040	2.0	Arcilla	0.5	12.13	24.3	6.1
	42	20	114	5.7	Arena	1	20	20.0	20.0
	43	6	30	5.0	Arena	1	13	13.0	13.0
	44	28	238	8.5	Arena Gravosa	1.2	30.8	25.7	37.0
	45	11	198	18.0	Granular / Limoso	1.4	20	14.3	28.0
	46	12	61	5.1	30 % Granular / 70% Grava	1.5	10.75	7.2	16.1
	47	6	12	2.0	Arcilla	0.6	14	23.3	8.4
	48	52	2132	41.0	Granular (Grava limeña)	1.2	25	20.8	30.0
	49	9	20	2.2	Arcilla	1.2	21	17.5	25.2
	50	12	27	2.3	Arena arcillosa	1.2	15	12.5	18.0
	51	36	1620	45.0	Granular / Bolonería	1.2	21	17.5	25.2
	52	316	996	3.2	Arena 85% y grava 15%	0.8	15	18.8	12.0
	53	132	396	3.0	Arcilla y arena	0.6	16.5	27.5	9.9
	54	12	61	5.1	70% Grava - 30% Arena	1.5	10.75	7.2	16.1
	55	4	138	34.5	70% Grava - 30% Arena	1.5	26.5	17.7	39.8
56	4	112	28.0	70% Grava - 30% Arena	1.5	23.25	15.5	34.9	
57	4	124	31.0	70% Grava - 30% Arena	1.5	23.25	15.5	34.9	
58	8	20	2.5	Suelo arcilloso	1	14	14.0	14.0	
59	34	81	2.4	Suelo arenoso	0.75	12	16.0	9.0	
60	12	395	32.9	Grava limosa	1.2	23.4	19.5	28.1	

Fuente: PSV Constructores (2019)

Elaboración propia

Anexo 3. Proyectos por año (2014-2018) PSV Constructores

AÑO	PROYECTO	PAÍS	CLIENTE	MONEDA	DATOS DEL PROYECTO						TOTAL PICAS	VENTA ANUAL (S/)	% VENTA
					MONTO SIN IGV	MONTO SIN IGV (S/)	IGV	MONTO + IGV (S/)	INICIO DE OBRA	FIN DE OBRA			
2014	Pilotes Pre-Excavados - Puente Fortaleza	PERU	OHL	USD\$	266,627	879,869	158,376	1,038,245	05-11-14	07-01-15	100	24,287,193	22.14%
	Pilotes Pre-Excavados - Chiclayo	PERU	CISSAC	USD\$	450,060	1,485,198	267,336	1,752,534	27-06-14	10-10-14	165		
	Pilotes Pre-Excavados - Puente Canoas	PERU	CONSORCIO TUMBES	USD\$	368,874	1,217,284	219,111	1,436,395	01-09-13	01-04-14	135		
	Pilotes Pre-Excavados - Puente Chihuani	PERU	SIMA SA	USD	295,128	973,922	175,306	1,149,228	22-05-14	30-07-14	110		
TOTAL								5,376,403		510			
2015	Pilotes Pre-Excavados	PERU	CONSORCIO VIAL SAN MARCOS	USD\$	237,898	785,065	141,312	926,377	01-10-15	31-10-15	279	22,180,073	20.28%
	Pilotes Pre-Excavados	PERU	OHL	USD\$	100,032	330,106	59,419	389,525	13-08-15	30-09-15	117		
	Pilotes Pre-Excavados - Almacén de Minerales Impala	PERU	CIDELSA	USD\$	258,983	854,644	153,836	1,008,480	10-11-14	02-03-15	303		
	Pilotes Pre-Excavados - Puente Las Delicias, Oyotun	PERU	ATERPA	USD\$	102,127	337,019	60,663	397,683	09-12-14	08-05-15	119		
	Pilotes Pre-Excavados - Puente Fortaleza	PERU	OHL	USD\$	228,542	754,190	135,754	889,944	08-06-15	11-07-15	268		
	Pilotes Pre-Excavados - Almacén de Minerales Impala	PERU	CIDELSA	USD\$	227,746	751,561	135,281	886,842	03-03-15	07-08-15	267		
TOTAL								4,498,850		1353			
2016	Pilotes Pre-Excavados	PERU	CONSORCIO YARINACocha	USD\$	1,502,549	4,958,411	892,514	5,850,925	03-08-15	13-09-16	1040	16,201,744	36.11%
TOTAL								5,850,925		1040			

(continúa)

(continuación)

2017	Pilotes Pre-Excavados - Puente Héroes del Cenepa	PERU	E.REYNA C. CONTRATISTAS GENERALES	USD\$	186,009	613,829	110,489	724,318	01-02-17	14-02-17	30	34,165,067	18.78%
	Pilotes Pre-Excavados - Sunat	PERU	HyHE Contratistas Generales S.A.C.	S/	1,244,686	-	224,043	1,468,729	03-12-16	01-04-17	660		
	Pilotes Pre-Excavados - Puente Río Shullcas	PERU	CONSORCIO SHULLCAS II	S/	374,294	-	67,373	441,667	01-04-17	25-04-17	48		
	Pilotes Pre-Excavados - Quebrada Llocllamayo	PERU	INTERSUR	USD\$	491,358	1,621,481	291,866	1,913,347	21-03-17	19-09-17	3060		
	Pilotes Pre-Excavados - Nueva Planta Shougang Hierro Perú S.A.C	PERU	SHOUTE METAL S.A.C	USD\$	479,660	1,582,878	284,918	1,867,796	26-04-17	14-11-17	996		
TOTAL								6,415,857			4794		
2018	Pilotes Pre-Excavados - Puente Combapata	PERU	CONSORCIO CHAKAKUNA QOSQO	USD\$	94,393	311,498	56,070	367,568	14-07-18	09-11-18	24	29,668,295	65.65%
	Pilotes Pre-Excavados - Acondicionamiento Turístico del Lago Yarinacocha	PERU	CONSORCIO E&M	USD\$	44,000	145,200	26,136	171,336	10-09-18	23-09-18	12		
	Pilotes Pre-Excavados - Puente Vehicular y Peatonal El Toro	PERU	HB SADELEC	USD\$	180,038	594,124	106,942	701,067	10-08-18	07-09-18	108		
	Pilotes Pre-Excavados - Puente Cachimayo	PERU	CONSORCIO CHAKAKUNA QOSQO	USD\$	146,129	482,227	86,801	569,028	07-05-18	23-05-18	61		
	Pilotes Pre-Excavados - Puente Río Chinchipe en Puerto Chinchipe	PERU	CONSORCIO CHINCHIPE	USD\$	229,222	756,433	136,158	892,591	29-05-18	04-08-18	27		
	Pilotes Pre-Excavados - Estación de Captación de Agua de Mar Nueva Planta Desaladora 30,000 m3/día	PERU	SHOUGANG HIERRO PERU SAA	USD\$	4,307,884	14,216,018	2,558,883	16,774,902	23-11-17	25-07-18	198		
TOTAL								19,476,492			430		

Fuente: PSV Constructores (2019)

Elaboración propia

Anexo 4. Proyecto “Quebrada Llocllamayo”

Se realiza un análisis exhaustivo año a año (2014-2018) para identificar qué proyectos encuentran retrasos por falta de picas. Se determina que en promedio cada año las ventas representan 32.59% proyectos de pilotes pre-excavados en Perú y que 5 de cada 11 proyectos con retraso es debido a falta de picas, debiéndose solicitar picas por emergencia.

Mediante un proyecto de pilotes pre-excavados realizado en el año 2017, ubicado en la Quebrada Llocllamayo en el distrito de San Gabán, provincia de Carabaya, ubicada en el departamento de Puno; se demuestran los cálculos de los costos adicionales que se incurren, descrito en la justificación económica de la investigación.

- Costo adicional incurrido por picas de emergencia

En el proyecto de la Quebrada Llocllamayo se incurre en costos adicionales por compra de picas de emergencia, se demuestra en las siguientes tablas extraídas de los archivos del proyecto.

Tabla 6. 4

Costo Total Proyecto - Quebrada Llocllamayo (2017)

CONCEPTO	MONTOS (\$USD)	MONTOS (S/)	IGV	MONTOS + IGV (S/)
CONTRACTUAL	491,357.74	1,621,480.54	291,866.50	1,913,347.04
TOTAL VENTA	491,357.74	1,621,480.54	291,866.50	1,913,347.04
COSTO DE MATERIALES	27,110.78	89,465.59	16,103.81	105,569.39
COSTO DE MANO DE OBRA	38,244.82	126,207.90	22,717.42	148,925.32
COSTO DE EQUIPO PROPIO	110,799.76	365,639.19	65,815.05	431,454.25
COSTO SUB CONTRATOS Y SERVICIOS	80,000.00	264,000.00	47,520.00	311,520.00
TOTAL COSTO DIRECTO	256,155.36	845,312.68	152,156.28	997,468.96
TOTAL COSTO INDIRECTO	68,044.92	224,548.22	40,418.68	264,966.90
TOTAL COSTOS	324,200.27	1,069,860.90	192,574.96	1,262,435.86
UTILIDAD				650,911.18
% UTILIDAD				34.02%

Fuente: PSV Constructores (2019)

Elaboración propia

En este proyecto se incurrió en un alto costo por compra de picas de emergencia vía aérea, por lo cual se tomaron los siguientes costos según el tipo de proveedor, en este caso por compra internacional vía aérea con un envío promedio de 7-15 días, sin contar procesos de desaduanaje y transporte. El número total de picas utilizadas es de 3,060.

Tabla 6. 5

Tipo de proveedor internacional vs. nacional

Precio de picas por importación vs. proveedor nacional (S/)					
	Postensac	P.A. Tech CO	Betek LTD	Shandong Tech	Costo Promedio
INTERNACIONAL PICAS 30/38"	41.25	44.55	42.405	33.495	40.43
	Bausa	SPG	Llaxsa	Headmark	
NACIONAL PICAS 30/38"	88.77	82.86	107.48	112.10	97.80
% de diferencia	46.5%	53.8%	39.5%	29.9%	41.3%

Fuente: PSV Constructores (2019)

Elaboración propia

Tabla 6. 6

Costo comparativo proveedor internacional vs. nacional - Quebrada Llocllamayo (2017)

CASO: QUEBRADA LLOCLLAMAYO - SAN GABAN (2017)					
Número de picas	INTERNACIONAL (S/)	NACIONAL (S/)			
	SHANDONG TECH	HEADMARK	SPG	BAUSA	LLAXSA
3,060	102,494.70	343,029.06	253,560.78	271,636.20	328,891.86
Flete aéreo	1,890				
Flete marítimo	150				
Total costo + envío aéreo	104,384.70				
Total costo + envío marítimo	102,644.70				
Ratio costo aéreo vs. costo marítimo	1.02				

Fuente: PSV Constructores (2019)

Elaboración propia

En resumen, el porcentaje del costo de picas solicitadas por emergencia vía aérea representó el 10.46% del costo directo del proyecto, lo cual valida la justificación del

costo adicional incurrido en picas de emergencia entre el 5-15% en proyectos de pilotes pre-excavados. La siguiente tabla 3.6 muestra los valores mencionados anteriormente:

Tabla 6. 7

Porcentaje de costo de picas vs. costo directo - Quebrada Llocllamayo (2017)

PORCENTAJE COSTO PICAS EN COSTOS DIRECTOS	
COSTO PICAS INTERNACIONAL VIA AÉREA	S/ 104,384.70
COSTO DIRECTO PROYECTO	S/ 997,468.96
PORCENTAJE	10.46%

Fuente: PSV Constructores (2019)
Elaboración propia

El costo adicional incurrido por picas en este proyecto se calculó de la siguiente manera:

*Costo anual (2017) * % Proyectos de pilotes pre-excavados (2017) * % Proyectos con retraso por picas (2017) * % Costo por picas * % Compras por emergencia * (Ratio compra picas vía aérea / vía marítima) – 1*

Tabla 6. 8

Costo adicional incurrido por picas de emergencia - Quebrada Llocllamayo (2017)

Costo anual (2017)	S/ 26'886,517
Proyectos de pilotes pre-excavados (2017)	18.78%
Proyectos con retraso por picas (2017)	20%
Costo por picas	10.46%
Compras por emergencia	45.45%
Ratio compra vía aérea / vía marítima	1.02
Costo total adicional incurrido por picas de emergencia	S/ 813.92

Fuente: PSV Constructores (2019)
Elaboración propia

- Costo adicional incurrido por gastos generales

Según lo mencionado por el Jefe de Proyecto de la Quebrada Llocllamayo indica que los gastos generales que se incurren en un proyecto de pilotes pre-excavados corresponden

al 10% de la venta⁵. De esta manera se calculan los gastos generales incurridos en este proyecto:

$$\text{Venta anual (2017)} * \% \text{ Gastos Generales} * \% \text{ Proyectos de pilotes pre-excavados (2017)} \\ * \% \text{ Proyectos con retraso por picas (2017)} * (\text{Indicador de plazo} - 1)$$

Tabla 6. 9

Costo adicional incurrido por gastos generales – Quebrada Llocllamayo (2017)

Venta anual (2017)	S/ 34,165,067
Gastos Generales	10%
Proyectos pilotes pre-excavados (2017)	18.78%
Proyectos con retraso por picas (2017)	20%
Indicador de plazo	2.6
Costo total adicional incurrido por gastos generales	S/ 205,318.39

Fuente: PSV Constructores (2019)
Elaboración propia

- Costo adicional incurrido por penalidades

Según la fórmula utilizada por el incumplimiento por retraso de obra, se aplicará lo siguiente:

$$\text{Penalidad diaria} = \frac{0.10 \times \text{Monto}}{F \times \text{Plazo}}$$

El valor de (F) en la fórmula puede variar según conceptos de plazos tal como lo señala el artículo 132 y 133 de la Ley de Contrataciones del Estado:

- Para plazos menores o iguales a (60) días, el valor de (F) será igual a 0.40.

⁵ Comentarios de Jordan Fontalvo, Jefe de Proyecto “Quebrada Llocllamayo – San Gabán (2017)”, quien fuera entrevistado por los autores para la presente investigación.

- Para plazos mayores a (60) días, el valor de (F) será igual a (0.15).

El valor de la penalidad máxima será igual al 10% del monto total del proyecto, por lo tanto, el costo adicional incurrido por penalidad en este proyecto es el siguiente:

Tabla 6. 10

Costo adicional incurrido por penalidades - Quebrada Llocllamayo (2017)

Monto Contractual	S/ 1'913,347.04
Penalidad máxima	S/ 191,334.70
Plazo de ejecución	50 días
Valor (F)	0.40
Penalidad diaria	S/ 9,566.74
Días tope por contrato	20
Indicador de plazo	3.6
Indicador tope promedio	1.4
Costo total adicional incurrido por penalidades	S/ 191,334.70

Fuente: PSV Constructores (2019)
Elaboración propia

Debido a que la penalidad máxima llega al tope, aplica el 10% total del monto contractual del proyecto. Teniendo en cuenta los cálculos realizados como ejemplo de un proyecto crítico y que utilizó casi el triple de las picas que se predijo de manera empírica⁶, se procede a replicar los cálculos año a año para evaluar la viabilidad del proyecto.

Después se calculan los costos adicionales incurridos en aquellos años donde se encontró retrasos por falta de picas, en este caso se analiza el 2014, 2017 y 2018 del Estado de Resultados para evaluar la mejora. La siguiente tabla muestra los cálculos que se realiza año a año.

⁶ Comentarios de Jordan Fontalvo, Jefe de Proyecto “Quebrada Llocllamayo – San Gabán (2017)”, quien fuera entrevistado por los autores para la presente investigación.

Anexo 5. Indicador de retraso

AÑO	PROYECTOS	PLAZO REAL	PLAZO DE EJECUCION	INDICADOR DE PLAZO (IP)	PROM INDICADOR DE PLAZO RETRASO POR PICAS	PORCENTAJE PROYECTOS CON RETRASO	PORCENTAJE RETRASO POR PICAS
2014	Pilotes Pre-Excavados - Puente Fortaleza	26	23	1.13	2.49	100%	50%
	Pilotes Pre-Excavados - Chiclayo Pasamayito	173	70	2.47			
	Pilotes Pre-Excavados - Puente Canoas	150	60	2.50			
	Pilotes Pre-Excavados - Puente Chihuani	96	75	1.28			
2015	Pilotes Pre-Excavados Consorcio Vial San Marcos	23	30	-	-	33%	0%
	Pilotes Pre-Excavados OHL	13	30	-			
	Pilotes Pre-Excavados - Almacén de Minerales Impala	105	45	2.33			
	Pilotes Pre-Excavados - Puente Las Delicias, Oyotun	33	36	-			
	Pilotes Pre-Excavados - Puente Fortaleza	13	30	-			
	Pilotes Pre Excavados - Almacén de Minerales Impala	105	45	2.33			
2016	Pilotes Pre-Excavados Consorcio Yarinacochas	172	178	-	-	0%	0%
2017	Pilotes Pre-Excavados - Puente Héroes del Cenepa	7	14	-	3.60	40%	20%
	Pilotes Pre-Excavados - Sunat	84	56	1.50			
	Pilotes Pre-Excavados - Puente Rio Shullcas	17	24	-			
	Pilotes Pre-Excavados - Quebrada Llocllamayo San Gaban	180	50	3.60			
	Pilotes Pre-Excavados - Shoughan	172	178	-			
2018	Pilotes Pre-Excavados - Puente Combapata	18	12	1.50	2.33	50%	33%
	Pilotes Pre-Excavados - Acondicionamiento Turístico del Lago Yarinacocha	6	6	-			
	Pilotes Pre-Excavados - Puente Vehicular y Peatonal El Toro	32	15	1.13			
	Pilotes Pre-Excavados - Puente Cachimayo	9	26	-			
	Pilotes Pre-Excavados - Puente Río Chinchipe en Puerto Chinchipe	38	15	1.53			
	Pilotes Pre-Excavados - Estación de Captación de Agua de Mar Nueva Planta Desaladora 30,000 m3/día	38	40	-			

Fuente: PSV Constructores (2019)

Elaboración propia

Anexo 6. Ratio Aéreo vs. Marítimo

AÑO	PROYECTOS	MONTO GENERAL POR PROYECTO (S/)	NUMERO DE PICAS POR PILOTE	MONTO COMPRA FLETE AEREO (S/)	MONTO COMPRA FLETE MARITIMO (S/)	RATIO AEREO VS. MAR
2014	Pilotes Pre-Excavados - Puente Fortaleza	1,038,245.42	100	5,239.50	3,499.50	1.50
	Pilotes Pre-Excavados - Chiclayo Pasamayito	1,752,533.64	165	7,416.68	5,676.68	1.31
	Pilotes Pre-Excavados - Puente Canoas	1,436,395.36	135	6,411.83	4,671.83	1.37
	Pilotes Pre-Excavados - Puente Chihuani	1,149,228.43	110	5,574.45	3,834.45	1.45
	Total		510	24,642.45	17,682.46	
2015	Pilotes Pre-Excavados Consorcio Vial San Marcos	926,376.72	279	11,235.11	9,495.11	1.18
	Pilotes Pre-Excavados OHL	389,524.61	117	5,808.92	4,068.92	1.43
	Pilotes Pre-Excavados - Almacén de Minerales Impala	1,008,480.00	303	12,038.99	10,298.99	1.17
	Pilotes Pre-Excavados - Puente Las Delicias, Oyotun	397,682.93	119	5,875.91	4,135.91	1.42
	Pilotes Pre-Excavados - Puente Fortaleza	889,943.79	268	10,866.66	9,126.66	1.19
	Pilotes Pre Excavados - Almacén de Minerales Impala	886,842.30	267	10,833.17	9,093.17	1.19
	Total		1,353	56,658.75	46,218.74	
2016	Pilotes Pre-Excavados Consorcio Yarinacochas	5,850,925.14	1040	36,724.80	34,984.80	1.05
	Total		1,040	36,724.80	34,984.80	
2017	Pilotes Pre-Excavados - Puente Héroes del Cenepa	724,318.31	30	2,894.85	1,154.85	2.51
	Pilotes Pre-Excavados - Sunat	1,468,729.19	660	23,996.70	22,256.70	1.08
	Pilotes Pre-Excavados - Puente Rio Shullcas	441,666.83	48	3,497.76	1,757.76	1.99
	Pilotes Pre-Excavados - Quebrada Llocllamayo San Gabán	1,913,347.04	3060	104,384.70	102,644.70	1.02
	Pilotes Pre-Excavados - Shoughan	1,867,796.04	996	35,251.02	33,511.02	1.05
	Total		4,794	170,025.03	161,325.03	
2018	Pilotes Pre-Excavados - Puente Combapata	367,567.98	24	2,693.88	953.88	2.82
	Pilotes Pre-Excavados - Acondicionamiento Turístico del Lago Yarinacocha	171,336.00	12	2,291.94	551.94	4.15
	Pilotes Pre-Excavados - Puente Vehicular y Peatonal El Toro	701,066.88	108	5,507.46	3,767.46	1.46
	Pilotes Pre-Excavados - Puente Cachimayo	569,028.08	61	3,933.20	2,193.20	1.79
	Pilotes Pre-Excavados - Puente Río Chinchipe en Puerto Chinchipe	892,591.12	27	2,794.37	1,054.37	2.65
	Pilotes Pre-Excavados - Estación de Captación de Agua de Mar Nueva Planta Desaladora 30,000 m3/día	16,774,901.58	198	8,522.01	6,782.01	1.26
	Total		430	25,742.85	15,302.85	

Fuente: PSV Constructores (2019)
Elaboración propia

Anexo 7. Penalidades

AÑO	PROYECTOS	PLAZO REAL	PLAZO DE EJECUCION	IP	MONTO GENERAL POR PROYECTO (S/)	PENALIDAD MAXIMA (S/)	PENALIDAD DIARIA (S/)	DIAS TOPE POR CONTRATO	INDICADOR TOPE PROM	COSTO POR PENALIDAD INCURRIDA (S/)
2014	Pilotes Pre-Excavados - Puente Fortaleza	26	23	1.13	1,038,245.42	103,824.54	11,285.28	9.20	1.40	
	Pilotes Pre-Excavados - Chiclayo Pasamayito	173	70	2.47	1,752,533.64	175,253.36	16,690.80	10.50	1.15	175,253.36
	Pilotes Pre-Excavados - Puente Canoas	150	60	2.50	1,436,395.36	143,639.54	5,984.98	24.00	1.40	143,639.54
	Pilotes Pre-Excavados - Puente Chihuani	96	75	1.28	1,149,228.43	114,922.84	10,215.36	11.25	1.15	
2015	Pilotes Pre-Excavados Consorcio Vial San Marcos	23.00	30.00	-	926,376.72	92,637.67	7,719.81	12.00	1.40	
	Pilotes Pre-Excavados OHL	13.00	30.00	-	389,524.61	38,952.46	3,246.04	12.00	1.40	
	Pilotes Pre-Excavados - Almacén de Minerales Impala	105.00	45.00	2.33	1,008,480.00	100,848.00	5,602.67	18.00	1.40	
	Pilotes Pre-Excavados - Puente Las Delicias, Oyotun	33.00	36.00	-	397,682.93	39,768.29	2,761.69	14.40	1.40	
	Pilotes Pre-Excavados - Puente Fortaleza	13.00	30.00	-	889,943.79	88,994.38	7,416.20	12.00	1.40	
	Pilotes Pre-Excavados - Almacén de Minerales Impala	105.00	45.00	2.33	886,842.30	88,684.23	4,926.90	18.00	1.40	
2016	Pilotes Pre-Excavados Consorcio Yarinacochas	172.00	178.00	-	5,850,925.14	585,092.51	21,913.58	26.70	1.15	
2017	Pilotes Pre-Excavados - Puente Héroes del Cenepa	7.00	14.00	-	724,318.31	72,431.83	12,934.26	5.60	1.40	
	Pilotes Pre-Excavados - Sunat	84.00	56.00	1.50	1,468,729.19	146,872.92	6,556.83	22.40	1.40	
	Pilotes Pre-Excavados - Punte Rio Shullcas	17.00	24.00	-	441,666.83	44,166.68	4,600.70	9.60	1.40	
	Pilotes Pre-Excavados - Quebrada Llocllamayo San Gaban	180.00	50.00	3.60	1,913,347.04	191,334.70	9,566.74	20.00	1.40	191,334.70
	Pilotes Pre-Excavados - Shoughan	172.00	178.00	-	1,867,796.04	186,779.60	6,995.49	26.70	1.15	
2018	Pilotes Pre-Excavados - Puente Combapata	18.00	12.00	1.50	367,567.98	36,756.80	7,657.67	4.80	1.40	
	Pilotes Pre-Excavados - Acondicionamiento Turístico del Lago Yarinacocha	6.00	6.00	-	171,336.00	17,133.60	7,139.00	2.40	1.40	
	Pilotes Pre-Excavados - Puente Vehicular y Peatonal El Toro	32.00	15.00	2.13	701,066.88	70,106.69	11,684.45	6.00	1.40	70,106.69
	Pilotes Pre-Excavados - Puente Cachimayo	9.00	26.00	-	569,028.08	56,902.81	5,471.42	10.40	1.40	
	Pilotes Pre-Excavados - Puente Río Chinchipe en Puerto Chinchipe	38.00	15.00	2.53	892,591.12	89,259.11	14,876.52	6.00	1.40	89,259.11
	Pilotes Pre-Excavados - Estación de Captación de Agua de Mar Nueva Planta Desaladora 30,000 m3/día	38.00	40.00	-	16,774,901.58	1,677,490.16	104,843.13	16.00	1.40	

Fuente: PSV Constructores (2019)

Elaboración propia

Anexo 8. Análisis Utilidad Bruta

AÑO	PROYECTOS	VENTA ANUAL (S/)	COSTO ANUAL (S/)	UTILIDAD BRUTA INICIAL (S/)	COSTO ADICIONAL INCURRIDO PICAS DE EMERGENCIA (S/)	COSTO PENALIDAD INCURRIDA (S/)	GASTOS GENERALES INCURRIDOS (S/)	REDUCCION DE COSTOS (S/)	UTILIDAD BRUTA MEJORADA (S/)	%
2014	Pilotes Pre-Excavados - Puente Fortaleza	24,287,193	14,405,895	9,881,298				13,238,889.64	11,048,303.36	11.81%
	Pilotes Pre-Excavados - Chiclayo Pasamayito				22,218.71	175,253.36	395,607.15			
	Pilotes Pre-Excavados - Puente Canoas				26,997.77	143,639.54	403,288.84			
	Pilotes Pre-Excavados - Puente Chihuani									
					49,216.47	318,892.90	798,895.99			
2015	Pilotes Pre-Excavados Consorcio Vial San Marcos	22,180,073	15,615,093	6,564,980						
	Pilotes Pre-Excavados OHL									
	Pilotes Pre-Excavados - Almacén de Minerales Impala									
	Pilotes Pre-Excavados - Puente Las Delicias, Oyatun									
	Pilotes Pre-Excavados - Puente Fortaleza									
	Pilotes Pre-Excavados - Almacén de Minerales Impala									
2016	Pilotes Pre-Excavados Consorcio Yarinacochas	16,201,744	11,499,487	4,702,257						

(continúa)

(continuación)

2017	Pilotes Pre-Excavados - Puente Héroes del Cenepa	34,165,067	26,886,517	7,278,550				26,489,049.99	7,676,017.01	5.46%
	Pilotes Pre-Excavados - Sunat									
	Pilotes Pre-Excavados - Punte Rio Shullcas									
	Pilotes Pre-Excavados - Quebrada Llocllamayo San Gaban				813.92	191,334.70	205,318.39			
	Pilotes Pre-Excavados - Shoughan									
					813.92	191,334.70	205,318.39			
2018	Pilotes Pre-Excavados - Puente Combapata	29,668,295	22,845,879	6,822,416				21,773,709.51	7,894,585.48	15.72%
	Pilotes Pre-Excavados - Acondicionamiento Turístico del Lago Yarinacocha									
	Pilotes Pre-Excavados - Puente Vehicular y Peatonal El Toro				104,954.07	70,106.69	86,565.49			
	Pilotes Pre-Excavados - Puente Cachimayo									
	Pilotes Pre-Excavados - Puente Río Chinchipe en Puerto Chinchipe				375,022.16	89,259.11	346,261.97			
	Pilotes Pre-Excavados - Estación de Captación de Agua de Mar Nueva Planta Desaladora 30,000 m ³ /día									
	479,976.23	159,365.80	432,827.46							

Fuente: PSV Constructores (2019)

Elaboración propia

Anexo 9. Código Principal (MATLAB)

```
clear all
close all
clc

x = [7.84 22.16 21.62 20.51 22.2 9.45 18.45 21.12 23.76 20.31 22.74 24.23 21.20 19.03
13.50 21.74 31.35 29.37 21.43 30.34 32.24 29.41 30.42 30.18 33.33 31.23 34.31 43.30
47.95 48.10 45.38 45.60 37.88 37.03 41.50 44.30 44.45 42.40 42.63 37.8];

y = [246.64 210.14 200.66 213.71 229.11 236.03 236.09 240.10 241.68 243.56 246.20
255 264.01 268.10 269.04 270.35 278.64 284.14 307.01 314.15 316.72 328.31 337.0
344.5 353.02 360.49 379.61 387.8 396.51 397.60 407.76 412.56 424.07 413.19 394.93
407.95 416.98 415.24 413.06 399.26];

% Ordenar
[xp,pos]=sort(x);
yp=y(pos);

Mo=[xp;yp];
xp=xp(4:end);
yp=yp(4:end);

% constante
L=440;
%
X=xp;
Y=log((L./yp)-1);

a1=sum(X.^2); a2=sum(X);
b1=a2; b2=length(X);

c1=sum(X.*Y);
c2=sum(Y);
A=[a1 a2; b1 b2]; B=[c1 c2]';
sol=eg(A,B);

% Ajuste
yn=L./(1+exp(sol(2))*exp(sol(1)*xp));

plot(xp,yp,'o'), hold on; grid on; box on;
plot(xp,yn,'*r')
xlabel('Nspt [campo]')
ylabel('Capacidad de carga [t]')
title('Correlación entre número de golpes y prueba PDA')

% Coeficientes
```

```

C=exp(sol(2));
A=sol(1);
L; % Constante definida iterativamente hasta encontrar una solución real.

```

```

syms Nspt
(L./(1+C*exp(A*Nspt)))

```

Función

```
function X= eg(A,B)
```

```
%Datos:
```

```
%A es una matriz invertible de orden NxN
```

```
%B es una matriz de orden Nx1
```

```
%Resultados:
```

```
%X es una matriz de orden Nx1 que contiene la solución de AX=B
```

```
%Inicializamos X y una matriz C que sirve de almacén temporal
```

```
[N N]=size(A);
```

```
X=zeros(N,1);
```

```
C=zeros(1,N+1);
```

```
%Cálculo de la matriz ampliada MA=[A|B]
```

```
MA=[A B];
```

```
for q=1:N-1
```

```
    %Pivoteo parcial en la columna q-ésima
```

```
    [Y j]=max(abs(MA(q:N,q)));
```

```
    %Intercambiamos las filas q-ésima y (j+q-1)-ésima
```

```
    C=MA(q,:);
```

```
    MA(q,:)=MA(j+q-1,:);
```

```
    MA(j+q-1,:)=C;
```

```
    if MA(q,q)==0
```

```
        disp('A no es invertible. No hay solución o no es única')
```

```
        break
```

```
    end
```

```
    %Proceso de eliminación en la columna q-ésima
```

```
    for k=q+1:N
```

```
        m=MA(k,q)/MA(q,q);
```

```
        MA(k,q:N+1)=MA(k,q:N+1)-m*MA(q,q:N+1);
```

```
    end
```

```
end
```

```
X=backsub(MA(1:N,1:N),MA(1:N,N+1));
```

```
function X=backsub(A,B)
```

```
n=length(B);
```

```
X=zeros(n,1);X(n)=B(n)/A(n,n);
```

```
for w=n-1:-1:1
```

```
    X(w)=(B(w)-A(w,w+1:n)*X(w+1:n))/A(w,w);
```

```
end
```

```
end
```

```
MA;
```

```
end
```

Anexo 10. Glosario

Cimentaciones: estructuras fabricadas con concreto armado y acero que constituyen el soporte principal de las edificaciones, puentes y construcciones similares.

Pilotes pre-excavados: Este trabajo consiste en la construcción de pilotes de concreto fundidos *in situ*, con o sin bases acampanadas, cuya ejecución se efectúa excavando previamente el terreno y rellenando la excavación con hormigón fresco y las correspondientes armaduras, con los diámetros, longitudes y profundidades indicados en los planos del proyecto.

Superestructura: Se refiere a la estructura que se encuentra sobre el suelo; de concreto, metal u otro material.

Accesorios de perforación: elementos de acero de alta resistencia con geometrías variables, comúnmente con forma circular o helicoidal, utilizados en la técnica de perforación.

Consumibles: Producto o constituyente que desaparece durante un proceso productivo.

Picas: elementos utilizados en los accesorios de perforación para facilitar su proceso. Están en contacto directo con el suelo que está siendo excavado, por lo que experimentan altos niveles de esfuerzos. Después de evidenciar un desgaste excesivo deben ser reemplazados.

Correlación: Término utilizado en estadística y probabilidad que indica la fuerza y la dirección de una relación lineal y proporcionalidad entre dos o más variables estadísticas.

Diagrama de dispersión: es la representación gráfica más útil para describir el comportamiento conjunto de dos variables que es representado en un plano definido.

Métodos numéricos: son procedimientos mediante los cuales se obtiene, casi siempre de manera aproximada, la solución de ciertos problemas realizando cálculos netamente aritméticos y lógicos.

Perfiles estratigráficos: el perfil estratigráfico es el que se realiza a partir de datos de perforaciones, de datos de prospección geofísica, o bien de cortes naturales o artificiales del terreno que muestran las rocas que conforman la columna estratigráfica, mediante los

cuales se puede reconstruir la estratigrafía del subsuelo, acorde con la profundidad que demanda el proyecto.

Técnica de mínimos cuadrados: es una técnica de análisis numérico enmarcada dentro de la optimización matemática, en la que, dados un conjunto de pares ordenados: variable independiente, variable dependiente, y una familia de funciones, se intenta encontrar la función continua, dentro de dicha familia, que mejor se aproxime a los datos.

Orden de importación: es un acuerdo con detalles de la transacción emitido por el comprador donde se detalla los datos completos del vendedor, términos de compra (*incoterms*), plazos de entrega, cantidad, descripción y precio de los bienes comprados.

Estocástico: se aplica a procesos, algoritmos y modelos en que existe una secuencia cambiante de eventos a medida que pasa el tiempo.

Función de varias variables: expresión matemática con salida numérica escrita en términos de una serie de variables independientes.

Penalidades: constituye una sanción económica por incumplimiento de la prestación principal o de las otras prestaciones determinadas por la entidad en los documentos del procedimiento de selección.

Tiempos improductivos: son demoras, imputables a la empresa que ejecuta un proyecto, y cuyo tiempo no está contemplado en el proceso productivo.

Cadena logística: conjunto de actividades relacionadas con la planificación y control de bienes o materiales que se envían a los diferentes proyectos, en la cantidad adecuada, con la calidad requerida y el tiempo estipulado.

Plazo contractual: Tiempo estimado y acordado por dos partes, este pertenece a un tratado o convenio.

Proyecto: obra relacionada con la ejecución de pilotes pre-excavados.

Función p : corresponde a la ecuación que representa el número de picas en función de las variables de incidencia determinadas a lo largo de esta investigación.

Plataforma de operaciones: superficie sobre la cual se posicionarán los equipos de pilotaje, equipos menores y aparejos, utilizados en la fabricación de pilotes pre-excavados. Esto debe ser de dimensiones suficientes para realizar las maniobras y deben estar conformadas con material compactado.

Equipo Tremie: equipo utilizado para el fundido de pilotes. Consiste en cuerpos de tubo de diámetro de 6” u 8” que se ensamblan mediante roscas a tope mientras son introducidos en el pilote perforado. En su parte superior se coloca un embudo donde se verte el concreto.

