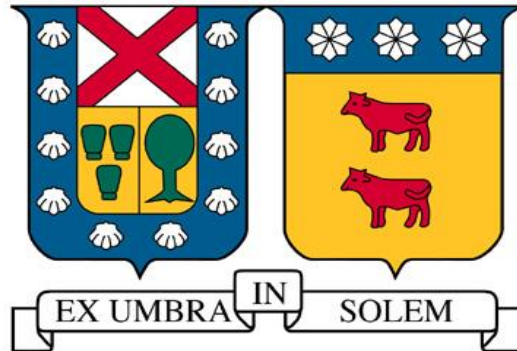


UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS
VALPARAÍSO – CHILE



**GESTIÓN DE RIESGOS Y AJUSTE DE DISTRIBUCIÓN DE
LAS ACTIVIDADES DEL CRONOGRAMA DEL PROYECTO PARO
DE PLANTAS DE PROCESO PARA MANTENCIÓN EN ENAP
REFINERÍA ACONCAGUA**

ERIK RUDAT MUÑOZ

MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

PROFESOR GUIA : SR. GONZALO AMÉSTICA H.
PROFESOR CORREFERENTE : SR. FREDY KRISTJANPOLLER R.

NOVIEMBRE 2017

Dedicado a:

Mi hijo, August Rudat Sierra, su madre y mi compañera Alejandra Sierra, y a mis padres que desde alguna parte del universo, orgullosos y felices están por este logro.

TABLA DE CONTENIDO

1	RESUMEN EJECUTIVO	19
2	INTRODUCCIÓN	20
3	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	22
4	OBJETIVOS	25
	4.1 Objetivo General	25
	4.2 Objetivos Específicos	25
5	ANTECEDENTES	26
	5.1 Justificación del tema	26
	5.2 Antecedentes generales ENAP	28
	5.2.1 Historia	28
	5.2.2 Descripción General	30
	5.2.3 Misión	33
	5.2.4 Visión	33
	5.2.5 Entorno ENAP	33
	5.2.6 Plan Estratégico	35
	5.2.7 Estructura Organizacional	35
	5.2.8 Sostenibilidad	36
	5.2.9 Departamento de mantenimiento ENAP Refinerías Aconcagua	38
6	MARCO TEÓRICO	43

6.1	Definición de proyecto	43
6.2	Dirección y gestión de proyectos	43
6.3	Estándares en la gestión y dirección de proyectos	47
6.3.1	Definición de estándar	47
6.3.2	Estándar ISO	51
6.4	Riesgos en proyectos	62
6.4.1	Gestión de riesgos en ISO 21500	68
6.4.2	Gestión de riesgos PMBOK versión 5	69
7	METODOLOGÍA	72
8	DESARROLLO	75
8.1	Planificar gestión de los riesgos	75
8.2	Identificación de los riesgos	76
8.3	Análisis cuantitativo de los riesgos	78
8.3.1	Revisión a la documentación	78
8.3.2	Entregables a mantener	86
8.3.3	Entregable mantenimiento placa orificio	91
8.3.4	Entregable mantenimiento transmisor	96
8.3.5	Análisis de los tiempos y variables de las actividades de los entregables	

8.3.6	Número de priorización	135
9	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	156
10	Referencias	165
11	ANEXOS	168
11.1	Anexo 1: Ajuste de distribución.	168
11.1.1	Vaina retirada	168
11.1.2	Mantenión lista	171
11.1.3	En inspección	174
11.1.4	Reporte inspección recibido	177
11.1.5	Entregado para instalar	180
11.1.6	Instalar vaina	183
11.1.7	Torque revisado vaina	186
11.1.8	Armado de andamio	189
11.1.9	Placa Orificio retirada	190
11.1.10	Mantenión lista Placa orificio	193
11.1.11	Entregada para instalar placa orificio	196
11.1.12	Lista para instalar	199
11.1.13	Lista para instalar	202
11.1.14	Placa orificio instalada	205

11.1.15	Revisar dirección flujo	208
11.1.16	Torque revisado placa orificio	211
11.1.17	Mantenición lista transmisores	214
11.1.18	Transmisor instalado	217
11.1.19	Transmisor revisado	220

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Distribución de instalaciones y red de gases Fuente: www.enap.cl	32
Figura 2: Situación actual Enap respecto a su entorno Fuente: www.enap.cl	34
Figura 3: Disponibilidad Operacional ENAP Fuente: www.enap.cl	39
Figura 4: Curva de la bañera en plantas de refinería Fuente: www.enap.cl	41
Figura 5: Esquema general proyectos Gestión de activos en Enap Refinería Aconcagua Fuente: Elaboración propia.....	42
Figura 6: Tipos de estándares Fuente: Elaboración propia.....	49
Figura 7: Concepto y relación general ISO 21500 Fuente: www.iso.org	58
Figura 8: Procesos en proyectos Fuente: www.enap.cl	59
Figura 9: Círculo de Deming Fuente: Elaboración propia	60
Figura 10: Actitud al riesgo Fuente: PMBOK 2013.....	65
Figura 11: Área del conocimiento riesgo en procesos ISO 21500 Fuente: Elaboración propia	68
Figura 12: EDT y actividades identificadas como riesgos Fuente: Elaboración propia.....	77
Figura 13: Extracto de planilla recolectora de tiempos paro 2015 Fuente: Elaboración propia	80
Figura 14: Mapa conceptual obtención número de priorización Fuente: Elaboración propia	85

Figura 15: Mapa conceptual análisis entregable mantenimiento vaina Fuente: Elaboración propia.....	86
Figura 16: Mapa conceptual análisis entregable mantenimiento placa orificio Fuente: Elaboración propia.....	91
Figura 17: Mapa conceptual análisis entregable mantenimiento transmisor Fuente: Elaboración propia.....	96
Figura 18: Placa orificio junto a transmisor Fuente: Elaboración propia.....	101
Figura 19: Termocupla inserta en vaina Fuente: Elaboración propia.....	102
Figura 20: Mapa conceptual análisis entregable mantenimiento actividades comunes Fuente: Elaboración propia.....	106
Figura 21: Mapa conceptual general obtención número de priorización Fuente: Elaboración propia.....	136

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Estadísticos actividades de entregable mantenimiento vaina Fuente: Elaboración propia.....	88
Gráfico 2: Coeficiente de variación entregable mantenimiento vaina Fuente: Elaboración propia.....	89
Gráfico 3: Estadísticos de entregable mantenimiento placa orificio Fuente: Elaboración propia.....	93
Gráfico 4: Coeficiente de variación entregable mantenimiento placa orificio Fuente: Elaboración propia.....	94
Gráfico 5: Estadísticos de entregable mantenimiento transmisores Fuente: Elaboración propia.....	98
Gráfico 6: Coeficiente de variación entregable mantenimiento transmisores Fuente: Elaboración propia.....	99
Gráfico 7: Tiempos medios, desviación estándar y coeficiente variación actividades comunes Fuente: Elaboración propia.....	107
Gráfico 8: Coeficiente de variación actividades comunes Fuente: Elaboración propia.....	108
Gráfico 9: Frecuencia de tiempos observados y teóricos Fuente: Elaboración propia.....	112
Gráfico 10: Histograma observado y función de densidad teórica Fuente: Elaboración propia.....	113
Gráfico 11: Frecuencia relativa y acumulada Fuente: Elaboración propia.....	113
Gráfico 12: Frecuencia de tiempos observados y teóricos Fuente: Elaboración propia.....	117

Gráfico 13:Histograma observado y función de densidad teórica Fuente: Elaboración propia	118
Gráfico 14: Frecuencia relativa y acumulada Fuente: Elaboración propia	118
Gráfico 15: Frecuencia de tiempos observados y teóricos Fuente: Elaboración propia.....	122
Gráfico 16:Histograma observado y función de densidad teórica Fuente: Elaboración propia	122
Gráfico 17:Frecuencia relativa y acumulada Fuente: Elaboración propia	123
Gráfico 18: Frecuencia de tiempos observados y teóricos Fuente: Elaboración propia.....	127
Gráfico 19: Histograma observado y función de densidad teórica Fuente: Elaboración propia	128
Gráfico 20: Frecuencia relativa y acumulada Fuente: Elaboración propia	128
Gráfico 21: Tiempos medios y coeficiente variación actividades agregadas y desagregadas Fuente: Elaboración propia.....	131
Gráfico 22: Coeficientes de variación de las actividades junto a las comunes Fuente: Elaboración propia.....	134
Gráfico 23: Número de priorización entregable mantenimiento vaina Fuente: Elaboración propia.....	141
Gráfico 24: Número de priorización entregable mantenimiento placa orificio Fuente: Elaboración propia.....	147
Gráfico 25: Número de priorización entregable mantenimiento transmisores Fuente: Elaboración propia.....	151

Gráfico 26: Número de priorización entregable mantenimiento actividades comunes Fuente:
Elaboración propia..... 154

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Términos y definiciones ISO 21500 Fuente: www.iso.org	57
Tabla 2: Grupos de materia en la gestión de proyectos Fuente: Elaboración propia	60
Tabla 3: Procesos en ISO 21500 Fuente: www.iso21500.org	62
Tabla 4: Estructura general gestión de riesgos Fuente: PMBOK 2013	71
Tabla 5: Estructura general gestión de riesgos Fuente: Elaboración propia	72
Tabla 6: Herramientas a utilizar para gestión de riesgo Fuente: Elaboración propia	73
Tabla 7: Actividades de entregable mantenimiento vaina Fuente: Elaboración propia	81
Tabla 8: Actividades de entregable mantenimiento placa orificio Fuente: Elaboración propia	81
Tabla 9: Actividades de entregable mantenimiento transmisores Fuente: Elaboración propia	82
Tabla 10: Tabla resumen estadísticos entregable mantenimiento vaina Fuente: Elaboración propia	90
Tabla 11: Tabla resumen estadísticos entregable mantenimiento placa orificio Fuente: Elaboración propia	95
Tabla 12: Tabla resumen estadísticos entregable mantenimiento transmisores Fuente: Elaboración propia	100
Tabla 13: Bondad de ajuste Fuente: Elaboración propia	109
Tabla 14: Parámetros estimados de la distribución Fuente: Elaboración propia	110

Tabla 15: Estadísticos de Log-verosimilitud Fuente: Elaboración propia	111
Tabla 16: Estadísticos estimados Fuente: Elaboración propia	111
Tabla 17: Prueba de Kolmogorov-Smirnov Fuente: Elaboración propia	111
Tabla 18: Bondad de ajuste Fuente: Elaboración propia	115
Tabla 19: Estadísticos estimados Fuente: Elaboración propia	115
Tabla 20: Estadísticos de Log-verosimilitud Fuente: Elaboración propia	116
Tabla 21: Estadísticos estimados Fuente: Elaboración propia	116
Tabla 22: Prueba de Kolmogorov-Smirnov Fuente: Elaboración propia	116
Tabla 23: Bondad de ajuste Fuente: Elaboración propia	120
Tabla 24: Parámetros estimados de la distribución Fuente: Elaboración propia.....	120
Tabla 25: Estadísticos estimados Fuente: Elaboración propia	121
Tabla 26: Prueba de Kolmogorov-Smirnov Fuente: Elaboración propia	121
Tabla 27: Bondad de ajuste Fuente: Elaboración propia.....	125
Tabla 28: Parámetros estimados de la distribución Fuente: Elaboración propia.....	125
Tabla 29: Estadísticos de Log-verosimilitud Fuente: Elaboración propia	126
Tabla 30: Estadísticos estimados Fuente: Elaboración propia	126
Tabla 31: Prueba de Kolmogorov-Smirnov Fuente: Elaboración propia	126
Tabla 32: Resumen estadísticos actividades comunes Fuente: Elaboración propia.....	130
Tabla 33: Número de priorización actividades entregable vaina Fuente: Elaboración propia	137

Tabla 34: Número de priorización y entradas para su obtención de entregable mantenimiento placa orificio. Fuente: Elaboración propia 146

Tabla 35: Número de priorización y entradas para su obtención de entregable mantenimiento transmisor Fuente: Elaboración propia..... 151

Tabla 36: Número de priorización y entradas para su obtención de actividades comunes(agregadas) Fuente: Elaboración propia..... 153

GLOSARIO

ACTIVIDAD: Una porción definida y planificada de trabajo ejecutado durante el curso de un proyecto.

ANDAMIO: Estructuras provisionales que sirven para sustentar distintas plataformas de trabajo.

CARRERA DE VÁLVULA: Recorrido en la posición desde que la válvula se encuentra totalmente cerrada hasta totalmente abierta.

CONFIABILIDAD: Probabilidad de que un equipo o sistema provea su función requerida, en condiciones de operación específicas y durante un período determinado. La caracteriza una función continua, por tanto, esta no puede ser interrumpida (asegura operación sin fallas)

DISPONIBILIDAD: Capacidad de un equipo de estar disponible para realizar una función requerida, en un instante de tiempo determinado, asumiendo que se dispone de recursos externos necesarios. Caracteriza esta función en un instante dado, es decir, ésta puede ser interrumpida (la operación puede fallar).

EDT: Estructura de desglose del trabajo.

ELEMENTO PRIMARIO: Utiliza o transforma la energía del medio controlado o medido.

ENTREGABLE: Cualquier producto, resultado o capacidad de prestar un servicio único y verificable, que debe producirse para terminar un proceso, fase o un proyecto.

ERA: Enap Refinería Aconcagua.

ESTRUCTURA UBICACIONES TECNICAS EN SAP: Es una estructura jerárquica de varios niveles las que se pueden organizar de acuerdo a criterios espaciales, de procesos o funcionales.

FALLA: Pérdida de capacidad de un equipo para realizar la función que se requiere de él.

GESTIÓN DE ACTIVOS: Conjunto de actividades coordinadas y sistemáticas, por medio de las cuales una organización maneja de forma óptima y sustentable sus activos y sistemas de desempeño, riesgos y gastos a lo largo de sus ciclos de vida, con el fin de lograr el plan estratégico organizacional.

GNL: Gas Natural Licuado.

INSTRUMENTOS DE CAMPO: Equipos y/o dispositivos instalados en terreno.

INSTRUMENTACIÓN: Equipos y dispositivos que se utilizan para medir, convertir, transmitir y/o controlar variables de proceso.

ISO: Organización Internacional de Normalización

JUICIO EXPERTO: Opiniones de expertos de una determinada disciplina o industria que tienen relación con el proyecto que se ejecuta.

MANTENCIÓN PROGRAMADA: Agrupación de tareas de mantención a equipos o instalaciones en un período determinado, que se repite de acuerdo a una periodicidad o ciclo determinado.

MANTENIBILIDAD: Capacidad de un elemento para mantener o volver a su estado de operación, cuando la actividad se lleva a cabo bajo condiciones dadas, utilizando procedimientos y recursos establecidos.

PLACA ORICIO: Elemento primario utilizado para la medición de caudal.

PLANTA MHC: Planta de hidro cracking suave de gas Oil.

PLANTA TOPPING 2: Planta de destilación primaria.

SAP PRD(PRODUCTIVO): Sistema informático de gestión empresarial.

SAP QAS: Ambiente de calidad SAP, en el que se realizan pruebas de desarrollo, las que luego de validadas pueden ser cargadas a SAP PRD.

SERVICIO: Función que cumple el equipo en el proceso de producción.

SIPETROL: Filial de ENAP, la que desarrolla actividades de exploración y producción de hidrocarburos fuera de Chile.

TAXONOMIA: Clasificación sistemática de ítems en grupos genéricos, basados en factores posiblemente comunes.

TERMOCUPLA: Elemento primario (transductor) de temperatura, bimetálico que producen una diferencia de potencial muy pequeña del orden de los milivoltios los que varían en función de la temperatura.

TERMOWELL O VAINA: Se utiliza para aislar el proceso del ambiente y del sensor (termocupla), manteniéndolo libre de presión, productos agresivos, flujos a velocidades elevadas etc.

TRANSMISOR: Convierte la variable física en una señal electrónica o neumática, la transmite y se utiliza su medición como indicación y/o control.

1 RESUMEN EJECUTIVO

Esta tesis, tiene como objetivo primario, realizar un análisis cuantitativo del riesgo en **los tiempos de ejecución** de las actividades en los procesos de mantenimiento, con metodologías de gestión de riesgos en proyectos, utilizando el estándar ISO 21500 en complemento con PMBOK edición 5, mediante un caso aplicado al área de instrumentación en un proceso de mantención programada en Enap Refinería Aconcagua, con el objetivo de obtener propuestas y medidas de mitigación a los riesgos negativos del proyecto. Los riesgos que se identifican corresponden a los tiempos de ejecución de las actividades de los 3 entregables del proyecto a desarrollar durante el paro de mantenimiento, estas son: Mantención de vainas, placas orificio y transmisores. Junto a ello se realiza el ajuste de distribución de probabilidad de los tiempos esperados de ejecución a cada una ellas. Del análisis, se determina que las actividades no son independientes y por ende impactan en los tiempos medios y su variabilidad, en consecuencia, se decide agregar actividades entre entregables con características comunes a fin de reducir el sesgo. Se construye un indicador para priorizar las actividades referentes a los riesgos negativos que impactan en el objetivo tiempo en el proyecto, para luego generar un plan de respuesta a los mismos.

Como conclusión general, se advierte la relevancia de determinar la actitud al riesgo de la organización, los riesgos negativos que se identifican están presentes en los tres grupos que trabajan en el paro de mantenimiento en instrumentación, estos son: **La empresa contratista de apoyo a instrumentación en paro de mantenimiento, divisiones ERA de apoyo y los trabajos referentes a personal de instrumentación ERA**. Las causas de los riesgos son factores exógenos y endógenos, luego existe la factibilidad de mitigar los riesgos, cuyas soluciones son propuestas en el plan de respuesta a los riesgos.

2 INTRODUCCIÓN

En la industria y específicamente en Enap Refinería Aconcagua, el mantenimiento, cuyo objetivo es restaurar la confiabilidad de sus equipos e instalaciones, y en consecuencia obtener la máxima disponibilidad de ellos, es fundamental para mantenerse vigentes en el mercado nacional y/o internacional, para la maximización de la producción, además de cumplir un rol preponderante en el contexto actual de alta competitividad, la que se encuentra impulsada fuertemente por la globalización, al estar regidas por estrictas normas y estándares, como por ejemplo ISO 9001 (calidad), ISO 14001 (nomas ambientales), ISO 50001 (gestión de energía).

Detenciones no planificadas, por fallas de activos físicos de proceso a causa de una mantención deficiente o filosofía incorrecta de mantenimiento, tienen un impacto de merma en la producción, en la seguridad de las personas, instalaciones y/o medio ambiente, en consecuencia, si algún activo de proceso falla y dependiendo de su criticidad en el mismo y dada las características de la industria del petróleo, en impactos de gran magnitud quedan expuestas desde multas, hasta un potencial cierre de la instalación, ya sea provisorio e incluso permanente, sobre todo por temas ambientales.

En Enap Refinería Aconcagua, los paros de mantenimiento programado son fundamentales para restaurar la confiabilidad de los activos que se intervienen a fin de minimizar la probabilidad de fallas y con ello minimizar la probabilidad de pérdidas en la continuidad de la producción. Los paros de mantenimiento programado, se tratan como como proyectos, ya que tienen un inicio y término definido, son únicos y al mismo tiempo similares, así como sus recursos son limitados. Luego, es importante identificar los riesgos

negativos que afecten los objetivos del mismo, ya sea alcance, tiempo, costos y/o calidad, ya que, de hacerse efectivo alguno de ellos, podría afectar la disponibilidad de la planta en períodos de plena producción, donde se espera que ésta, no detenga por eventos o fallas inesperadas. En consecuencia, se decide realizar esta tesis, con un alcance básicamente descriptivo, en la gestión de riesgos en el paro de mantenimiento programado, enfocado únicamente sobre los riesgos que puedan afectar **el cronograma**, en los trabajos referidos a instrumentación, mediante la utilización del estándar ISO 21500 y de PMBOOK versión 5, realizando un análisis cuantitativo sobre los riesgos identificados **en los tiempos de ejecución** de las distintas actividades que componen los entregables de mantenimiento de vaina, placas orificio y transmisores, a fin de categorizarlos de acuerdo a su impacto y determinar el plan de respuesta a ellos, desarrollando medidas que permitan su mitigación. Junto a ello se realiza el ajuste de distribución de probabilidad de los tiempos esperados de ejecución a cada actividad, todo, con la finalidad de utilizar la información analizada en los próximos paros de mantenimiento del área de instrumentación, para obtener una entrada adicional para la toma de decisiones, en busca de una planificación eficiente tanto de la cantidad instrumentos a mantener como las personas necesarias para su ejecución, y con ello, contribuir al incremento de la disponibilidad, recuperando la confiabilidad y aumentando la mantenibilidad de sus activos físicos de proceso.

3 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Las detenciones programadas para mantención de plantas de proceso en ENAP REFINERIAS ACONCAGUA se realizan periódicamente, cuyo objetivo es el aumento de la disponibilidad operativa y por ende la confiabilidad de la planta. Estas detenciones, dependiendo de la magnitud de la intervención pueden durar desde unos días hasta un par de meses, incluido el proceso de detención y puesta en servicio de la planta involucrada en el paro de mantenimiento. La detención programada para mantención es un proyecto que en su ciclo de vida se encuentra expuesto a una serie de variables, que pueden afectar el resultado final con un impacto en costo, tiempo, alcance y/o calidad del proyecto, como por ejemplo inconvenientes con empresas contratistas de diversas índoles, tales como no contar con personal idóneo, la cantidad correcta de trabajadores, equipamiento adecuado entre otros. Por otra parte, una planificación y/o coordinación deficiente, en los distintos procesos referidos al paro de mantenimiento, son riesgos negativos que pueden afectar los objetivos del proyecto. La problemática a resolver se encuentra dirigida a uno de los procesos involucrados en el paro de mantenimiento que corresponde al área de instrumentación perteneciente a la división Electricidad e Instrumentación del departamento de mantención de Enap Refinería Aconcagua, la que debe realizar una mantención básicamente a los instrumentos de campo, tales como válvulas de control y seguridad, transmisores de presión, caudal, nivel, temperatura. Además de sus respectivos elementos primarios, incluidos las vainas o termoweell, cuyo propósito es alojar elementos primarios de temperatura, así como las placas orificio que son el elemento primario de transmisores de caudal cuyo principio es la medición por diferencia de presión. Estos últimos son los que existen en mayor cantidad en refinería referente a medición de caudal, por ende, tienen el mayor impacto respecto a transmisores de

flujo en procesos de mantención por paradas programadas. En estos períodos, los instrumentos deben ser retirados de la planta para ser llevados a mantenimiento a taller y para ello deben ser entregados por operaciones en primera instancia, luego en gran parte de los casos es necesario utilizar recursos adicionales tales como andamio para poder llegar al punto en el cual se debe trabajar o utilizar grúa para bajar y subir la válvula o transmisor que este instalada en lugares con dificultad de acceso, como líneas de proceso o equipos. Se realiza la desconexión eléctrica y retiro mecánico, se entrega a personal contratista para mantención para una posterior validación por personal ERA, los que a su vez entregan los elementos retirados (placas orificios o vainas) a inspección técnica y dependiendo del resultado de esta, el elemento se debe reparar o cambiar. Finalmente, luego de realizar el mantenimiento tanto a instrumentos como elementos primarios estos se deben instalar nuevamente utilizando los mismos recursos que fueron necesarios al momento del retiro. En cada uno de los pasos descritos desde el retiro hasta la instalación de la instrumentación mantenida, existen riesgos en sobrepasar el tiempo estimado de realización de trabajo o tarea, ya sea por factores exógenos a instrumentación como por ejemplo la demora de entrega de un equipo para retiro por parte de operaciones, disponibilidad de grúa por parte de operación maquinaria, disponibilidad de andamios por parte de equipo estáticos, trabajos de otras áreas de mantenimiento o factores endógenos tales como personal contratista no idóneo, dotación ERA insuficiente para inspeccionar, gestionar y/o controlar el trabajo, demora en inspección de elementos por parte de inspección y/o de reportes, entre otros. Luego, como información general no menor es la gran cantidad de instrumentos que existen en ERA, número que alcanza los 19.000 instrumentos y un porcentaje de 64,63% aproximadamente del total de activos físicos de procesos de la planta (en SAP). Dada la gran cantidad de instrumentación involucrada en un paro de mantenimiento, otra variable que afecta este proceso es el control

de cada instrumento y su trazabilidad desde que es retirado hasta que es instalado, ocurriendo también pérdida de algunos o partes de ellos, como también de elementos primarios. Como se menciona, en ERA las detenciones se realizan periódicamente y por lo mismo no deben existir en teoría mayores desviaciones respecto a lo planificado debido a la experiencia y/o lecciones aprendidas, sin embargo, los riesgos verdaderos negativos generalmente se materializan en cada detención programada generando impactos negativos en el área de instrumentación, ya sea, por no realizar toda la mantención programada o en la calidad de la misma. Dado lo expuesto, se busca obtener la respuesta a las siguientes interrogantes: **¿Son factores exógenos, endógenos o ambos, los que impactan el proyecto?, ¿es posible proponer soluciones a todos los riesgos identificados ?, ¿cuál o cuáles de las diferentes etapas involucradas en el proceso de mantención tienen un mayor impacto en el proyecto referente a riesgo en objetivo tiempo?**

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Realizar un análisis cuantitativo del riesgo en las actividades del cronograma, en los procesos de mantenimiento, con metodologías de gestión de riesgos en proyectos, utilizando el estándar ISO 21500 en complemento con PMBOK edición 5, mediante un caso aplicado al área de instrumentación en un proceso de mantención programada en Enap Refinería Aconcagua, con el objetivo de obtener propuestas y medidas de mitigación a los riesgos negativos del proyecto.

4.2 Objetivos Específicos

- Aplicar metodología de gestión de riesgos guiadas por un estándar de gestión de riesgos.
- Realizar ajuste de distribución de probabilidad a los tiempos de ejecución de las actividades que componen los entregables referentes a instrumentación.
- Identificar riesgos que provocan mayor impacto en mantenimiento de instrumentación.
- Identificar si riesgos relevantes son exógenos o endógenos.
- Determinar medidas de mitigación a riesgos del proyecto.

5 ANTECEDENTES

5.1 Justificación del tema

Dada la importancia a nivel país en términos energéticos, Enap Refinerías Aconcagua es una industria que funciona las 24 horas del día, todos los días del año, con una capacidad de destilación de 220.000 barriles por día, puede abastecer los requerimientos de combustibles del país en un 80%. Es por ello la importancia de realizar un mantenimiento programado de calidad y en los tiempos planificados, para no provocar impactos negativos en términos de suministro de energía en el país y de seguridad, tanto en las personas, medio ambiente y a la propia instalación. Las áreas con mayor relevancia involucradas en una detención programada de mantenimiento son División estáticos, Turbo maquinas, División electricidad e instrumentación. Es en esta última, específicamente en instrumentación de la cual trata el análisis de la presente tesis. En Refinería Aconcagua, de ahora en adelante ERA, existen alrededor de 29.400 equipos e instrumentos, los que corresponden a la totalidad de activos físicos relacionados con el proceso de refinación (en SAP), de los cuales el 64,63 % pertenecen a instrumentación, es decir 19.000 instrumentos. Se aprecia que la cifra es significativa tanto en porcentaje como en cantidad, es por ello la relevancia de contar con instrumentos con una confiabilidad lo más próximo a 100%, dado que un número no menor de aproximadamente un 10% de ellos son parte del sistema de seguridad de las distintas plantas de refinería, cuyo objetivo es detener algún equipo, sistema o planta en caso de la existencia de alguna anomalía en el proceso propio, pero al mismo tiempo ante una eventual falla del o los instrumentos también puede provocar una detención de emergencia. Por otra parte, existen las válvulas de control, las que tienen como finalidad controlar la variable de

proceso (caudal, temperatura, nivel) para el caso de las moduladas, es decir las que se tiene la opción de mover la carrera de la válvula entre 0 y 100 %. También existen las válvulas involucradas en sistemas de seguridad. Su función en general es conmutar entre 0 o 100% o viceversa, dependiendo de cuál sea su servicio (función) en el proceso. Para este caso, por ejemplo, en todos los hornos de refinería están involucradas en el sistema de seguridad del tren de gas de quemadores y pilotos del horno, por lo tanto, si el horno se debe apagar de emergencia o por programa, las válvulas de corte a quemadores y pilotos deben cerrar y las de venteo abrir, secuencia necesaria para una detención segura. En consecuencia, si la válvula no cierra o no abre cuando corresponde, puede provocar potenciales daños de diversa magnitud tanto en personas, medio ambiente o a la propia instalación. Por otra parte, existen los instrumentos de control, los que son fundamentales tanto para la eficiencia del proceso, como para la calidad del mismo. Si falla algún controlador los productos pueden salir fuera de especificación, generan inestabilidad en el proceso, disminuyendo la eficiencia y encareciendo por ende la producción. Queda de manifiesto la importancia del correcto funcionamiento de los instrumentos en ERA, sobre todo por la gran cantidad existente y el alto nivel de automatización de la planta. Es relevante, por lo tanto, el cumplimiento de lo planificado tanto en cantidad como en calidad en el paro de mantenimiento, aportando con ello a cumplir la MISIÓN del Departamento de Mantenimiento de Enap Refinerías Aconcagua que es *conseguir cero detenciones no planificadas y contribuir a la operación sustentable de sus instalaciones.*

5.2 Antecedentes generales ENAP

5.2.1 Historia

Luego del descubrimiento del primer pozo de petróleo del país, en el sector de Springhill, en Magallanes, hecho ocurrido el 29 de diciembre de 1945, el Estado de Chile se propuso crear la Empresa Nacional del Petróleo, fundación ocurrida oficialmente el 10 de junio de 1950, mediante la publicación de la Ley N° 9.618. El hallazgo de petróleo en Springhill fue realizado por el equipo de exploradores encabezado por el ingeniero Eduardo Simian Gallet, la que dio paso a nuevas perforaciones de pozos que resultaron productores. Entonces el equipo de Simian realiza la recomendación a la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), la creación de ENAP, para la explotación comercial de los yacimientos descubiertos en Magallanes.

Una de las primeras metas propuestas por la naciente empresa es levantar una refinería de petróleo en el país, hecho que culmina en 1954, con la puesta en servicio de la Refinería de petróleo de Concón (hoy Enap Refinerías Aconcagua). Posteriormente en 1959, se construyen las primeras instalaciones logísticas para el almacenamiento y distribución de combustibles refinados en Maipú, luego al año siguiente el terminal marítimo de Gregorio, en Magallanes.

En 1962 entra en operación la planta de Gasolina de Cullen en Magallanes, para luego en 1966 inaugurar la segunda refinería del país (hoy Enap Refinería Bío Bío), construyendo el poliducto desde esta refinería hasta San Fernando, en la Sexta región. Desde esta última el ducto conecta con otro administrado por la empresa Sonacol. La que transporta combustible a Maipú en la planta de almacenamiento ubicada en la región Metropolitana.

A contar de 1981 ENAP integra el negocio logístico con plantas de almacenamiento de combustibles líquidos y gaseosos en la ciudad e Maipú, San Fernando y Linares. En la actualidad esta actividad se realiza por el Departamento de Almacenamiento y oleoductos, perteneciente a la filial Enap Refinerías S.A.

En enero de 2004 se realiza la fusión de las dos refinerías de Chile en una sola empresa cuyo nombre es Enap Refinerías S.A.

El año 1990 ENAP funda la Sociedad Internacional Petrolera S.A., cuya función es explorar yacimientos de hidrocarburos en el extranjero. Desde 2005 esta filial pasa a llamarse Enap Sipetrol.

En Magallanes, ENAP realiza la explotación de yacimientos con valor comercial de hidrocarburos, proporciona además servicios portuarios y petroleros a clientes importantes que operan en el mercado energético. Por otra parte, en los últimos años se ha emprendido una potente campaña exploratoria de nuevas reservas de gas en Magallanes. Al mismo tiempo se han constituido nuevas alianzas estratégicas para diversificar las fuentes de energía en el Chile.

5.2.2 Descripción General

ENAP (Empresa Nacional del Petróleo), empresa 100% del Estado de Chile, cuyo giro principal es la exploración, producción, refinación y comercialización de hidrocarburos y sus derivados.

Creada por la Ley Orgánica de Empresa Nacional del Petróleo con el número 9.618 el 19 de junio de 1950. Opera como empresa comercial, en un régimen jurídico de derecho público administrada autónomamente.

Mediante la filial Enap Sipetrol S.A. ENAP participa en la exploración y producción de hidrocarburos y a través de Enap Refinerías S.A. en el transporte, almacenamiento y comercialización de productos derivados del petróleo.

ENAP realiza actividades y operaciones en Chile, Argentina y Egipto. La casa matriz se ubica en Santiago.

5.2.2.1 ENAP Refinerías

ENAP Refinerías Enap Refinerías S.A. filial de ENAP fundada en 2004, resultado de la fusión de refinerías de Con Con y Petrox, ubicadas en las regiones de Valparaíso y del Bio Bio respectivamente. Entre ambas tienen una capacidad de destilación de 220.000 barriles por día, y logran abastecer más del 80% de los requerimientos totales de combustibles en Chile. Enap Refinerías S.A también exporta una parte de su producción a Perú, respondiendo la calidad de sus combustibles a los estándares más exigentes del mundo.

5.2.2.2 ENAP en GNL Quintero

ENAP tiene un 20% de participación en GNL Quintero S.A, terminal de recepción, almacenamiento y regasificación de Gas Natural Licuado (GNL), ubicado en la bahía de Quintero, Quinta Región, abasteciendo de gas natural en forma constante y segura a la zona central de Chile.

El GNL trae consigo grandes beneficios como un suministro estable y seguro para diversos sectores productivos tales como termoeléctricas, industrias y sector residencial de la zona central y eventualmente al resto del país. De igual forma contribuye a mejorar la calidad del aire en la zona central y metropolitana.

El terminal GNL es la obra construida de mayor magnitud en el ámbito del gas natural. Fue el primero en su tipo en Sudamérica. Tiene un muelle de 1.878 metros de longitud, 5 brazos de carga y retorno de vapor, un estanque de 14.000 [m^3] y 2 de 160.000 [m^3], los que están diseñados para resistir grandes sismos bajo normas internacionales entre las que destacan la norma norteamericana NFPA59A.

El GNL en la actualidad en muchos países es una fuente importante de abastecimiento. Su industria crece en forma sostenida desde los primeros envíos llegados desde Europa.

5.2.2.3 ENAP en Magallanes

A fines de la década del 50, ENAP construye la ciudadela de cerro sombrero, la que aloja a trabajadores y empleados que trabajan en diversas faenas distribuidas en isla Tierra

del Fuego. Plantas productivas de ENAP en Magallanes son Posesión y Cabo Negro. Esta última produce 853.000 [m³], de propano, butano y gasolina natural.

Actualmente los esfuerzos de ENAP se dirigen en la búsqueda de nuevos yacimientos de hidrocarburos, estos sean con recursos propios o en alianza con otras empresas, con la modalidad de Contratos Especiales de Operación Petrolera. En la Figura 1, se aprecia la distribución de sus instalaciones y red de gases y productos.

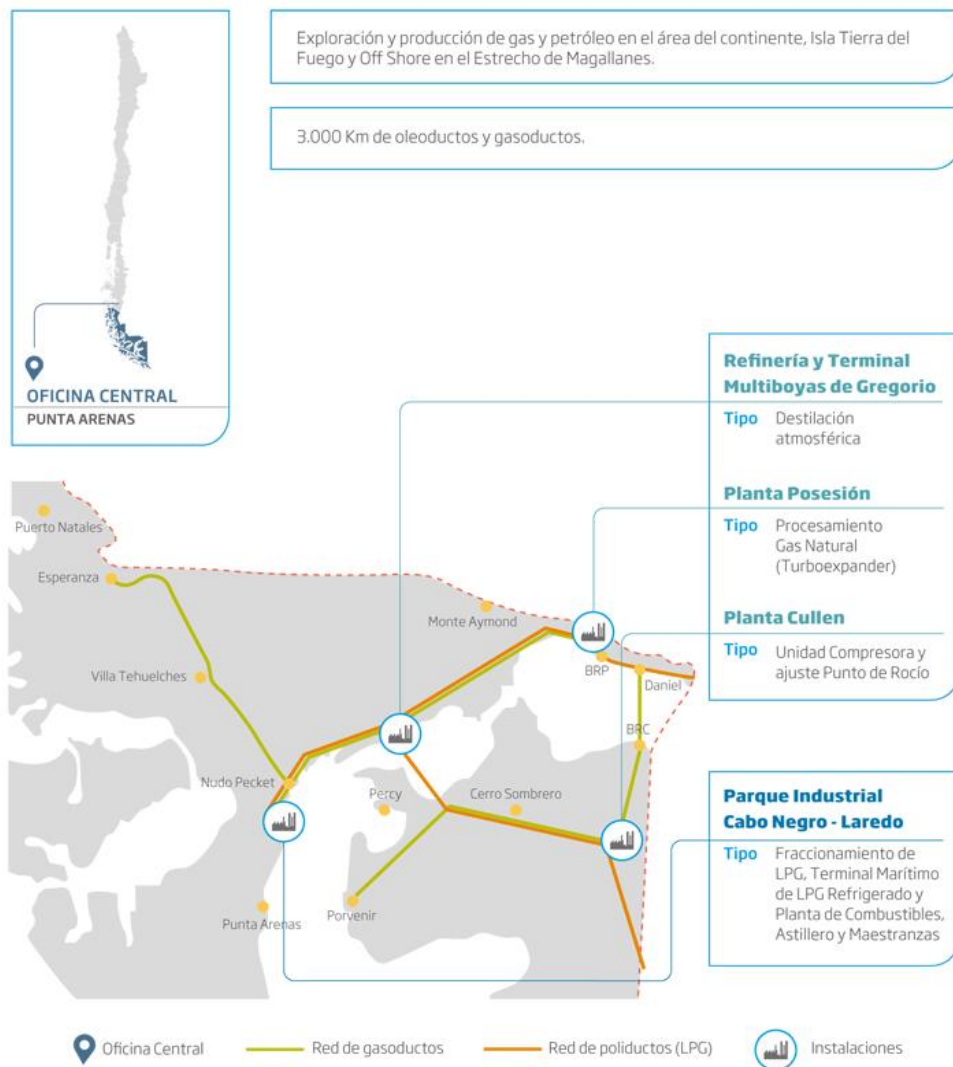


Figura 1: Distribución de instalaciones y red de gases

Fuente: www.enap.cl

5.2.3 Misión

Empresa de energía, 100 % del Estado de Chile, líder en hidrocarburos, integrada, que provee productos que satisfacen las necesidades de sus clientes y contribuye al desarrollo sustentable de los países y de las comunidades en que se inserta, operando en forma competitiva y rentable.

5.2.4 Visión

Asegurar un abastecimiento de energía competitivo tanto en precio como en calidad, lograr la preferencia de nuestros clientes, siendo líderes como operador comercial y logístico, trabajando con los mejores niveles de eficiencia y confiabilidad y con los más altos estándares de seguridad y prevención de accidentes e incidentes. Ello, con un equipo competente, colaborativo y comprometido, siendo reconocidos como empresa líder en desarrollo sustentable que respeta las comunidades donde se inserta y valorada por su preocupación por el medio ambiente.

5.2.5 Entorno ENAP

Para determinar las estrategias a utilizar por ENAP es necesario realizar un análisis del mercado en el cual se encuentra inmerso, evaluando fortalezas y debilidades de competidores. En relación a ello los principales competidores son internacionales y se encuentran en el Golfo de México, los que cuentan con ventajas competitivas que deben ser consideradas para la elaboración de la estrategia de ENAP. Se presentan a continuación principales ventajas de competidores:

- La complejidad de sus instalaciones les permite la producción de combustibles que cumplen estándares de la normativa chilena.
- Acceso a costos menores de crudo tales como WTI y LLS
- Menores costos de energía eléctrica (< 60 USD/MWh) y de gas natural (app 4 USD/MMMBtu)
- Por densidad de refinerías menores costos logísticos
- Costos de producción menores por economía de escala
- Exentos de pago de aranceles

En la Figura 2, se presenta la situación actual de ENAP respecto a su entorno.

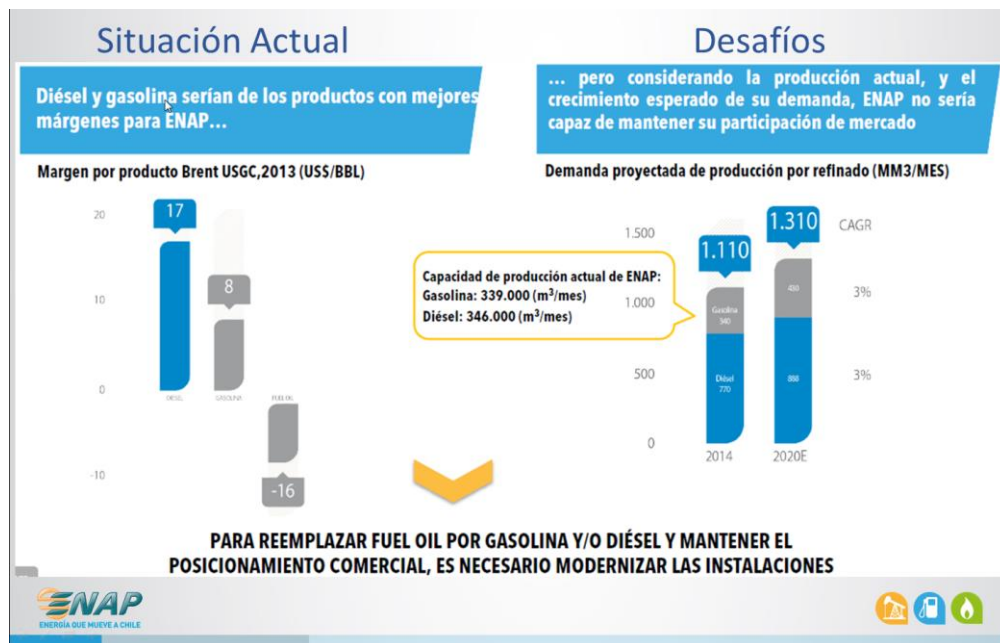


Figura 2: Situación actual Enap respecto a su entorno

Fuente: www.enap.cl

5.2.6 Plan Estratégico

El plan estratégico de ENAP se sustenta en 3 pilares: 1) Exploración y Producción, 2) Refinería y Comercialización, 3) Gas y Energía.

Además, se sustenta en 4 ejes transversales: 1) Eficiencia, 2) Medio Ambiente y Comunidades, 3) Seguridad, 4) Personas y Organización.

5.2.7 Estructura Organizacional

5.2.7.1 Líneas de negocio

ENAP tiene tres líneas de negocio, Exploración y Producción (E&P), Refinación y Comercialización (R&C), Gas y Energía (G&E), las que se detallan a continuación:

- a. Exploración y Producción:** Trata de realizar actividades de exploración, desarrollo y explotación de hidrocarburos (petróleo y gas natural) y de la geotermia.
- b. Refinación y Comercialización:** Se encarga de actividades relacionadas con producción de combustibles y sus derivados (solventes, etileno y otros productos petroquímicos). Realiza también el manejo de la infraestructura logística para el transporte y almacenamiento de estos, para realizar su comercialización en el mercado nacional. De igual forma se responsabiliza del desarrollo de nuevos productos y mercados, destacando la puesta en marcha del mercado que proviene desde GNL Quintero.
- c. Gas y Energía:** El 14 de julio de 2014 es creada la tercera línea de negocios de ENAP, Línea de Gas y Energía. Su misión trata de promover y liderar iniciativas

sobre el uso del Gas Natural licuado (GNL) en la matriz energética nacional, alineada con los objetos propuestos a ENAP en la Agenda Energética del Gobierno de Chile. Respecto a su misión se puede destacar el proyecto Cogeneradora Aconcagua, consistente en la construcción de una central de cogeneración en base a gas natural y producirá 125 toneladas por hora de vapor de alta presión para alimentar los diferentes procesos de Refinería Aconcagua, produciendo además 77 MW de potencia eléctrica, con ello se supe en su totalidad la demanda de energía eléctrica de refinería y además queda un remanente para inyectarlo al Sistema Interconectado Central (SIC).

5.2.8 Sostenibilidad

5.2.8.1 Estrategia de Sustentabilidad

El desarrollo sustentable es uno de los cuatro pilares de su Plan Estratégico orientando su propuesta de valor a ser una empresa integrada con la comunidad y responsable con el medio ambiente.

ENAP para cumplir su misión aspira a ser una empresa reconocida como líder en desarrollo sustentable para impulsar una gestión empresarial para maximizar la creación de valor económico, social y ambiental.

Para el cumplimiento del objetivo estratégico del Desarrollo Sustentable es la Responsabilidad Social Empresarial (RSE) la que busca fortalecer la interrelación con los públicos de interés en las zonas en las cuales opera ENAP, tanto en Chile como en el exterior, todo bajo lineamientos definidos previamente y por todos conocidos. Es por ello se establece

una política corporativa de sustentabilidad la que durante el 2011 se aprueba por el comité de sustentabilidad.

El marco para gestión del Desarrollo Sustentable y la RSE lo establece la política, basado en estándares globales y protocolos de certificación internacional.

5.2.8.2 Apoyo a Iniciativas Externas

ENAP en enero de 2007 adhiere al Pacto de las naciones unidas y sus diez principios referidos a derechos humanos, prácticas laborales, medioambiente y anticorrupción. Informa anualmente mediante el reporte de sustentabilidad la aplicación de cada principio.

5.2.8.3 Estrategia de Gestión Ambiental

La estrategia de Gestión Ambiental de ENAP se focaliza en identificación oportuna y control de riesgos medioambientales, además del cumplimiento de la legislación vigente, desarrollo de acciones y planes de compensación y sobre la mitigación de impactos en las operaciones de comunidades vecinas y del medio ambiente en general.

La empresa cuenta con una serie de elementos para detectar problemas medioambientales, mediante los cuales se monitorea y se verifica el cumplimiento de las regulaciones y normas generales aplicables a sus operaciones. De igual forma las actividades de exploración, producción y refinación de ENAP están basadas en estándares internacionales de gestión ambiental.

5.2.8.4 Gestión de Licencias Ambientales

ENAP el año 2013 se compromete con la autoridad ambiental a ingresar el listado de sus resoluciones de calificación ambiental (RCA) al portal diseñado para tal efecto por la Súper Intendencia del Medio Ambiente (SMA), generando la primera biblioteca visual de compromisos ambientales de América Latina.

5.2.9 Departamento de mantención ENAP Refinerías Aconcagua

El departamento de Mantención de Enap Refinerías Aconcagua tiene como misión *conseguir cero detenciones no planificadas y contribuir a la operación sustentable de sus instalaciones*. Dentro de los desafíos de la línea de negocios Refinación y Comercialización es cumplir los requisitos medioambientales y de mantenimiento, además de preservar el posicionamiento actual comercial, entre otros. Dentro de los objetivos operativos es la modernización de plantas para aumentar la producción de gasolina en 31%, lo que permite mantener el suministro de la demanda total. Otro objetivo es el aumento de la producción de Diesel en 33% y reducir la producción de fuel Oil en 72%, es decir se busca producir mayor cantidad de productos de mayor valor.

Las paradas programadas de mantención en ERA son eventos realizados periódicamente y son por tanto estrictamente necesarios para asegurar la disponibilidad y por ende la confiabilidad de sus procesos. Con ello se busca cumplir la misión del departamento de mantención. Indicadores importantes como la disponibilidad operacional en 2014 fue de 93,4%, en 2015 un 94,99%. La meta 2016 es de 96,5%. El benchmark se realiza con USA, Canadá y Latam y sus disponibilidades son en el mismo orden como sigue: 97%, 96,9% y 97,4%. Por lo tanto, se aprecia fuertemente la tendencia a continuar mejorando los índices de

rendimiento hasta lograr obtener indicadores de industrias de clase mundial. En la Figura 3, se complementa la información del párrafo anterior.

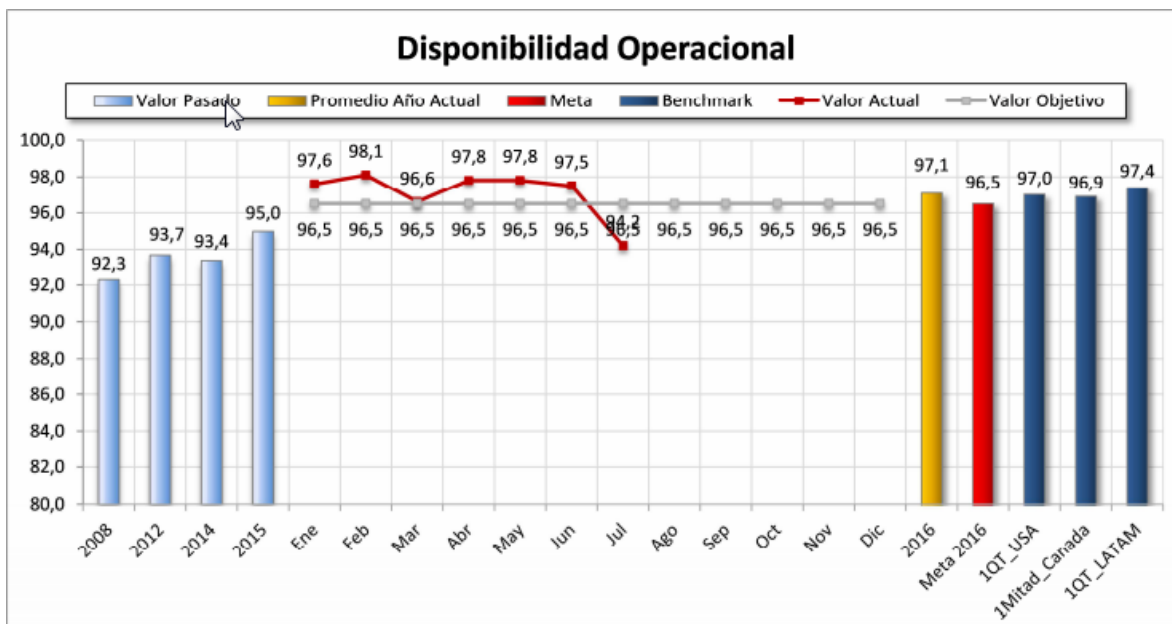


Figura 3: Disponibilidad Operacional ENAP
Fuente: www.enap.cl

5.2.9.1 Misión del departamento de mantenimiento

Conseguir cero detenciones no planificadas y contribuir a la operación sustentable de nuestras instalaciones

5.2.9.2 Visión del departamento de mantenimiento

Ser reconocidos por nuestra excelencia en la gestión de los riesgos operacionales

5.2.9.3 Políticas del departamento de mantenimiento

Las políticas del departamento son las siguientes:

1. Crecimiento, bienestar y orientación de nuestro principal activo, las personas.

2. Cumplir y adelantarse a la legislación vigente
3. Hacer de la mejora continua un hábito en la organización
4. Estandarizar, difundir y aplicar las tareas de alto riesgo que requieran siempre un mismo resultado
5. Hacer del trabajo en equipo, una filosofía de vida

5.2.9.4 Estrategia del departamento de mantención

La estrategia del departamento se enfoca en 7 acciones, señaladas a continuación:

- Definición de objetivos anuales
- Identificar roles y responsabilidades de cada actividad
- Plan de comunicación y difusión
- Definición y cumplimiento de KPIs
- Programa de iniciativas de corto y largo plazo
- Estructura acorde al cumplimiento de los objetivos
- Fomentar la innovación en la organización

5.2.9.5 Iniciativas del departamento de mantención

Dentro de las iniciativas del departamento de mantención para cumplir la misión y visión se puede destacar el proyecto Gestión de Activos, el cual está en proceso de implementación en refinería Bio Bio y Refinería Aconcagua y dependiendo de sus resultados será implementado en DAO (Dirección Almacenamiento y Oleoducto) y Magallanes.

La Gestión de Activos, específicamente activos físicos de procesos (Torres fraccionadoras, acumuladores, bombas, compresores, instrumentos etc.) está fundamentado

en la curva de la bañera, la que muestra la ocurrencia de fallas *infantiles*, *vida útil* y *vejez*. En la Figura 4, se aprecia la ocurrencia de fallas de algunas plantas de refinería en distintas etapas del ciclo de vida del activo.

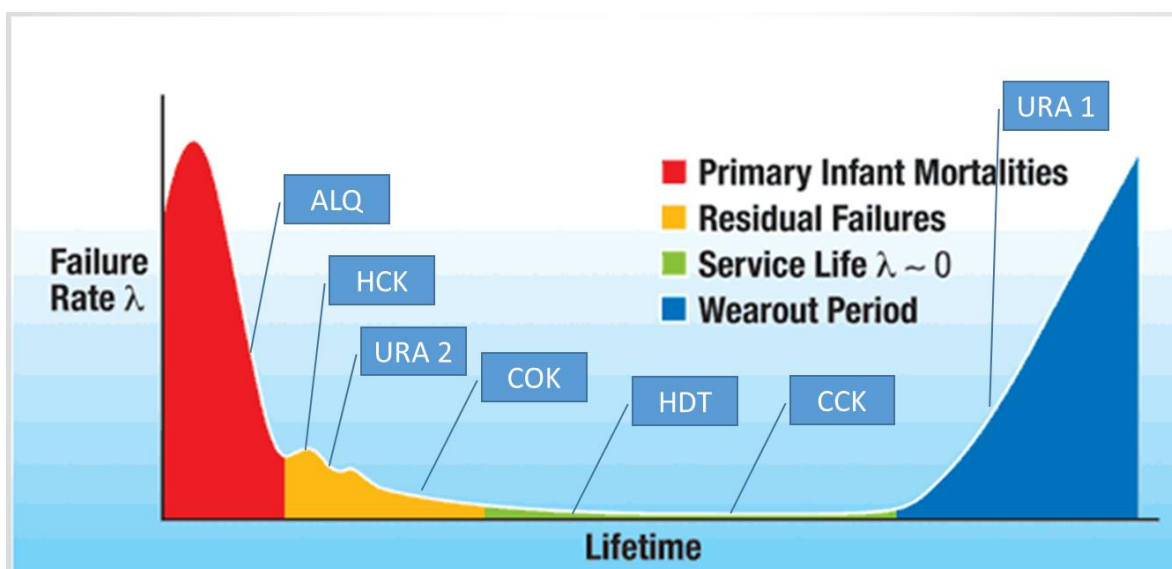


Figura 4: Curva de la bañera en plantas de refinería
Fuente: www.enap.cl

El proyecto actualmente se encuentra en fase 1 de 3. La que se puede dividir en 2 grandes procesos de desarrollo. El primero comprende realizar la taxonomía a todos los activos físicos de la planta, de acuerdo a modelo EXXON MOVIL basada en norma ISO 14224 / API 698, junto a la modificación de la estructura de ubicaciones técnicas de los mismos en SAP PRD (SAP productivo). El segundo es la recopilación de toda la información técnica de los equipos existentes en refinería para cargarlos en una plataforma de gestión de información llamada DOCUWARE y acceder a ellos desde SAP. En la Figura 5, se explican los componentes de cada proceso de desarrollo.

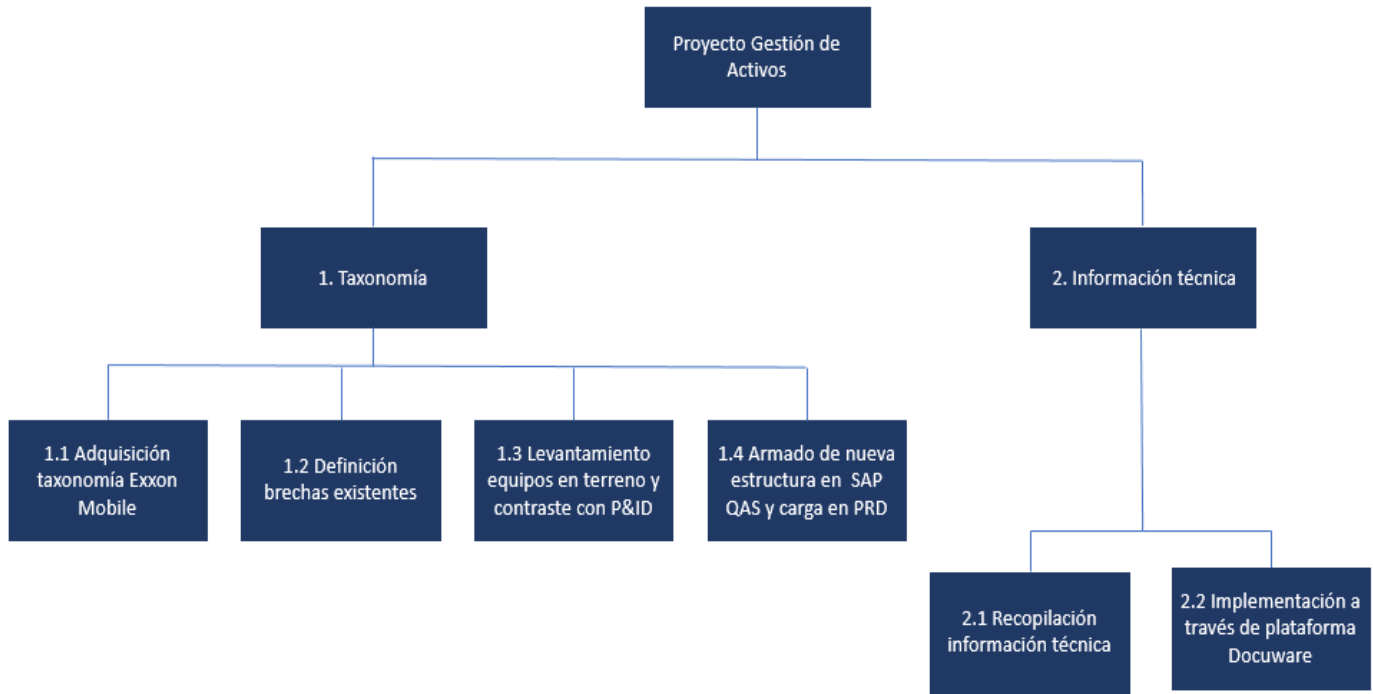


Figura 5: Esquema general proyectos Gestión de activos en Enap Refinería Aconcagua
Fuente: Elaboración propia

6 MARCO TEÓRICO

6.1 Definición de proyecto

Antes de entrar en materia respecto a los riesgos, su relación e importancia en los proyectos, más aún en la gestión de riesgos en los proyectos y la gestión de proyectos, lo esencial para comprender el significado y relevancia de los términos mencionados, es entender el significado de, ¿qué es un proyecto? y cuáles son sus características. Luego, un proyecto es una operación que se acomete para realizar una obra de gran importancia y que posee características de complejidad, no repetitivas y con plazos determinados junto a la importancia de la participación de toda la organización (Equipo VÉRTICE, 2008). Otra definición de proyecto: Esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único (PMI, 2013). Un proyecto es un conjunto único de procesos que consiste en actividades coordinadas y controladas con fechas de inicio y fin, llevado a cabo para lograr un objetivo. El logro de los objetivos del proyecto requiere entregables conforme a requerimientos específicos, incluyendo múltiples restricciones como el tiempo, costos y recursos (ISO 21500:2013).

6.2 Dirección y gestión de proyectos

El arte de la gestión de proyectos ha sido una práctica que tiene miles de años, con uno de los primeros eventos vistos como la construcción de la Gran Pirámide de Giza y a pesar de ello solamente desde el pasado siglo ha sido reconocido oficialmente e internacionalmente como un campo profesional, con un dominio del conocimiento respetado, doctrina estructurada y como una institución (Uchitpe, 2015). El área de gestión de proyectos

moderno que ha comenzado a mediados de siglo XX, sigue siendo relativamente muy joven y aún con muchos aspectos por descubrir (Weaver, 2007). Citado por (Uchitpe, 2015) Luego las proyecciones indican que se gastará en el mundo más de 12 trillones de dólares por cada año en la década de 2010 -2020.

La complejidad creciente y entornos dinámicos con los que se enfrentan las empresas, se ha demostrado a través de investigaciones que los proyectos gestionados aplicando estructuradamente los procesos basados en las buenas prácticas presentan un mejor desempeño en áreas tales como:

- Cumplir con lo prometido
- Entrega más rápida mediante la reutilización de procesos comunes y conocidos
- Menos sorpresas durante la ejecución del proyecto, utilizando proactivos procesos de gestión de proyectos.
- Mejora de la satisfacción del cliente y menos reelaboración al entregar el producto o servicio riguroso, la primera vez.

Todo lo anterior son elementos y oportunidades de mejora tangibles otorgados por la utilización de la excelencia en la gestión de proyectos. La propuesta de valor va aún más allá de ahorros tangibles `por lo que abarca áreas de oportunidad intangibles, tales como:

- Equipo motivado y altamente comprometido que trabajan juntos y estableciendo metas.
- Entorno inspirador del proyecto con mentalidad de poder hacer mediante compromisos ambiciosos.

- Mejora la toma de decisiones en todos los niveles de la organización, aumentando también la transparencia mediante una comunicación eficaz.

Todos los beneficios intangibles o cualitativos reforzarán los cuantitativos o tangibles.

Algunos problemas típicos en las organizaciones respecto a proyectos son los siguientes:

Una gran parte de las empresas se ha organizado para realizar tareas o actividades de forma continua, por tanto, su eficiencia claramente es mayor que al afrontar trabajos puntuales y por un determinado período de tiempo es decir algún proyecto. Lo anterior implica el por qué fracasan en determinadas ocasiones los proyectos (Equipo VÉRTICE, 2008).

- Los directores de proyecto realizan su trabajo “a su manera” debido a la inexistencia o deficiencia en las técnicas de gestión de proyectos.
- Los presupuestos de los proyectos no incluyen a la fuerza de trabajo interna en el costo, ya que son “pagados”.
- Inexistencia de visión global de los proyectos que se ejecutan en forma paralela en la organización, ni su costo frente al valor agregado.
- La gestión proactiva del proyecto no está incluida en el plan del proyecto.
- Finalmente, los proyectos pueden ser “exitosos” al final del día, pero solo por las horas extras y el estrés asociado.

Con una gestión de proyectos disciplinada es la forma correcta de superar las deficiencias descritas, entre otras claro está.

Al poseer una empresa o industria una gestión de proyectos disciplinada, se consigue utilizar procesos comunes de gestión de proyectos, permitiendo comunicación eficiente que logra hacer frente, a las contingencias de manera proactiva, lo que aumenta de forma consistente la probabilidad de tener éxito en el proyecto. Finalmente, la organización es eficiente en la utilización de los recursos, siendo una empresa económica.

Se ha visto la razón e importancia por la cual es necesario aplicar gestión de proyectos a un proyecto, pero ¿Que es gestión de proyectos?

Gestión de proyectos es la aplicación de métodos, herramientas, técnicas y competencias a un proyecto. La dirección y gestión de proyectos incluye la integración de las distintas fases del ciclo de vida del proyecto (Instituto Nacional de Normalización , 2016), luego otra definición: Dirección de proyectos es la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades del proyecto para cumplir con los requisitos del mismo (Project management institute, 2013).

En general la mayoría de los autores coincide en que la gestión de proyectos se encarga de cumplir con los objetivos del proyecto, dentro de los límites de tiempo y coste, respetando los estándares de calidad exigidos (Wallace, 2011).

La gestión de proyectos es una disciplina que en las organizaciones tanto públicas como privadas ha tomado un rol fundamental para la realización de proyectos. Se considera una competencia básica en la industria, servicios y otros, es por tanto un campo de gran dinamismo y crecimiento. El desarrollo de esta disciplina se debe a varias organizaciones

mediante las cuales se han recogido las mejores prácticas y han apoyado la profesionalización en la materia.

6.3 Estándares en la gestión y dirección de proyectos

6.3.1 Definición de estándar

Es un documento que proporciona especificaciones, requisitos, directrices o características que se pueden utilizar de manera consistente. Con ello se asegura que los materiales, productos, procesos o servicios son adecuados para su propósito (ISO, 2016).

Por otra parte (Project management institute, 2013) indica que un Estándar es un documento formal el cuál describe normas, métodos, procesos y prácticas establecidas.

Un estándar se debe considerar un instrumento facilitador del uso eficaz y eficiente de los recursos, sobre todo porque estos se transfieren a través de proyectos en las organizaciones, por lo tanto, se convierten en una ventaja competitiva (Bredillet, 2003). Normalmente diferentes estándares son usados para diferentes ocasiones (Grau, 2013), como lo muestra la Figura 6, por lo que en la actualidad existe una variedad importante de estándares en gestión de proyectos (Ahlemann, Vogelsang, & Teuteberg, 2009).

A continuación, una descripción general de los diferentes tipos de estándares:

- **Estándares Especiales**

Son estándares desarrollados para determinadas industrias: Ingeniería, construcción etc. Son de alguna manera dedicados o dirigidos a un tipo de industria en específico. Es decir, no tienen el carácter de genérico.

- **Estándares de Factor de gestión de proyectos**

Son los desarrollados por las agrupaciones de profesionales donde la información es producida, acumulada y condensada en cuerpos del conocimiento.

- **Estándares oficiales**

Son estándares publicados por organismos oficiales de normalización. En el ámbito internacional existe la ISO (International Standards Organization). A nivel nacional existen por ejemplo BSI (British Standards Institute), DIN (Deutsches Institut für Normung), por nombrar las más importantes.

- **Modelos de Madurez**

Básicamente son modelos que se encargan de medir la madurez, ya sea de una organización o procesos. Esta madurez se realiza comparando por ejemplo las capacidades instaladas en una organización con las buenas prácticas para gestión de proyectos, portafolios y programas que estén alineados con estándares relacionados al área que se mide o compara.

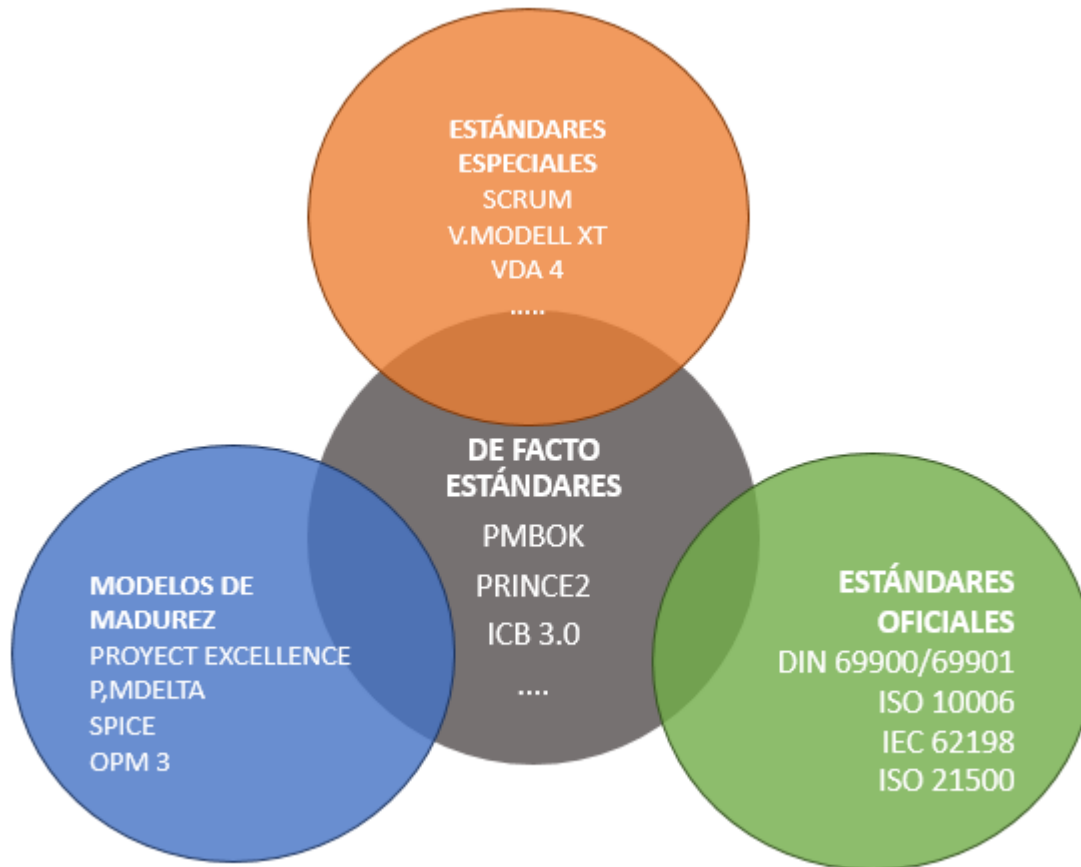


Figura 6: Tipos de estándares
Fuente: Elaboración propia

Las diversas asociaciones de profesionales que se han dedicado a la dirección de proyectos han desarrollado al mismo tiempo diversos estándares o metodologías para la dirección de proyectos y se han publicado y difundido a través de cuerpos del conocimiento (BOKs) los cuales contienen el conocimiento más importante, que resumen los principales y más importantes avances en el ámbito de la disciplina (Rozenes, Vitner, & Spraggett, 2006) citado por Montes-Guerra, G. Ramos, M. Silva (Montes-Guerra, Ramos, & Silva, 2013), además de ser una directriz que incluyen técnicas, métodos, herramientas y habilidades necesarias para quienes ejercen la profesión (White & Fortune, 2002). Respecto al cuerpo del conocimiento de la dirección de proyectos se puede decir que la Association for Project

Management Body of Knowledge (APMBoK), además de la Guía Project Management Body of Knowledge (PMBok) y el Project and Program management for Enterprise innovation (P2M) pertenecen a unas de las publicaciones más influyentes de lo que constituye la base de conocimientos de la profesión (Peter W.G. Morris et al., 2006), citado por Guerra, Ramos y M. Silva (2013).

Dice (Morris, Crawford, Hodgson, Shepherd, & Thomas, 2006), se han desarrollado institutos, normas y guías para robustecer el conocimiento en el área de dirección de proyectos.

Guerra, Ramos y M. Silva (2013) indica que en una exploración preliminar de los estándares más mencionados en la literatura y que representan la base principal del cuerpo del conocimiento son: PMBoK, AMPBoK, BS 6079, ISO 21500 orientados a proyectos, luego ICB orientado a personas y P2M y PRINCE2 orientado a organizaciones.

6.3.1.1 Tipos de estándares según su naturaleza

- **Estándares de naturaleza descriptiva**

Cuando se habla de un estándar descriptivo, se entiende que es meramente informativo, por tanto, a menudo es llamado una pauta y no describe específicamente que hacer y por lo tanto no son certificables. Estos suelen ser el paso previo luego que el estándar sea reconocido ampliamente por las organizaciones internacionales y aceptadas a nivel mundial para luego pasar a la siguiente etapa que es ser un estándar prescriptivo.

- **Estándares de naturaleza prescriptiva**

El estándar prescriptivo también llamado normativo, son el paso natural y lógico de los estándares descriptivos. Estos (normativos) son certificables ya que indican claramente que hacer en cada etapa de pauta o guía dada por el estándar. Se espera que en los próximos años ISO 21500 pase a ser certificable y por lo tanto un estándar de naturaleza normativa.

Luego de todo lo mencionado en el transcurso del capítulo, se debe tomar la decisión de que estándar utilizar y por qué.

6.3.2 Estándar ISO

6.3.2.1 Contexto de ISO

ISO es una organización independiente e internacional, no gubernamental, y tiene una membresía de 163 organismos nacionales de normalización. A través de ella reúne expertos para desarrollar estrategias que se basan en el consenso y se comparten conocimientos, desarrollan Normas Internacionales Voluntarias y relevantes que apoyan e innovan en soluciones a retos globales.

6.3.2.2 Razones para utilizar ISO

Actualmente muchas empresas del área privada o pública utilizan algún estándar ISO, y algunas participan en la construcción de estándares. Algunas empresas o industrias ven la normalización indirectamente vinculadas a su estrategia del negocio principal. Otros ven la normalización desde un enfoque altamente organizado y/o perciben el impacto de las normas en sus actividades y su desempeño.

Conclusiones de convincentes estudios que abarcan empresas de distintos tamaños desde 25 empleados con ingresos anuales de aproximadamente USD\$ 4,5 millones a grandes conglomerados de varios miles de empleados con ingreso anual superior a USD \$ 2500 millones. Las que, a pesar de las diferencias de tamaño, los estudios muestran consistentemente la obtención de beneficios tangibles al utilizar estándares ISO. Los beneficios principales son racionalización de las operaciones internas, Innovación y ampliación de las operaciones, y creación o entrada a nuevos mercados (ISO, 2014). No esta demás mencionar que los beneficios obtenidos están en función del estándar ISO que se utilice.

De la globalización, nace la necesidad que las empresas de prestigio realicen negocios con empresas de prestigio, buscando la confianza y seguridad del negocio. Esa confianza se sustenta a través de certificados o constancias que evidencien el buen accionar de una empresa y que el mismo este estandarizado conforme a lineamientos globales. Estos lineamientos se deben respaldar por una institución de prestigio, en este caso una institución como la ISO.

6.3.2.3 ISO 21500 y PMBOOK edición 5

Se decide utilizar como guía para realizar el análisis de riesgos en la presente tesis la ISO 21500, el cual es un estándar de naturaleza descriptiva. El estándar de apoyo a utilizar es PMBOK edición5. Las razones por la cual se utilizarán dichos estándares se detallan a continuación.

6.3.2.3.1 Origen, como se construyó ISO 21500 y razón para utilizarla.

- Esta norma surge a raíz de un trabajo de alrededor de 6 años y con representantes de más de 30 países.
- Por la necesidad de compatibilizar o armonizar los estándares existentes
- Por la insipiente globalización de los mercados
- La creciente oferta internacional de proyectos
- Para establecer procedimientos y principios de gestión de proyectos comunes.
- Nace por una necesidad del mercado

Además, gran parte de agrupaciones de profesionales de la Gestión de Proyectos (PM) ha participado en forma indirecta a través de los Organismos Nacionales Normales, o de manera directa como socio de enlace como el IPMA. La gran participación a nivel mundial y lo refinado del método es una gran base para el reconocimiento mundial.

El propósito de esta norma es de un estándar de carácter general es decir proporcionar orientación (Grau, 2013).

Es importante destacar que, dado que ISO 21500 es un Estándar de carácter genérico y de aceptación global en muchas ocasiones el director de proyecto tendrá que soportarse en otros Estándares más específicos, por lo tanto, es fundamental estar familiarizado con otros estándares específicos, para combinarlos y obtener el máximo rendimiento en el proyecto (Grau, 2013).

Por tanto, uno de los pilares de la normalización es la apertura, consenso, accesibilidad, transparencia y reconocimiento de la norma estándar. También es importante

destacar que las normas o estándares surgen por una necesidad del mercado y son de aplicación voluntaria, por tanto, no son ley y se basan en el consenso de las partes participantes en la que colaboran expertos de diferentes países.

ISO 21500 no es la solución para todos los desafíos de la gestión de proyectos. Siempre el director como el equipo de proyecto son los que en última instancia son responsables de decidir que buenas prácticas utilizar (Zandhuis & Stellingwerf, 2013) .

Finalmente se utilizará ISO 21500 y en complemento PMBOK versión 5, ya que es la primera guía respecto a gestión de proyectos que es aceptado y reconocido a nivel mundial por la gran mayoría de las organizaciones que aportan y contribuyen a la profesión de gestión de proyectos. ISO 21500 se convertirá en la referencia clave para futuros desarrollos de la profesión. Esto último ya se ha confirmado con la última versión (5ta edición) del PMBOK de PMI GUIDE (2013), debido a que posee la misma estructura que ISO 21500 y con nombres que difieren levemente en otros procesos y se superpone en más de 95% de los procesos en ISO 21500. Otros estándares que se utilizan a nivel global están en la misma línea como IPMA (Zandhuis & Stellingwerf, 2013).

ISO 21500 utilizo como fuentes para su desarrollo diversos estándares relevantes de gestión de proyectos tales como:

- PMBOK GUIDE. Tercera Edición, Capitulo 3 y Glosario, PMI iNC., 2004 El estándar americano ANSI.
- DIN 69901 Gestión de proyectos, Sistemas de Gestión de Proyectos, DIN, 2007- La norma alemana DIN

- BS 6079 y BS ISOP 15188:2001- Gestión de proyectos, BSI 2001-El estándar Inglés BSI.

Luego en el transcurso del desarrollo y construcción de ISO 21500 otros estándares y estándares ISO desarrollados se utilizaron como materiales de referencia.

- ICB versión 3.0 (IPMA Línea base de competencia)- por la asociación internacional de Gestión de Proyectos.
- PRINCE2 (Proyectos en Entornos Controlados)-por la Oficina de Gabinete; anteriormente OCG.
- ISO 9001- Sistema de Gestión de Calidad.
- ISO 10006- Sistemas de gestión de calidad- Guía de sistema de gestión de calidad en proyectos.
- ISO 31000-Gestion del Riesgo- Guías y principios.

6.3.2.3.2 Estructura ISO 21500

A continuación, se expone la estructura general de ISO 21500 y se detalla lo relevante para la presente tesis.

- **Alcance:** El alcance del estándar ISO 21500 es proporcionar una guía para gestión de proyectos y puede ser utilizada por cualquier tipo de organización, incluyendo las públicas, privadas u organizaciones comunitarias, y para cualquier tipo de proyecto, independiente de su complejidad, tamaño o duración.

Este estándar internacional provee un alto nivel de descripción de conceptos y procesos que son considerados como buenas prácticas en gestión de proyectos.

Los proyectos están situados en el contexto de programas y carteras de proyectos, sin embargo, este estándar internacional no proporciona una guía detallada sobre la gestión de programas y carteras de proyectos. El estándar solo trata los temas relativos a la gestión general en el contexto de la dirección de proyectos.

- **Términos y definiciones:** ISO 21500 posee dieciséis términos específicos de dirección y gestión de proyectos y sus definiciones de aplicación en el documento del estándar. En Tabla 1, se presenta aquella información.

Términos	Definiciones
Actividad	Componente de trabajo identificado, dentro de un cronograma, que requiere ser realizado para completar un proyecto.
Área de aplicación	Categoría de proyectos que generalmente tienen un enfoque común relacionado con un producto, cliente o sector.
Línea base	Base de referencia para comparación contra la que es monitoreado y controlado el desempeño del proyecto.
Solicitud de cambio	Documentación que define una propuesta de modificación del proyecto.
Gestión de la configuración	Aplicación de procedimientos para controlar, correlacionar y mantener la documentación, especificaciones y atributos físicos.
Control	Comparación del desempeño real con el planeado del proyecto, analizando las variaciones y tomando las acciones correctivas y preventivas cuando sea necesario.
Acción correctiva	Directiva y actividad para modificar el desempeño del trabajo para alinear este último a lo planificado.
Camino crítico	Secuencia de actividades que determina la fecha más temprana posible para el proyecto o fase de este.

Retraso	Atributo aplicado a una relación lógica para retrasar el inicio o final de una actividad.
Adelanto	Atributo aplicado a una relación lógica para adelantar el inicio o fin de la actividad.
Acción preventiva	Directiva y actividad para modificar el trabajo para evitar desviaciones potenciales del desempeño del proyecto.
Ciclo de vida del proyecto	Conjunto definido de fases desde el inicio al final del proyecto.
Registro de riesgos	Registro de riesgos identificados, incluyendo resultados de análisis y respuestas planificadas.
Parte interesada	Persona, grupo u organización que tiene interés, o puede afectar, ser afectada o que percibe que puede ser afectado por cualquier aspecto del proyecto.
Oferta	Documento en forma de una oferta o respuesta a una licitación para suministrar un producto, servicio o resultado, usualmente en respuesta a una invitación o requerimiento.
Diccionario de la estructura de desglose de trabajo	Documento que describe cada componente de la estructura de desglose de trabajo.

*Tabla 1: Términos y definiciones ISO 21500
Fuente: www.iso.org*

6.3.2.3.3 Conceptos de gestión de proyectos en ISO 21500

Se describen los conceptos clave para llevar a cabo durante la ejecución del proyecto de la gran mayoría de ellos y de igual forma se describen el contexto en el cual se llevan a cabo los proyectos.

Los conceptos que describe ISO 21500 de dirección y gestión de proyectos son los siguientes:

- Proyecto
- Dirección y gestión del proyecto
- Estrategia de la organización y proyectos
- Entorno del proyecto
- Gobernanza del proyecto
- Proyecto y operaciones
- Partes interesadas y organización del proyecto
- Competencias del personal del proyecto
- Ciclo de vida del proyecto
- Restricciones del proyecto
- Relación entre los conceptos de dirección y gestión de proyectos y procesos.

Los conceptos y su relación general se presentan en la Figura 7.

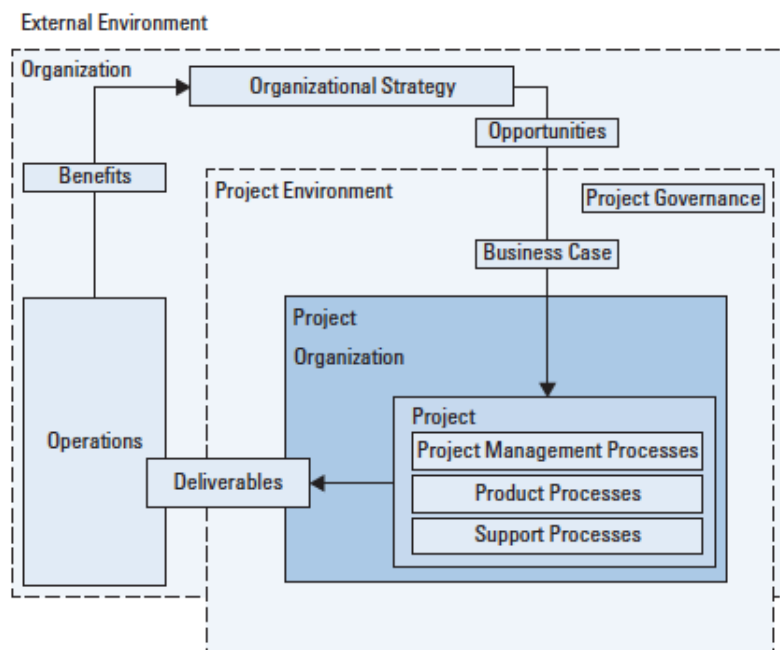


Figura 7: Concepto y relación general ISO 21500

Fuente: www.iso.org

6.3.2.3.4 Gestión de procesos del proyecto

Existen cinco grupos de procesos: Inicio, Planeamiento, Implementación, control y Cierre, los que se muestra el esquema en Figura 8.

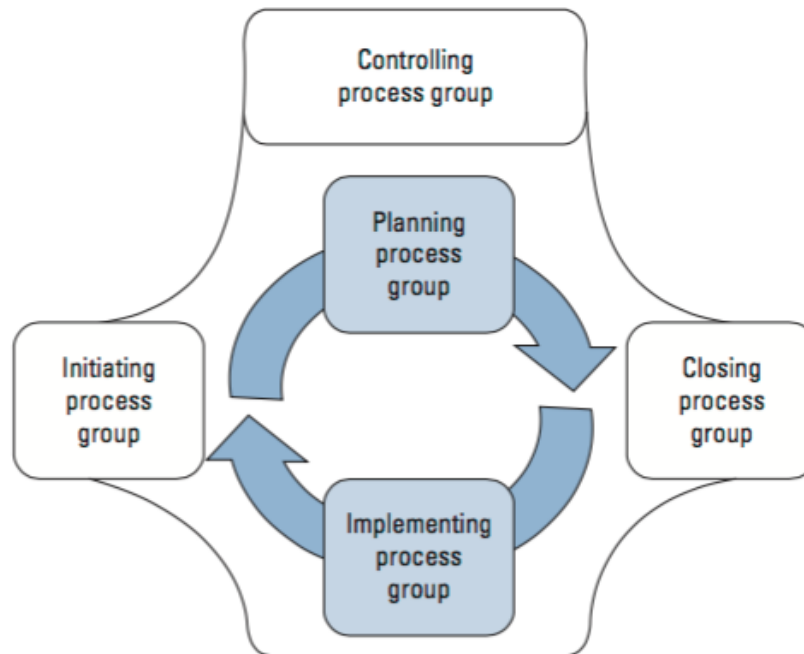
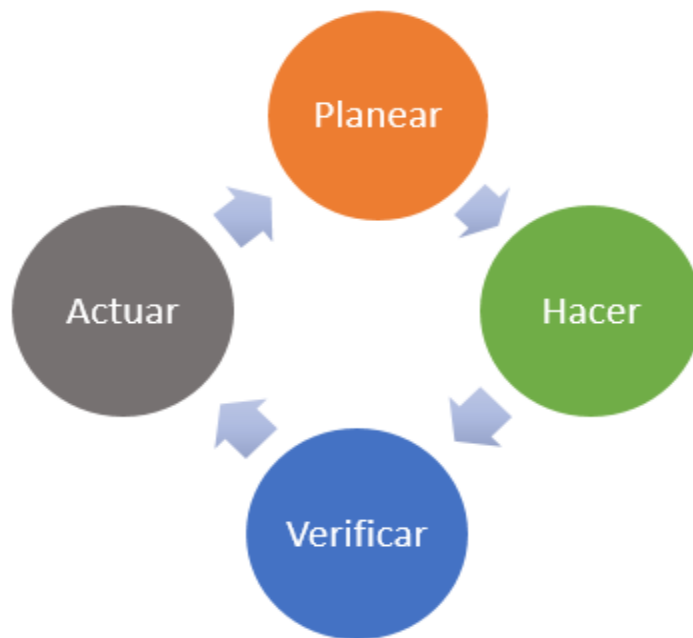


Figura 8: Procesos en proyectos
Fuente: www.enap.cl

La interacción de los cinco procesos está concebida para actuar como el círculo de Deming, la cual es una estrategia de mejora continua de calidad. Él esquema se aprecia en Figura 9.



*Figura 9: Círculo de Deming
Fuente: Elaboración propia*

Luego los diez temas de gestión de proyectos, llamados grupos de materia. Se muestran en Tabla 2.

Grupos de materia

1. Integración	2. Partes Interesadas
3. Alcance	4. Recursos
5. Plazo	6. Costo
7. Riesgo	8. Calidad
9. Comunicación	10. Compras

*Tabla 2: Grupos de materia en la gestión de proyectos
Fuente: Elaboración propia*

La combinación de los 5 grupos de procesos con los 10 grupos de materia, da lugar a 39 procesos a desarrollar en ISO 21500, los que se muestran en Tabla 3.

Grupos de Materia	Inicio	Planificación	Implementación	Control	Cierre
Integración	Desarrollar el acta de constitución del proyecto	Desarrollar los Planes del Proyecto	Ejecución de trabajos	Controlar de Trabajo Controlar los cambios	Cerrar la fase 0 del proyecto Recopilar las lecciones aprendidas
Parte interesada	Identificar la parte interesada		Gestión de agentes		
Alcance				Verificar y controlar el alcance	
Recursos	Equipo de proyecto		Desarrollo de competencias	Control de recursos Gestión de equipos de proyecto	
Plazo		Actividades Estimar plazos Cronograma		Control del cronograma	
Costo		Estimación Presupuesto		Control de costes	

Riesgo		Identificar riesgos Valorar riesgos	Acciones contra contingencias	Control de riesgos	
Calidad		Plan de calidad	Acción del aseguramiento de calidad	Control de calidad	
Comunicación		Plan de comunicaciones	Distribución de la información	Gestión de la comunicación	
Compras		Plan de compras	Selección de proveedores	Administrar contratos	

Tabla 3: Procesos en ISO 21500

Fuente: www.iso21500.org

6.4 Riesgos en proyectos

El alcance de la tesis trata sobre la Gestión de los riesgos, los cuales pueden tener un impacto positivo o negativo en el resultado del proyecto, guiados por el Estándar ISO 21500 junto a PMBOK, el cual proporciona técnicas y herramientas para abordar la gestión de los riesgos.

Pero, ¿qué es un riesgo en un proyecto, porque es importante ocuparse de ellos? Es fundamental tratarlos debido a que un riesgo es un evento incierto o alguna condición que de llegar a ocurrir tiene un impacto, es decir un efecto positivo o negativo en los objetivos del proyecto. Estos pueden ser alcance, plazo, coste y/ o calidad (Project management institute, 2013). Por otra parte, ISO 31000:2009 – Gestión de riesgos. Principios y Guías, define riesgo como el efecto de la incertidumbre en los objetivos.

ISO 21500 aunque no define riesgos de forma explícita, si lo hace a través de la frase: “la finalidad de identificar los riesgos es determinar eventos potenciales y sus características, que, si ocurren, pueden tener un impacto positivo o negativo sobre los objetivos del proyecto.

Se aprecia que las tres definiciones son comunes en la relación que tienen los riesgos del proyecto con los objetivos de este, si llegaran a presentarse. Estudios sobre algunos de los estándares más significativos y relevantes en la gestión de proyectos indican que el factor crítico riesgo aparece a lo menos una vez en cada estándar estudiado (Zabaleta, Lopez, & Errasti, 2012). Quedando en evidencia la importancia que tiene el tratar los riesgos, es decir realizar una gestión eficiente de ellos en los proyectos. Por lo tanto, se debe realizar una aproximación sistemática y proactiva tomando el control de los proyectos mediante el conocimiento y la reducción de la incertidumbre. Los objetivos de la gestión de riesgos en los proyectos es aumentar la probabilidad de impacto de las oportunidades o riesgos positivos y disminuir las amenazas es decir los riesgos negativos. **Se entiende entonces que la gestión de los riesgos no es una actividad opcional, si nomas bien, fundamental en una exitosa gestión de proyectos** (Grupo de Análisis para la implementación de la norma ISO 21500, 2012). Es por ello relevante tener la claridad suficiente para identificar los que verdaderamente lo son, y no identificar, dando el tratamiento descrito a riesgos que no lo son. Al mismo tiempo es importante identificar las causas y efectos de los riesgos encontrados relevantes. Muchas personas suelen confundir riesgos con incertidumbre. El riesgo no es lo mismo que incertidumbre y su diferencia fundamental es que riesgo es la **incertidumbre que importa** y la tiene porque puede afectar la consecución de uno o más objetivos del proyecto (Hillson D. , 2012). Con ello se entiende que existen otras incertidumbres que son irrelevantes para el proyecto es decir en términos que no afectan los objetivos de este. Luego otra pregunta

que se debe responder es **el efecto de estos riesgos cuando se hacen efectivos sobre los objetivos que impacten. ¿De que magnitud serán?**

Es fundamental además en la etapa de identificación del riesgo distinguir entre causa, riesgo verdadero y efecto, ya que muchas veces esas tienden a confundirse y contabilizar una causa o efecto como un riesgo identificado, luego cuando ocurre esto es probable que queden riesgos ocultos y por lo tanto no sean tratados, impactando uno o más objetivos del proyecto (Hillson D. , 2012).

Es importante al hablar de riesgos y su identificación, sobre **la actitud de riesgo** que una organización y los interesados posean, ya que estos aceptarán determinados niveles de riesgo en función de su actitud al riesgo. Esta actitud se puede ver afectada a grandes rasgos por tres categorías. Umbral o capacidad de riesgo, tolerancia al riesgo y apetito al riesgo. Estas se definen de la siguiente forma (Project management institute, 2013).

- **Apetito al riesgo:** Grado de incertidumbre que una entidad está dispuesta a aceptar con miras a una recompensa.
- **Tolerancia al riesgo:** Grado, cantidad o volumen de riesgo que podrá resistir una organización o individuo.
- **Umbral de riesgo:** Se refiere a la medida del nivel de incertidumbre o el nivel de impacto que un interesado pueda tener particular interés. Por debajo de ese umbral de riesgo, la organización aceptará el riesgo. Por encima de ese umbral del riesgo, la organización no lo tolerará.

En la Figura 10, se presenta un esquema representativo.

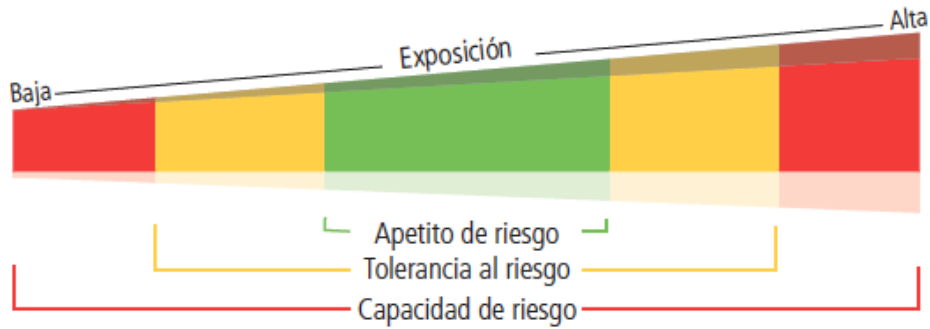


Figura 10: Actitud al riesgo
Fuente: PMBOK 2013

Luego se puede decir que la actitud al riesgo es una función que depende de las tres categorías mencionadas. En otras definiciones relacionadas tratan el apetito al riesgo como elemento principal o primario para la toma de decisiones sobre el nivel de riesgo a asumir y por otro lado es un término que suele confundirse con actitud, tolerancia, umbral al riesgo, entre otros. Una definición actitud y aptitud como concepto es la diferencia fundamental en que el apetito al riesgo de un individuo o grupo existe como una tendencia que es independiente a la elección humana, pero la actitud al riesgo de un individuo o grupo es elegida (Hillson & Murray, 2011).

El concretar el apetito al riesgo en niveles aceptables, permite realizar un sistema de alertas y de gestión de la actividad realizada. El establecer el apetito al riesgo tiene un impacto considerable en términos de la información para la dirección, medición y reporte de los riesgos (La fábrica del pensamiento, 2015).

De la literatura consultada, ya sea como actitud y/o aptitud al riesgo como eje central para determinar el nivel de riesgo que un individuo u organización se encuentra dispuesto a

afrontar para conseguir sus objetivos, el establecerla es fundamental para la correcta evaluación y gestión de los riesgos en un proyecto.

La aplicación de las categorías apetito, tolerancia y capacidad o umbral al riesgo, se presentan a través de un ejemplo.

Se debe llegar de Viña del Mar a Santiago en no más de tres horas. La velocidad máxima del vehículo disponible para tal efecto es de 180 [km/hr] (Capacidad de riesgo), luego el conductor opta por no viajar a esa velocidad debido al riesgo inherente (accidente, infracción, falla de vehículo), sin embargo, de hacerlo a esa velocidad podría ser que cumpla el objetivo sin que ocurra ninguno de los percances mencionados, pero el riesgo es elevado. Luego el conductor toleraría viajar a 140[km/hr] (Tolerancia al riesgo), porque cree que es una condición más segura para cumplir el objetivo, no obstante, aun el riesgo es relativamente alto. Ahora bien, como Santiago queda a 1,3 hr aproximadamente viajando a velocidad media de 100 [km/hr], el conductor se siente cómodo con esa velocidad, ya que no será infraccionado por alta velocidad, cumplirá el objetivo que es llegar a Santiago antes de tres horas y la probabilidad de un accidente y/o falla de vehículo por la exigencia es mínima, por tanto, ese es apetito al riesgo, viajar a 100 [km/hr].

Es importante para realizar el cálculo del apetito al riesgo cada organización puede optar por alguna metodología que se acomode a su sector productivo o actividad, para luego implantar modelos cuantitativos y/o cualitativos, el cual dependerá del grado de estandarización de la organización, que para el caso del sector financiero existe una regulación explícita. Luego para el caso o sectores donde no hay obligación o no existen modelos definidos, será la propia empresa la que decida qué modelo va a seguir,

fundamentada básicamente por los riesgos que se quieran medir. En casos en los cuales los riesgos se miden en términos de impactos económicos o de probabilidades es conveniente determinar el apetito cuantitativamente (La fábrica del pensamiento, 2015).

Algunos marcos de referencia para determinar el apetito al riesgo (La fábrica del pensamiento, 2015) son:

Mejores prácticas:

- Disposiciones de la organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE)
- Committee of Sponsoring Organization of the Treadway Commission (COSO)
- International Organization for Standardization (ISO)
- British Standard 31100
- The Institute of Risk Management
- En España: Código Unificado de Buen Gobierno Corporativo (Código Conthe)

Luego de profundizar en el concepto y significado de apetito al riesgo, nos preguntamos ¿Porque es importante establecer el apetito al riesgo en una organización o sector? La respuesta es que, a través de este, podemos determinar la cantidad de riesgo que la empresa o industria desea tener para cumplir los objetivos de su proyecto. Como se menciona anteriormente, todo proyecto desde un comienzo tiene riesgos, y para que estos no impacten negativamente en los objetivos de este, se debe realizar una gestión de los mismos. Luego cuando se identifican los riesgos verdaderos y se establece el apetito de riesgo, del valor obtenido de cada riesgo verdadero, que resulta de una evaluación cuantitativa o

cualitativa de cada riesgo identificado, se comparan y se hace la diferencia entre el apetito al riesgo versus el valor obtenido de cada riesgo, el que determinara si dicho riesgo se asume o se toma alguna medida para su tratamiento.

6.4.1 Gestión de riesgos en ISO 21500

Como se observa en Figura 11 el área de conocimiento de riesgos existe en tres procesos de ISO 21500. **Planificación, implementación y control**, los que interactúan de la siguiente forma:

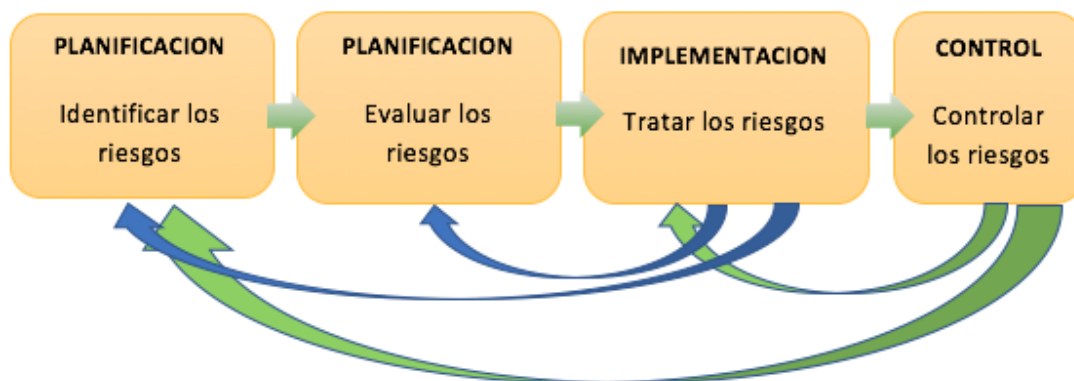


Figura 11: Área del conocimiento riesgo en procesos ISO 21500
Fuente: Elaboración propia

Se observa que es un flujo secuencial e iterativo. Respecto al primero en un comienzo en la etapa de planificación se identifican los riesgos, luego en la etapa de implementación se tratan y posterior a ello en la etapa de control se monitorean y controlan. Luego son iterativos, se observa que existe un flujo desde el proceso controlar riesgos hacia tratar los riesgos y evaluarlos. Del mismo modo existe un flujo desde tratar los riesgos a evaluarlos e identificarlos. La idea de la iteración es que los proyectos son dinámicos y por ende riesgos que no se identificaron en un comienzo es decir en la etapa de planificación o los nuevos

riesgos generados, ya en el desarrollo del proyecto sean identificados, evaluados, tratados y controlados en forma permanente.

6.4.2 Gestión de riesgos PMBOK versión 5

Como se menciona en el presente capítulo, ISO 21500 es un estándar de carácter genérico y no provee las herramientas y técnicas para afrontar el tratamiento de los riesgos. Es por ello que se debe soportar en otros estándares que si las contengan. Es el caso de PMBOK versión 5 que contiene estas herramientas, técnicas necesarias y que, además, se encuentra alineado con el estándar ISO 21500. Por otra parte, ISO 21500 está compuesto en gran parte por PMBOK, entre otros, razón por la cual el análisis de la presente tesis se soportará en las herramientas que provee PMBOK versión 5.

La Gestión de Riesgos de Proyecto está compuesto por procesos necesarios para llevar a cabo la planificación, identificación, análisis, planificación de respuesta y control de los riesgos de un proyecto. Se describe a continuación en términos generales los procesos involucrados (Project management institute, 2013):

- **Planificar la Gestión de los Riesgos:** Proceso de definir como realizar las actividades de riesgos de un proyecto.
- **Identificar los Riesgos:** Proceso de determinar los riesgos que pueden afectar al proyecto realizando la documentación de sus características.
- **Realizar Análisis Cualitativo de los Riesgos:** Proceso de priorizar riesgos para su análisis o posterior acción para evaluar y combinar la probabilidad de ocurrencia e impacto de los riesgos en cuestión.

- **Realizar Análisis Cuantitativo de los Riesgos:** Proceso de realizar análisis numérico del efecto de los riesgos que se identificaron respecto a los objetivos del proyecto.
- **Planificar la Respuesta a los Riesgos:** Proceso de desarrollar opciones y acciones para mejorar las oportunidades y así reducir las amenazas a los objetivos del proyecto.
- **Controlar los Riesgos:** Proceso de implementar los planes de respuesta a los riesgos, seguimiento a los riesgos identificados, monitorear los riesgos residuales, identificar nuevos riesgos y evaluar la efectividad del proceso de gestión de los riesgos a través del proyecto.

A continuación, en la Tabla 4, se presenta la estructura general de Gestión de Riesgos de PMBOK versión 5.

	Grupo de procesos de Inicio	Grupo de procesos de Planificación	Grupo de procesos de Ejecución	Grupo de procesos de Monitoreo y Control	Grupo de Proceso de Cierre
Gestión de Riesgos del Proyecto		1. Planificar la Gestión de los Riesgos. 2. Identificar los Riesgos 3. Realizar Análisis Cualitativo de Riesgos 4. Realizar Análisis Cuantitativo de Riesgos 5. Planificar la Respuesta a los Riesgos		6. Controlar los Riesgos	

Tabla 4: Estructura general gestión de riesgos

Fuente: PMBOK 2013

7 METODOLOGÍA

El desarrollo de la presente investigación se realiza con el estándar ISO 21500, el cual no presenta herramientas ni técnicas para abordar la gestión de los riesgos, por tanto, se utiliza como apoyo, PMBOK edición 5.

Los procesos involucrados en ISO 21500 y PMBOK edición 5 para la gestión de riesgos se presentan en Tabla 5.

ISO 21500	PMBOK versión 5
PLANIFICACIÓN <ul style="list-style-type: none">• Identificar riesgos• Evaluar los riesgos	PLANIFICACIÓN <ul style="list-style-type: none">• Planificar la gestión de los riesgos• Identificar los riesgos• Realizar análisis cualitativo de riesgos• Realizar análisis cuantitativo de riesgo• Planificar la respuesta a los riesgos
IMPLEMENTACIÓN <ul style="list-style-type: none">• Acciones contra contingencias	
CONTROL Y MONITOREO <ul style="list-style-type: none">• Control de los riesgos	CONTROL Y MONITOREO <ul style="list-style-type: none">• Controlar los riesgos

Tabla 5: Estructura general gestión de riesgos
Fuente: Elaboración propia

En adelante, para efectos del análisis de la presente tesis se sigue la estructura general de la tabla anterior. **El utilizar una, algunas o todas las herramientas que describe PMBOK depende del contexto al cual se aplique y del encargado de la gestión de riesgos del proyecto.** A medida que se utilicen las herramientas descritas se argumentara el por qué

son utilizadas. En Tabla 6, se presenta lo que indica ISO 21500 se debe realizar para la gestión de riesgos y las herramientas que se utilizan en el proyecto proporcionadas por PMBOK versión 5.

ISO 21500	PMBOK Herramientas a utilizar
Planificación	Herramienta: Juicio experto Salida: Metodología
Identificar los riesgos	Entrada: La gestión de riesgos, evaluando la actitud de la organización (no cubierto en alcance de tesis) Estimación de duración de las actividades. Documentos del proyecto, cronograma y diagramas de red del proyecto. Revisión de documentación de paros de mantenimiento pasados. Juicio experto.
Evaluar los riesgos	Análisis cuantitativo de los riesgos Determinar tipo de distribución de los datos Planificar la respuesta a los riesgos mediante juicio experto.
Control	No cubierto en alcance de tesis

*Tabla 6: Herramientas a utilizar para gestión de riesgo
Fuente: Elaboración propia*

Se observa de Tabla 6, que ISO 21500 en el proceso de planificación, no incorpora el área de conocimiento **Planificar la gestión de los riesgos**, no obstante, PMBOK si lo hace,

el que indica dentro de sus herramientas y técnicas, que se debe realizar una evaluación del apetito y tolerancia a los riesgos previo a la identificación y evaluación de estos. Cabe destacar que PMBOK ofrece otras alternativas, pero se destaca esta, debido a que en la organización no existe una evaluación a la actitud al riesgo y como lo plantea el marco teórico es fundamental para una correcta evaluación de los riesgos.

8 DESARROLLO

Para continuar, se realiza el desarrollo de cada uno de los procesos involucrados en la gestión de riesgos, con la salvedad de la entrada en la identificación de los riesgos y el control.

8.1 Planificar gestión de los riesgos

Como técnica para determinar el enfoque, herramientas y fuentes de información para llevar a cabo la gestión de riesgos del proyecto se utiliza juicio experto. Luego de ello, la salida o resultado es como sigue:

En el proceso de planificación de los riesgos se determina la importancia de la evaluación de la actitud al riesgo de la organización y específicamente del departamento de mantenimiento junto a instrumentación. Luego dada la complejidad para la evaluación de la misma, tema que por si mismo es un contenido para una tesis, no se evalúa en este trabajo.

Se decide utilizar **el juicio experto** en la definición del plan de gestión de riesgos dada la experiencia en paros de mantenimiento en refinería. De ello resulta lo siguiente:

1. Realizar una identificación de los riesgos en base a la revisión de la documentación histórica además de la consulta a juicio experto.
2. No se realiza análisis cualitativo previo para categorizar los riesgos, dado que las actividades son secuenciales y por tanto el atraso de una impacta en la siguiente y en consecuencia en el entregable. Por otra parte, al contar con la información de tiempos de ejecución de las actividades y dado que unos de los objetivos es determinar la

distribución de probabilidad de tiempos de ejecución de las actividades de los entregables, se opta por realizar de forma directa, el análisis cuantitativo de los datos obtenidos en el paro de mantenimiento 2015 a todas las actividades de los 3 entregables del proyecto en cuestión, el que se complementa **con juicio experto**. De este análisis se busca:

- 2.1 Determinar los riesgos reales negativos que afecten los objetivos del proyecto.
 - 2.2 Determinar la magnitud de los riesgos negativos.
 - 2.3 Determinar si los riesgos negativos son exógenos o endógenos.
 - 2.4 Determinar mediante **un número de prioridad** las actividades que deben ser intervenidas y en qué orden, para que los riesgos negativos no se hagan efectivos o en su defecto, mitigarlos y/o controlarlos.
 - 2.5 Determinar la distribución de probabilidad de las actividades de los entregables del proyecto.
3. Como plan de respuesta a los riesgos, se recurre nuevamente a **juicio experto**, respecto a las acciones a emprender en las actividades analizadas cuyo resultado es un número de prioridad de intervención.
 4. El control de los riesgos no se encuentra cubierto por el alcance de la tesis.

8.2 Identificación de los riesgos

ISO 21500 como PMBOK indican que se debe identificar los riesgos del proyecto. En consecuencia, se realiza el apoyo en este último para aplicar las técnicas y herramientas respecto a la identificación de los mismos. **Luego, en base a experiencias y la revisión de documentación de proyectos anteriores, además de la consulta a juicio experto, se detectan riesgos en los tiempos de ejecución de las distintas actividades de los**

entregables, mantenimiento de vaina, placa orificio y transmisores. En relación a estas últimas, en el paro de mantenimiento 2015 de Enap Refinerías Aconcagua, se construye la **estructura de división del trabajo (EDT, proceso que forma parte de la gestión de alcance del proyecto que utiliza PMBOK)**, específicamente la referente al trabajo de mantención en instrumentación, cuya estructura se observa en Figura 12. Se observa que el objetivo es realizar mantenimiento a instrumentos (gris), luego el nivel siguiente se presentan los entregables (naranja), indica los tipos de instrumentos a mantener. Por último, en azul y para efectos prácticos e ilustrativos, se presentan las actividades necesarias para conseguir los entregables, las cuales representan los riesgos identificados respecto al tiempo de ejecución de las mismas.



Figura 12: EDT y actividades identificadas como riesgos
Fuente: *Elaboración propia*

8.3 Análisis cuantitativo de los riesgos

Se decide utilizar la revisión de documentación levantada en paro de mantenimiento 2015 para análisis cuantitativo el que se complementa con juicio experto. Se opta por estas técnicas, debido que existe documentación e historia de paros de mantenimiento, cuya información es relevante y al mismo tiempo la documentación y registros son datos numéricos ideales como para realizar un análisis cuantitativo de los tiempos de ejecución de las actividades de los entregables del paro de mantenimiento. Luego se utiliza juicio experto dada la experiencia que poseen trabajadores del área de instrumentación y procesos. Posterior a la identificación de los riesgos, la organización debe definir cuales está dispuesta a asumir y cuales controlar.

8.3.1 Revisión a la documentación

Los datos revisados corresponden a planillas en formato Excel, las cuales recopilan las fechas, tanto de la solicitud del requerimiento de la actividad como la fecha de respuesta a esta.

Estas, contienen las actividades necesarias para el mantenimiento de los entregables de mantener **placas orificio, vainas con su respectivo elemento primario y transmisores**. El entregable de mantenimiento de placas orificio está compuesta por 10 actividades, Vainas con su elemento primario de 8 y transmisores está compuesta por 5. Existen dos planillas, una perteneciente a planta MHC y la otra a Topping 2, en que cada una de ellas contiene los tres entregables descritos con sus respectivas actividades y tiempos asociados de ejecución. Se presenta en la Figura 13, un extracto de la planilla de control de avance, la cual contiene las fechas de solicitudes y ejecución de las actividades. Un ejemplo con actividades A, B y

C, de la Figura 13. Actividad **A**, donde **A1** es la fecha en que se solicita armado de andamio y **A2** la que se realiza actividad solicitada. Actividad **B**, en que B1 corresponde a entregado para retirar y B2, retirar. Actividad **C**, corresponde a mantención lista.

Algunas actividades que no tienen letra de identificación en la tabla, como la de desconexión eléctrica, no se incluye en listado para análisis ya que según juicio experto los tiempos son despreciables.

Es importante mencionar que, dado los recursos existentes al momento de realizar el registro, el tiempo de ejecución de las actividades se mide por fecha de solicitud y de entrega del servicio. Por tanto, se genera un problema cuando la primera es igual a la segunda para efectos de medición de tiempo de ejecución de la actividad. Es decir, por ejemplo, si una actividad “x” se solicita y el servicio es entregado el mismo día, el resultado de la diferencia entre ambos es “cero”, lo que no es correcto ya que la duración es una fracción del día de trabajo. Luego para subsanar ese detalle del registro, a cada diferencia de fechas se les suma un número aleatorio mayor a cero y menor uno, con ello se supera el problema de valor cero para fechas iguales. En su contraparte se introduce un error mayor a cero y menor a un día a cada tiempo de ejecución de la actividad.

			A		B		B	C
			A1	A2	B1		B2	C
TAG	Entregado para desconexión eléctrica	Entregado por Operaciones para desmontaje mecánico	Andamio Solicitado	Andamio armado	Entregado a contratista	Desconexión Eléctrica	Retirada, Esta en contratista	Mantención lista contratista. Entregada a ERA
TE-3111A	13-10-15	24-10-15	NRA	NRA	27-10-15	26-10-15	27-10-15	02-11-15
TE-3111B	13-10-15	24-10-15	NRA	NRA	27-10-15	26-10-15	27-10-15	02-11-15
TE-3111C	13-10-15	24-10-15	NRA	NRA	27-10-15	26-10-15	27-10-15	02-11-15
TE-3111D	13-10-15	24-10-15	NRA	NRA	27-10-15	26-10-15	27-10-15	02-11-15

D	E	F	G	H					
Inspección solicitada	En prueba de Tinta	Reporte inspección recibido	Entregada para instalación a contratista	Instalada	Revisado Torque	Revisada Total ERA		Avance Control ERA	Avance Control contratista
03-11-15	03-11-15	03-11-15	12-11-15	16-11-15	16-11-15	16-11-15	PI OK	100%	100%
03-11-15	03-11-15	03-11-15	12-11-15	20-11-15	20-11-15	20-11-15		100%	100%
03-11-15	03-11-15	03-11-15	12-11-15	20-11-15	20-11-15	20-11-15		100%	100%
03-11-15	03-11-15	03-11-15	12-11-15	20-11-15	20-11-15	20-11-15		100%	100%

Figura 13: Extracto de planilla recolectora de tiempos para 2015

Fuente: Elaboración propia

La forma de leer la planilla descrita, se aplica a las otras hojas de la planilla, en la que cada una de ellas contiene el control de avance del tipo de instrumento a mantener. Por ejemplo, la planilla control avance MHC, está compuesta por una hoja de control de avance de placas orificio, una de transmisores y otra de vainas y termocuplas. Lo mismo ocurre con la planilla de planta Topping 2. Existen variaciones leves entre cantidad y tipo de actividades entre entregables de cada hoja de la planilla que depende básicamente del tipo de instrumento a mantener.

Luego la secuencia de actividades para realizar el entregable de mantenimiento de vainas es la Tabla 7, a continuación:

ACTIVIDAD	Descripción Actividad	Precedencia	Tiempo Medio [días]	Tiempo Desv. Est. [días]
A	Armado de andamio	—	Por calcular	Por calcular
B	Retirar instrumentos	A, B	Por calcular	Por calcular
C	Mantenimiento lista	B	Por calcular	Por calcular
D	Inspección	C	Por calcular	Por calcular
E	Reporte inspección recibido	D	Por calcular	Por calcular

F	Entregado para instalar	E	Por calcular	Por calcular
G	Instalada	F	Por calcular	Por calcular
H	Torque revisado	G	Por calcular	Por calcular

Tabla 7: Actividades de entregable mantenimiento vaina
Fuente: Elaboración propia

A continuación, la Tabla 8 muestra la secuencia de actividades necesarias para realizar el mantenimiento a placas orificio.

ACTIVIDAD	Descripción Actividad	Precedencia	Tiempo Medio [días]	Tiempo Desv. Est. [días]
A	Armado de andamio	—	Por calcular	Por calcular
B	Desmontaje mecánico (retirada)	—	Por calcular	Por calcular
C	Mantenimiento lista	A, B	Por calcular	Por calcular
D	En inspección	C	Por calcular	Por calcular
E	Lista para instalar	D	Por calcular	Por calcular
F	Entregado para instalar	E	Por calcular	Por calcular
G	Instalada	F	Por calcular	Por calcular
H	Revisar dirección flujo	G	Por calcular	Por calcular
I	Torque revisado	H	Por calcular	Por calcular

Tabla 8: Actividades de entregable mantenimiento placa orificio
Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en la Tabla 9, se muestra la secuencia de actividades para el entregable de mantenimiento de transmisores.

ACTIVIDAD	Descripción Actividad	Precedencia	Tiempo Medio [días]	Tiempo Desv. Est. [días]
A	Armado de andamio	—	Por calcular	Por calcular
B	Retirado	A	Por calcular	Por calcular
C	Mantenión Lista	A, B	Por calcular	Por calcular
D	Instalado	C	Por calcular	Por calcular
E	Revisado	D	Por calcular	Por calcular

Tabla 9: Actividades de entregable mantenimiento transmisores
Fuente: *Elaboración propia*

Debido a la secuencialidad de las actividades, se advierte un riesgo negativo si alguna de ellas demora más de lo programado, provocando un efecto en cadena en las demás actividades que componen el entregable. De igual forma, si una o más actividades demora menos tiempo del programado se convierte en un riesgo positivo en el proyecto. Según criterio experto las actividades de conexión y desconexión eléctrica no constituyen riesgo, ya sea positivo o negativo, es por ello no se analizan.

Las distribuciones continuas de probabilidad usadas ampliamente en el análisis cuantitativo de riesgos en proyectos es la Beta, triangular, además de la uniforme, log normal y normal. Estas representan la incertidumbre de valores como por ejemplo la duración de las diversas actividades de un cronograma y además sus formas son compatibles con los datos generados de manera habitual en el análisis cuantitativo de riesgos.

Para el caso del presente proyecto, se realiza una medición de duración en días de las diversas actividades que componen los trabajos de mantenimiento de vainas, placas orificio y transmisores en el paro programado de mantenimiento. Con ello, cada grupo de datos de cada actividad se trata, identificando y eliminando los valores atípicos para luego realizar un ajuste de distribución utilizando la herramienta informática de análisis estadístico XLSTAT, determinando con ello los **estadísticos estimados (media y varianza)** y parámetros estimados que dependen de la distribución a la cual se ajusta (μ , sigma, beta etc.). Luego de obtener el tiempo esperado de cada actividad el cual dependerá de la función de distribución asociada, se realiza la suma de cada tiempo esperado de las actividades que componen el entregable, ya sea mantener vaina, placa orificio y/o transmisor que da como resultado el tiempo total esperado del entregable.

Ahora se hace un paréntesis para explicar a grandes rasgos como opera XLSTAT en el proceso de ajuste de distribución.

En primera instancia se realiza una prueba de bondad de ajuste de la distribución teórica. Se utiliza para ello una prueba no paramétrica exacta de Kolmogorov – Smirnov, basada en la distancia máxima de la distribución teórica (la sometida a prueba) versus la distribución empírica de la muestra. Esta prueba se utiliza solo para distribuciones continuas. Luego de determinar la distribución teórica que mejor se ajusta a la empírica, se procede a estimar los parámetros, y para ello XLSTAT ofrece dos métodos estimación: **Momentos** y de **máxima verosimilitud**. Se elige utilizar el de máxima verosimilitud, método más complejo que el de momentos y por lo mismo más riguroso para todas las distribuciones, teniendo una probabilidad más alta de estimar cantidades más cercanas a las reales o de la

población, además de no ser sesgado. Luego se realiza la hipótesis de ajuste de distribución, para determinar si la distribución teórica determinada por la prueba de bondad de ajuste es realmente la que mejor se ajusta.

Retomando previo al paréntesis, luego de los estadísticos empíricos, específicamente, tiempo medio, desviación estándar, varianza, coeficiente de variación de cada actividad, levantados y registrados en las tablas Excel, cuyas variables se utilizan en el análisis de los datos para determinar las actividades a intervenir mediante un indicador llamado **número de priorización** (creado en esta tesis). Este provee una base y tal como lo indica su nombre, para determinar que actividades se deben intervenir en primera instancia o en su defecto en que orden, cuyo número indica el potencial impacto en la consecución de los objetivos del proyecto, específicamente tiempo. A continuación, en la Figura 14, se presenta un mapa conceptual que resume y complementa gráficamente lo explicado anteriormente, dónde se indica los pasos necesarios para obtener el número de priorización, el cual entrega una base para determinar qué actividades intervenir y en qué orden.

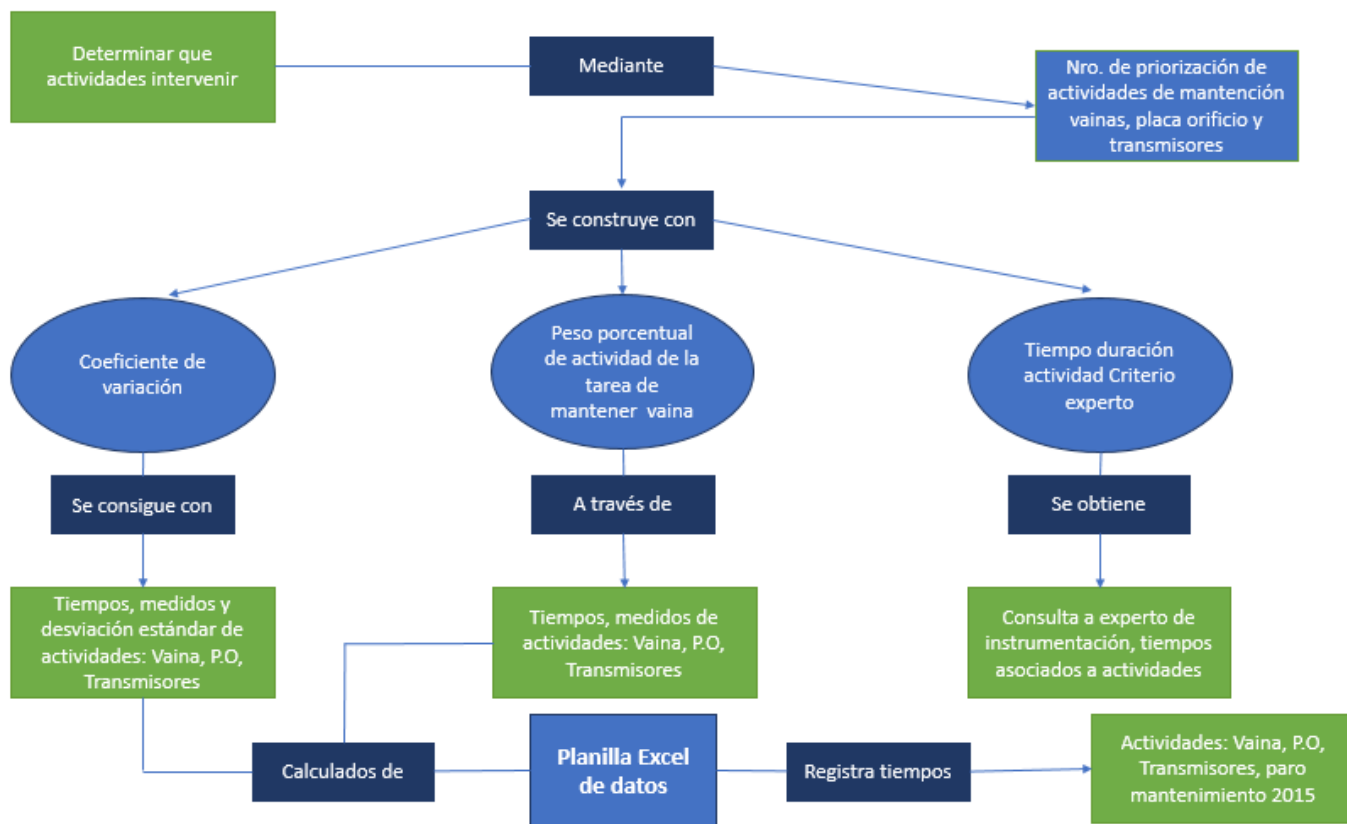


Figura 14: Mapa conceptual obtención número de priorización
Fuente: Elaboración propia

Luego, se presentan los resultados de los tres entregables de mantenimiento a realizar, con sus respectivas actividades, comenzando con el entregable de mantener una vaina, mantenimiento de placas orificios y a continuación, el mantenimiento de transmisores. Es importante recalcar que tanto el mantenimiento de vainas y transmisores poseen actividades como conexión y desconexión eléctrica, las cuales no fueron evaluadas, ya que bajo criterio experto el tiempo que demoran son despreciables por lo tanto no representan riesgos negativos ni positivos a los objetivos del proyecto.

8.3.2 Entregables a mantener

8.3.2.1 Entregable mantenimiento vaina

Se presenta un mapa conceptual en Figura 15, sobre cómo se compone el entregable mantener vaina (obviando las actividades irrelevantes en términos de riesgos negativos para el proyecto), respecto a los tiempos medios y coeficiente de variación (CV) de las actividades que la componen. Luego el mapa explica lo que se busca en esta etapa.

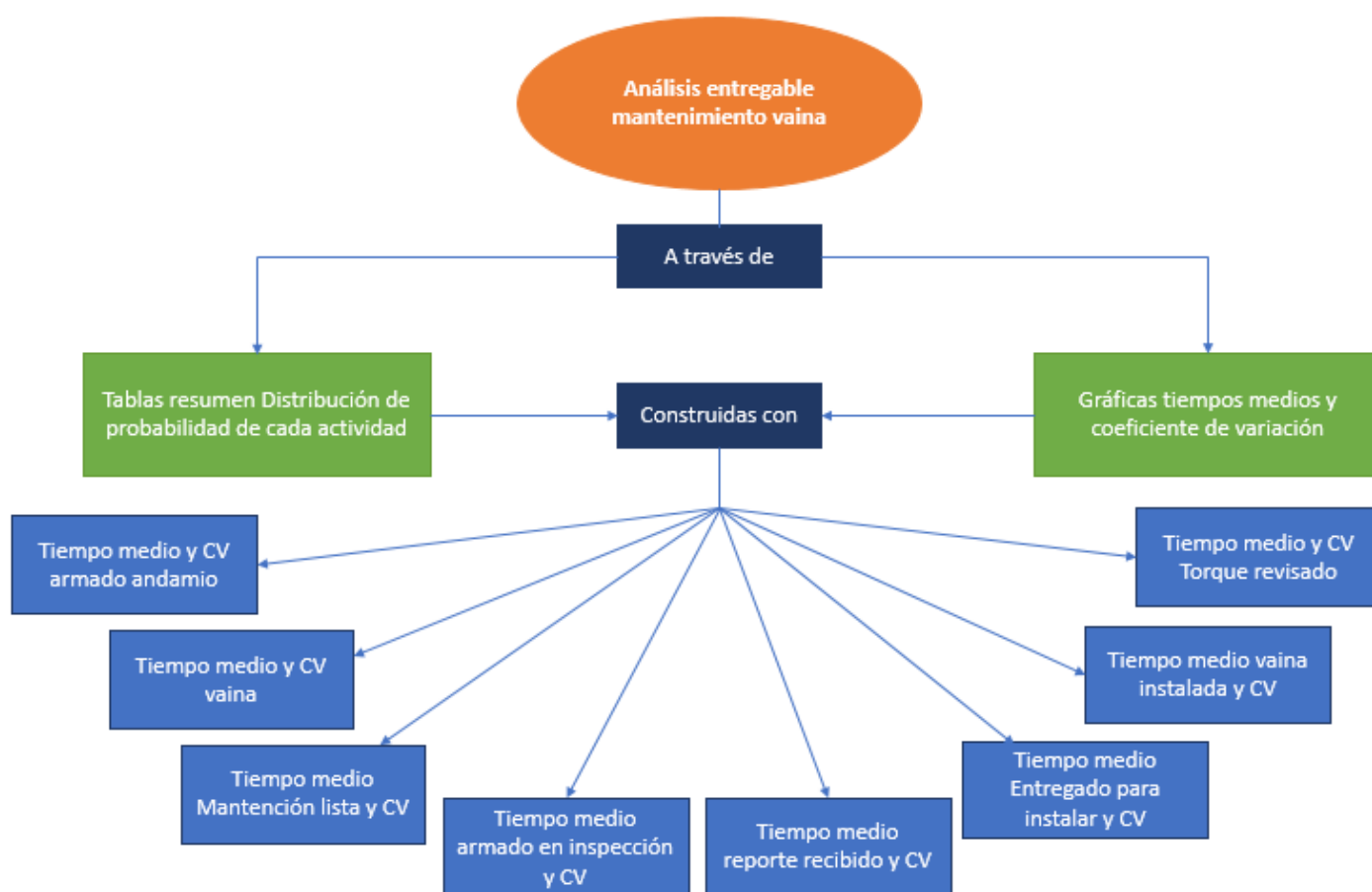


Figura 15: Mapa conceptual análisis entregable mantenimiento vaina

Fuente: Elaboración propia

Se observa que el objetivo es analizar las actividades de mantenimiento del entregable mantener vaina a través de **tablas resumen, gráficas de tiempos medios y coeficiente de variación** de cada una de ellas.

Se procede con la descripción breve de cada actividad y a continuación con la construcción de las gráficas y tablas para posterior análisis.

8.3.2.2 Actividades que componen el entregable mantener vaina

Las actividades y breve descripción de ellas a evaluar en el entregable de mantenimiento de vaina son las siguientes:

- **Armado de andamio:** Tiempo que demora actividad en realizar armado de andamio desde que se solicita.

Esta actividad es común tanto para vainas, placas orificio y transmisores, por tanto, los datos de tiempos de cada una ellas referente a armado de andamio fue analizado en conjunto como solo un conjunto de datos.
- **Vaina retirada:** Tiempo que demora actividad desde que es entregada a contratista para retiro hasta que es retirada.
- **Mantención lista:** Tiempo que demora en realizar mantención desde que es retirada.
- **En inspección:** Tiempo que demora actividad desde que se solicita inspección hasta su realización.
- **Reporte inspección recibido:** Tiempo que demora actividad desde que termina inspección hasta recibir informe de reporte.

- **Entregado para instalar:** Tiempo que demora actividad desde que es recibido reporte hasta la entrega a contratista para instalación.
- **Vaina instalada:** Tiempo que demora actividad desde que es entregado para instalar hasta que se instala.
- **Torque revisado:** Tiempo que demora actividad desde que se instala vaina hasta que se revisa torque.

A continuación, en el Gráfico 1, se presenta un resumen de los tiempos medios, junto a su desviación estándar y coeficiente de variación de cada actividad necesaria para cumplir con el entregable. Estos se obtienen de los datos que se registran en el paro de mantenimiento 2015 en ERA.

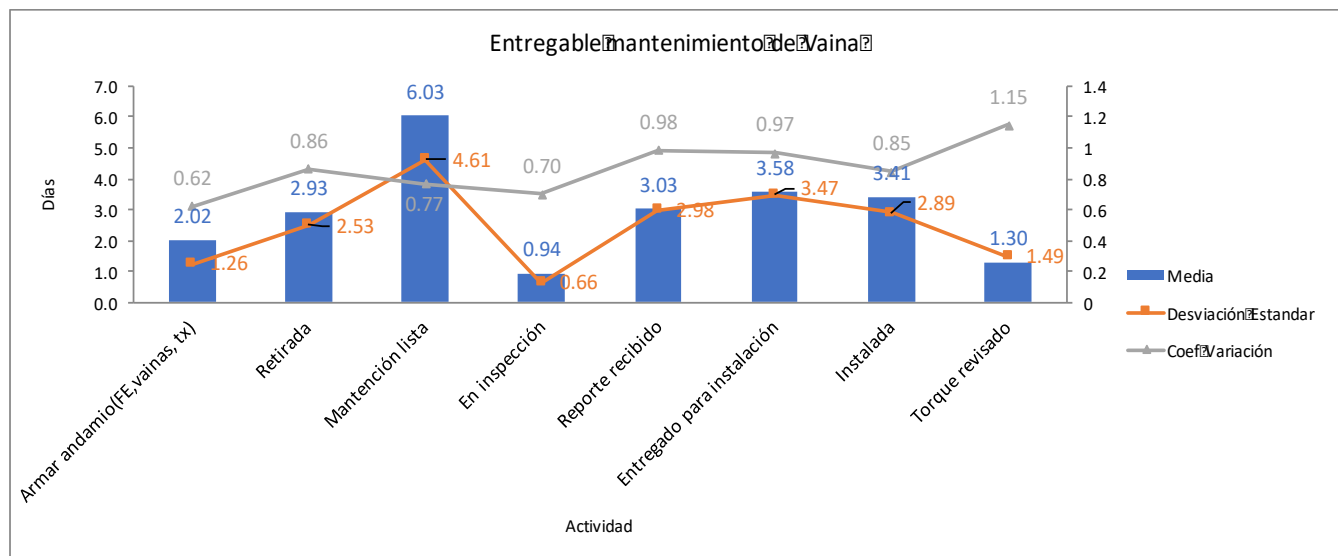


Gráfico 1: Estadísticas actividades de entregable mantenimiento vaina
Fuente: Elaboración propia

Se aprecia que la actividad que posee un mayor tiempo de ejecución promedio es la actividad de **mantenimiento de vainas**, con 6,03 días y con desviación estándar de 4,61 días. Luego la de menor tiempo de ejecución es la actividad **En inspección** con 0,94 días y una

desviación estándar de 0,66 días. A continuación, en el Gráfico 2, se presentan los coeficientes de variación de cada actividad ordenados de menor a mayor magnitud.

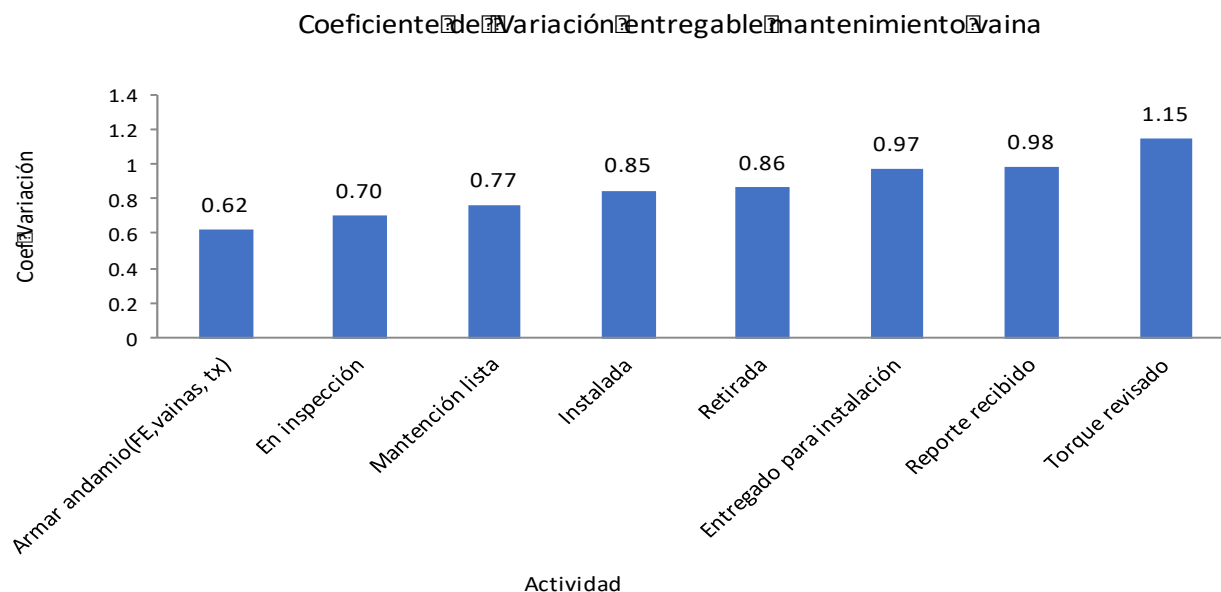


Gráfico 2: Coeficiente de variación entregable mantenimiento vaina
Fuente: Elaboración propia

Se observa que la actividad de menor y mayor coeficiente de variación es el **armado de andamio** con 0,62 y **torque revisado vainas** con 1,15 respectivamente. Luego respecto a este último lo siguen **Entregado para instalación** y **Reporte de inspección** recibido cuya desviación estándar es prácticamente de igual magnitud que el tiempo de ejecución, con un coeficiente de variación de 0,97 y 0,98 respectivamente.

Se presenta en Tabla 10, un resumen de cada una de las actividades del entregable mantener vaina. Está compuesta por cuatro grupos de datos, estos son: Estadísticos empíricos (**destacados en azul**) Media, Desviación estándar y varianza, además de los mismos estadísticos, pero los estimados (**destacados en verde**), se indica también la distribución resultante del ajuste realizado, (**destacado en plomo**) junto a sus respectivos

parámetros estimados (**destacado en naranja**). La descripción que se realiza aplica a las otras tres tablas resumen que se muestran en los restantes entregables de mantenimiento.

		Armar andamio(FE, vainas, tx)	Error Estándar	Retirada	Error Estándar	Mantenimiento lista	Error Estándar	En inspección	Error Estándar	Reporte recibido	Error Estándar	Entregado para instalación	Error Estándar	Instalada	Error Estándar	Torque revisado	Error Estándar
Datos	Media	2.021		2.932		6.027		0.936		3.033		3.581		3.409		1.302	
	Desv. Est	1.258		2.526		4.611		0.656		2.984		3.471		2.893		1.492	
	Varianza	1.582		6.379		21.260		0.430		8.904		12.048		8.369		2.226	
Estadísticos estimados	Media	2.07		3.01		6.15		0.93		3.82		4.36		3.40		1.30	
	Desv. Est	1.58		3.21		4.57		0.68		8.72		8.72		3.06		1.43	
	Varianza	2.501		10.336		20.910		0.463		76.030		76.052		9.389		2.05	
Ajuste	Distribución	Log-normal		Log-normal		Logística		Weibull (2)		Log-normal		Log-normal		Weibull (2)		Weibull (2)	
Parámetros estimados	μ	0.499	0.063	0.719	0.084	3.687	0.329			0.426	0.112	0.666	0.112				
	sigma	0.678	0.045	0.873	0.059					1.352	0.082	1.269	0.078				
	beta							1.388	0.097					1.112	0.089	0.909	0.085
	gamma							1.022	0.066					3.539	0.308	1.243	0.169
	μ					4.020	0.251										

Tabla 10: Tabla resumen estadísticos entregable mantenimiento vaina
Fuente: Elaboración propia

8.3.3 Entregable mantenimiento placa orificio

Se presenta un mapa conceptual en Figura 16, referente al mantenimiento de placas orificio.

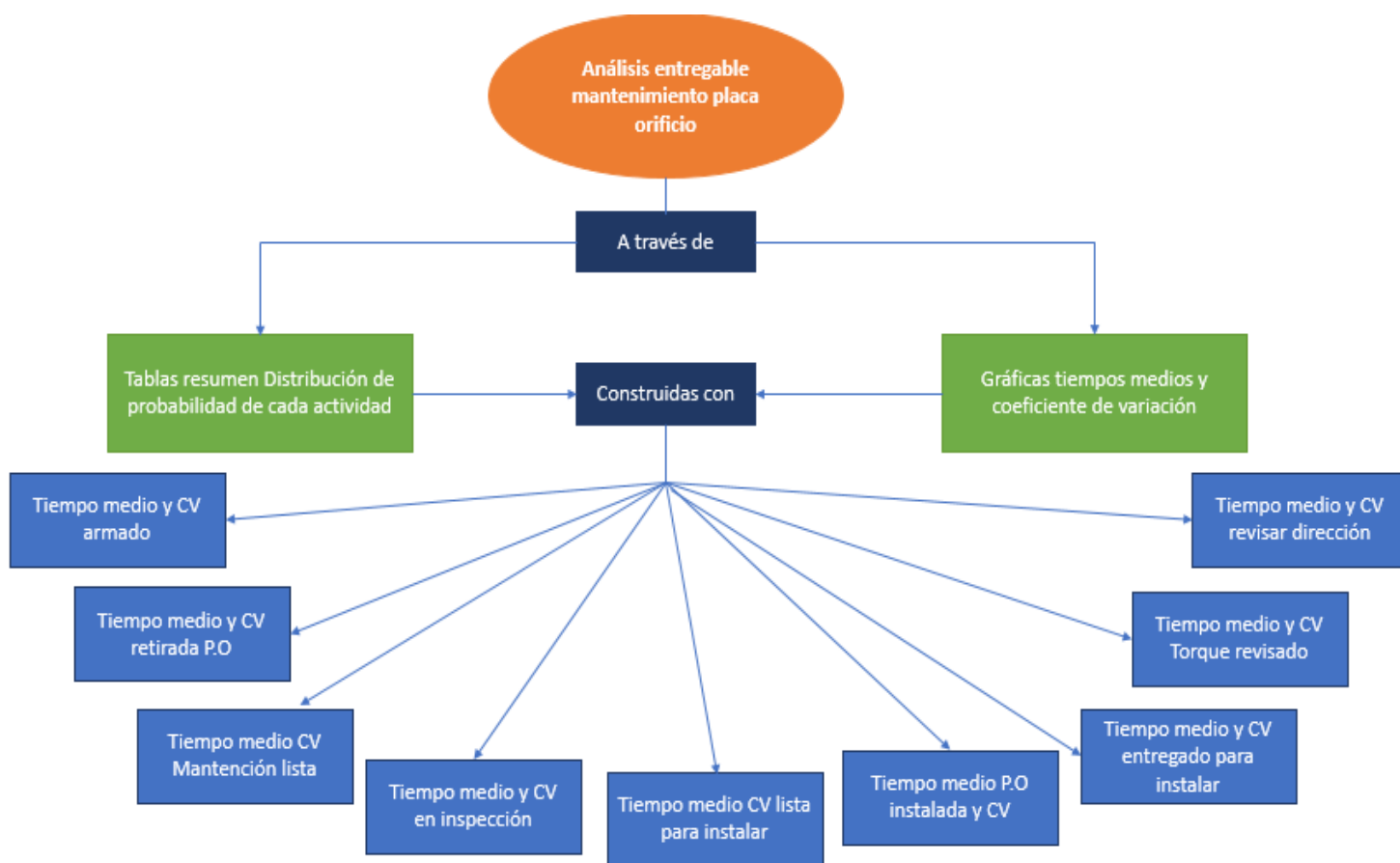


Figura 16: Mapa conceptual análisis entregable mantenimiento placa orificio
Fuente: Elaboración propia

Se observa que el objetivo es analizar las actividades de mantenimiento del entregable mantener placa orificio, a través de tablas resumen, gráficas de tiempos medios y coeficiente de variación de cada una de ellas. A continuación, se procede con una breve descripción, de cada actividad necesaria para cumplir con el entregable, seguido a ello construir las gráficas y tablas para posterior análisis.

8.3.3.1 Actividades que componen el entregable mantener placa orificio (F.O)

- **Armado de andamio:** Esta actividad es común tanto para vainas, placas orificio y transmisores, por tanto, los datos de tiempos de cada una ellas referente a armado de andamio fue analizado en conjunto como solo un grupo de datos.
- **Placa orificio retirada:** Tiempo que demora actividad desde que es entregada a contratista para retiro hasta que el retiro se hace efectivo.
- **Mantención lista:** Tiempo que demora actividad desde que placa orificio se retira hasta que se realiza mantención.
- **En inspección:** Tiempo que demora actividad desde que se recibe con mantención hasta entregarla para inspección.
- **Lista para instalar:** Tiempo que demora actividad desde que se entrega para inspección y se recibe reporte.
- **Entregado para instalar:** Tiempo que demora la actividad desde que se recibe reporte de inspección hasta entrega a contratista para su instalación.
- **Placa orificio instalada:** Tiempo que demora la actividad desde entrega para instalación hasta que se instala.
- **Revisar dirección de flujo:** Tiempo que demora la actividad desde que se instala hasta revisar dirección de flujo.
- **Torque revisado Placa orificio:** Tiempo que demora la actividad desde que se revisa dirección de flujo hasta que se realiza revisión de torque.

A continuación, en el Gráfico 3, se presenta un resumen de los tiempos medios, junto a su desviación estándar y coeficiente de variación. Estos se obtienen de los datos empíricos que se registran en el paro de mantenimiento 2015 en ERA.

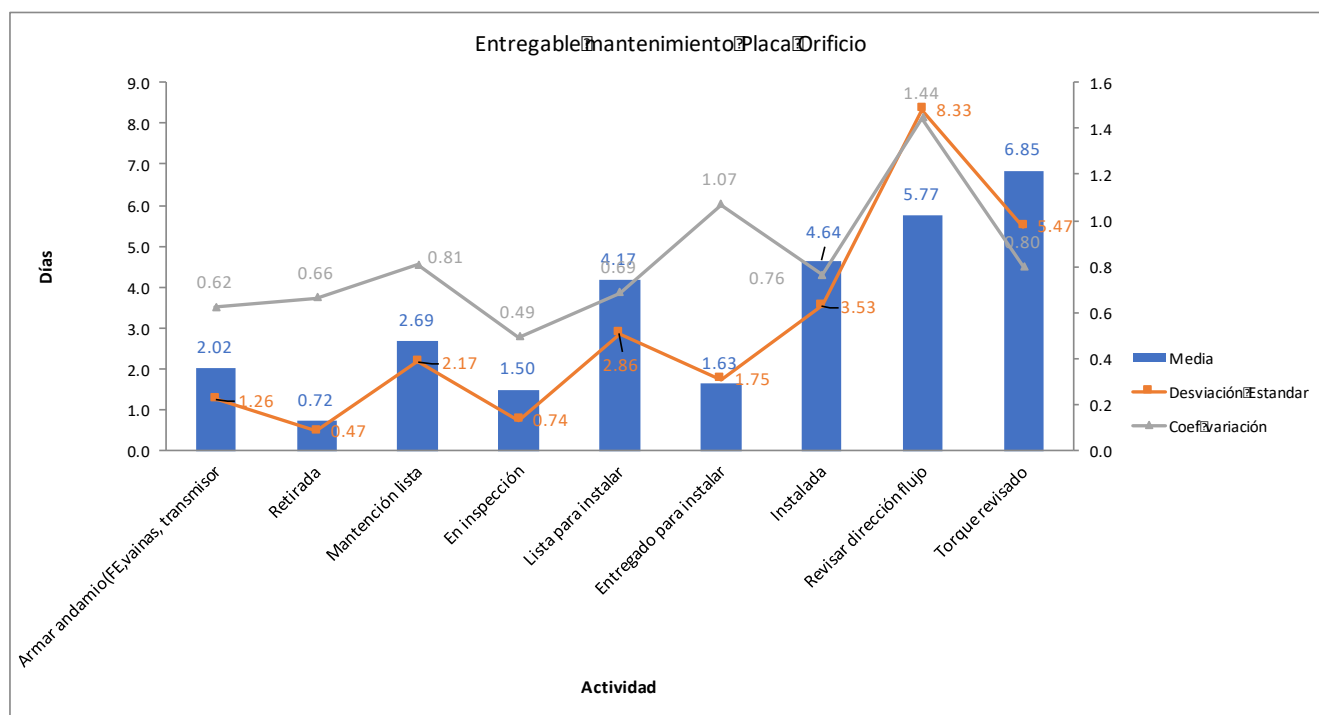


Gráfico 3: Estadísticos de entregable mantenimiento placa orificio
Fuente: Elaboración propia

Se observa que la actividad con mayor tiempo medio de ejecución, es la **revisión de torque** con 6,85 días, con una desviación estándar de 5,47 días. Luego la de menor tiempo medio de ejecución es la **actividad Retirada FE**, con 0,72 días y una desviación estándar de 0,47.

A continuación, en el Gráfico 4, se presentan los coeficientes de variación de cada actividad ordenados de menor a mayor magnitud.

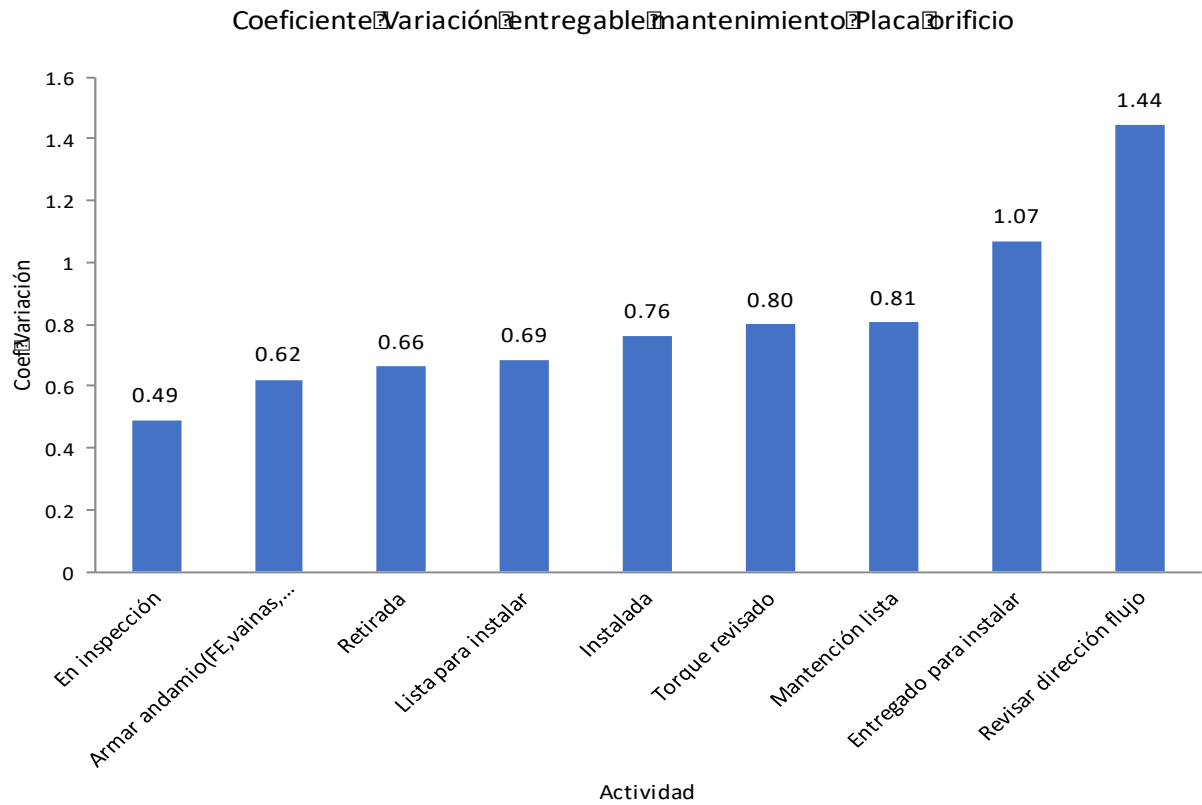


Gráfico 4: Coeficiente de variación entregable mantenimiento placa orificio
Fuente: Elaboración propia

Se observa que el menor y mayor valor de coeficiente de variación en magnitud es **En inspección con 0,49** y **Revisar dirección de flujo con 1,44** respectivamente. Luego se presenta en la Tabla 11, un resumen con los datos de cada una de las actividades del entregable **mantener Placa orificio**.

		Armar andamio(FE, vainas, transmisor)	Error Estándar	Retirada	Error Estándar	Mantenimiento lista	Error Estándar	En inspección	Error Estándar	Lista para instalar	Error Estándar	Entregado para instalar	Error Estándar	Instalada	Error Estándar	Revisar dirección flujo	Error Estándar	Torque revisado	Error Estándar	
Datos	Media	2.021		0.716		2.687		1.500		4.171	4.180	1.630		4.642		5.770		6.847		
	Desv. Est	1.258		0.474		2.167		0.738		2.863		1.745		3.535		8.328		5.470		
	Varianza	1.582		0.225		4.695		0.545		8.195	9.443	3.047		12.495		69.362		29.925		
Estadísticos estimados	Media	2.072		0.683		2.681		1.499		4.991		2.208		4.724		7.937		6.847		
	Desv. Est	1.582		0.485		2.369		0.736		3.896		5.818		3.705		45.937		0.146		
	Varianza	2.501		0.235		5.614		0.542		15.181		33.844		13.729		2110.224		0.021		
Ajuste	Distribución	Log-normal		Logística		Weibull (2)		Weibull (2)		Fisher-Tippett (2)			Log-normal		Beta4		Log-normal		Exponencial	
Parámetros estimados	μ	0.499	0.063	0.683	0.056					2.797	0.224	-0.244	0.171			0.301	0.210			
	sigma	0.678	0.045									1.439	0.116			1.882	0.148			
	beta					1.134	0.108	2.144	0.187	2.396	0.296			1.603	0.023					
	gamma					2.805	0.250	1.692	0.095											
	μ																			
	k																			
	alfa													0.727	0.023					
	c													0.171						
	d													14.767						
lambda																	0.146	0.017		
s			0.267	0.026																

Tabla 11: Tabla resumen estadísticos entregable mantenimiento placa orificio
Fuente: Elaboración propia

8.3.4 Entregable mantenimiento transmisor

Se presenta en Figura 17, un mapa conceptual referente al mantenimiento de transmisores.

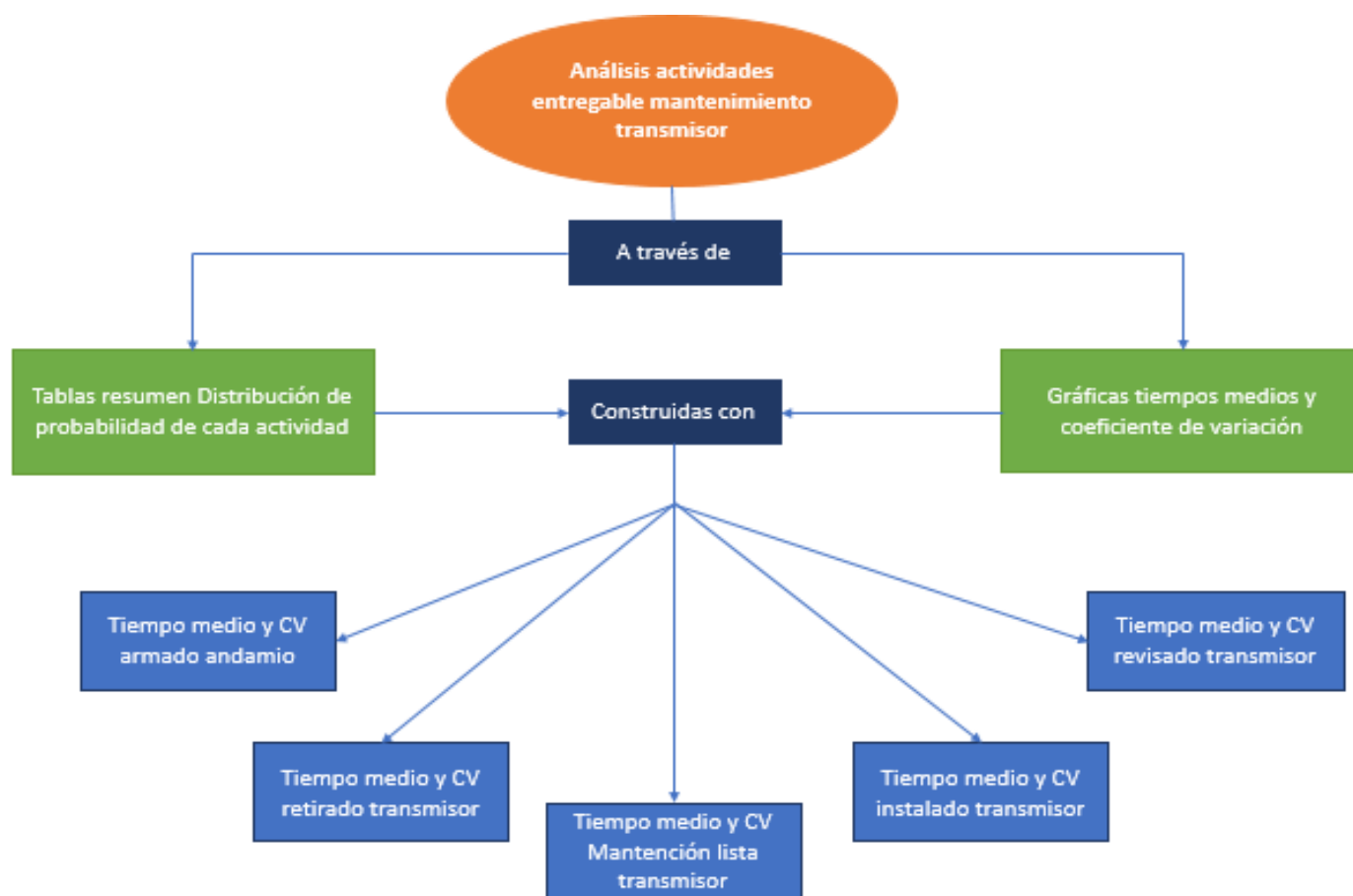


Figura 17: Mapa conceptual análisis entregable mantenimiento transmisor

Fuente: Elaboración propia

Se observa que el objetivo es analizar las actividades de mantenimiento del entregable mantener transmisores, a través de tabla resumen, gráficas de tiempos medios y coeficiente de variación de cada una de ellas. Luego, se procede a una explicación breve de las actividades necesarias para conseguir el entregable, seguido a ello, construir las gráficas y tablas mencionadas para posterior análisis.

8.3.4.1 Actividades que componen entregable mantener transmisores

Las actividades a calcular son las siguientes:

- **Armado de andamio:** Esta actividad es común tanto para vainas, placas orificio y transmisores, por tanto, los datos de tiempos de cada una ellas referente a armado de andamio fue analizado en conjunto como solo un grupo de datos.
- **Retirado transmisor:** Tiempo que demora actividad desde que es entregado a contratista para retiro, hasta que se retira transmisor.
- **Mantención lista transmisor:** Tiempo que demora actividad desde que es retirado hasta que se realiza mantención.
- **Transmisor instalado:** Tiempo que demora actividad desde que se realiza la mantención hasta que se instala.
- **Transmisor revisado:** Tiempo que demora actividad desde que se instala hasta que es revisado en terreno.

En el Gráfico 5, se muestran los estadísticos del entregable mantenimiento transmisores.

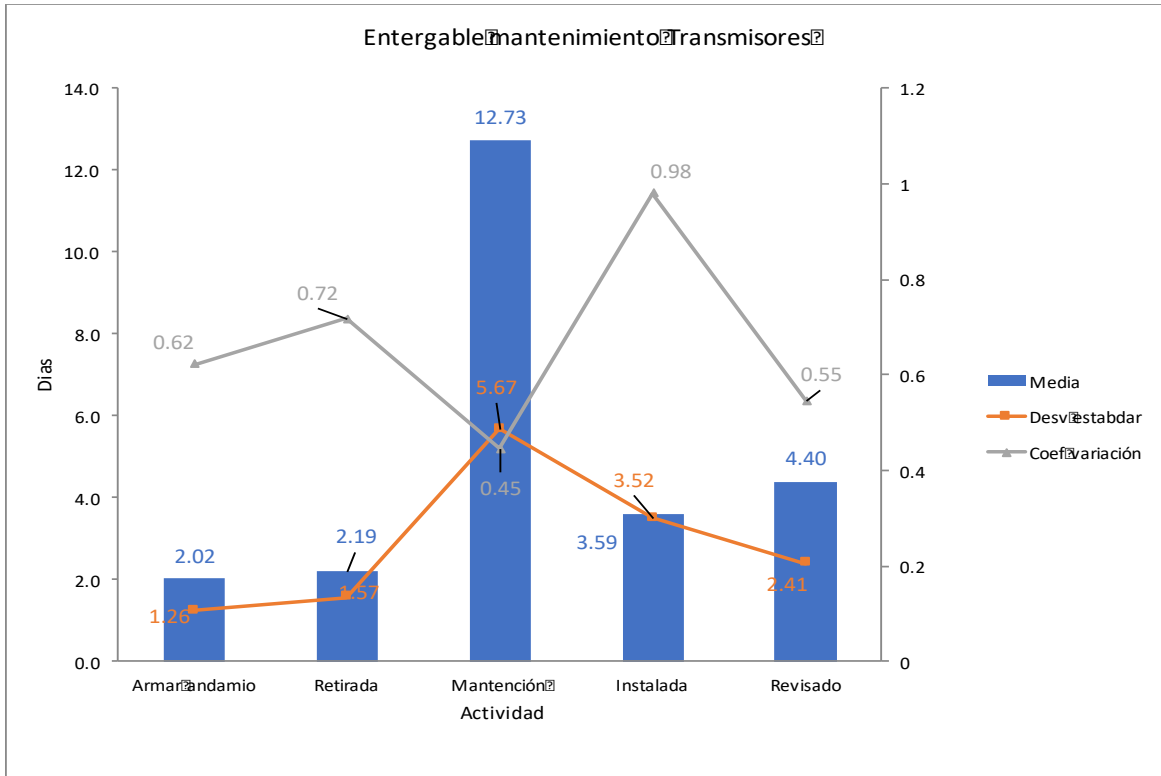


Gráfico 5: Estadísticos de entregable mantenimiento transmisores
Fuente: Elaboración propia

Se aprecia que la actividad con mayor tiempo de duración es **mantención** de Tx (transmisor) y la menor es **Armado de andamio**, con 12,73 días y 2,02 días respectivamente.

A continuación, en el Gráfico 6, se presentan los coeficientes de variación de cada actividad ordenados de menor a mayor magnitud.

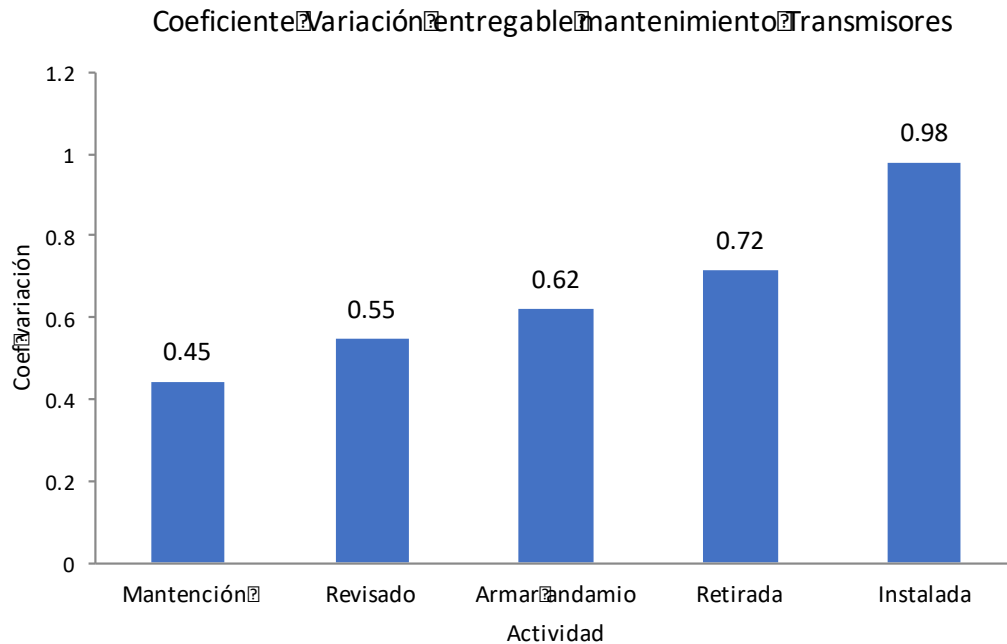


Gráfico 6: Coeficiente de variación entregable mantenimiento transmisores
Fuente: Elaboración propia

Se observa que la actividad con menor y mayor coeficiente de variación es **Mantención** con 0,45 e **Instalada** con 0,98 respectivamente.

A continuación, como se realiza con los demás entregables de mantenimiento, se presenta en Tabla 12, resumen con los datos estadísticos fundamentales para el análisis de las diversas actividades del entregable mantener Transmisor.

		Armar andamio	Error Estándar	Retirada	Error Estándar	Mantenimiento	Error Estándar	Instalada	Error Estándar	Revisado	Error Estándar
Datos	Media	2.021		2.193		12.734		3.588		4.399	
	Desv. Est	1.258		1.573		5.668		3.515		2.406	
	Varianza	1.582		2.476		32.130		12.357		5.791	
Estadísticos estimados	Media	2.072		2.181		12.520		3.588		4.425	
	Desv. Est	1.582		1.703		5.769		3.665		2.461	0.000
	Varianza	2.501		2.901		33.276		13.434		6.057	
Ajuste	Distribución	Log-normal		Weibull (2)		Logística		Weibull (2)		Beta4	
Parámetros estimados	μ	0.499	0.063			12.520	0.243				
	sigma	0.678	0.045								
	beta			1.291	0.100			0.979	0.082	1.142	0.025
	gamma			2.357	0.186			3.555	0.451		
	s					3.180	0.149				
	k										
	alfa									1.155	0.0406
	c									-0.070	
	d									8.868	
	lambda										

Tabla 12: Tabla resumen estadísticos entregable mantenimiento transmisores
Fuente: Elaboración propia

8.3.5 Análisis de los tiempos y variables de las actividades de los entregables

Se advierte, al revisar la Tabla 12 y comparar las tablas y gráficas de los entregables anteriormente descritos, ocurre por ejemplo en el tiempo medio para el retiro e instalación de una vaina con 2,93 y 3,41 días respectivamente y para una placa orificio en el mismo orden con 0,72 y 4,64 días, es significativamente mayor el tiempo de retiro de una vaina que el de una placa orificio. Luego según criterio experto a pesar de no contar con el tiempo esperado obtenido con alguna técnica sistemática y cuantitativa, en términos cualitativos el retiro y/o instalación de una placa orificio es igual o mayor que en una vaina. En la Figura 18, se muestra una placa orificio junto a un transmisor y en la Figura 19, una termocupla con su respectiva vaina. En ambos casos instalados.



*Figura 18: Placa orificio junto a transmisor
Fuente: Elaboración propia*



Figura 19: Termocupla inserta en vaina
Fuente: Elaboración propia

Además, la actividad relacionada con el trabajo de esta última, por lo general se realiza sobre una plataforma provisoria o andamio, lo que dificulta el mismo, impactando por tanto en su tiempo de ejecución. Luego, la actividad de instalación, el tiempo de ejecución en vainas es de 3.41 días y el de placa orificio de 4.64 días. Por lo tanto, el tiempo de ejecución según criterio experto, se cumple para el proceso de instalación y no para el de retiro.

Otro caso de análisis:

El tiempo medio de mantención de una placa orificio según los datos empíricos es de 2,69 días. Tiempo excesivo según criterio experto y excesivo al comparar con los 2,021 días que demora el armado de andamio. De igual manera ocurre con el tiempo medio de retiro de

un transmisor igual a 2,19 días, excesivo nuevamente según criterio experto, tiempo que según él no debe superar 2 horas de trabajo en promedio.

Por otro lado, la magnitud elevada del coeficiente de variación en las actividades refleja lo descrito en los dos últimos párrafos, es decir la inconsistencia en algunos casos de los tiempos registrados versus los estimados cualitativamente según criterio experto y se explica debido a que todas ellas son ejecutadas por el mismo equipo de personas, en el caso analizado son ocho las encargadas de retirar, mantener, e instalar, trabajo que se realiza en los tres entregables (mantención vaina, placas orificio y transmisores) en el paro de mantenimiento programado. Lo que significa que en un instante del día se pueden dedicar a retirar vainas, luego placas orificio y transmisores, otro día solo se retiran transmisores o placas orificio, todo de manera aleatoria. Otro ejemplo: Durante un día retiran cuatro vainas, luego dos placas orificio, un transmisor, para posteriormente retirar una placa orificio y finalmente dos vainas. Luego, al día siguiente y aún en fase de retiro, se trabaja solo en placas orificio, al siguiente solo vainas. Se aprecia con ello la aleatoriedad en la intervención de las actividades, para este análisis la de retiro, pero ocurre en todas las actividades de los tres entregables a mantener, generando con ello, una combinación de posibilidades de secuencias de intervención en las mismas, lo que se explica por una dotación de personal técnico con una cantidad definida de personas, encargadas de retirar, mantener e instalar toda la instrumentación. El resultado es la alta variabilidad (magnitud) de algunas actividades y tiempos medios elevados de ejecución. Es por ello, se entiende y deduce que las actividades **no son independientes y están sesgadas.**

El sesgo a pesar de no permitir inferir los tiempos de las actividades involucradas de manera independiente, para ser utilizadas en paros venideros, si es interesante analizar por el impacto que tiene en la varianza de cada actividad, sobre todo por la secuencialidad de estas y el retraso que provocan en algunas de ellas **impactando por tanto en los objetivos del proyecto**. Se advierte como se menciona en el párrafo anterior una elevada desviación estándar en varias actividades de los tres entregables a realizar en el paro de mantenimiento. Se entiende que a mayor variabilidad mayor riesgo en cumplir los objetivos del proyecto, en este caso en los tiempos y alcance del mismo.

Por otra parte, hay actividades que dependen de otras áreas y por la secuencialidad mencionada, sin ellas no es posible continuar con el proceso de mantenimiento, como es el caso de las actividades de inspección y reporte de vainas y placas orificio. Las áreas involucradas corresponden a División de Ingeniería de Mantenimiento (DIM), quienes tienen dentro de su alcance en el paro de mantenimiento la inspección de vainas. Luego los encargados de inspeccionar las placas orificio pertenecen a la división equipos estáticos. Las inspecciones también se encuentran expuestas a sesgo, ya que estas deben atender las otras plantas que se encuentran en paro de mantenimiento, en este caso plantas de área Hidrógeno y Cracking. Luego el tiempo de ejecución medio de la actividad de inspección de vainas con sesgo involucrado es como se aprecia en Tabla 10 de 0,94 días y un coeficiente de variación de 0,70. El ajuste de distribución da como resultado una Log Normal de parámetros (0,426; 1,352). Por el hecho de ser sesgada implica que en esta ocasión la distribución de probabilidad de tiempos asociados resulta en una Log normal, pero en paros de mantenimiento siguientes puede resultar en cualquier otra distribución, mientras la actividad no sea independiente. Es importante aclarar por tanto que el ajuste de distribución obtenido

en las distintas actividades de los tres entregables analizados **es una distribución puntual del propio paro de mantenimiento** y al igual que el caso de la distribución Log Normal de la actividad de reporte de inspección, en otro paro de mantenimiento puede resultar cualquier otra mientras las actividades no sean independientes. Lo que se puede desprender de la situación es que dada la secuencialidad de las actividades en los procesos y por ende el impedimento de continuar con el proceso de instalación y la alta variabilidad o riesgo en la actividad de reporte de inspección, la espera excesiva en casos puntuales puede complicar la búsqueda de repuesto en el caso en que el informe implique una cambio o reparación del elemento, por el escaso tiempo remanente de reacción, dado el tiempo medio de ejecución.

Por lo comentado y para eliminar o mitigar el sesgo que se observa en el tiempo medio de las actividades, se agrupan algunas de ellas entre entregables, que tengan algún tipo de relación. En este caso ocurre con las actividades de **armado de andamio, retiro, mantención e instalación** de vainas, placas orificio y transmisores. Mediante la acción mencionada es posible eliminar el sesgo de las actividades, pero en su contraparte se pierde visión de la actividad independiente en post de la actividad grupal analizada. Por lo tanto, el resultado es el tiempo medio con menor sesgo de: Armado de andamio (vaina, placa orificio, transmisor), Retiro (vaina, placa orificio, transmisor), Mantención (vaina, placa orificio, transmisor) e Instalación (vaina placa orificio, transmisor).

Al proceso de agrupación se nombra como **actividades comunes(agregadas)**, las que son analizadas a continuación, bajo la misma estructura que los entregables mantener vaina, placa orificio y transmisores.

8.3.5.1 Mantenimiento actividades comunes

A continuación, en la Figura 20, se muestra un mapa conceptual sobre cómo se procede al análisis de las actividades comunes.

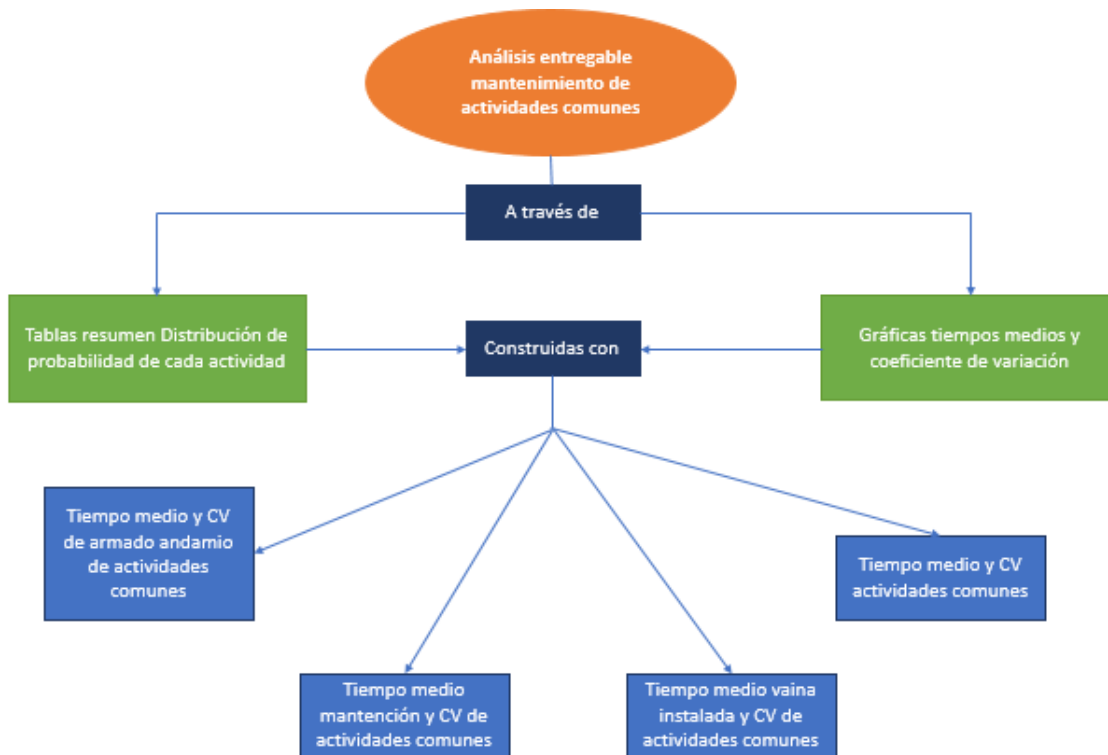


Figura 20: Mapa conceptual análisis entregable mantenimiento actividades comunes
Fuente: Elaboración propia

Tal y como se ha descrito en los tres mapas conceptuales anteriores, el análisis que se realiza sobre los gráficos y tablas, se construye en base a los tiempos medios y coeficientes de variación de las actividades comunes.

A continuación, se comienza con la descripción básica de las actividades, para luego construir las gráficas y tablas asociadas.

8.3.5.1.1 Análisis actividades comunes

- **Armado de andamio de vaina, placa orificio, transmisor:** Tiempo que dura actividad desde que se entrega a contratista para armar hasta que se realiza.
- **Retiro de vaina, placa orificio, transmisor.** Tiempo que dura la actividad desde que se entrega para retiro, hasta que finalmente se realiza.
- **Mantención de vaina, placa orificio, transmisor:** Tiempo que dura la actividad desde que se retira hasta que se realiza el mantenimiento respectivo.
- **Instalación de vaina, placa orificio, transmisor:** Tiempo que demora actividad desde que finaliza mantención hasta que se instala instrumento respectivo.

Luego, en el Gráfico 7, se presenta un resumen de las cuatro actividades mencionadas a analizar con los datos empíricos tanto de la media como la desviación estándar y coeficiente de variación.

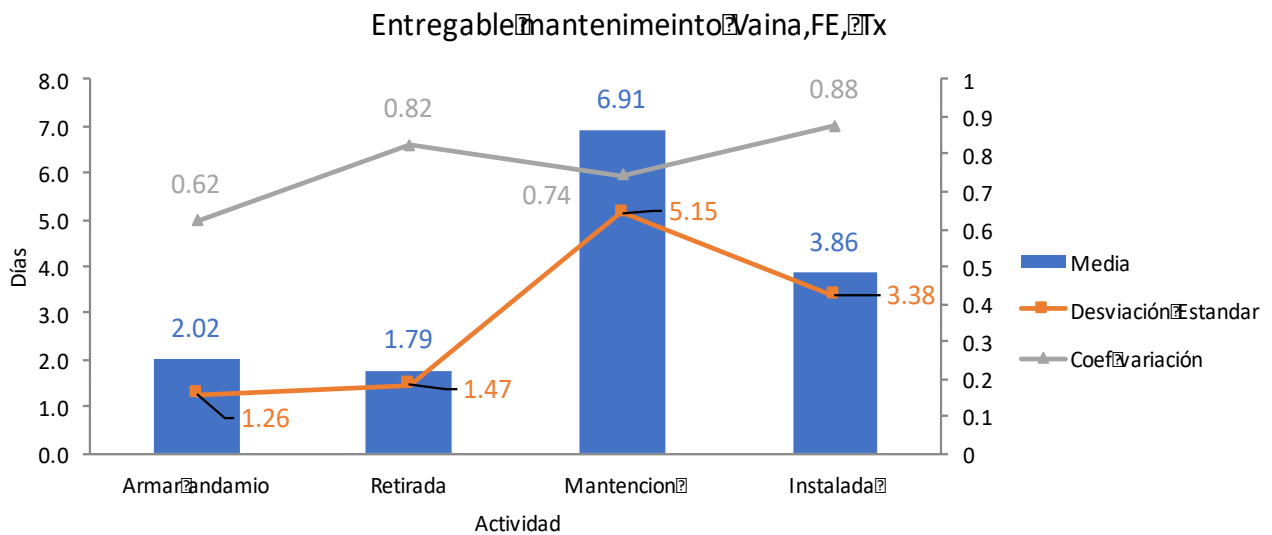


Gráfico 7: Tiempos medios, desviación estándar y coeficiente variación actividades comunes
Fuente: Elaboración propia

Se observa que actividad con mayor tiempo de ejecución es la de **Mantenimiento** con **6,91** días, y una desviación estándar de **5,15** días. Luego la de menor tiempo es la actividad **Retirada** con **1,79** días y desviación estándar de **1,47** días. Se presenta en el Gráfico 8, una gráfica con los coeficientes de variación de las actividades comunes ordenadas de menor a mayor magnitud.

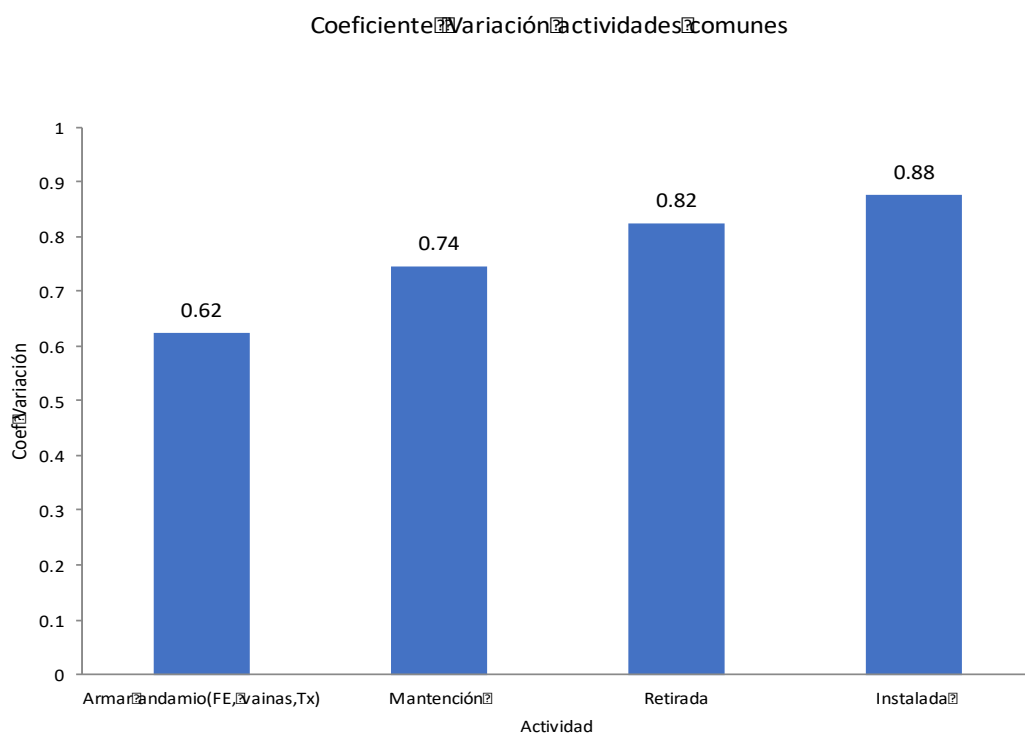


Gráfico 8: Coeficiente de variación actividades comunes
Fuente: *Elaboración propia*

Se aprecia que el coeficiente de variación mínimo y máximo de las actividades comunes de mantenimiento son, **Armar andamio** con 0,62 e **instalada** con 0,88 respectivamente. Dado que en estas actividades se mitiga la no independencia de las mismas, se realiza un ajuste de distribución y análisis de ellas, con lo que se busca encontrar la distribución asociada para determinar tiempos medios esperados en paros venideros.

8.3.5.1.2 Ajuste de distribución de actividades comunes

Luego se procede a realizar el ajuste de distribución de las actividades agrupadas, como sigue:

- a. Ajuste de distribución de actividades comunes:** La distribución que se ajusta mejor a los datos para la prueba de bondad de ajuste es la distribución Log-normal, como se muestra en Tabla 13, con un “valor p” de 0,894.

Distribución	valor-p
Beta4	0.525
Chi-cuadrado	0.026
Erlang	0.001
Exponencial	<0,0001
Fisher-Tippett(1)	<0,0001
Fisher-Tippett(2)	0.441
Gamma(1)	<0,0001
Gamma(2)	0.654
GEV	0.032
Gumbel	<0,0001
Log-normal	0.894
Logística	0.207
Normal	0.010
Normal(estándar)	<0,0001
Student	<0,0001
Weibull(1)	<0,0001
Weibull(2)	0.282
Weibull(3)	0.425

Tabla 13: Bondad de ajuste
Fuente: Elaboración propia

Se presentan los parámetros estimados de la distribución en Tabla 14.

Parámetro	Valor	Error estándar
μ	0.499	0.063
sigma	0.678	0.045

Tabla 14: Parámetros estimados de la distribución

Fuente: Elaboración propia

Luego se muestran los estadísticos de Log-verosimilitud en Tabla 15.

Log-verosimilitud (LV)	-177.32
BIC(LV)	364.147
AIC(LV)	358.64

Tabla 15: Estadísticos de Log-verosimilitud
Fuente: Elaboración propia

Los estadísticos estimados sobre los datos y calculados utilizando los parámetros estimados de la distribución Log-normal se muestran en Tabla 16.

Estadístico	Datos	Parámetros
Media	2.021	2.072
Varianza	1.582	2.501
Asimetría (Pearson)	0.945	2.735
Curtosis (Pearson)	0.168	15.721

Tabla 16: Estadísticos estimados
Fuente: Elaboración propia

A continuación, en Tabla 17 se realiza la prueba de Kolmogorov-Smirnov con un 95% de confianza.

D	0.052
valor-p	0.894
alfa	0.05

Tabla 17: Prueba de Kolmogorov-Smirnov
Fuente: Elaboración propia

Interpretación de la prueba:

H0: La muestra sigue una distribución Log-normal

Ha: La muestra no sigue una distribución Log-normal

Puesto que el valor-p calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0,05$, no

se puede rechazar la hipótesis nula H_0 . El riesgo de rechazar la hipótesis nula H_0 cuando es verdadera es de 89,43%.

En el Gráfico 9 se muestran las frecuencias de tiempos medios observados y las teóricas:

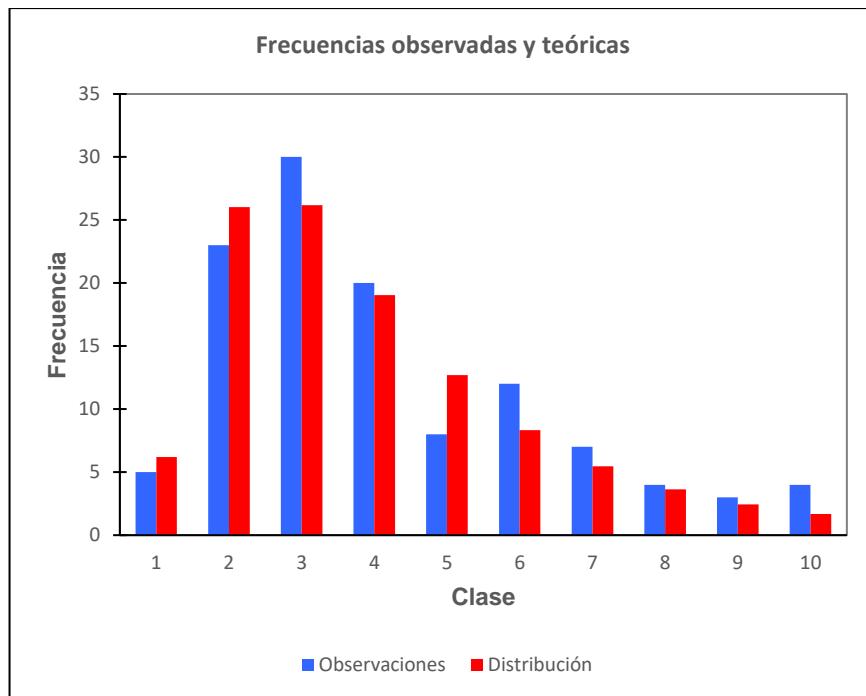


Gráfico 9: Frecuencia de tiempos observados y teóricos
Fuente: Elaboración propia

Luego se presenta el Gráfico 10, correspondiente al histograma de los tiempos medios de las observaciones superpuestas a la distribución de probabilidad ajustada, en este caso Log Normal.

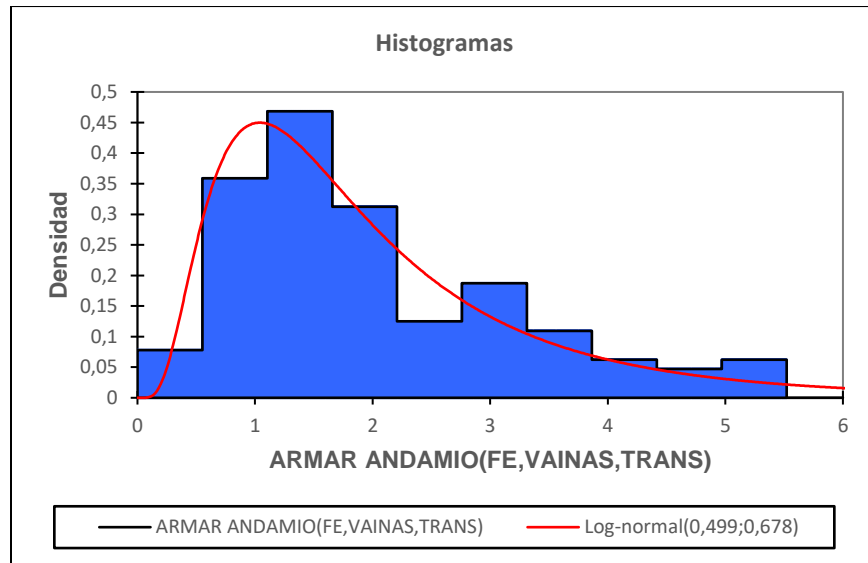


Gráfico 10: Histograma observado y función de densidad teórica
Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 11, se muestra la frecuencia relativa acumulada de las observaciones y la ajustada, que corresponde a Log Normal.

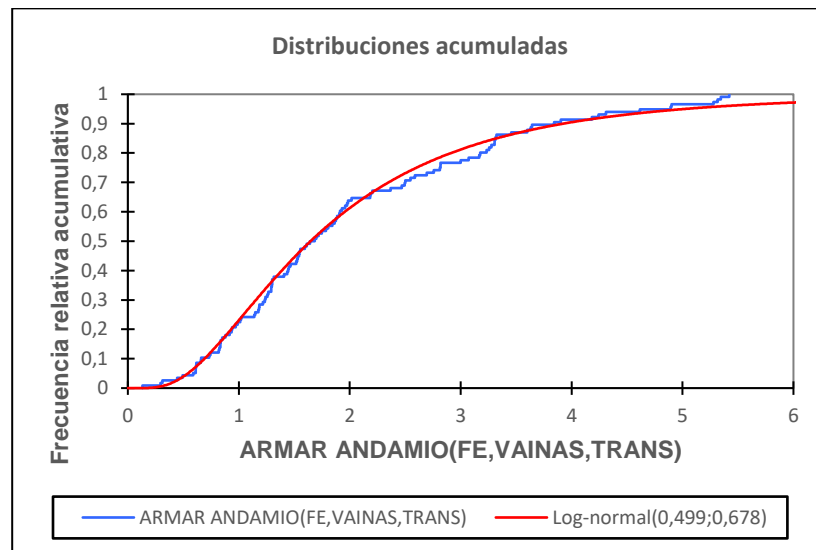


Gráfico 11: Frecuencia relativa y acumulada
Fuente: Elaboración propia

Como se ha mencionado, la distribución que mejor se ajusta es una Log Normal (μ, σ) .

Su función de densidad se define como:

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}}; \text{ con } \mu, \sigma > 0$$

La esperanza y varianza de x se definen como:

$$E(x) = e^{(\mu + \frac{\sigma^2}{2})}; \quad V(x) = (e^{\sigma^2} - 1)e^{2\mu + \sigma^2}$$

Luego, los parámetros calculados son:

$$\mu = 0,499$$

$$\sigma = 0,678$$

Los estadísticos estimados de la actividad son:

$$E(x) = 2,072$$

$$V(x) = 2,501$$

b. Retiro de vaina, placa orificio, transmisor: La distribución que se ajusta mejor a los datos para la prueba de bondad de ajuste es la distribución Weibull (2), como se aprecia en Tabla 18, con un “valor p” de 0,741.

Distribución	valor-p
Beta4	0.193
Chi-cuadrado	0.215
Erlang	< 0,0001
Exponencial	0.006
Fisher-Tippett (1)	< 0,0001
Fisher-Tippett (2)	0.055
Gamma (1)	< 0,0001
Gamma (2)	0.532
GEV	< 0,0001
Gumbel	< 0,0001
Log-normal	0.005
Logística	0.001
Normal	< 0,0001
Normal (estándar)	< 0,0001
Student	< 0,0001
Weibull (1)	< 0,0001
Weibull (2)	0.741
Weibull (3)	0.355

Tabla 18: Bondad de ajuste
Fuente: Elaboración propia

Se presentan los parámetros estimados de la distribución en Tabla 19.

Parámetro	Valor	Error estándar
beta	1.195	0.059
gamma	1.896	0.105

Tabla 19: Estadísticos estimados
Fuente: Elaboración propia

Luego se muestran los estadísticos de Log-verosimilitud en Tabla 20.

Log-verosimilitud (LV)	-423.461
BIC(LV)	858.134
AIC(LV)	850.923

Tabla 20: Estadísticos de Log-verosimilitud
Fuente: Elaboración propia

Los estadísticos estimados sobre los datos y calculados utilizando los parámetros estimados de la distribución Weibull (2) se muestran en Tabla 21.

Estadístico	Datos	Parámetros
Media	1.787	1.785
Varianza	2.166	2.249
Asimetría (Pearson)	1.178	1.53
Curtosis (Pearson)	0.908	3.28

Tabla 21: Estadísticos estimados
Fuente: Elaboración propia

A continuación, en Tabla 22 se realiza la prueba de Kolmogorov-Smirnov con un 95% de confianza.

D	0.041
valor-p	0.741
alfa	0.05

Tabla 22: Prueba de Kolmogorov-Smirnov
Fuente: Elaboración propia

Interpretación de la prueba:

H0: La muestra sigue una distribución de Weibull (2)

Ha: La muestra no sigue una distribución de Weibull (2)

Puesto que el valor-p calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0,05$, no se puede rechazar la hipótesis nula H_0 . El riesgo de rechazar la hipótesis nula H_0 cuando es verdadera es de 74,09%.

Luego en el Gráfico 12, se muestran las frecuencias observadas de los tiempos medios y las teóricas resultantes del ajuste de distribución.

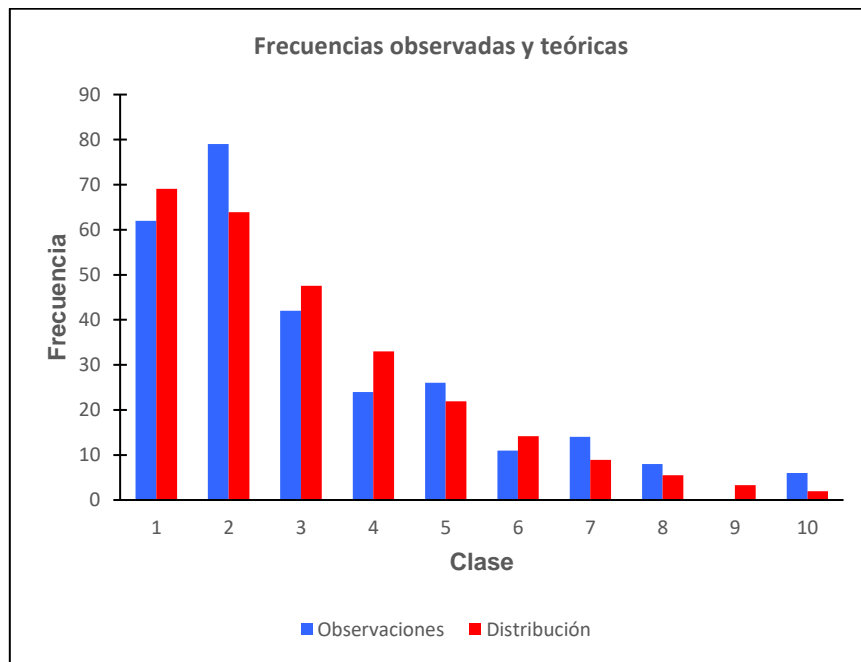


Gráfico 12: Frecuencia de tiempos observados y teóricos
Fuente: *Elaboración propia*

A continuación, en el Gráfico 13, se muestra un histograma de los tiempos medios versus la distribución ajustada teórica superpuesta.

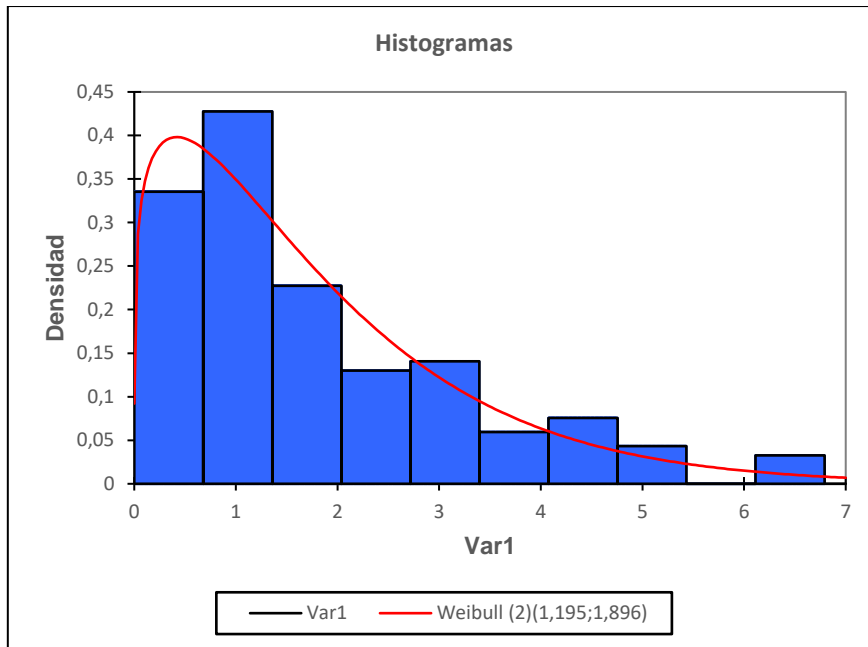


Gráfico 13: Histograma observado y función de densidad teórica
Fuente: Elaboración propia

Luego, se presenta el Gráfico 14, con las distribuciones acumuladas observadas y de la ajustada correspondiente a una Weibull de dos parámetros.

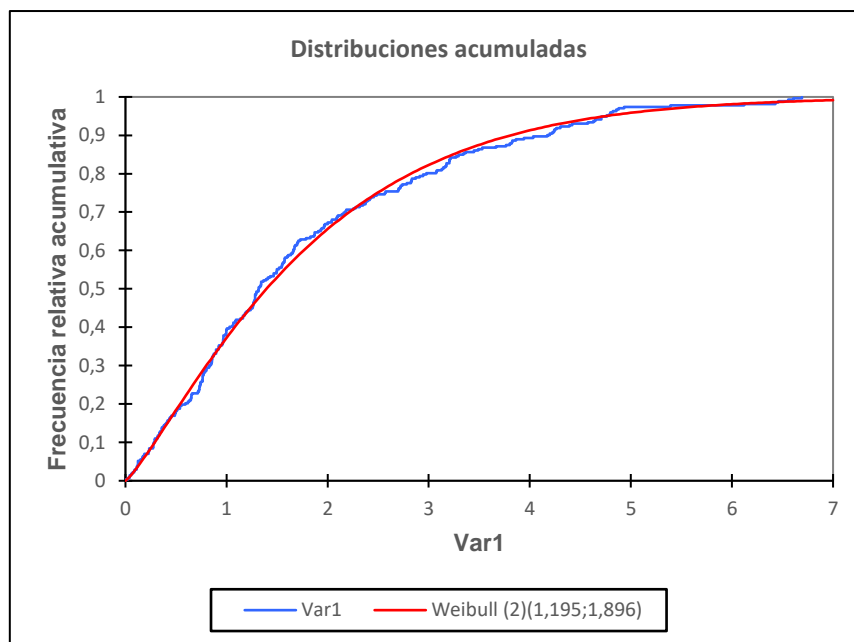


Gráfico 14: Frecuencia relativa y acumulada
Fuente: Elaboración propia

La distribución que mejor se ajusta como se ha mencionado a los datos de la muestra (valor “p” mayor), para la bondad de ajuste es una Weibull (β, γ) de dos parámetros. Su función de densidad se define como:

$$f(x) = \frac{\beta}{\gamma} \frac{x^{\beta-1}}{\gamma} e^{-\left(\frac{x}{\gamma}\right)^\beta}; \text{ con } \chi, \gamma, \beta > 0$$

La esperanza y varianza de x se define como,

$$E(x) = \gamma \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right); \quad V(x) = \gamma^2 \left[\Gamma\left(\frac{2}{\beta} + 1\right) - \Gamma^2\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) \right]$$

Luego, los parámetros calculados son:

$$\beta = 1,195$$

$$\gamma = 1,986$$

Donde β , corresponde al parámetro de forma de la distribución y λ , al parámetro de escala.

Los estadísticos estimados de la actividad son:

$$E(x) = 1,78$$

$$V(x) = 2,24$$

c. **Mantenimiento de vaina, placa orificio, transmisor:** La distribución que se ajusta mejor a los datos para la prueba de bondad de ajuste es la distribución Beta4, como se muestra en Tabla 23, con “valor p” de 0,188.

Distribución	valor-p
Beta4	0.188
Chi-cuadrado	< 0,0001
Erlang	< 0,0001
Exponencial	< 0,0001
Fisher-Tippett (1)	< 0,0001
Fisher-Tippett (2)	0.016
Gamma (1)	< 0,0001
Gamma (2)	0.000
GEV	0.014
Gumbel	< 0,0001
Log-normal	< 0,0001
Logística	0.004
Normal	0.015
Normal (estándar)	< 0,0001
Student	< 0,0001
Weibull (1)	< 0,0001
Weibull (2)	0.002
Weibull (3)	< 0,0001

*Tabla 23: Bondad de ajuste
Fuente: Elaboración propia*

Se presentan los parámetros estimados de la distribución en Tabla 24.

Parámetro	Valor	Error estándar
Alfa	0.956	0.001
Beta	2.094	0.007
C	-0.21	
D	23.133	0.621

*Tabla 24: Parámetros estimados de la distribución
Fuente: Elaboración propia*

Advertencia: El algoritmo ha convergido a un punto límite del espacio de parámetros.

Los estadísticos estimados sobre los datos y calculados utilizando los parámetros estimados de la distribución Beta4, se muestran en Tabla 25.

Estadístico	Datos	Parámetros
Media	6.911	7.11
Varianza	26.502	28.959
Asimetría (Pearson)	0.518	0.641
Curtosis (Pearson)	-0.582	-0.478

Tabla 25: Estadísticos estimados
Fuente: Elaboración propia

A continuación, en Tabla 26 se realiza la prueba de Kolmogorov-Smirnov con un 95% de confianza.

D	0.062
valor-p	0.188
alfa	0.05

Tabla 26: Prueba de Kolmogorov-Smirnov
Fuente: Elaboración propia

Interpretación de la prueba:

H0: La muestra sigue una distribución Beta4

Ha: La muestra no sigue una distribución Beta4

Puesto que el valor-p calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0,05$, no se puede rechazar la hipótesis nula H0. El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es de 18,84%.

Luego en el Gráfico 15, se muestran las frecuencias observadas de los tiempos medios y las teóricas resultantes del ajuste de distribución.

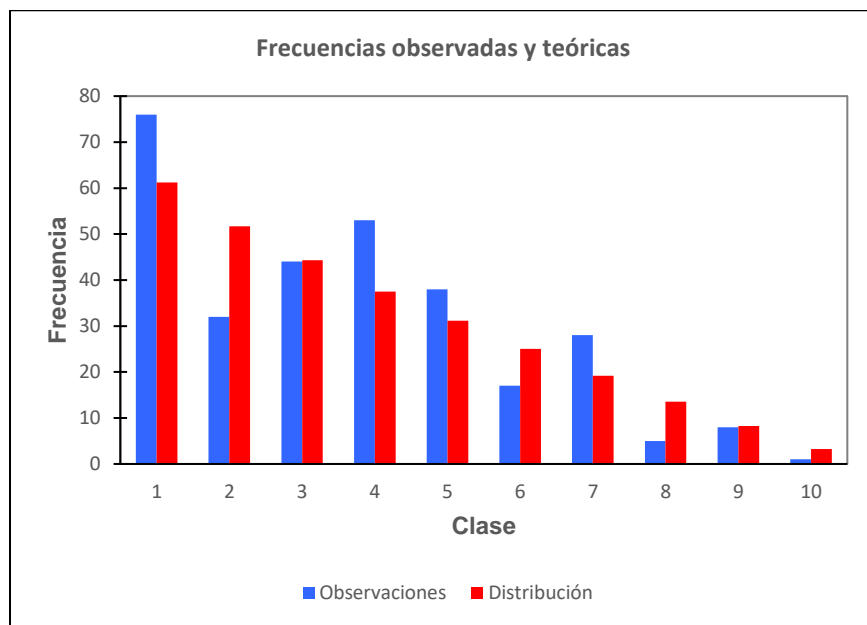


Gráfico 15: Frecuencia de tiempos observados y teóricos

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra un histograma en el Gráfico 16, de los tiempos medios versus la distribución ajustada teórica superpuesta.

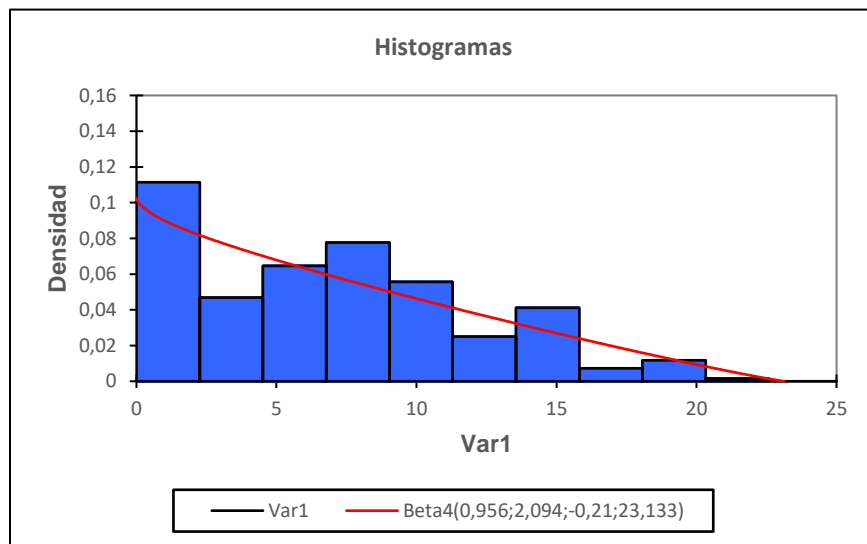


Gráfico 16: Histograma observado y función de densidad teórica

Fuente: Elaboración propia

Se muestra en el Gráfico 17, las distribuciones acumuladas observadas y la ajustada.

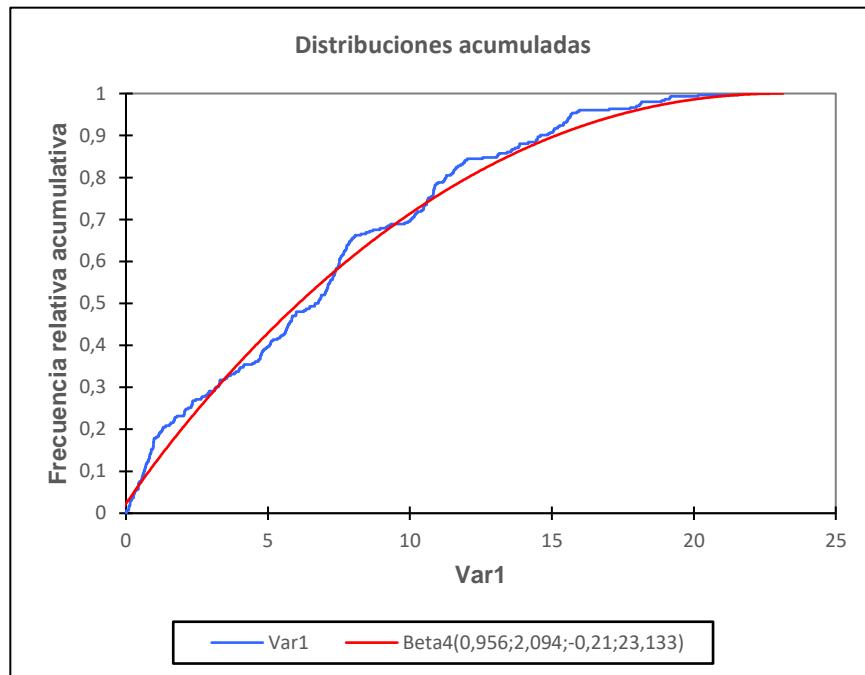


Gráfico 17: Frecuencia relativa y acumulada
Fuente: Elaboración propia

La función de distribución que mejor se ajusta como se ha mencionado, es una Beta $4(\alpha, \beta, c, d)$, como lo dice su nombre depende de 4 parámetros. Su función de densidad se define como:

$$f(x) = \frac{1}{B(\alpha, \beta)} \frac{(x - c)^{\alpha-1}}{(d - c)^{\alpha+\beta-1}} ; \text{ con } \alpha, \beta > 0, x \in [c, d]$$

$$c, d \in R, \text{ y } B(\alpha, \beta) = \frac{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)}{\Gamma(\alpha + \beta)}$$

La esperanza y varianza de x se definen como,

$$E(x) = \frac{c+(c-d)\alpha}{\alpha+\beta} ; \quad V(x) = \frac{(c-d)^2\alpha\beta}{(\alpha+\beta+1)(\alpha+\beta)^2}$$

Luego, los parámetros calculados son:

$$\alpha = 0,956$$

$$\beta = 2,094$$

$$c = -0,210$$

$$d = 23,133$$

La distribución Beta4 es obtenida por una transformación de variables, tal que la distribución es un intervalo $[c, d]$, donde c y d puede tener cualquier valor.

Los estadísticos estimados de la actividad son:

$$E(x) = 7,110$$

$$V(x) = 28,959$$

d. Instalación de vaina, placa orificio, transmisor: La distribución que se ajusta mejor a los datos para la prueba de bondad de ajuste es la distribución Weibull (2), como se muestra en Tabla 27, con un “valor p” de 0,169.

Distribución	valor-p
Beta4	0.064
Chi-cuadrado	< 0,0001
Erlang	< 0,0001
Exponencial	0.157
Fisher-Tippett (1)	< 0,0001
Fisher-Tippett (2)	0.004
Gamma (1)	< 0,0001
Gamma (2)	0.144
GEV	< 0,0001
Gumbel	< 0,0001
Log-normal	0.033
Logística	< 0,0001
Normal	< 0,0001
Normal (estándar)	< 0,0001
Student	< 0,0001
Weibull (1)	< 0,0001
Weibull (2)	0.169
Weibull (3)	0.002

Tabla 27: Bondad de ajuste
Fuente: Elaboración propia

Se presentan los parámetros estimados de la distribución en Tabla 28.

Parámetro	Valor	Error estándar
beta	1.083	
gamma	3.977	0.671

Tabla 28: Parámetros estimados de la distribución
Fuente: Elaboración propia

Luego se presentan los estadísticos de Log-verosimilitud en Tabla 29.

Log-verosimilitud (LV)	-623.964
BIC(LV)	1259.094
AIC(LV)	1251.927

Tabla 29: Estadísticos de Log-verosimilitud
Fuente: Elaboración propia

Los estadísticos estimados sobre los datos y calculados utilizando los parámetros estimados de la distribución Weibull (2), se muestran en Tabla 30.

Estadístico	Datos	Parámetros
Media	3.86	3.858
Varianza	11.411	12.709
Asimetría (Pearson)	0.97	1.775
Curtosis (Pearson)	0.055	4.593

Tabla 30: Estadísticos estimados
Fuente: Elaboración propia

A continuación, en Tabla 31 se realiza la prueba de Kolmogorov-Smirnov con un 95% de confianza.

D	0.068
valor-p	0.169
alfa	0.05

Tabla 31: Prueba de Kolmogorov-Smirnov
Fuente: Elaboración propia

Interpretación de la prueba:

H0: La muestra sigue una distribución de Weibull (2)

Ha: La muestra no sigue una distribución de Weibull (2)

Puesto que el valor-p calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0,05$, no se puede rechazar la hipótesis nula H_0 . El riesgo de rechazar la hipótesis nula H_0 cuando es verdadera es de 16,86%.

A continuación, se muestra el Gráfico 18, referente a frecuencias observadas versus las teóricas ajustadas.

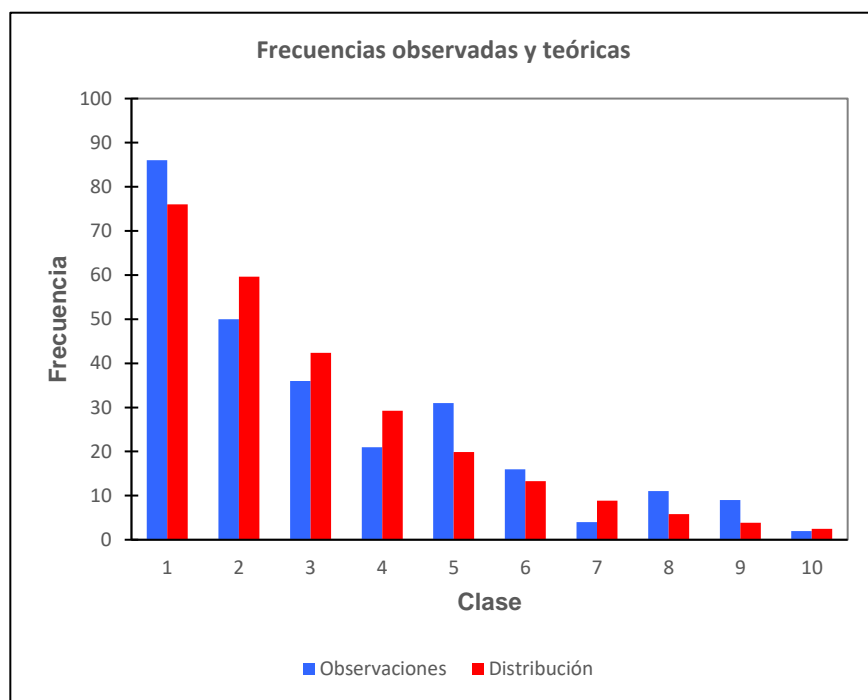


Gráfico 18: Frecuencia de tiempos observados y teóricos
Fuente: *Elaboración propia*

Luego se muestra en el Gráfico 19, un histograma de las observaciones superpuesta a la distribución ajustada Weibull de dos parámetros.

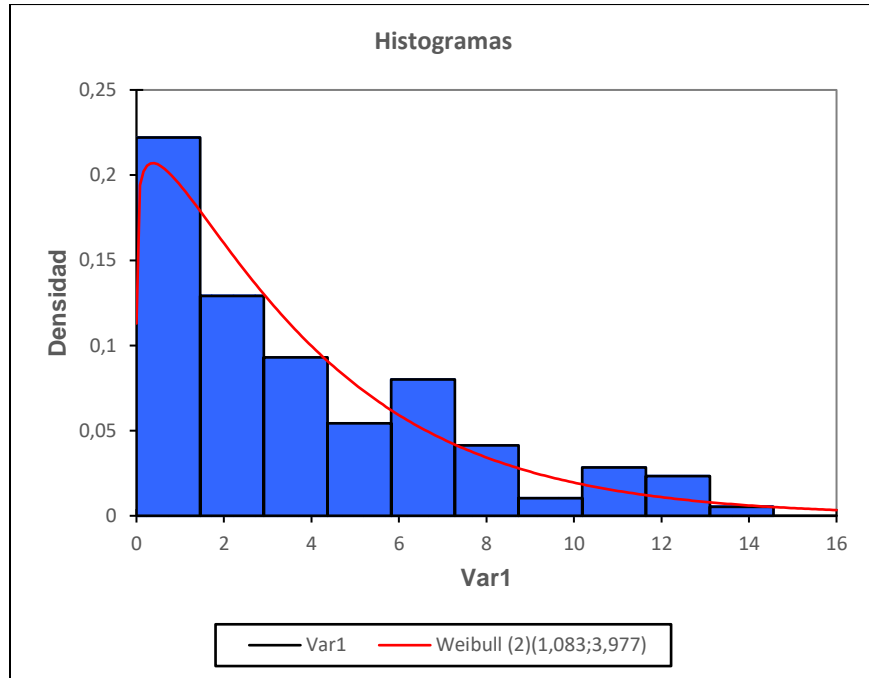


Gráfico 19: Histograma observado y función de densidad teórica
Fuente: Elaboración propia

Finalmente se presenta el Gráfico 20, en que se muestran las distribuciones acumuladas observadas versus la ajustada Weibull de dos parámetros.

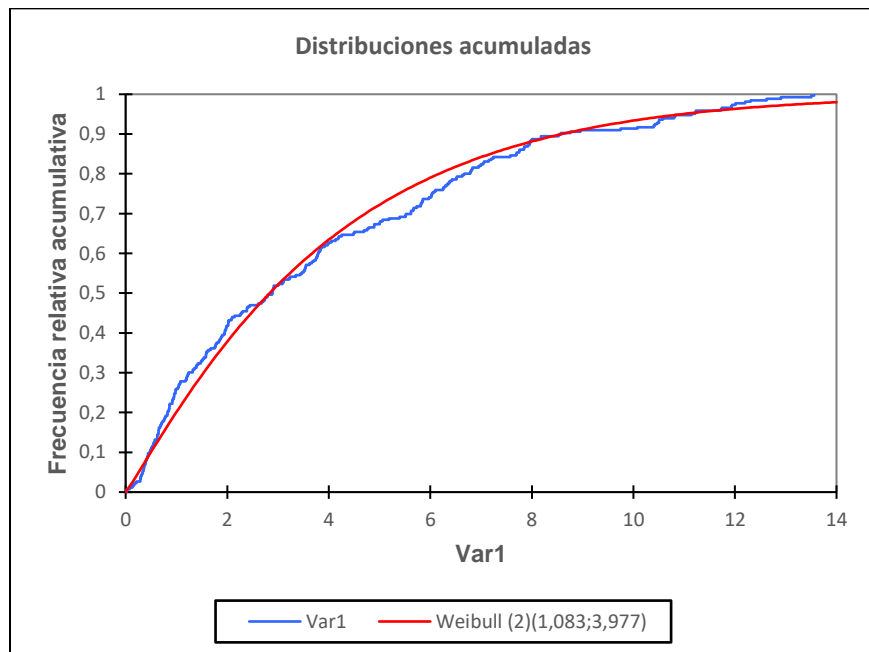


Gráfico 20: Frecuencia relativa y acumulada
Fuente: Elaboración propia

Como ya se mencionó, la función de distribución que mejor se ajusta es una Weibull (β, γ) de dos parámetros. Su función de densidad se define como:

$$f(x) = \frac{\beta x^{\beta-1}}{\gamma} e^{-\left(\frac{x}{\gamma}\right)^\beta}; \text{ con } x, \gamma, \beta > 0$$

La esperanza y varianza de x se define como,

$$E(x) = \gamma \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right); V(x) = \gamma^2 \left[\Gamma\left(\frac{2}{\beta} + 1\right) - \Gamma^2\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) \right]$$

Luego, los parámetros calculados son:

$$\beta = 1,083$$

$$\gamma = 3,977$$

Donde β , corresponde al parámetro de forma de la distribución y λ , al parámetro de forma.

Los estadísticos estimados de la actividad son:

$$E(x) = 3,858$$

$$V(x) = 12,709$$

Por último, se presenta la Tabla 32, la de resumen de datos estadísticos del entregable Mantención común, fundamentales para realizar análisis de las actividades de la misma.

		Armar andamio	Error Estándar	Retirada	Error Estándar	Mantenimiento	Error Estándar	Instalada	Error Estándar
Datos	Media	2.021		1.787		6.911		3.860	
	Desv Est	1.258	0.000	1.472	0.000	5.148	0.000	3.378	
	Varianza	1.582		2.166		26.502		11.411	
Estadísticos estimados	Media	2.072		1.785		7.110		3.858	
	Desv Est	1.582	0.000	1.500	0.000	5.381	0.000	3.565	
	Varianza	2.501		2.249		28.959		12.709	
Ajuste	Distribución	Log-normal		Weibull (2)		Beta4		Weibull (2)	
Parámetros estimados	μ	0.499	0.063			12.734	0.243		
	sigma	0.678	0.045						
	beta			1.195	0.059			1.083	
	gamma			1.896	0.105			3.977	0.671
	μ					2.094	0.007		
	k								
	alfa					0.956	0.001		
	c					-0.210			
	d					23.133	0.621		

Tabla 32: Resumen estadísticos actividades comunes
Fuente: Elaboración propia

A continuación, en el Gráfico 21 se muestra un resumen agrupado de cuatro actividades, las cuales corresponden a armado de andamio, retiro, mantenimiento e instalación tanto de las actividades referentes a cada entregable (vainas, placa orificio y transmisores) como de las actividades comunes a los entregables. Además, se muestran los coeficientes de variación respectivos (referidos a eje secundario). Con ello se puede comparar los tiempos de ejecución de las actividades por entregable versus las actividades agregadas (comunes).

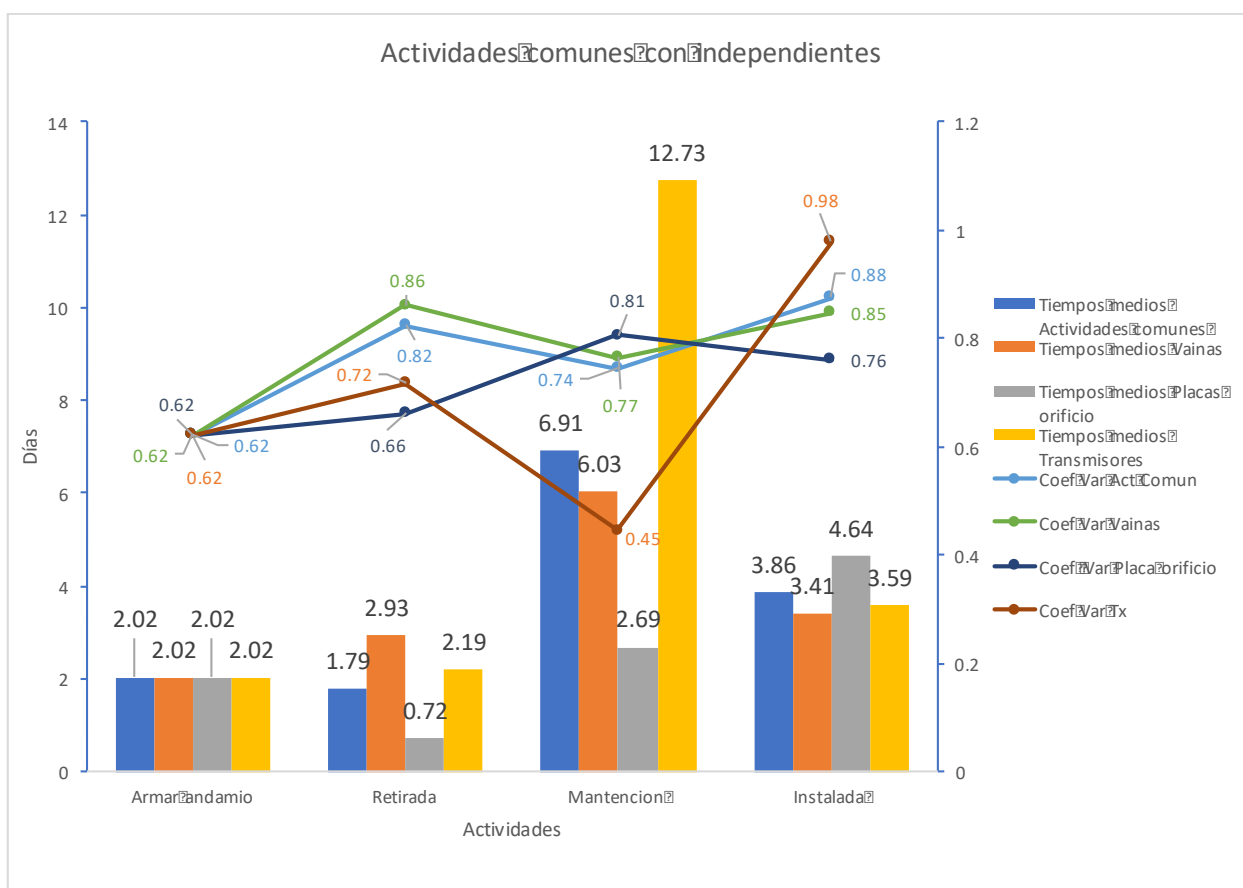


Gráfico 21: Tiempos medios y coeficiente variación actividades agregadas y desagregadas
Fuente: Elaboración propia

8.3.5.2 Análisis gráfica resumen

8.3.5.2.1 Tiempo medio de ejecución

Al revisar la gráfica, en primera instancia llama la atención respecto a la actividad armado de andamio, tanto los tiempos medios como los coeficientes de variación de las actividades comunes y las no comunes son idénticas. Lo anterior se explica debido a que desde el comienzo del análisis la actividad armado de andamio fue trabajada como común, en consecuencia, no existe como actividad desagregada, es decir no hay tiempos medios de ejecución ni coeficiente de variación particulares de la actividad andamio para vaina, placa orificio y transmisor, existe solo como actividad común en el análisis.

Luego de la aclaración, la actividad de **armado de andamio**, es realizada por personal de división estáticos de ERA, la que presta servicios a otras áreas de refinería en el paro de mantenimiento, por tanto, se generan “cuellos de botella” aleatorios impactando en un tiempo de ejecución de 2,02 días de trabajo de la actividad.

Como dato interesante para análisis y ciertamente de sentido común y corroborado por criterio experto, cualitativamente el **retiro** de vaina, placa orificio o transmisor es la actividad que menos debe demorar en comparación a la actividad **instalada** del mismo instrumento. Respecto a ello el análisis cuantitativo lo confirma y efectivamente el tiempo medio de ejecución de la actividad **retiro** ocurre aquello, con tiempos medios de (tiempo retiro/tiempo instalación) 1,79/3,86, 2,93/3,41, 0,72/4,64 y 2,19/3,59 días.

La actividad de **mantención** y según criterio experto en **transmisores** efectivamente debe ser notablemente superior en tiempo medio de ejecución que la actividad retiro e

instalación. Lo anterior se corrobora según análisis cuantitativo con tiempos de mantención de 12,73 días versus retiro e instalación de 2,19 y 3,59 respectivamente.

En **placas orificio** el criterio experto indica que la **mantención** de esta debe ser menor al tiempo de retiro e instalación, sin embargo, análisis cuantitativo indica que el tiempo de ejecución de la actividad en cuestión, es mayor que la de retiro con 0,72 versus 2,69. Lo que se explica como ya se ha mencionado, debido a que las actividades no son independientes ya que son ejecutadas por las mismas personas en tiempos compartidos aleatoriamente. Por lo tanto, para efectos de determinar tiempos medios de ejecución esperados de la actividad analizada y poder utilizarlos en otros paros de mantenimiento, no tiene utilidad el dato obtenido.

En **vainas**, según criterio experto el tiempo de ejecución de **mantención**, es superior al de retiro e instalación de la misma. En los datos recopilados cuantitativos efectivamente ocurre lo mencionado, con 2,93, 6,03 y 3,41 días de retiro, mantención e instalación promedio respectivamente.

Respecto a **mantención de actividades comunes**, el tiempo es de **6,91 días**, valor influenciado fuertemente por el tiempo de mantenimiento de los transmisores.

8.3.5.2.2 Coeficiente de variación de actividades

En el Gráfico 22, se muestran los coeficientes de variación ordenados de menor a mayor de las actividades.

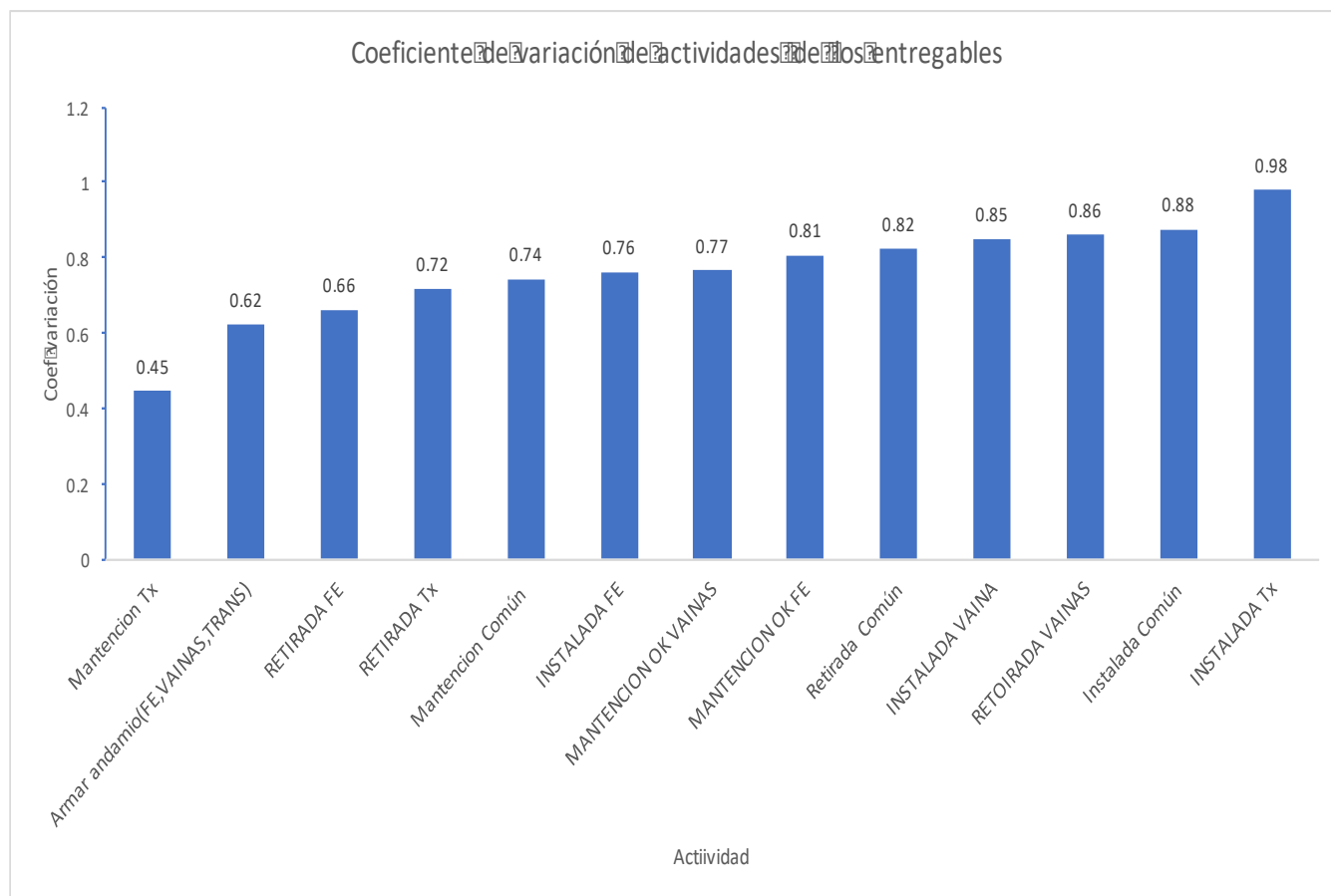


Gráfico 22: Coeficientes de variación de las actividades junto a las comunes
Fuente: Elaboración propia

La actividad de armado de andamio es la actividad común con menor coeficiente de variación de las actividades comunes, con 0,62. Luego en la el Gráfico 22, se aprecia que además es la actividad con segundo mejor coeficiente de variación de todas las actividades de los tres entregables a realizar. La supera solo la actividad mantención de transmisores con 0,45 de coeficiente de variación.

En la etapa de **retiro**, la actividad relacionada con **placas orificio**, es la que posee menor coeficiente de variación con 0,66. Luego la de **mayor** magnitud es el **retiro de vainas** con 0,86.

Por otra parte, la actividad **retiro de vainas** con 0,86 y **retirada común** con 0,82, su coeficiente de variación es similar al de **instalación** con 0,85 y 0,88 respectivamente.

En la etapa de **mantención** la actividad con menor coeficiente de variación es la de transmisores con 0,45, luego el mayor es 0,81 que corresponde a placa orificio.

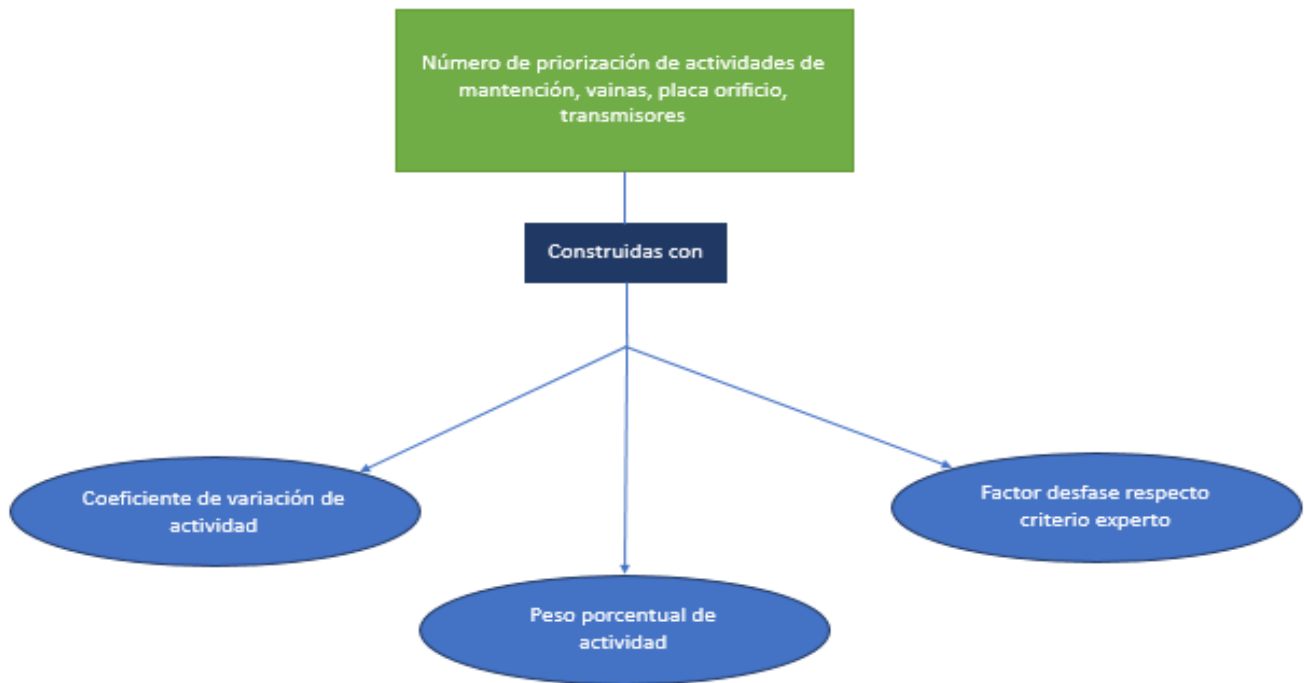
Luego, en la etapa de **instalación** la actividad con menor coeficiente de variación es **placa orificio** con 0,76 y el de mayor, **transmisor** con 0,98.

Es importante aclarar que al tener distintitos tipos de distribuciones se tienen por defecto distintos coeficientes de variación.

8.3.6 Número de priorización

Continuando con el análisis cuantitativo de datos, para consolidar lo realizado y obtener una base para determinar en qué actividad tomar acciones para evitar que los riesgos negativos del proyecto se hagan efectivos o en su defecto mitigarlos, se conjugan tres variables. Estas son: **Coefficiente de variación, peso porcentual de la actividad en el entregable y factor de desfase valor medio respecto criterio experto**. Sobre ésta última se realiza consulta a expertos del área de instrumentación para obtener tiempos estimados de cada actividad de los distintos entregables, logrando con ello una base de comparación respecto a la duración de las mismas.

Se presenta la Figura 21, un extracto del mapa conceptual general que explica cómo se obtiene el número de priorización.



*Figura 21: Mapa conceptual general obtención número de priorización
Fuente: Elaboración propia*

Luego se construye la tabla asociada a los entregables, mantenimiento de vainas, transmisores, placas orificio y a las actividades comunes de los mismos. A modo de explicación de cómo se realiza el proceso de construcción, se profundiza en el mantenimiento de vaina y a continuación de ello, se presentan las tablas referentes a placas orificio, transmisores y actividades comunes o agregadas.

8.3.6.1 Entregable Mantenimiento vainas

A continuación, en Tabla 33, se muestra el número de priorización de las actividades correspondientes al entregable mantenimiento de vaina. y las entradas necesarias para su obtención (coeficiente de variación, tiempo medio de ejecución y factor desfase criterio experto).

Actividad	Número de priorización	Factor desfase(en tiempo) respecto Criterio Experto	Criterio experto tiempo actividad	Peso porcentual tiempo actividad	Tiempo medio actividad	Coef Variación de actividad
Armar andamio(FE,vainas, tx)	10,44	0,14	0,5	0,09	2,02	0,09
En inspección	4,32	-0,01	1	0,04	0,94	0,10
Mantenión lista	17,37	0,15	1	0,26	6,03	0,11
Instalada	14,13	0,15	0,5	0,15	3,41	0,12
Retirada	13,98	0,17	0,2	0,13	2,93	0,12
Entregado para instalación	15,51	0,17	0,2	0,15	3,58	0,14
Reporte recibido	13,14	0,12	1	0,13	3,03	0,14
Torque revisado	11,12	0,11	0,5	0,06	1,30	0,17
Ponderación		0,33		0,33		0,33333333

Tabla 33: Número de priorización actividades entregable vaina
Fuente: Elaboración propia

Explicación de tabla:

La prioridad de intervención de las actividades, depende del número que se obtiene en la columna **Número de priorización**, el que, a mayor magnitud, mayor prioridad para ser intervenido. Se determina por tres componentes; Estos son: **Coefficiente de variación**, **peso porcentual de la actividad en el entregable** y **factor de desfase valor medio respecto criterio experto** como se menciona anteriormente.

Luego la justificación para utilizar estas variables para determinar la prioridad de intervención es la siguiente:

8.3.6.1.1 Coeficiente de variación de la actividad:

Se ocupa este indicador, ya que permite comparar la dispersión entre poblaciones o variables distintas, para el caso de análisis de la tesis, los tiempos medios de las distintas actividades de los entregables del proyecto. A mayor coeficiente de variación mayor es la dispersión de los datos, es decir mayor incertidumbre y variabilidad en el tiempo de duración de la actividad, es por ello fundamental, analizar o interiorizarse el por qué existe una determinada variación en los tiempos de ejecución. A mayor magnitud del coeficiente de variación contribuye en mayor porcentaje a priorizar la actividad para ser intervenida.

σ_i = *Desviación estandar tiempo actividad i*

\overline{X}_i = *Tiempo medio actividad i*

CV_i = *Coeficiente de variación de la actividad i*

$$CV_i = \frac{\sigma_i}{\overline{X}_i}$$

8.3.6.1.2 Peso porcentual duración actividad:

Se ocupa esta variable debido a que, a mayor peso de la actividad en la duración total del entregable, más impacta en la duración de la misma, por lo que es una variable fundamental, que, si se logra disminuir el tiempo medio de ejecución y por ende su peso porcentual asociado, se obtiene como resultado disminuir el tiempo total del entregable en forma significativa. Al igual que el coeficiente de variación a mayor magnitud contribuye en mayor porcentaje a ser intervenida la actividad asociada.

$tma = \text{Tiempo medio actividad } i$

$ttme = \text{Tiempo total medio consecución entregable}$

$PA_i = \text{Peso porcentual duración actividad } i \text{ en cosecución entregable}$

$$PA_i = \frac{tma}{ttme}$$

8.3.6.1.3 Factor desfase respecto a criterio experto:

Como ya se ha mencionado, se realiza consulta a expertos del área de instrumentación para obtener los tiempos aproximados promedio de realización de las diversas actividades de los tres entregables a realizar en el paro de mantenimiento programado. Luego, este factor indica que al multiplicarlo por el valor medio de la actividad resulta en el desfase entre esta última y el tiempo indicado por el experto. Por lo tanto, por ejemplo, si este último es igual al tiempo medio de la actividad el resultado de este factor es cero, es decir su contribución es nula si así fuera el caso en la priorización de intervención de la actividad, contribuyendo proporcionalmente en caso de ocurrir lo contrario, es decir, a mayor desfase entre tiempo criterio experto y tiempo medio de actividad, mayor magnitud del factor, por lo que contribuye en mayor proporción a priorizar la actividad para ser intervenida.

$tma = \text{Tiempo medio actividad } i$

$tmce = \text{Tiempo medio criterio experto actividad } i$

$FD_i = \text{Factor desfase criterio experto vs tiempo medio actividad } i$

$$FD_i = \frac{(tma - tmce)}{tma}$$

Finalmente, cada variable (3) se pondera en forma independiente para ser sumadas, obteniendo así un número de priorización (NP_i), siendo el de mayor magnitud al que le corresponde la prioridad uno para ser intervenida, ocurriendo lo contrario para el de menor magnitud.

$pond(FD)$ = Ponderación asignada a factor de desfase (FD) en el cálculo de NP_i

$pond(PA)$ = Ponderación asignada al peso de actividad (PA) en el cálculo de NP_i

$pond(CV)$ = Ponderación asignada a coef. de variación (CV) en cálculo de NP_i

NP_i = Número de priorización de la actividad i

$$NP_i = [CV_i * pond(CV) + FD_i * pond(FD) + PA_i * pond(PA)] * 100$$

Luego, es necesario realizar un ajuste en las variables FD_i y CV_i , ya que a diferencia de PA_i , sumando el aporte individual porcentual de cada actividad, siempre resulta 1, en cambio la sumatoria de FD_i y CV_i , por entregable (FD y CV), el valor que adquieren no se encuentra acotado, por ende, lo que ocurre en la práctica es que puntualmente en los casos a analizar su participación porcentual por tal motivo en la obtención del número de priorización es desde 4 veces superior a la de PA. Por lo tanto, se decide ajustar los valores de FD_i y CV_i , a fin de que su mínimo sea 0 y su máximo 1 sumados los aportes de todas las actividades del entregable. Con ello se consigue una base de comparación coherente para la obtención del número de priorización. El ajuste, queda como sigue:

$$\frac{CV_i}{\sum_{i=1}^n CV_i} = \text{Coeficiente de variación de la actividad } i \text{ ajustado}$$

$$\frac{FD_i}{\sum_{i=1}^n FD_i} = \text{Factor de desfase criterio experto de actividad } i \text{ ajustado}$$

La ecuación luego del ajuste.

$$NP_i = \left[\frac{CV_i}{\sum_{i=1}^n CV_i} * pond(CV) + \frac{FD_i}{\sum_{i=1}^n FD_i} * pond(FD) + PA_i * pond(PA) \right] * 100$$

Para explicar las variables asociadas para determinar cómo se prioriza la actividad a intervenir, se presenta en el gráfico 23, el número de priorización de cada actividad del entregable de mantenimiento vaina.

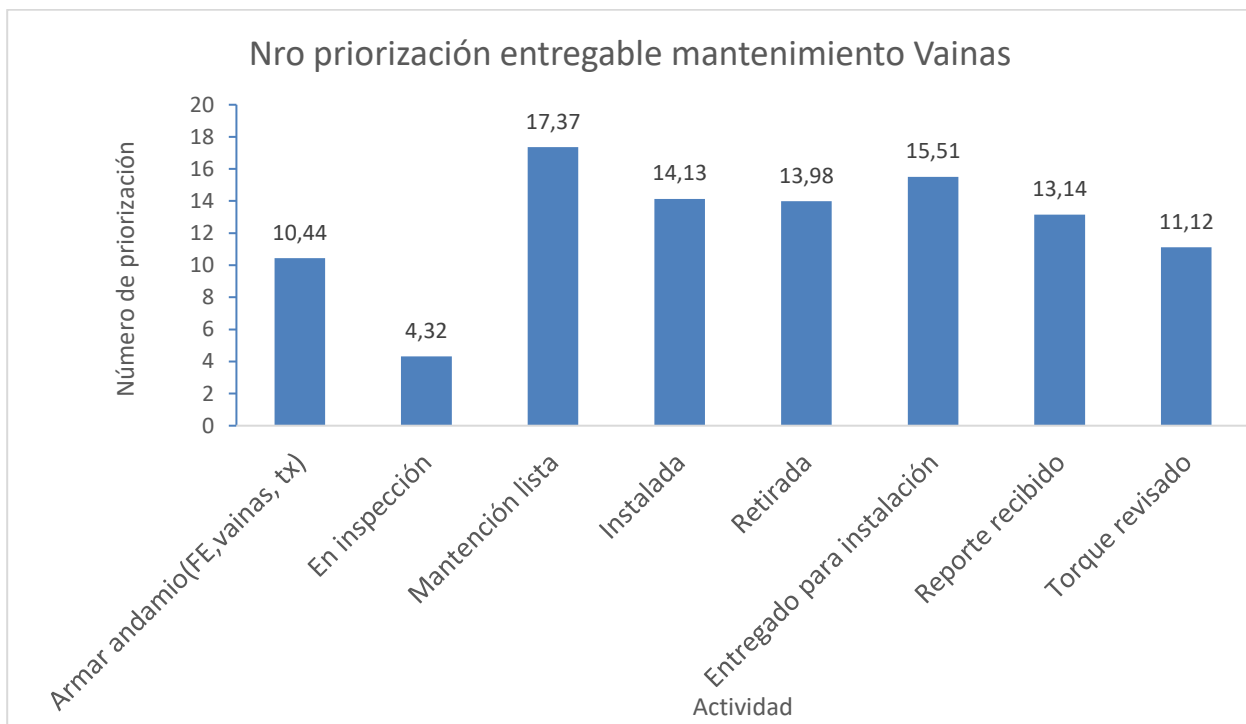


Gráfico 23: Número de priorización entregable mantenimiento vaina
Fuente: Elaboración propia

8.3.6.1.4 Análisis y respuesta a los riesgos

Se observa que el número de priorización de mayor magnitud es la actividad **Mantenimiento lista** con 17,37, seguido por **Entregado para instalar** con 15,51. A continuación, **Instalada** con 14,13 y **Retirada** con 13,98. Luego **Reporte recibido** con 13,14, **Torque revisado** con 11,12, y **Armado de andamio** con 10,44. La actividad con menos prioridad de intervención, es **En inspección** con 4,32.

A continuación, se describe el por qué se estima que se genera el número de priorización asociado a cada actividad y luego las propuestas para mitigar el mismo.

a. Actividad Torque revisado

Depende totalmente de personal ERA y apoyo directo. Actividad importante debido a que un torque mal realizado, así como un deficiente alineamiento de las bridas es un riesgo potencial de accidente con la planta en servicio (fuga de producto). El número de priorización obtenido se debe a la limitada cantidad de apoyo directo al encargado de área en paro de mantenimiento. La cantidad por área de personal ERA por lo general son cuatro personas en estos períodos.

Solución propuesta: Incorporar a lo menos una persona más de apoyo

b. Actividad vaina retirada, instalada, mantenimiento lista

Son actividades que dependen netamente de la empresa contratista, que presta el servicio temporal a instrumentación en el paro de mantenimiento programado. Como se menciona anteriormente esta actividad no es independiente, por lo que comparte recursos con el entregable mantenimiento placa orificio y transmisor. Es por ello que dado este paro de

mantenimiento resulta con el número de priorización expuesto. La aleatoriedad al compartir recursos genera dicho resultado.

Se advierte que la calidad de los trabajadores que ingresan en el proyecto asociado al mantenimiento programado en general es deficiente. Dicho fenómeno puede ocurrir debido a que la obra de mano especializada está contratada en trabajos estables ya sea en mineras en el norte de Chile o en diversas industrias en el sur del país y a pesar que los trabajadores que laboran en el paro de mantenimiento cuentan con títulos técnicos afines, la gran mayoría tiene escasa o nula experiencia en el área industrial de instrumentación.

La variabilidad de los tiempos asociados de cada una de las actividades y dado que el proceso es secuencial tienen un impacto directo en el tiempo total que demora el entregable de mantener un instrumento, ya sea vaina, transmisor o placa orificio.

Respecto, netamente a la **instalación**, ocurre constantemente, que al revisar el torque o alineamiento de las bridas se encuentran con defectos. La destreza mecánica sobre todo al momento que se debe unir las bridas mediante espárragos y luego realizar torque es fundamental ya que, si el ensamble no está alineado correctamente y con el torque correspondiente, es un peligro potencial de accidente. Lo anterior ocurre como se comenta en párrafos anteriores debido a la inexperiencia de los trabajadores temporales. La revisión y detalles de instalación retrasan la secuencia y el tiempo total del entregable.

Específicamente respecto a actividad **mantención**, nuevamente ocurre que la no experiencia de los trabajadores sumado a que la actividad no es independiente genera desfase en los tiempos y calidad en la respuesta.

Solución propuesta: Contrarrestar la inexperiencia de alguna manera incorporando más personal. Junto a ello se puede reducir los tiempos medios de las actividades, variabilidad y por ende la incertidumbre asociada.

c. Actividad en Inspección, reporte recibido y entregado para instalar

Estas actividades no dependen de la contratista temporal de apoyo y son realizadas por divisiones de ERA. Para el caso de inspección y reporte recibido de vainas le corresponde a DIM (división Ingeniería de mantención de ERA), específicamente por inspección técnica. Atienden a diversas áreas que se encuentran en paro de mantenimiento por lo tanto no son independientes, puesto que atienden de acuerdo al orden de llegada. Es decir, en algunas ocasiones si reciben mucho trabajo de diversas áreas o de una en particular se genera un “cuello de botella” congestionándose el servicio. Lo anterior provoca un desfase de tiempo de las actividades, tanto en la propia de **inspección** o **reporte recibido**, y por ende a las siguientes, restándoles tiempo para su ejecución (por el tiempo limitado y definido del paro de mantención). Luego si el reporte indica que se debe reparar o cambiar elemento primario, el margen de tiempo disminuye para realizarlo, si es que esta demora en generarse.

La actividad **Entregada para instalar** depende de personal ERA de instrumentación. El desfase de tiempo y por tanto alto número de priorización está fundamentado básicamente a la acumulación o sobrecarga de trabajo respecto a la cantidad de personal y experiencia del contratista para realizar instalación. Ocurre en determinados casos el extravío de vainas por parte de la contratista, al no contar con el orden requerido y experiencia al mismo tiempo suficiente en la administración y gestión de tal cantidad de instrumentación. Esto es que deben, almacenar vainas, transmisores, placas orificio y otra instrumentación no analizada

en esta tesis en espacios comunes y reducidos, motivo por el cual se administra la entrega de vainas, cuyo impacto es el aumento del tiempo medio de la actividad.

Solución propuesta: La DIM debe analizar la historia de inspecciones y reportes para prepararse con dotación de apoyo suficiente respecto al requerimiento de trabajo solicitado. La experiencia y forma de trabajo de la contratista que gana licitación se debe analizar profundamente en otra instancia ya que no es alcance de esta tesis.

d.Actividad de armado de andamio

Esta actividad depende de la división Estáticos de ERA, apoyados por contratos externos que no son exclusivos para instrumentación, por lo que sus recursos se comparten con otras áreas en proceso de paro de mantenimiento programado, cuya consecuencia es la generación de “cuellos de botella” aleatorios que dependen de la cantidad de trabajo recibido por instrumentación como de otras áreas. La consecuencia final es el retraso en tiempo de respuesta de la propia actividad.

Solución propuesta: Analizar o comenzar a crear historia de las empresas que proveen el servicio de armado de andamio y de la división Estáticos de ERA, para prepararse para las contingencias de un paro de mantenimiento, ya sea con más recurso de andamio, personal que los arma o tipos de contrato, como por ejemplo contratos dedicados por área.

8.3.6.2 Entregable Mantenimiento placas orificio

Se aprecia en la Tabla 34, correspondiente a las actividades relacionadas al mantenimiento de las placas orificio, en la cual se presenta el detalle de las variables asociadas para obtener el número de priorización.

Actividad	Número de priorización	Factor desfase(en tiempo) respecto Criterio Experto	Criterio experto tiempo actividad	Peso porcentual duración actividad	Tiempo medio actividad	Coef Variación de actividad
En inspección	7,90	0,12	0,20	0,05	1,50	0,07
Armar andamio(FE,vainas, transmisor	7,38	0,07	1,00	0,07	2,02	0,08
Retirada	5,17	0,04	0,50	0,02	0,72	0,09
Lista para instalar	11,78	0,12	0,50	0,14	4,17	0,09
Instalada	12,19	0,11	1,00	0,15	4,64	0,10
Torque revisado	15,65	0,14	0,20	0,23	6,85	0,11
Mantenión lista	10,90	0,13	0,20	0,09	2,69	0,11
Entregado para instalar	10,70	0,12	0,20	0,05	1,63	0,15
Revisar dirección flujo	17,34	0,14	0,20	0,19	5,77	0,20
Ponderación		0,33		0,33		0,33

Tabla 34: Número de priorización y entradas para su obtención de entregable mantenimiento placa orificio.
Fuente: Elaboración propia

Luego se presenta el Gráfico 24, con las actividades y el número de priorización de cada una ellas.



Gráfico 24: Número de priorización entregable mantenimiento placa orificio
Fuente: Elaboración propia

Se observa que el número de priorización de mayor magnitud es **Revisar dirección de flujo**, con 17,34, seguido por **Torque revisado** con 15,65 e **Instalada** con 12,19, luego **Lista para instalar** con 11,78, **Mantención lista** con 10,90 y **Entregado para instalar** con 10,70. Lo siguen actividades **En inspección** con 7,90, **Armado de andamio** con 7,38 y finalmente **Retirada** con 5,17.

8.3.6.2.1 Análisis y respuesta a los riesgos

A continuación, se describe el por qué se estima que se genera el número de priorización asociado a cada actividad y luego las propuestas para mitigar el mismo.

a. Actividad Revisar dirección de flujo

Es una actividad que depende de personal instrumentación de ERA, con un número elevado de priorización, que se debe básicamente a la cantidad reducida de personal ERA versus el trabajo que se debe realizar, complementado a que en el momento de instalación de la placa orificio, en teoría la empresa contratista verifica el sentido de flujo para que sea instalado correctamente. En términos prácticos, en ocasiones se encuentran placas orificio instaladas en contrasentido de flujo y la importancia que tienen es que solo se puede rectificar su sentido con la línea de proceso entregada, sin ningún tipo de energía presente y es por ello lo relevante de realizar el mantenimiento de placas orificio en paro de planta debido a que la misma se encuentra entregada y libre de energía para ser intervenida. Por lo anterior, constatar en proceso de partida de planta que el sentido de flujo respecto a placa orificio instalada no corresponde, implica detener el proceso, además de lo que significa entregar la propia línea para ser intervenida (vaciar línea), luego de ello el impacto potencial en tiempo puede ser significativo.

Otro motivo por el cual puede ocurrir la problemática planteada es no contar con suficiente personal para realizar la supervisión o revisión, dada la gran cantidad de trabajo presente en el paro de mantenimiento.

Solución propuesta: Es una problemática fácilmente solucionable, solamente dando la importancia que merece. Es ideal realizar y verificar el sentido de flujo antes de instalar o en su defecto, a lo menos dentro del día siguiente después de ser instalado.

El personal de apoyo directo al encargado del área suelen ser dos personas, llegando en general a cuatro el total de personas encargadas directamente del área a mantener por parte

de ERA. Esta dotación idealmente debe subir a cinco. Con ello se logra descongestionar el trabajo de cada persona y al mismo tiempo realizar actividades de supervisión más eficiente.

b. Actividad Entregado para instalar

Son actividades que dependen de personal ERA de instrumentación. La actividad **entregada para instalar**, ocurre situación similar a la actividad Entregada para instalar de la entregable vaina. Para detalles referirse a ella.

Solución propuesta: Agregar personal de apoyo directo a ERA, a lo menos una persona adicional.

c. Actividad En inspección, Lista para instalar

Ambas actividades, dependen de inspección técnica de división Estáticos. Al igual que en la inspección de vainas, ellos atienden otras áreas en paro de mantenimiento, entonces la actividad no es independiente. Se generan “cuellos de botella” en diversos momentos que dependen de la cantidad de trabajo de las distintas áreas y la que entrega instrumentación. El desfase de tiempo en la entrega de la actividad depende de la aleatoriedad de la carga de trabajo de inspección y orden de llegada.

Solución propuesta: Área de inspección debe revisar historia de carga de trabajo en períodos de paro de mantenimiento. Si no lo tiene debe comenzar a construirlo. Lo anterior para planificar con antelación como responder a la carga de trabajo esperada en los paros de mantenimiento venideros.

d. Actividad Mantención lista, Instalada, Retirada

Magnitud elevada ocasionada por la no independencia de las actividades como ya se ha mencionado y la deficiente experiencia del personal contratista.

Solución propuesta: Análisis profundo de cómo solucionar experiencia de trabajadores contratistas temporales y el aumento dotación trabajadores contratistas para contrarrestar falta de independencia, experiencia y disminuir tiempos medios de respuesta.

e. Actividad Revisar torque

En el caso de actividad **Revisar torque**, la falta de experiencia en el proceso de instalación como ocurre en el entregable mantener vainas, en muchos casos es deficiente, por lo que no quedan alineados las bridas y en otras ocasiones torque mal realizado. El revisar y reparar implica un desfase en las actividades asociadas.

Solución Propuesta: Aumento de dotación ERA para inspección en a lo menos una persona y asegurar que personal contratista que realice torque sea idóneo y con experiencia.

f. Actividad Armado de Andamio

Situación similar actividad Armado de andamio vainas. Para detalles referirse a ella.

8.3.6.3 Entregable mantenimiento transmisor

En la Tabla 35, se presentan los datos necesarios para obtener el número de priorización asociados a las actividades del entregable mantenimiento transmisor.

Actividad	Número de priorización	Factor desfase(en tiempo) respecto Criterio Experto	Criterio experto tiempo actividad	Peso porcentual duración actividad	Tiempo medio actividad	Coef Variación de actividad
Mantenición	27,07	0,17	2	0,52	12,73	0,13
Revisado	16,27	0,15	0,5	0,18	4,40	0,17
Armar andamio	11,53	0,10	1	0,065	1,58	0,19
Retirada	14,89	0,15	0,5	0,09	2,19	0,22
Instalada	20,20	0,17	1	0,15	3,59	0,30
Ponderación		0,33		0,33		0,33

Tabla 35: Número de priorización y entradas para su obtención de entregable mantenimiento transmisor

Fuente: Elaboración propia

Luego, se presenta el Gráfico 25, con los números de priorización de cada actividad relacionada al entregable.

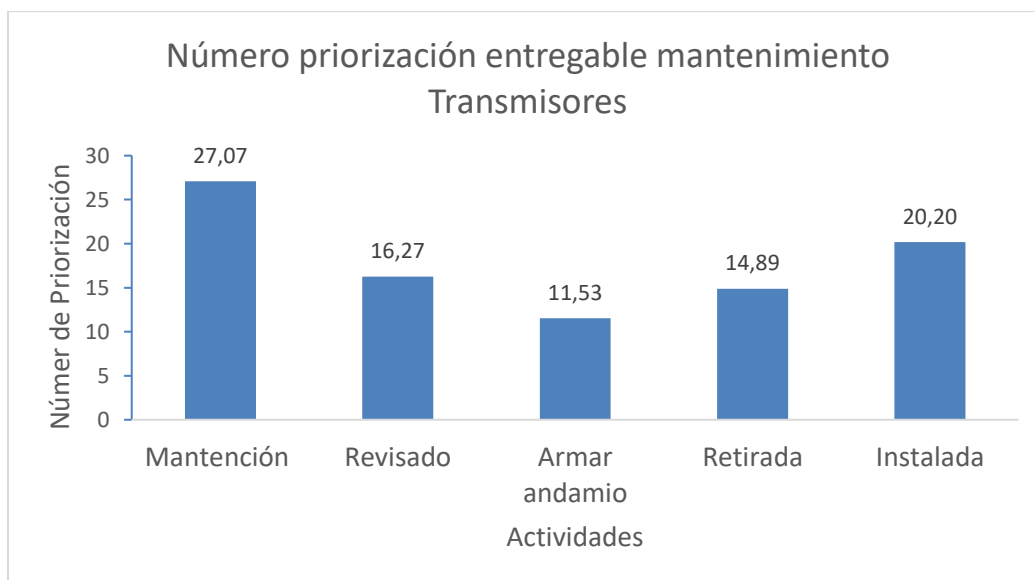


Gráfico 25: Número de priorización entregable mantenimiento transmisores

Fuente: Elaboración propia

Se observa que las actividades con mayor magnitud de número de priorización es la de **Mantenimiento** con 27,07 e **instalada** con 20,20, luego lo siguen **Revisado** con 16,27 y **Retirada** con 14,89, finalmente **Armar andamio** con 11,53.

8.3.6.3.1 Análisis y respuesta a los riesgos

Se describe el por qué se estima que se genera el número de priorización asociado a cada actividad y luego las propuestas para mitigar el mismo.

a. Actividad Mantenimiento, Instalada y Retirada

Estas actividades dependen netamente del contratista. Nuevamente como se ha aclarado, ellas no son independientes, comparten recursos y es por ello el desfase en tiempo. Además de la falta de experiencia de gran parte de los técnicos contratistas. Luego, se aprecia el alto número de prioridad que tiene actividad mantenimiento lista, influenciado fuertemente dado el alto tiempo de ejecución, por tanto, implica un área de oportunidad en la reducción del mismo, es por ello su prioridad.

Solución propuesta: Aumento dotación trabajadores contratistas para contrarrestar falta de independencia, experiencia y disminuir tiempos medios de respuesta, y analizar problemática de experiencia de los trabajadores.

b. Actividad revisada

Actividad que depende de personal ERA. Como se ha mencionado, la variabilidad del tiempo en la revisión es afectada por la dotación ERA y apoyo a la misma.

Solución Propuesta: Aumentar dotación de apoyo a personal ERA en a lo menos una persona.

8.3.6.4 Mantenimiento actividades comunes

Estas actividades son las de carácter común(agregada) entre mantenimiento de vainas, transmisores y placas orificio. Se agrupan de tal forma, para aislar el efecto de la no independencia de las actividades. En la Tabla 36, se presentan las variables asociadas para determinar el número de priorización y las entradas para su obtención.

Actividad	Número de priorización	Factor desfase respecto Criteio Experto	Criterio experto tiempo actividad	Peso porcentual duración actividad	Tiempo medio actividad	Coef Variación de actividad
Armar andamio(FE, vainas,Tx)	16,51	0,19	1	0,14	2,02	0,20
Mantenión lista	28,53	0,21	3	0,47	6,91	0,24
Retirada	20,66	0,27	0,5	0,12	1,79	0,27
Instalada	27,30	0,33	0,5	0,26	3,86	0,29
Ponderación		0,33		0,3		0,3

Tabla 36: Número de priorización y entradas para su obtención de actividades comunes(agregadas)
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta el Gráfico 26, con las magnitudes de los números de priorización de las actividades comunes.

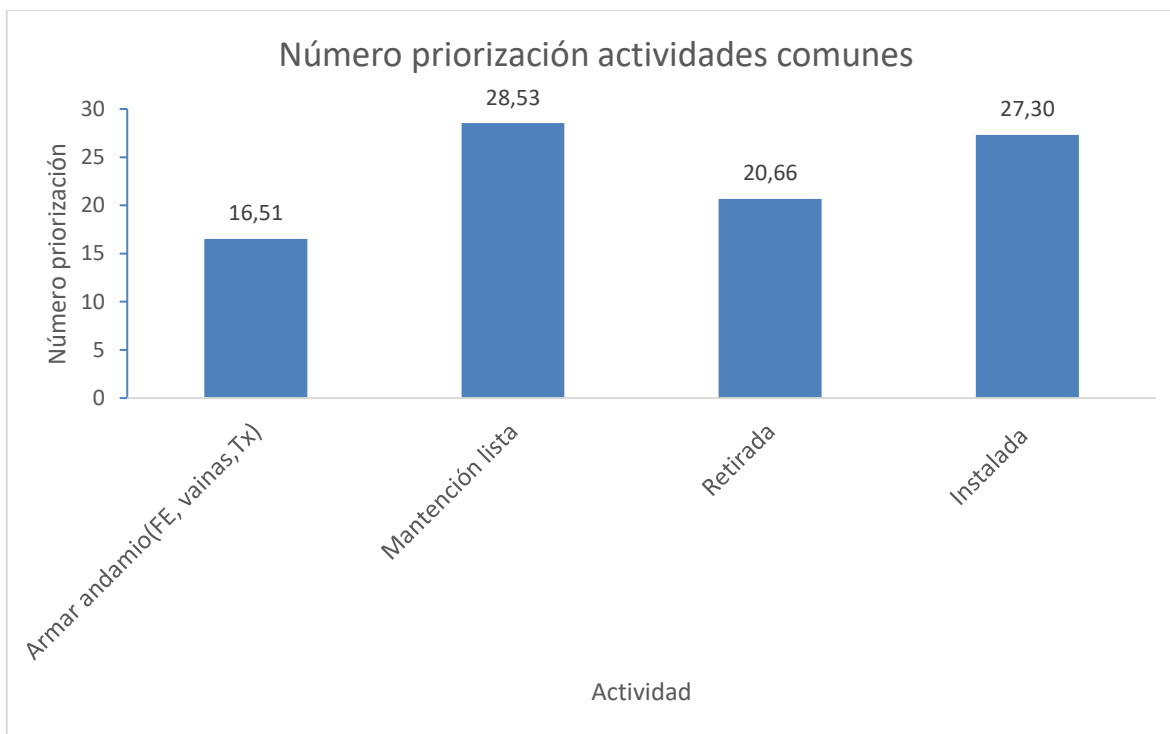


Gráfico 26: Número de priorización entregable mantenimiento actividades comunes
Fuente: Elaboración propia

Se observa que la actividad **Mantención lista** es la de mayor magnitud, con 28,53, por tanto, la prioritaria a intervenir. Es seguida por **Instalada** con 27,30, luego **Retirada** con 20,66 y por último **armado de andamio** con 16,51.

8.3.6.4.1 Análisis y respuesta a los riesgos

Luego, se describe el por qué se estima que se genera el número de priorización asociado a cada actividad y las propuestas para su mitigación.

a. Actividad Instalada, mantención lista y retirada

Son actividades que dependen de la contratista para mantenimiento de instrumentación. La falta de experiencia junto a la reducida dotación, genera desfase de tiempos de ejecución.

Cabe destacar que estas actividades por el hecho de ser de carácter común son las más fidedignas para efecto de proyectar un tiempo esperado de las mismas, para así disminuir la incertidumbre de los tiempos asociados a estas actividades en los paros siguientes.

Solución propuesta: Aumento de dotación de personal contratista que contrarreste el efecto de falta de experiencia y lograr disminuir tiempos medios y variabilidad de las actividades.

Análisis profundo experiencia del contratista temporal. Analizar los tiempos obtenidos del análisis, para proyectarlos para efectos de dotación en los paros venideros.

b. Actividad Armado de andamio

Situación similar armado de andamio placas orificio y vainas. Para detalle referirse a ellos.

9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de realizar el análisis cuantitativo de los datos recopilados en paro de mantenimiento 2015 en ERA, se puede concluir lo siguiente:

Por el motivo de no ser independientes las actividades y por ende compartir recursos, tiene un impacto en los tiempos medios de ejecución de las mismas, como así mismo en su variabilidad, lo que provoca un aumento de la incertidumbre. Es por ello que los datos recopilados de tiempos y sus distribuciones ajustadas son puntuales, es decir aparecen en el paro de mantenimiento 2015 en ERA. Por tanto, si se mantienen las mismas condiciones en un próximo paro de mantenimiento y se realiza una medición y registro de tiempos, al realizar un ajuste de distribución de las actividades, existe la probabilidad que al ajuste de la misma actividad y entregable realizada en 2015 corresponda al mismo tipo de distribución como a otra de un tipo diferente. Es por ello la importancia de continuar construyendo historia y se sugiere realizar nuevas mediciones en los próximos paros de mantención con la finalidad de obtener tiempos esperados, variabilidad y ajuste de distribución cada vez con menor incertidumbre. Luego, a pesar de no entregar información útil para efectos de planificar la cantidad de equipos a intervenir en base a tiempos esperados por el motivo de ser puntual, si entregan información del porque una actividad o entregable resulta en tiempos, variabilidad y coeficientes de variación por sobre el promedio, tales como 1,25, 0,98, 0,97, correspondientes a actividades de Torque revisado, reporte recibido, entregado para instalación respectivamente del entregable mantenimiento vainas, por nombrar algunas. En consecuencia, es factible implementar medidas que eliminen o mitiguen los riesgos negativos en las actividades del proyecto. Para ello, se categorizan mediante el número de priorización, indicando el orden en que las actividades deben ser intervenidas, o en su defecto

complementar esta información con otros datos que permitan determinar cuál o cuáles intervenir, como por ejemplo, costo de la intervención, factibilidad, impacto en el proceso con planta en servicio. En los riesgos se repiten denominadores comunes como causa tales como:

Respecto a actividades retirado, instalado, mantenimiento lista, que dependen de empresa contratista de apoyo a paro de mantenimiento en instrumentación:

- Falta de experiencia de personal que forma parte de la contratista que apoya el paro de mantenimiento de instrumentación.
- Dotación deficiente de la contratista.

Como solución temporal se propone aumentar dotación de la empresa contratista, para contrarrestar de algún modo la falta de experiencia de los mismos.

Luego, es fundamental analizar en profundidad esta problemática, ya que el personal con experiencia en general se encuentra con contrato permanente y en industrias mineras en el norte o en industrias del sur de Chile, lo que provoca la contratación de técnicos, que, a pesar de ser afines, en muchos casos no tienen experiencia. La solución a ello no lo cubre el alcance de esta tesis, sobre todo **por la causa raíz** y lo complejo que puede ser su solución.

Respecto a divisiones que prestan apoyo a las actividades de inspección y reporte recibido tanto de placas orificio como de vainas:

- La división equipos estáticos y DIM (división ingeniería de mantención), prestan apoyo a otras áreas en paro de mantenimiento, por tanto, su recurso es compartido,

creando “cuellos de botella” que se generan aleatoriamente en momentos de gran carga de trabajo.

El impacto es el aumento del tiempo medio de respuesta y la variabilidad de ellos.

Como solución se propone que las divisiones involucradas analicen su historia de carga de trabajo en paros de mantenimiento generada por instrumentación y otras áreas y determinen la distribución de probabilidad de la misma, para proyectar la carga y tiempos esperados de trabajo a fin de responder con mayor eficiencia en dicho escenario. Si la historia no se encuentra registrada se debe comenzar a construir para análisis posterior.

Respecto a actividades que dependen de personal ERA de instrumentación, como Torque revisado, Revisar dirección de flujo y entregado para instalar ocurre lo siguiente:

- El reducido número de personal ERA de apoyo, impacta en los tiempos medios y variabilidad de las actividades en cuestión.
- Por otra parte, el registro de tiempos de cada una de las actividades lo realiza personal ERA, lo que implica un trabajo no contemplado en paros de mantenimiento. Al ocurrir esto y con una dotación a veces sobrepasada de trabajo, el registro de tiempos puede ser no tan precisa.

Como solución se propone aumentar dotación en a lo menos un 20%, lo que significa una persona, ya que en general el equipo está compuesto por cuatro personas.

- Actividad entregada para instalar, tanto en vaina, como placa orificio, el desfase de tiempo respecto a criterio experto y un número de priorización igual a 10,70 y 15,51,

con coeficientes de variación de 0,97 y 1,07 en vainas y placas orificio respectivamente, está fundamentado básicamente a la acumulación o sobrecarga de trabajo respecto a la cantidad de personal y experiencia del contratista para realizar instalación. Ocurre en determinados casos el extravío de vainas o placas orificio por parte de la contratista, al no contar con el orden requerido y experiencia suficiente en la administración de tal cantidad de instrumentación. Esto es, que deben gestionar y almacenar vainas, transmisores, placas orificio y otra instrumentación no analizada en esta tesis en espacios comunes y reducidos, motivo por el cual debe ser eficientemente gestionado.

- Luego la actividad entrega de vainas y/o placas orificio para instalar, se repercute en el aumento del tiempo medio, que depende de personal ERA, la cual es impactada indirectamente por la contratista.

Como solución se propone aumentar dotación de contratista temporal, luego es necesario análisis con mayor profundidad de la problemática planteada, que no es tema de alcance de esta tesis.

Respecto a la actividad armado de andamio que depende de división Estáticos

Es una actividad compartida con distintas áreas de mantenimiento en período de paro. Es fundamental para el retiro e instalación de instrumentación, debido a que un gran porcentaje de ellos se encuentra en altura, y dada la secuencialidad de las actividades no se pueden iniciar las siguientes si esta no ha finalizado.

Como solución se propone a división Estáticos, realizar análisis de historia de carga de trabajo en períodos de paro de mantenimiento programado, para evaluar acciones y

estrategias para responder eficientemente y construir la distribución de probabilidad de respuesta a los requerimientos. Si la historia no existe comenzar a construirla.

Otra alternativa es modificar la modalidad de contratos de andamio en estos períodos como por ejemplo un contrato dedicado a instrumentación, idealmente sustentado en una distribución de probabilidad.

En resumen, es importante obtener los tiempos esperados de las diversas actividades involucradas en los entregables de mantenimiento de instrumentación, a fin de planificar eficientemente la cantidad de equipos a intervenir y junto a ello dimensionar la cantidad de personal de apoyo temporal contratista óptima. Con ello es posible eliminar o mitigar los riesgos negativos del proyecto.

Dada la gran cantidad de trabajo que se debe realizar en período de paros de mantenimiento programado de gran magnitud y en un tiempo acotado, por lo general no mayor a dos meses, hace imprescindible poder determinar qué instrumentos son realmente necesarios intervenir bajo estos escenarios, para no sobrecargar el sistema y generar **“cuellos de botella”** en algunas áreas de trabajo, formados cuando aumenta la carga de los mismos, disminuyendo al mismo tiempo la **incorporación de fallas infantiles**.

Como criterio de intervención, es fundamental contar con la historia de los equipos para determinar si es necesario o no mantenerlos en este período, con la finalidad de intervenir idealmente equipos que en la operación normal de la planta no se puede realizar. Hoy en día (2017), Enap Refinerías Aconcagua, se encuentra en proceso de implementación de un sistema de **Gestión de Activos**, el que modifica la estructura de ubicaciones técnicas

de SAP productivo (software con el que se realiza toda la gestión en Refinerías) e incorpora herramientas de análisis para la toma de decisiones de intervención de equipos, al mismo tiempo provee información para determinar si la filosofía de mantenimiento que se utiliza es la correcta. Por tanto, es una herramienta fundamental a utilizar en los paros venideros.

Por otra parte, los equipos que se decide revisar y mantener en este período y dado la antelación con que son concebidos, es importante analizar la posibilidad de intervenir algunos previo al paro de mantenimiento, para descongestionar carga y realizar un trabajo más eficiente en el mismo.

Tal como se menciona en el plan de gestión de riesgos, es importante determinar la actitud al riesgo que tiene la empresa, específicamente como Enap Refinería Aconcagua, junto al departamento de mantención e instrumentación. Luego esta actitud se puede complementar con juicio experto. Es relevante determinar la actitud al riesgo para realizar una correcta identificación de ellos, para luego definir cuales se analizan cualitativamente y/o cuantitativamente, para determinar cuáles se controlan y cuales se asumen. La finalidad es derivar recursos en los riesgos que efectivamente lo ameriten respecto a la actitud al riesgo que se determine. Se sugiere realizar esta medición en período de **no paro de mantenimiento**, para dedicar el tiempo y profundidad que amerita para un resultado de calidad y por tanto que refleje la real actitud al riesgo de las partes involucradas interesadas.

Es importante no olvidar, dado el formato utilizado para la medición de tiempos de duración de las actividades de los entregables, justificado por los limitados recursos de personal, tener presente el error que se introduce al sumar un número aleatorio a cada tiempo de ejecución de la actividad.

Finalmente, se cumple el objetivo de responder las interrogantes planteadas en el problema de investigación, referente a: **¿Cuál o cuáles de las diferentes etapas involucradas en el proceso de mantención tienen un mayor impacto en el proyecto referente a riesgo en objetivo tiempo?, ¿son factores exógenos, endógenos o ambos, los que impactan el proyecto?, ¿es posible proponer soluciones a todos los riesgos identificados?**

La respuesta respecto a la primera interrogante se obtiene a través del número de priorización, cuyo resultado indica que las actividades más relevantes del entregable de la vaina, son: Mantención lista, Entregado para instalar, Instalada, Retirada y Reporte recibido, con número de priorización de 17,37, 15,51, 14,13, 13,98 y 13,14 respectivamente. En entregable placa orificio, las actividades con mayor área de oportunidad respecto a optimizar los tiempos de ejecución son: Revisar dirección de flujo, Torque revisado, Instalada, Lista para instalar, Mantención lista, con un número de prioridad de 17,34, 15,65, 12,19, 11,78 y 10,90 respectivamente. Referente a entregable mantenimiento de transmisor, las actividades con número de prioridad más relevantes son: Mantención lista, Instalada, Revisado, Retirada, con 27,07, 20,20, 16,27 y 14,89 respectivamente. No obstante, se observa que todas las actividades de los entregables del proyecto, presentan áreas de oportunidad, a las cuales se presentan propuestas de respuesta a los riesgos. Luego, por el hecho de las actividades no ser independientes, se toma la decisión de agregar actividades con características comunes entre entregables, para ser analizadas y obtener otra entrada para una toma de decisiones futura respecto a los tiempos medios y variabilidad de las mismas. De ello resulta la agrupación de 4 actividades. Estas son: Armar andamio, retiro, mantención e instalación, con un número de prioridad 16,51, 20,66, 27,30, 28,53 respectivamente, junto a su ajuste de distribución de

probabilidad que resulta en una **Log-normal (0,499; 0,678)**, **Weibull (1,195; 1,896)**, **Beta4 (0,956; 2,094; -0,21; 23,133)** y **Weibull (1,083; 3,977)** también respectivamente. Del ajuste realizado a un total de 23 actividades, resulta en 6 tipos de distribuciones, de las cuales 6 corresponden a una distribución Log-normal, 9 a Weibull (2), 3 a Beta (4) y Logística, 1 a Fisher- Tippett y Exponencial. El ajuste de distribución se realiza a todas las actividades, las cuales se presentan en apartado anexos. Se muestran solo la de las actividades agregadas.

Referente a si los **factores son endógenos o exógenos** respecto a los riesgos del proyecto, como se analizó en los planes de respuesta a los riesgos, se concluye que ambos están presentes. Los exógenos, aparecen referentes a la experiencia de los trabajadores de la contratista, cuya génesis es que los trabajadores que, si la tienen, ya están contratados en otras industrias en forma permanente, por ende, quienes participan en su mayoría en paros de mantenimiento, son profesionales recién egresados o con poca experiencia. Luego los factores endógenos también ocurren, principalmente, por la acumulación de trabajo aleatorio en áreas de ERA que prestan servicios y por el lado de personal ERA, especialmente por la cantidad de personal de apoyo, que se advierte debe ser incrementado en a lo menos un 20%. Finalmente, sobre la interrogante si **es o no posible proponer soluciones a todos los riesgos identificados**, tal como se analizó en los planes de respuesta, si es posible en áreas ERA de apoyo como división estáticos e ingeniería de mantenimiento, donde se propone analizar y/o construir historia, para obtener una distribución de probabilidad de tiempos de respuesta a los trabajos en paro de mantenimiento. Por el lado de trabajos que dependen netamente de personal ERA de instrumentación, la solución propuesta pasa principalmente por el aumento de personal de apoyo, sin embargo, el caso más complejo a resolver es el de la experiencia de los trabajadores contratistas, cuya problemática es más de fondo y **no resuelta en esta**

tesis, no obstante, una medida paliativa es aumentar la cantidad de trabajadores, debido a la falta de eficiencia de los mismos.

Luego, de todo el análisis, nace la siguiente interrogante: ¿Es relevante el **impacto de materializarse el riesgo en objetivo tiempo**? En una primera inspección, si lo es, debido a la secuencialidad de las actividades, por ende, si una se atrasa, impacta a la que la sucede en las actividades del entregable. La relevancia del impacto se advierte con mayor fuerza cuando la planta se encuentre en servicio, es decir luego de finalizado el proyecto de mantenimiento, debido a que, por una mantención deficiente o no realizada, dado que se ha materializado un riesgo impactando en no realizar mantenimiento a todo lo programado, o en su defecto por factor tiempo y tratar de cumplir el cronograma el mantenimiento sea deficiente. En consecuencia y tal como se plantea, el impacto con la planta en servicio puede ser un simple chequeo o mantenimiento de un instrumento, hasta la detención de una unidad o planta, generando con ello potenciales impactos de costos de no producción, ambientales o en la seguridad de las personas y/o instalación, lo que dependerá del servicio del instrumento en el proceso y su criticidad. Finalmente, resulta interesante realizar un análisis con mayor profundidad, ya sea en términos cualitativos, cuantitativos o ambos, de la relevancia del impacto en caso de materializarse el riesgo en objetivo tiempo en las actividades de los entregables de proyecto.

10 Referencias

- Ahlemann, Vogelsang, & Teuteberg. (2009). Project management standards – Diffusion and application in Germany and Switzerland. *International Journal of Project Management*, 293-303.
- Bredillet. (2003). Genesis and role of standards: Theoretical foundations and socio-economical model for the construction and use of standards. *International Journal of Project Management* .
- Equipo VÉRTICE. (2008). *Gestión de proyectos*. Málaga: Publicaciones Vértice .
- Grau, N. (2013). Standards and Excellence in Project Management - In Who Do We Trust? *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 10-20. Obtenido de <http://www.risk-doctor.com/>
- Grupo de Análisis para la implementación de la norma ISO 21500. (2012). *Análisis ISO 21500*. Obtenido de <http://iso-21500.es/>
- Hillson, D. (Enero de 2012). *Risk Doctor*. Obtenido de <http://www.risk-doctor.com/>
- Hillson, D., & Murray. (2011). Using risk appetite and risk attitude to support appropriate risk taking: A new taxonomy and model. *Journal of Project, Program & Portfolio Management*, 29-46.

Instituto Nacional de Normalización . (2016). *Instituto nacional de normalización*. Obtenido de <http://www.inn.cl/es-aprobada-norma-tecnica-nacional-nch-iso-215002013-directrices-para-la-direccion-y-gestion-de>

La fábrica del pensamiento. (2015). *Caso práctico sobre apetito de riesgo*. Instituto de auditores interno de España.

Montes-Guerra, Ramos, G., & Silva, M. (2013). *Resarch Gate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/294724779_Estandares_y_metodologias_Instrumentos_esenciales_para_la_aplicacion_de_la_direccion_de_proyectos

Morris, Crawford, Hodgson, Shepherd, & Thomas. (2006). Exploring the role of formal bodies of knowledge in defining a profession. *International Journal of project management*, 710-721.

Project management institute. (2013). PMBOK.

Project management institute. (2013). *PMI book*.

Rozenes, Vitner, & Spraggett. (2006). Project control: Literature review. *Project Management Journal*, 5-14.

Uchitpe, M. U. (2015). Predicting the future of project management research. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 226, 27-34.

Wallace, C. S. (2011). Authoritarian Science Curriculum Standards as Barriers to Teaching and Learning: An Interpretation of Personal Experience. *Wiley Periodicals*, 291-310.

Weaver, D. H. (2007). Thoughts on Agenda Setting, Framing, and Priming. *Journal of communication*, 142-147.

White, & Fortune. (2002). Current practices in project management – An empirical study. *International Journal of Project*, 1-11.

Zabaleta, Lopez, & Errasti. (2012). Análisis de la Relación Existente entre los Estándares de Gestión de Proyectos y los Factores Críticos para su Éxito. *6th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management*. Vigo, España.

Zandhuis, A., & Stellingwerf. (2013). *ISO21500: Guidance on project management*. Van Haren Publishing.

11 ANEXOS

11.1 Anexo 1: Ajuste de distribución.

11.1.1 Vaina retirada

La distribución que se ajusta mejor a los datos para la prueba de bondad de ajuste es la distribución Log-normal.

Parámetros estimados:

Parámetro	Valor	Error estándar
μ	0.719	0.084
Sigma	0.873	0.059

Estadísticos de Log-verosimilitud:

Log-verosimilitud(LV)	-216.294
BIC(LV)	441.953
AIC(LV)	436.589

Estadísticos estimados sobre los datos y calculados utilizando los parámetros estimados de la distribución Log-normal:

Estadístico	Datos	Parámetros
Media	2.932	3.006
Varianza	6.379	10.336
Asimetría (Pearson)	1.173	4.433
Curtosis (Pearson)	-0.048	48.636

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

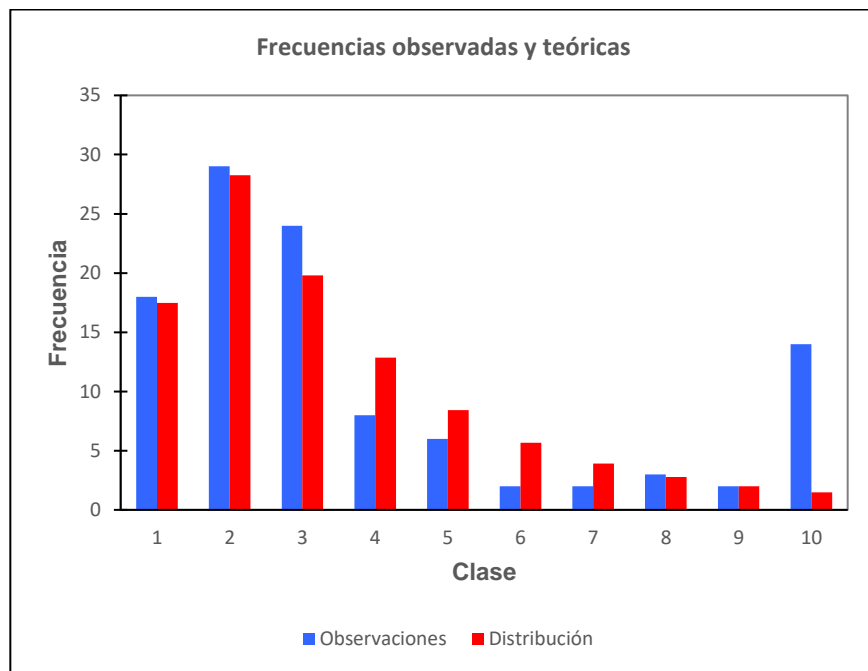
D	0.080
valor-p	0.475
Alfa	0.05

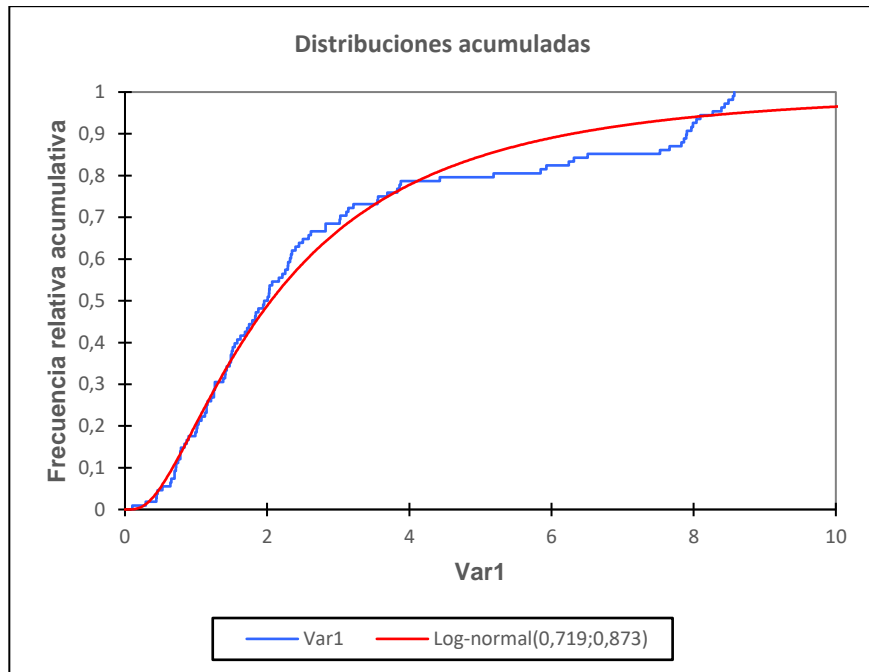
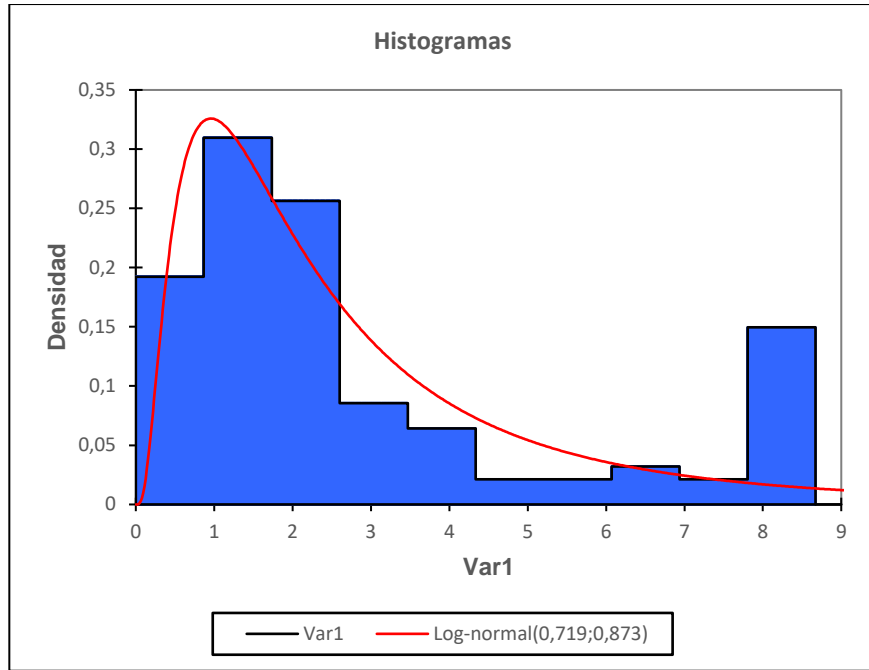
Interpretación de la prueba:

H0: La muestra sigue una distribución Log-normal

Ha: La muestra no sigue una distribución Log-normal

Puesto que el valor-p calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0,05$, no se puede rechazar la hipótesis nula H0. El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es de 47,46%.





11.1.2 Mantención lista

La distribución que se ajusta mejor a los datos para la prueba de bondad de ajuste es la distribución Logística.

Parámetros estimados:

Parámetro	Valor	Error estándar
μ	5.744	0.117
S	2.521	0.141

No convergió el algoritmo principal después del número máximo de iteraciones.

Estadísticos estimados sobre los datos y calculados utilizando los parámetros estimados de la distribución Logística:

Estadístico	Datos	Parámetros
Media	6.027	5.744
Varianza	21.260	20.910
Asimetría (Pearson)	1.107	0.000
Curtosis (Pearson)	2.391	1.200

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

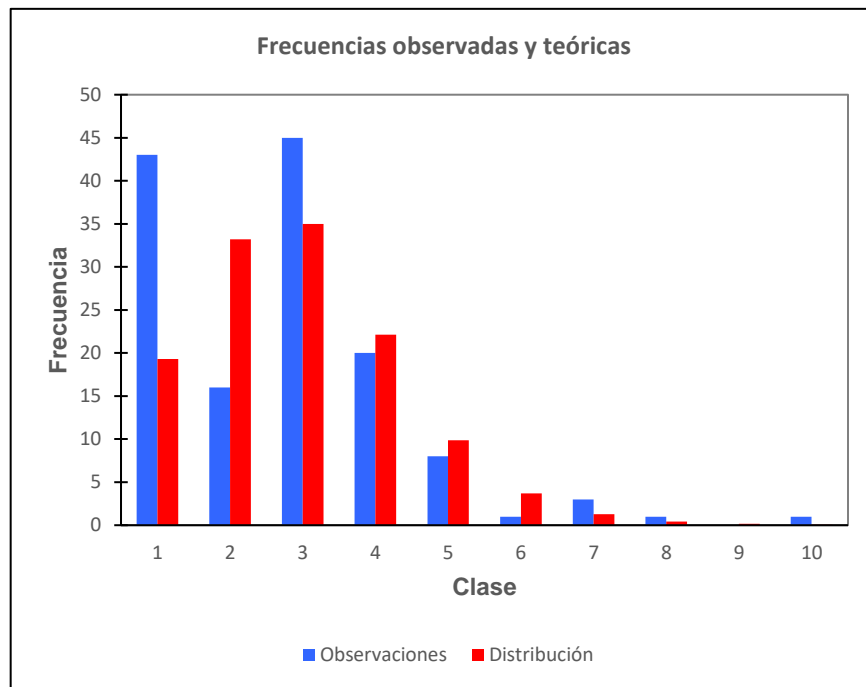
D	0.093
valor-p	0.171
Alfa	0.05

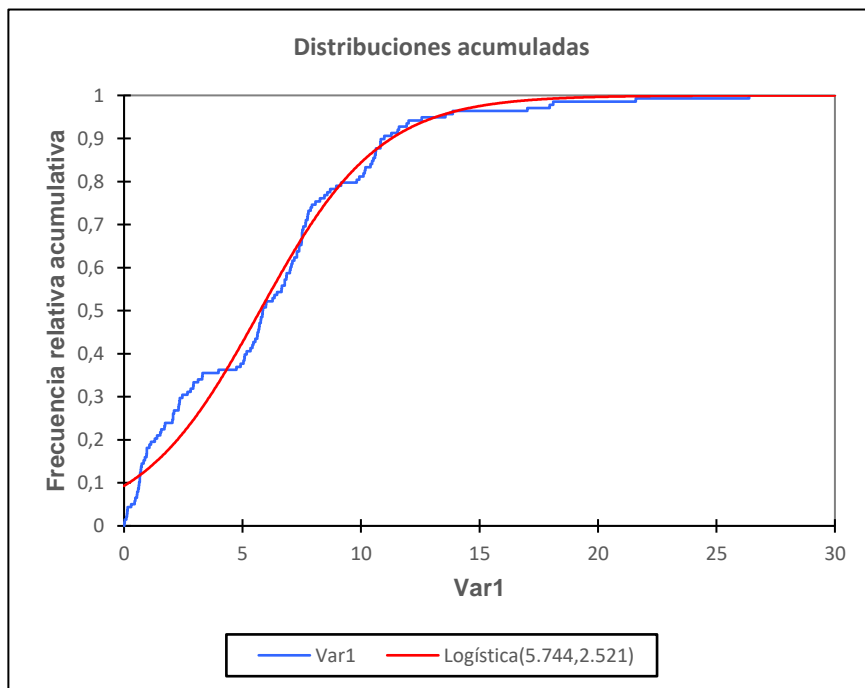
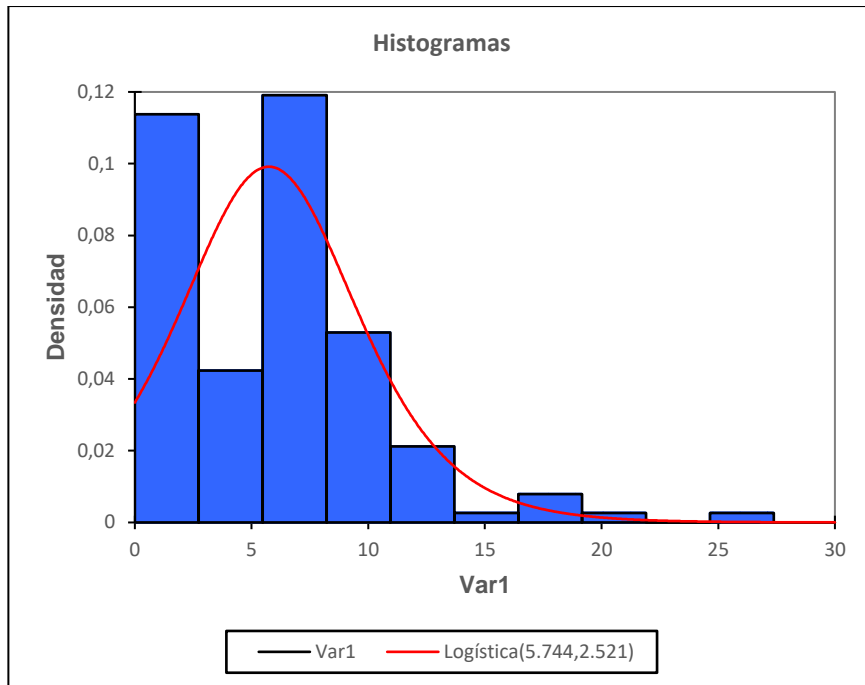
Interpretación de la prueba:

H0: La muestra sigue una distribución Logística

Ha: La muestra no sigue una distribución Logística

Puesto que el valor-p calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0,05$, no se puede rechazar la hipótesis nula H0. El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es de 17,05%





11.1.3 En inspección

La distribución que se ajusta mejor a los datos para la prueba de bondad de ajuste es la distribución Weibull (2)

Parámetros estimados:

Parámetro	Valor	Error estándar
Beta	1.388	0.097
Gamma	1.022	0.066

Estadísticos de Log-verosimilitud:

Log-verosimilitud(LV)	-117.317
BIC(LV)	244.459
AIC(LV)	238.634

Estadísticos estimados sobre los datos y calculados utilizando los parámetros estimados de la distribución Weibull (2):

Estadístico	Datos	Parámetros
Media	0.936	0.933
Varianza	0.430	0.463
Asimetría (Pearson)	0.723	1.214
Curtosis (Pearson)	-0.078	1.899

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

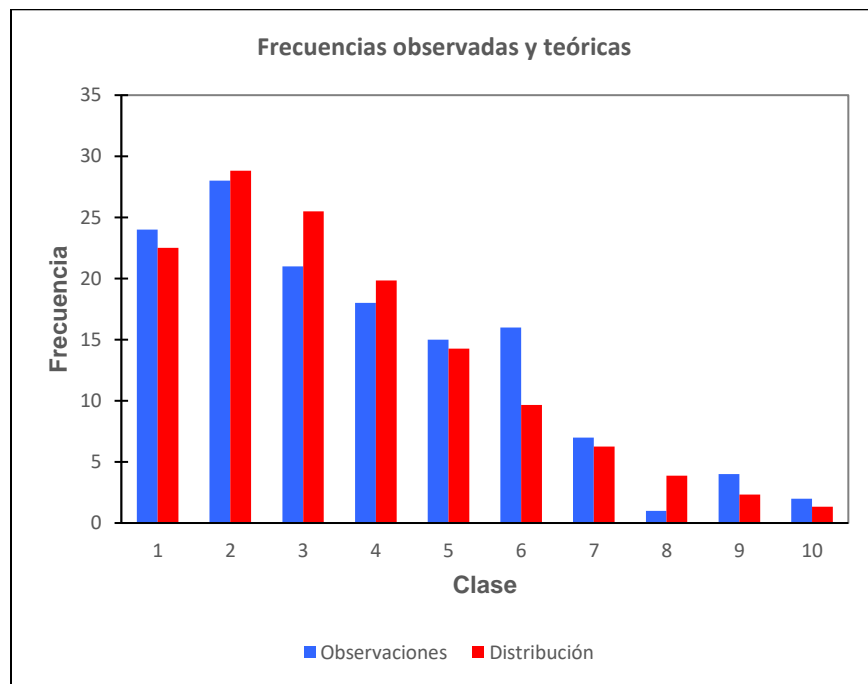
D	0.054
valor-p	0.803
Alfa	0.05

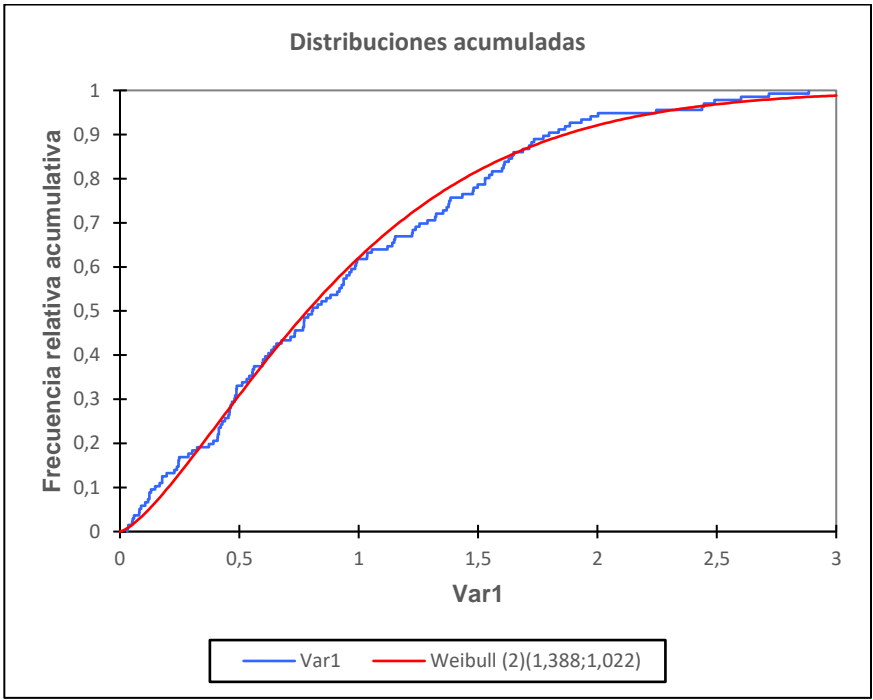
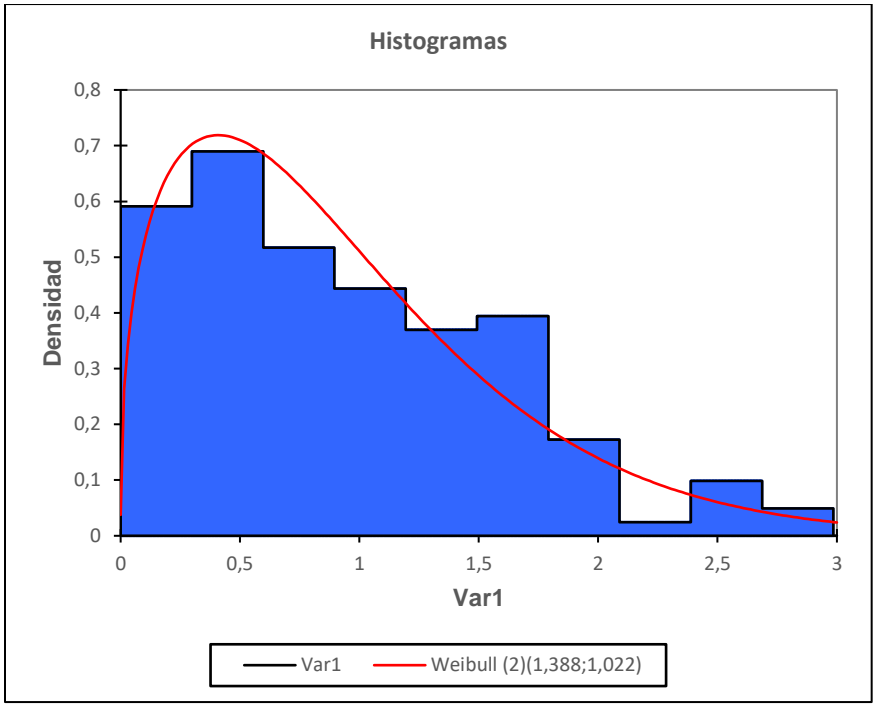
Interpretación de la prueba:

H0: La muestra sigue una distribución Weibull (2)

Ha: La muestra no sigue una distribución Weibull (2)

Puesto que el valor-p calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0,05$, no se puede rechazar la hipótesis nula H0. El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es de 80,31%





11.1.4 Reporte inspección recibido

La distribución que se ajusta mejor a los datos para la prueba de bondad de ajuste es la distribución Log-normal.

Parámetros estimados:

Parámetro	Valor	Error estándar
μ	0.426	0.112
Sigma	1.352	0.082

Estadísticos de Log-verosimilitud:

Log-verosimilitud(LV)	-298.624
BIC(LV)	607.118
AIC(LV)	601.249

Estadísticos estimados sobre los datos y calculados utilizando los parámetros estimados de la distribución Log-normal:

Estadístico	Datos	Parámetros
Media	3.033	3.818
Varianza	8.904	76.030
Asimetría (Pearson)	0.768	18.760
Curtosis (Pearson)	-1.050	2082.047

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

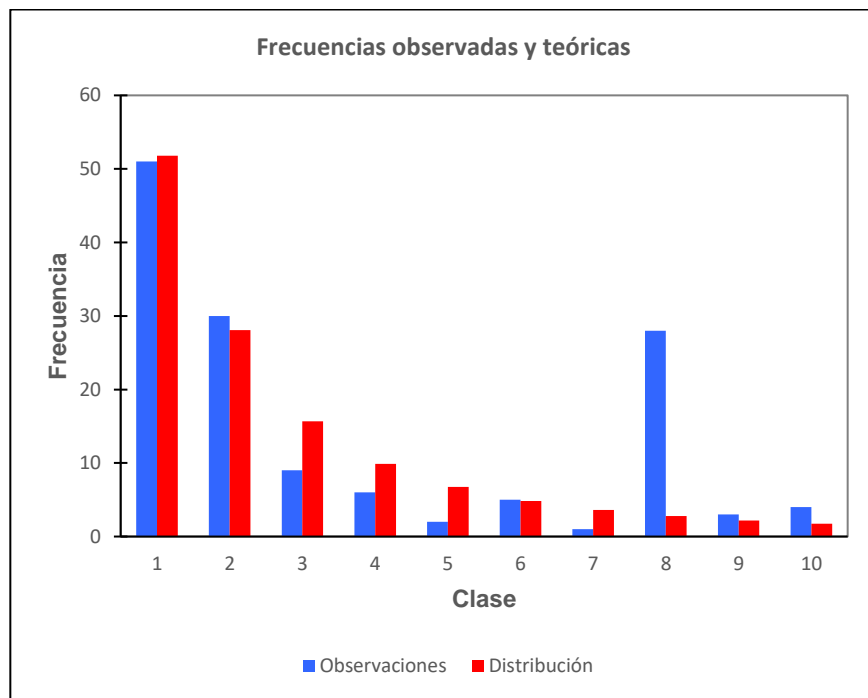
D	0.122
valor-p	0.029
Alfa	0.05

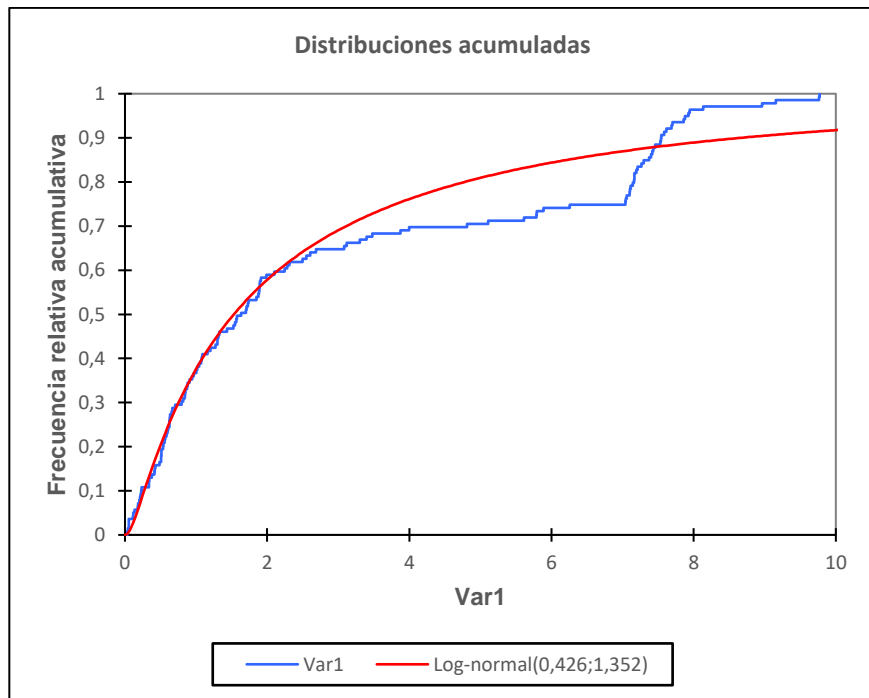
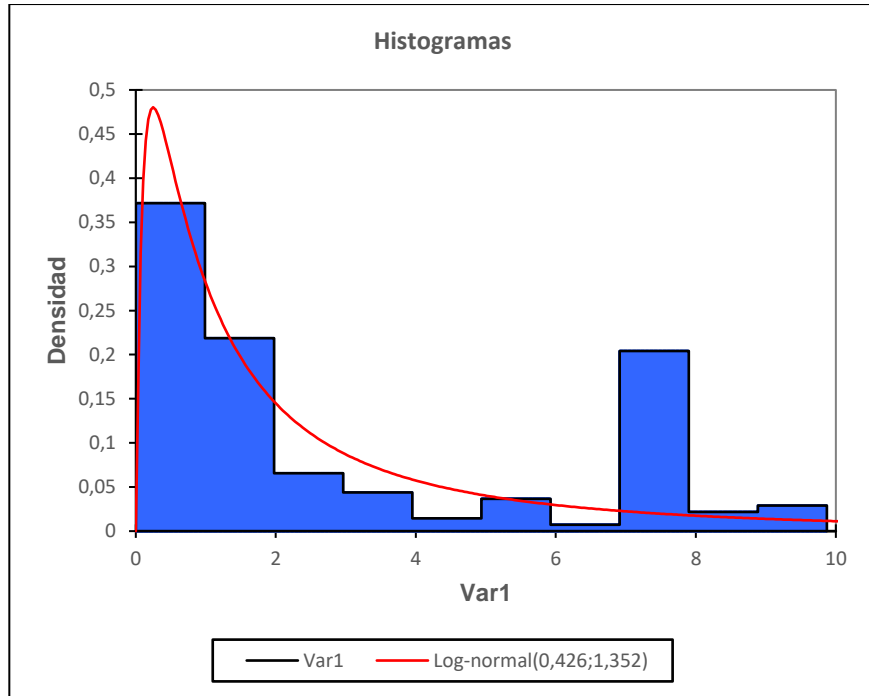
Interpretación de la prueba:

H0: La muestra sigue una distribución Log-Normal

Ha: La muestra no sigue una distribución Log-Normal

Puesto que el valor-p calculado es menor que el nivel de significación $\alpha=0,05$, se debe aceptar la hipótesis alternativa Ha. El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es inferior al 2,88%





11.1.5 Entregado para instalar

La distribución que se ajusta mejor a los datos para la prueba de bondad de ajuste es la distribución Log-normal.

Parámetros estimados:

Parámetro	Valor	Error estándar
μ	0.666	0.112
Sigma	1.269	0.078

Estadísticos de Log-verosimilitud:

Log-verosimilitud(LV)	-313.671
BIC(LV)	637.152
AIC(LV)	631.342

Estadísticos estimados sobre los datos y calculados utilizando los parámetros estimados de la distribución Log-normal.

Estadístico	Datos	Parámetros
Media	3.581	4.356
Varianza	12.048	76.052
Asimetría (Pearson)	1.040	14.029
Curtosis (Pearson)	-0.002	949.180

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

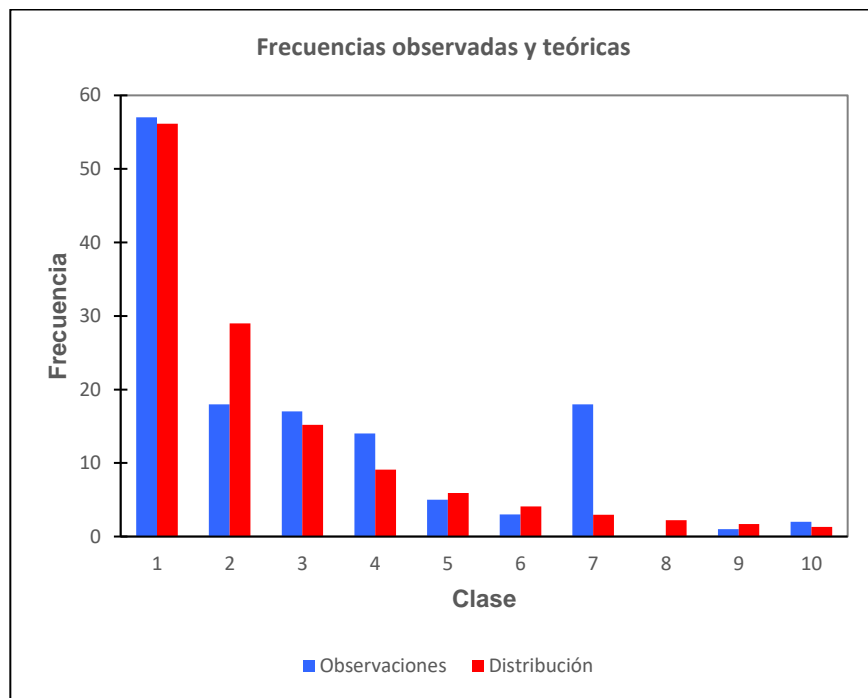
D	0.091
valor-p	0.203
Alfa	0.05

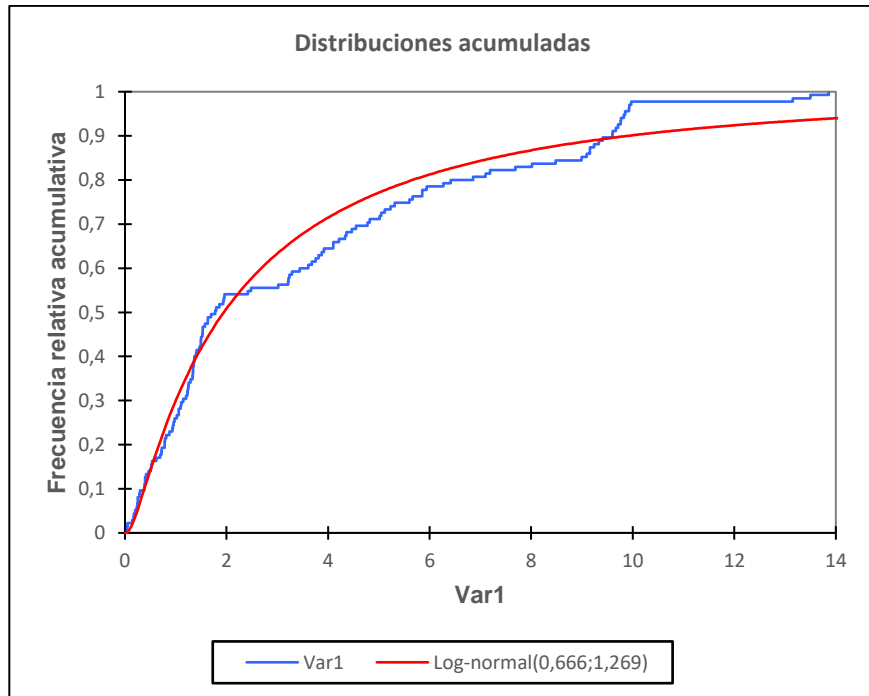
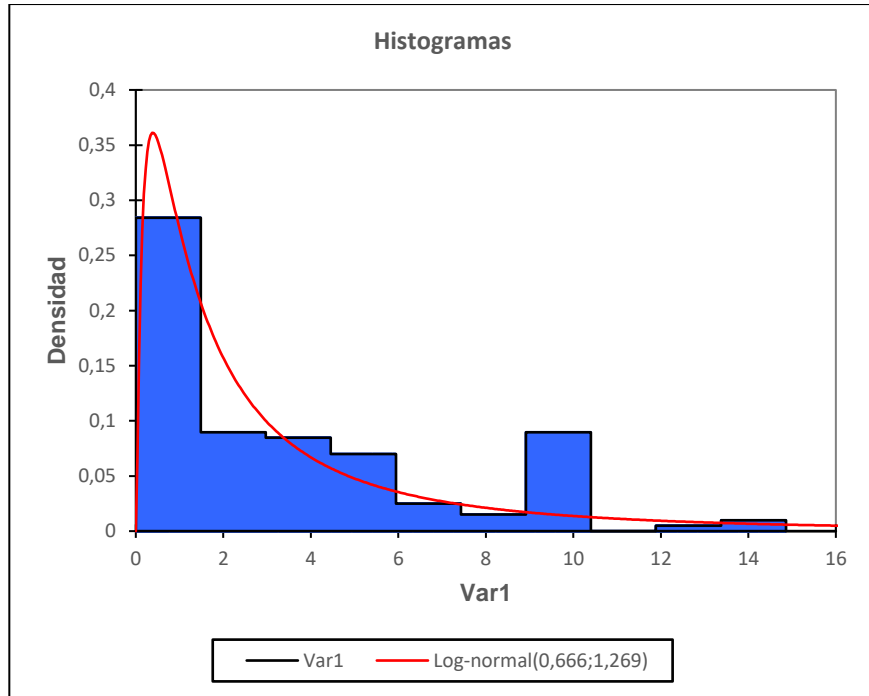
Interpretación de la prueba:

H0: La muestra sigue una distribución Log-Normal

Ha: La muestra no sigue una distribución Log-Normal

Puesto que el valor-p calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0,05$, no se puede rechazar la hipótesis nula H0. El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es de 20,29%





11.1.6 Instalar vaina

La distribución que se ajusta mejor a los datos para la prueba de bondad de ajuste es la distribución Weibull (2).

Parámetros estimados:

Parámetro	Valor	Error estándar
Beta	1.112	0.089
Gamma	3.539	0.308

Estadísticos de Log-verosimilitud:

Log-verosimilitud(LV)	-212.926
BIC(LV)	434.981
AIC(LV)	429.852

Estadísticos estimados sobre los datos y calculados utilizando los parámetros estimados de la distribución Weibull (2):

Estadístico	Datos	Parámetros
Media	3.409	3.403
Varianza	8.369	9.389
Asimetría (Pearson)	1.042	1.705
Curtosis (Pearson)	0.476	4.199

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

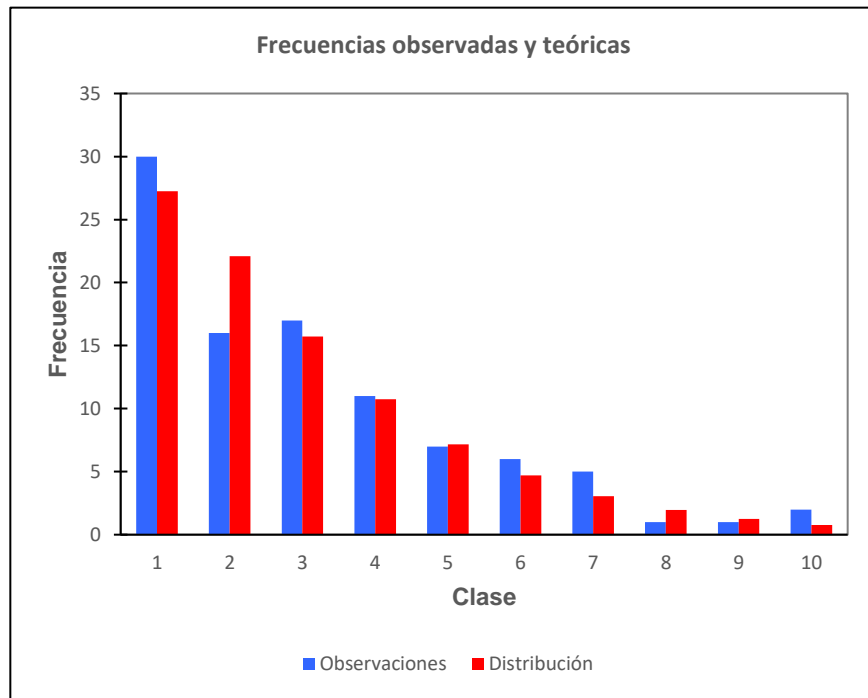
D	0.068
valor-p	0.735
Alfa	0.05

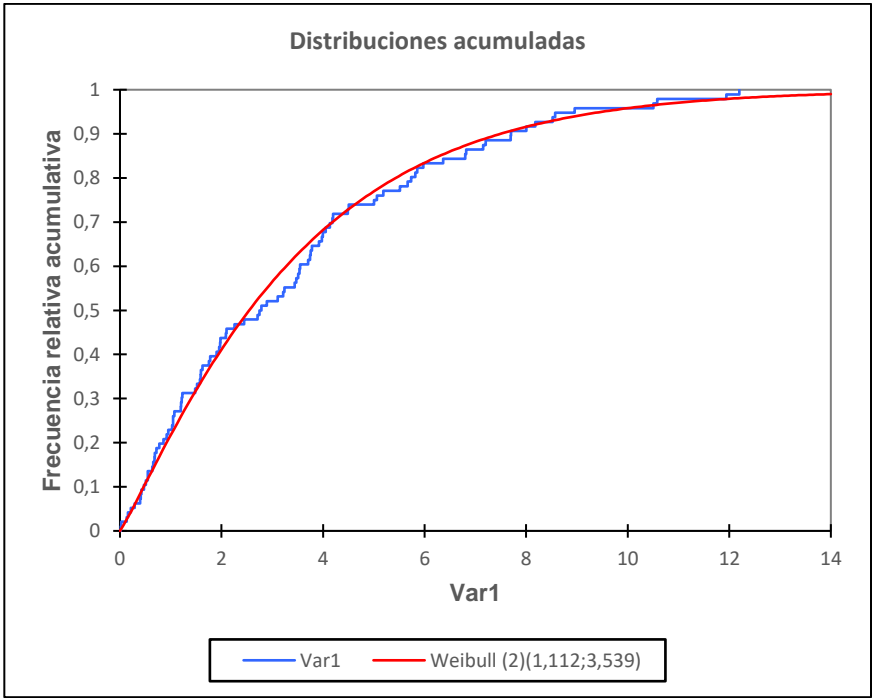
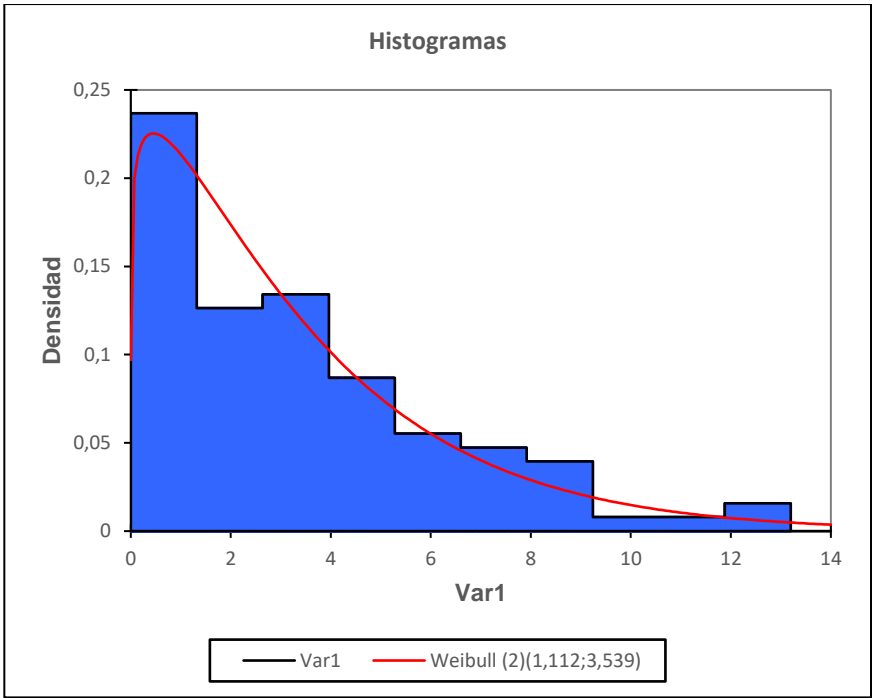
Interpretación de la prueba:

H0: La muestra sigue una distribución Weibull (2)

Ha: La muestra no sigue una distribución Weibull (2)

Puesto que el valor-p calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0,05$, no se puede rechazar la hipótesis nula H0. El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es de 73,51%





11.1.7 Torque revisado vaina

La distribución que se ajusta mejor a los datos para la prueba de bondad de ajuste es la distribución Weibull (2).

Parámetros estimados:

Parámetro	Valor	Error estándar
Beta	1.035	0.102
Gamma	1.028	0.131

No convergió el algoritmo principal después del número máximo de iteraciones.

Estadísticos estimados sobre los datos y calculados utilizando los parámetros estimados de la distribución Weibull (2):

Estadístico	Datos	Parámetros
Media	1.015	1.014
Varianza	0.929	0.961
Asimetría (Pearson)	1.681	1.901
Curtosis (Pearson)	2.678	5.356

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

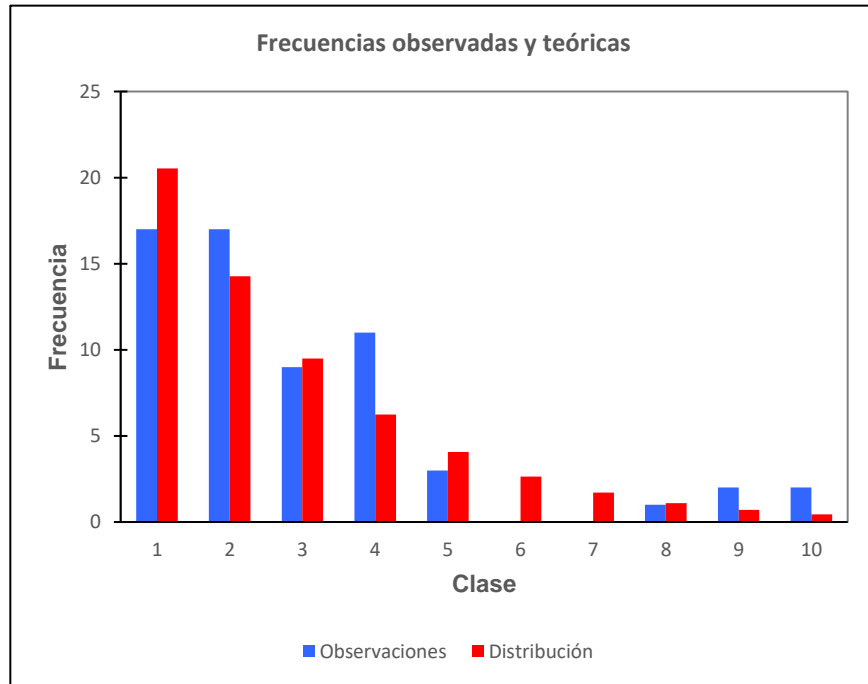
D	0.078
valor-p	0.817
Alfa	0.05

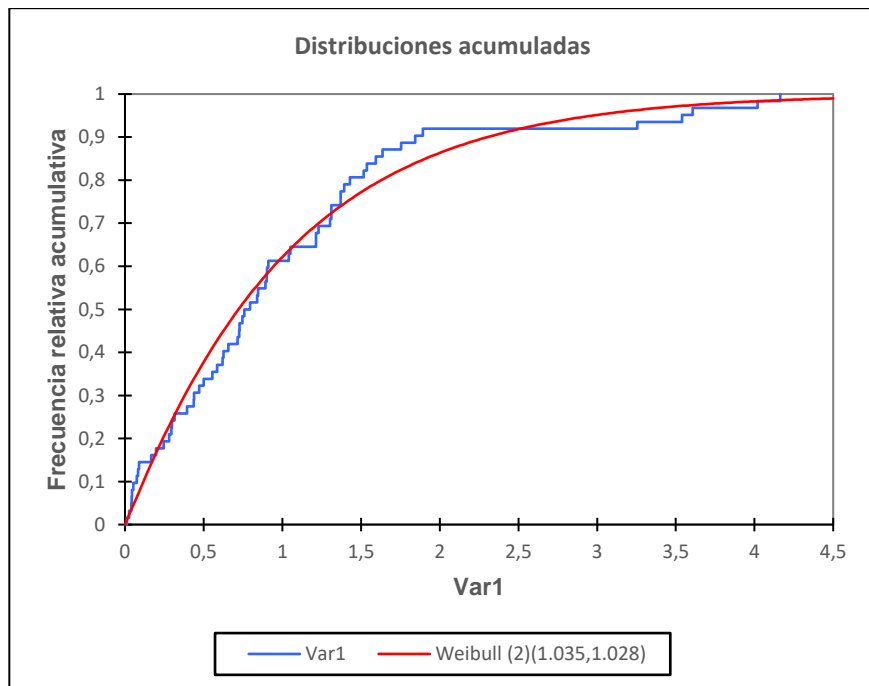
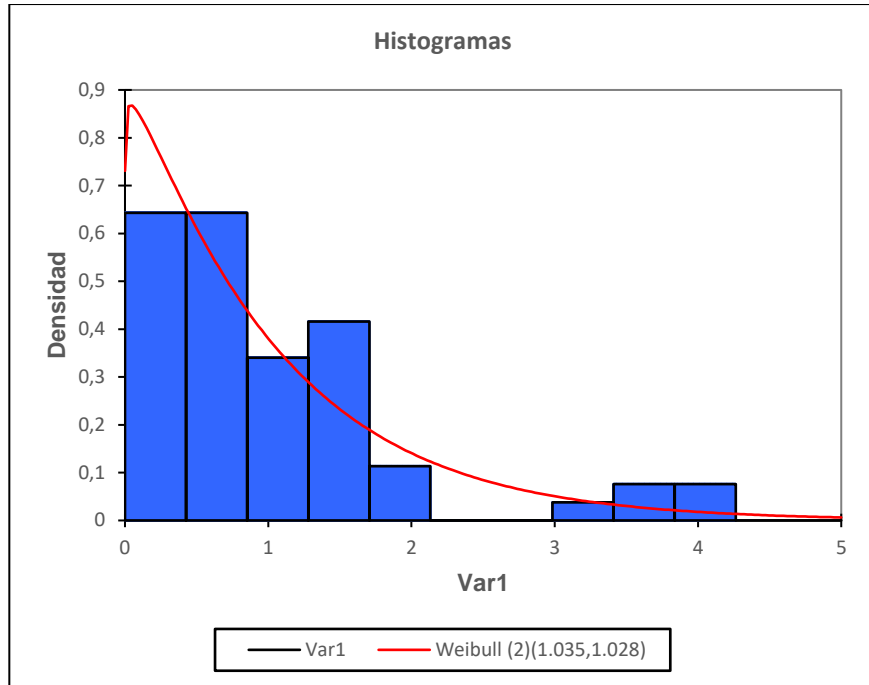
Interpretación de la prueba:

H0: La muestra sigue una distribución Weibull (2)

Ha: La muestra no sigue una distribución Weibull (2)

Puesto que el valor-p calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0,05$, no se puede rechazar la hipótesis nula H0. El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es de 81,69%





Continuando con el cálculo y ajuste de distribuciones se procede con mantenimiento de placas orificio efectuado en paro de mantenimiento 2015 ERA, el cual está compuesto por nueve actividades, las que se explican a continuación:

11.1.8 Armado de andamio

Como se explica en etapa de entregable mantener vaina esta actividad es común, por tanto, para detalles se debe revisar etapa entregable anterior referida a armado de andamio.

11.1.9 Placa Orificio retirada

La distribución que se ajusta mejor a los datos para la prueba de bondad de ajuste es la distribución Logística.

Parámetros estimados:

Parámetro	Valor	Error estándar
μ	0.683	0.056
S	0.267	0.026

Estadísticos de Log-verosimilitud:

Log-verosimilitud(LV)	-48.902
BIC(LV)	106.386
AIC(LV)	101.805

Estadísticos estimados sobre los datos y calculados utilizando los parámetros estimados de la distribución Logística:

Estadístico	Datos	Parámetros
Media	0.716	0.683
Varianza	0.225	0.235
Asimetría (Pearson)	0.698	0.000
Curtosis (Pearson)	0.018	1.200

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

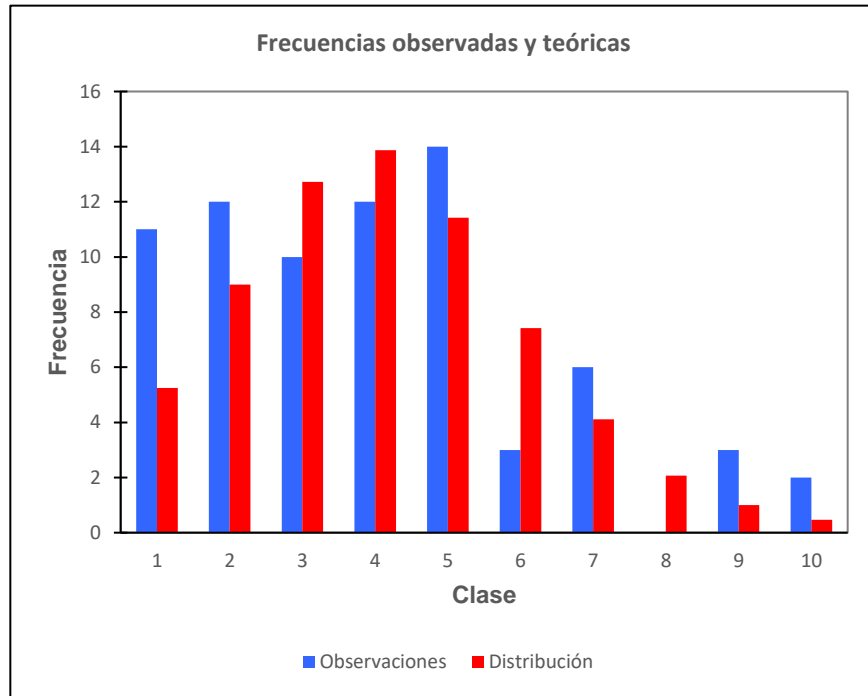
D	0.072
valor-p	0.812
Alfa	0.05

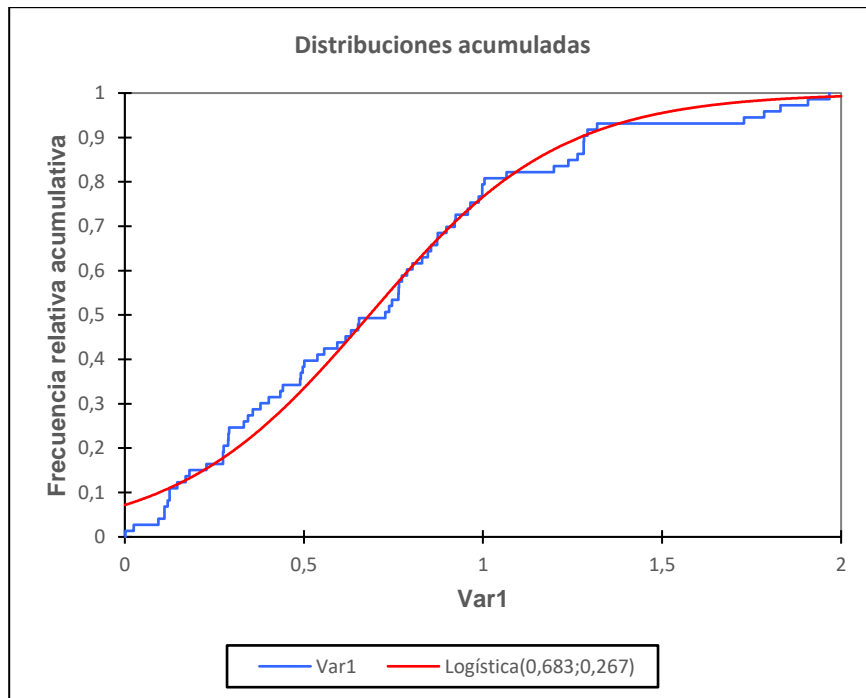
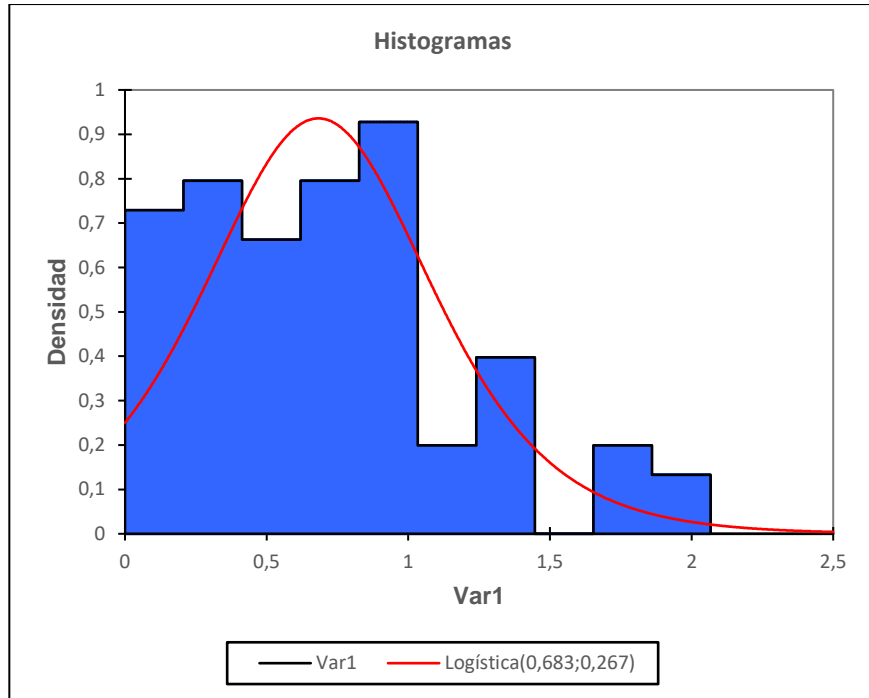
Interpretación de la prueba:

H0: La muestra sigue una distribución Logística

Ha: La muestra no sigue una distribución Logística

Puesto que el valor-p calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0,05$, no se puede rechazar la hipótesis nula H0. El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es de 81,24%





11.1.10 Mantenición lista Placa orificio

La distribución que se ajusta mejor a los datos para la prueba de bondad de ajuste es la distribución Weibull (2).

Parámetros estimados:

Parámetro	Valor	Error estándar
Beta	1.134	0.108
Gamma	2.805	0.250

Estadísticos de Log-verosimilitud:

Log-verosimilitud(LV)	-140.388
BIC(LV)	289.300
AIC(LV)	284.775

Estadísticos estimados sobre los datos y calculados utilizando los parámetros estimados de la distribución Weibull (2):

Estadístico	Datos	Parámetros
Media	2.687	2.681
Varianza	4.695	5.614
Asimetría (Pearson)	0.670	1.657
Curtosis (Pearson)	-0.232	3.933

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

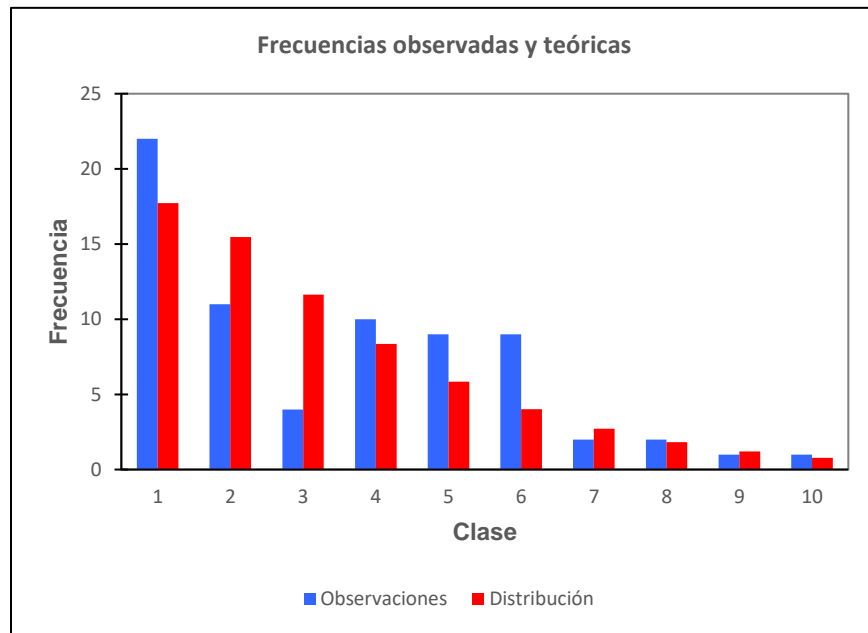
D	0.142
valor-p	0.105
Alfa	0.05

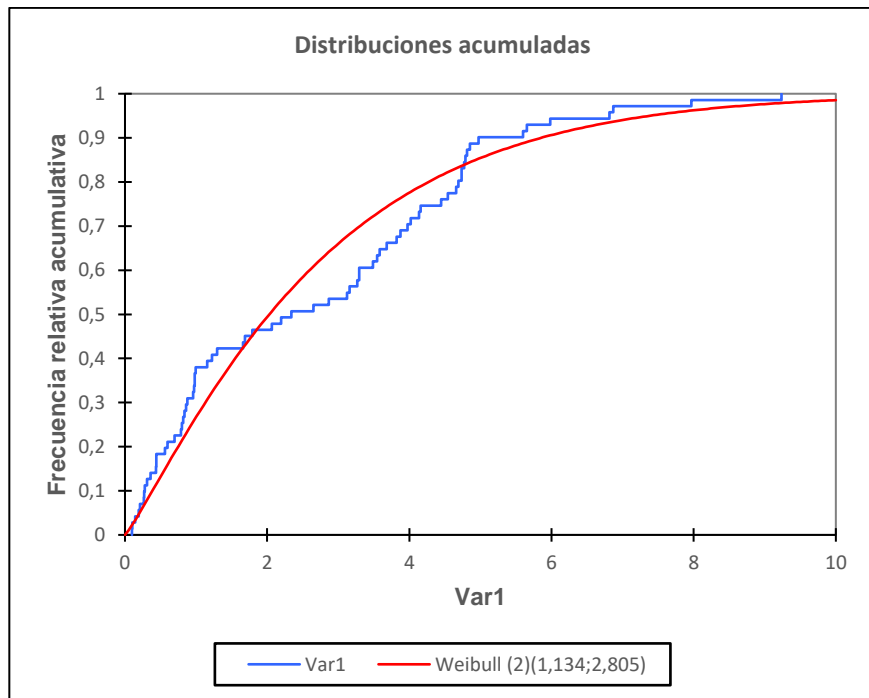
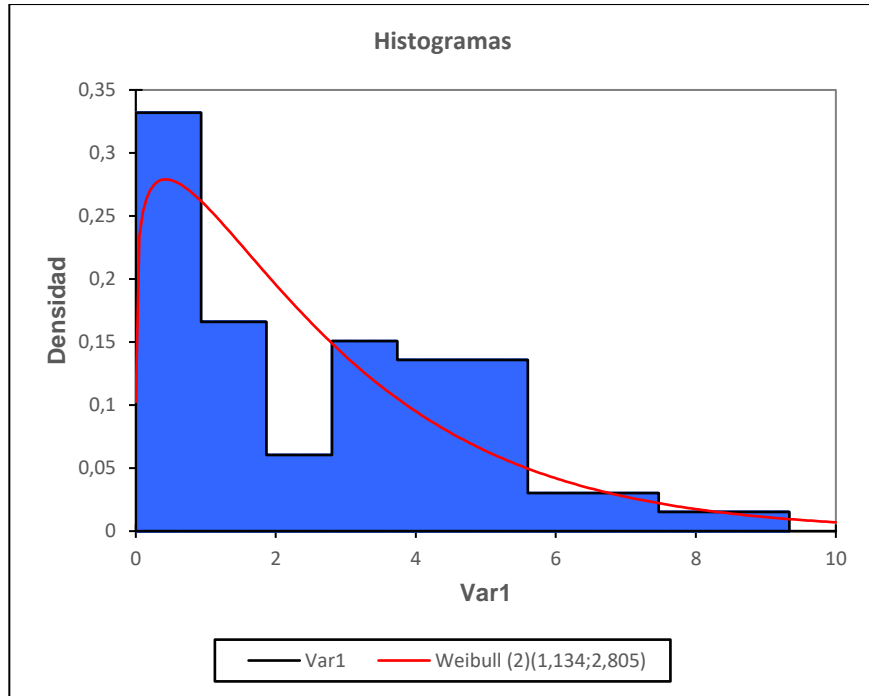
Interpretación de la prueba:

H0: La muestra sigue una distribución Weibull (2)

Ha: La muestra no sigue una distribución Weibull (2)

Puesto que el valor-p calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0,05$, no se puede rechazar la hipótesis nula H0. El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es de 10,53%





11.1.11 Entregada para instalar placa orificio

La distribución que se ajusta mejor a los datos para la prueba de bondad de ajuste es la distribución Weibull (2).

Parámetros estimados:

Parámetro	Valor	Error estándar
Beta	2.144	0.187
Gamma	1.692	0.095

Estadísticos de Log-verosimilitud:

Log-verosimilitud(LV)	-78.339
BIC(LV)	165.260
AIC(LV)	160.679

Estadísticos estimados sobre los datos y calculados utilizando los parámetros estimados de la distribución Weibull (2):

Estadístico	Datos	Parámetros
Media	1.500	1.499
Varianza	0.545	0.542
Asimetría (Pearson)	0.516	0.541
Curtosis (Pearson)	-0.193	0.089

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

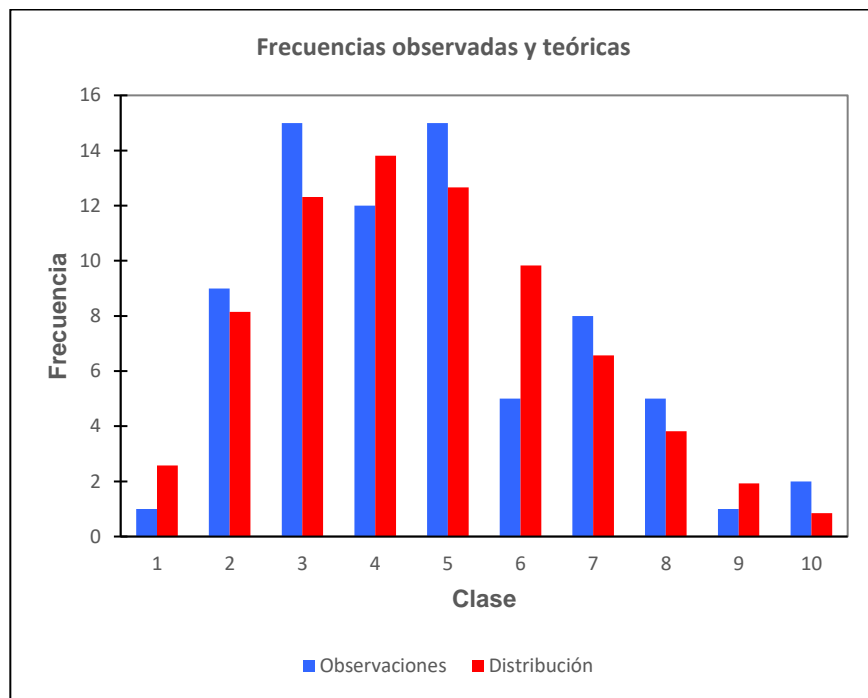
D	0.058
valor-p	0.956
Alfa	0.05

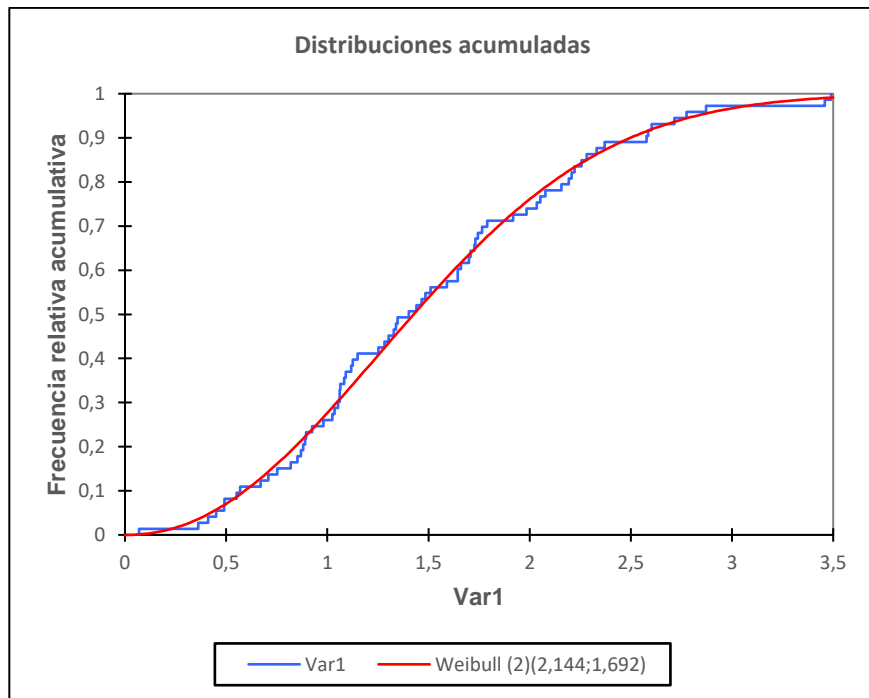
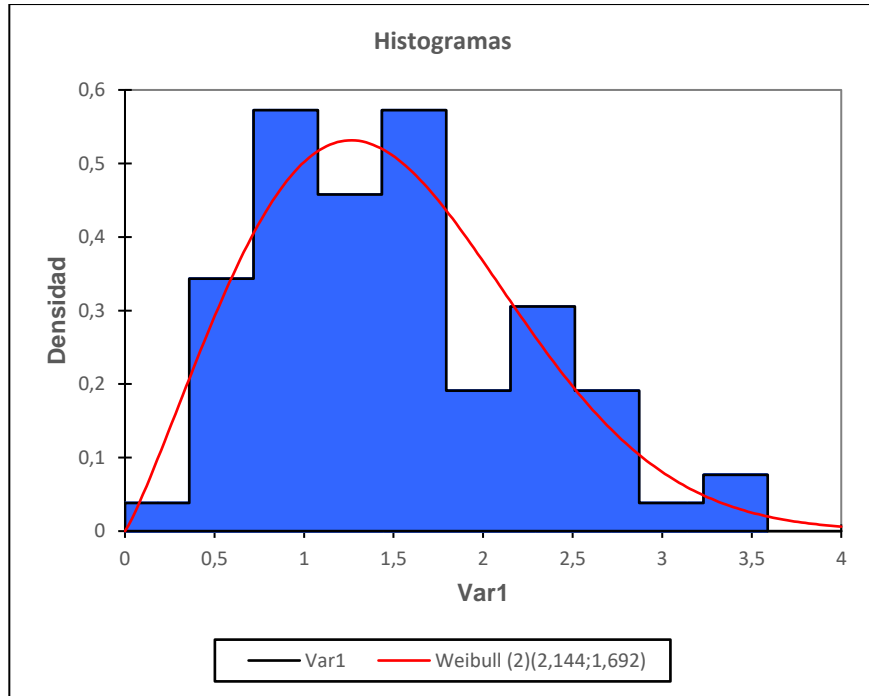
Interpretación de la prueba:

H0: La muestra sigue una distribución Weibull (2)

Ha: La muestra no sigue una distribución Weibull (2)

Puesto que el valor-p calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0,05$, no se puede rechazar la hipótesis nula H0. El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es de 95,62%





11.1.12 Lista para instalar

La distribución que se ajusta mejor a los datos para la prueba de bondad de ajuste es la distribución Log-normal.

Parámetros estimados:

Parámetro	Valor	Error estándar
μ	-0.244	0.171
sigma	1.439	0.116

Estadísticos de Log-verosimilitud:

Log-verosimilitud(LV)	-110.876
BIC(LV)	230.306
AIC(LV)	225.752

Estadísticos estimados sobre los datos y calculados utilizando los parámetros estimados de la distribución Log-normal.

Estadístico	Datos	Parámetros
Media	1.630	2.208
Varianza	3.047	33.844
Asimetría (Pearson)	1.163	26.194
Curtosis (Pearson)	0.063	5163.291

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

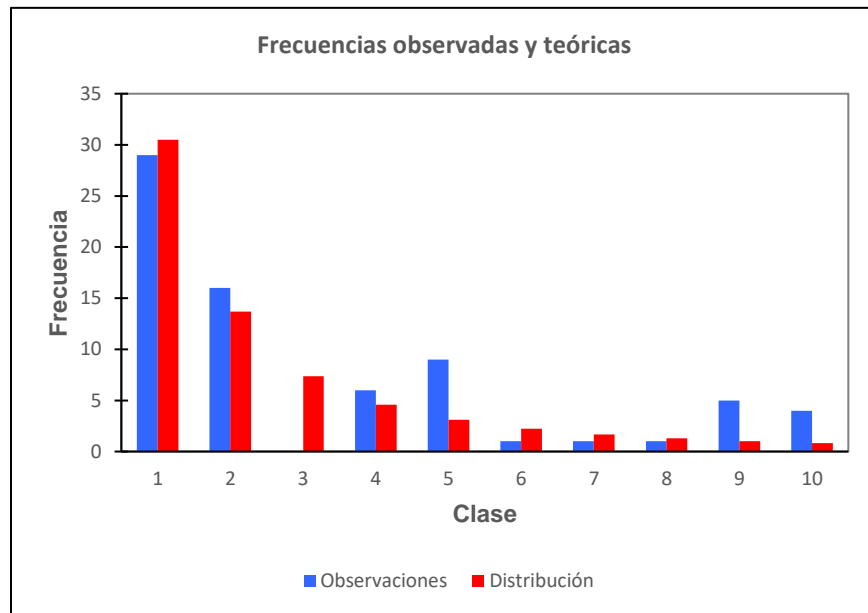
D	0.121
valor-p	0.227
Alfa	0.05

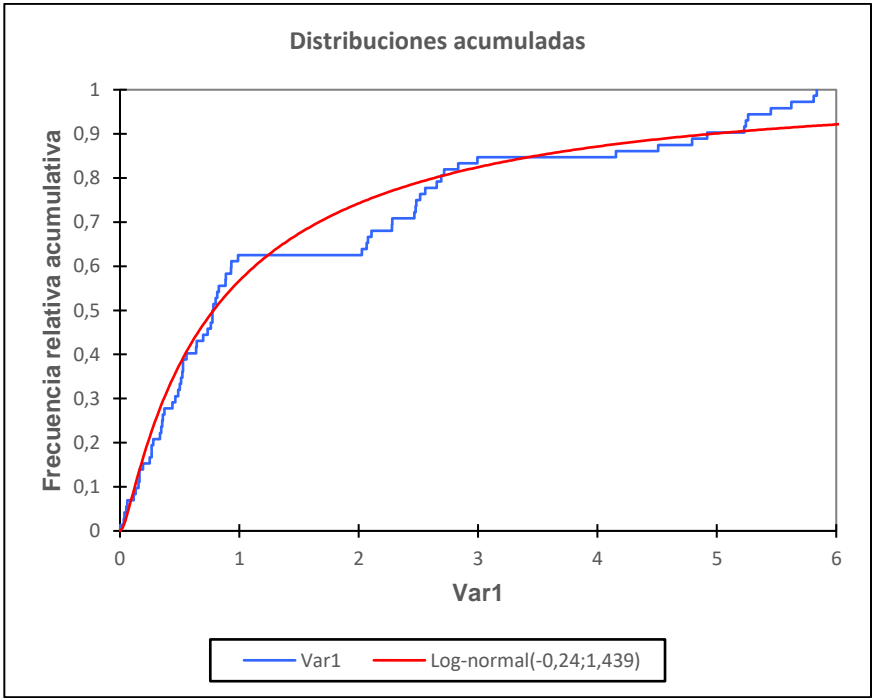
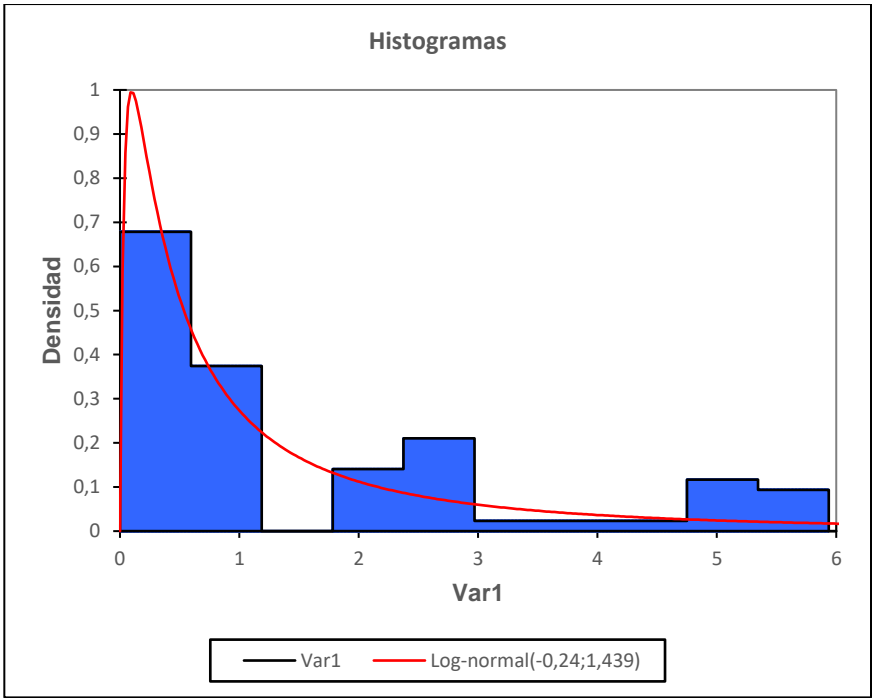
Interpretación de la prueba:

H0: La muestra sigue una distribución Log-normal

Ha: La muestra no sigue una distribución Log-normal

Puesto que el valor-p calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0,05$, no se puede rechazar la hipótesis nula H0. El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es de 22,74%





11.1.13 Lista para instalar

La distribución que se ajusta mejor a los datos para la prueba de bondad de ajuste es la distribución Fisher-Tippett (2).

Parámetros estimados:

Parámetro	Valor	Error estándar
Beta	2.396	0.296
μ	2.797	0.224

Estadísticos de Log-verosimilitud:

Log-verosimilitud(LV)	-178.655
BIC(LV)	365.890
AIC(LV)	361.309

Estadísticos estimados sobre los datos y calculados utilizando los parámetros estimados de la distribución Fisher-Tippett

Estadístico	Datos	Parámetros
Media	4.171	4.180
Varianza	8.195	9.443
Asimetría (Pearson)	0.294	1.140
Curtosis (Pearson)	-0.985	2.400

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

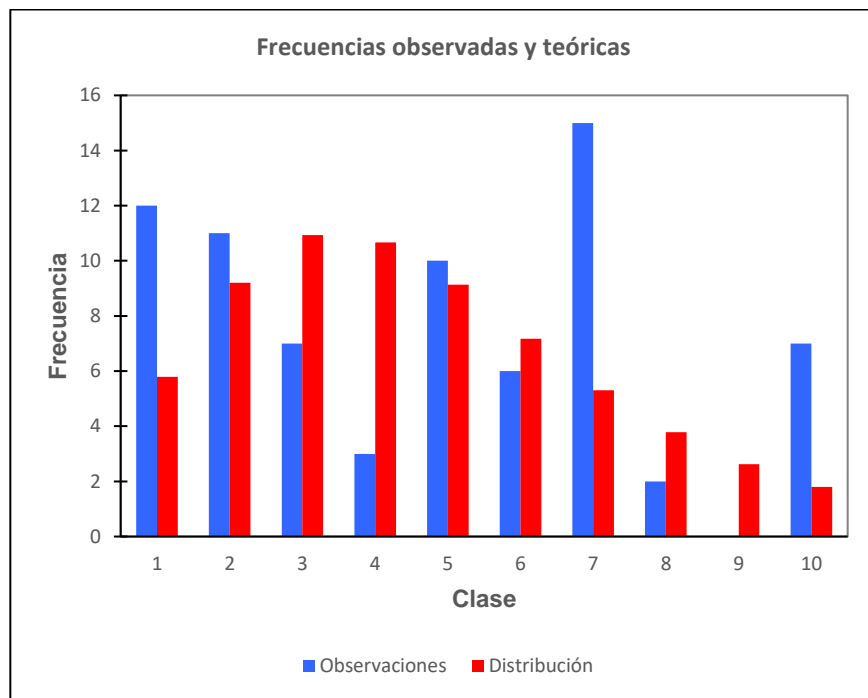
D	0.115
valor-p	0.266
Alfa	0.05

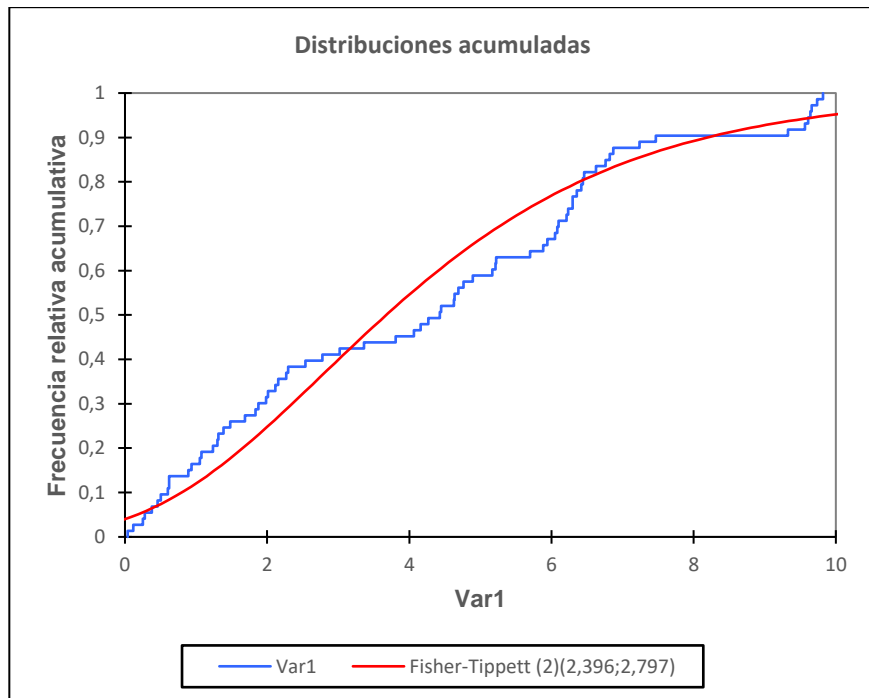
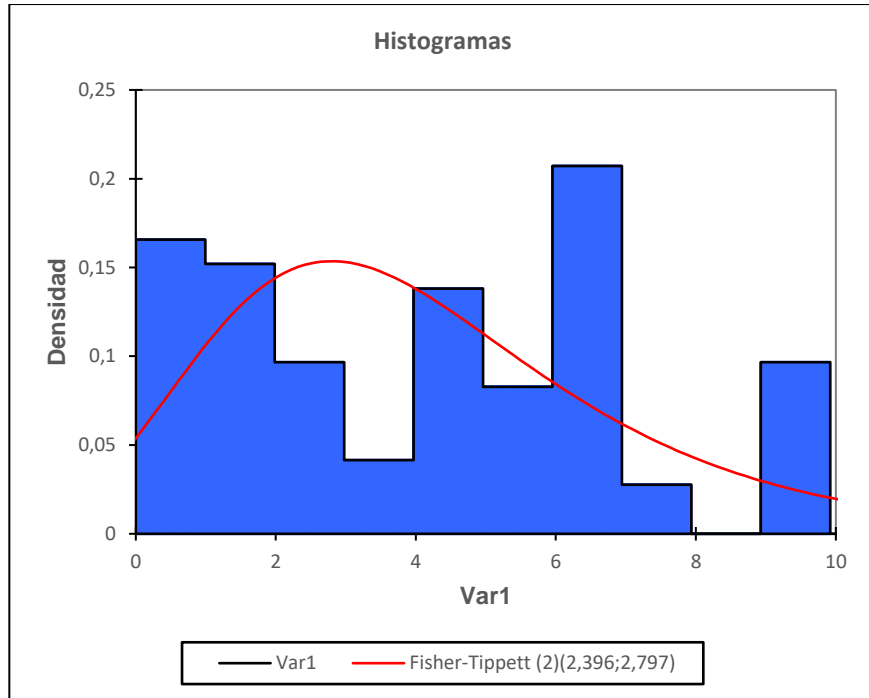
Interpretación de la prueba:

H0: La muestra sigue una distribución Fisher-Tippett (2)

Ha: La muestra no sigue una distribución Fisher-Tippett (2)

Puesto que el valor-p calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0,05$, no se puede rechazar la hipótesis nula H0. El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es de 26,62%





11.1.14 Placa orificio instalada

La distribución que se ajusta mejor a los datos para la prueba de bondad de ajuste es la distribución Beta4.

Parámetros estimados:

Parámetro	Valor	Error estándar
Alfa	0.727	0.023
Beta	1.603	0.023
C	0.171	
D	14.767	

Advertencia: El algoritmo ha convergido a un punto límite del espacio de parámetros.

Estadísticos estimados sobre los datos y calculados utilizando los parámetros estimados de la distribución Beta4:

Estadístico	Datos	Parámetros
Media	4.642	4.724
Varianza	12.495	13.729
Asimetría (Pearson)	0.631	0.684
Curtosis (Pearson)	-0.709	-0.555

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

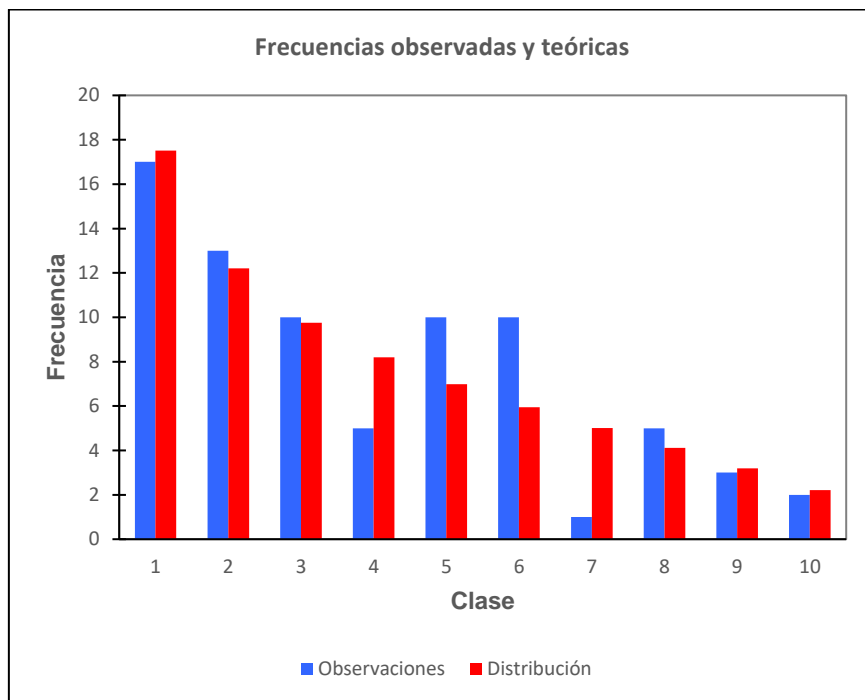
D	0.071
valor-p	0.806
Alfa	0.05

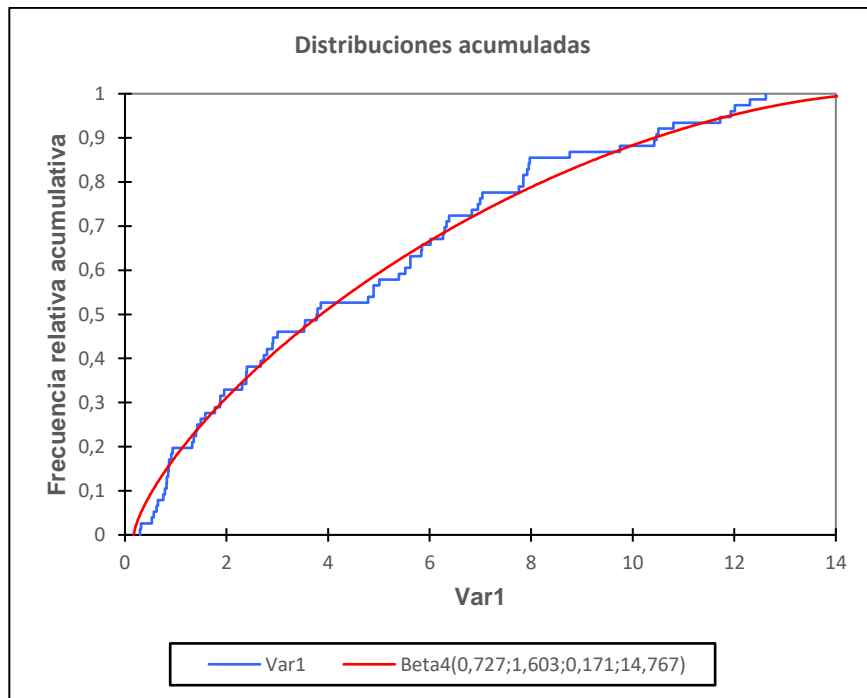
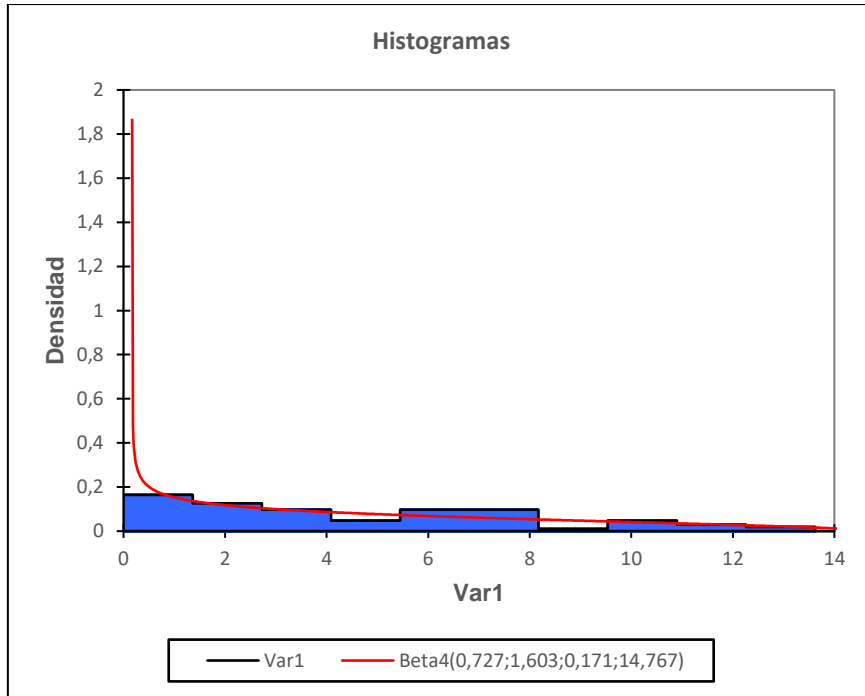
Interpretación de la prueba:

H0: La muestra sigue una distribución Beta4

Ha: La muestra no sigue una distribución Beta4

Puesto que el valor-p calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0,05$, no se puede rechazar la hipótesis nula H0. El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es de 80,55%





11.1.15 Revisar dirección flujo

La distribución que se ajusta mejor a los datos para la prueba de bondad de ajuste es la distribución Log-normal

Parámetros estimados:

Parámetro	Valor	Error estándar
μ	0.301	0.210
Sigma	1.882	0.148

Estadísticos de Log-verosimilitud:

Log-verosimilitud(LV)	-176.424
BIC(LV)	361.484
AIC(LV)	356.849

Estadísticos estimados sobre los datos y calculados utilizando los parámetros estimados de la distribución Log-normal.

Estadístico	Datos	Parámetros
Media	5.770	7.937
Varianza	69.362	2110.224
Asimetría (Pearson)	1.311	211.239
Curtosis (Pearson)	0.290	1502000.573

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

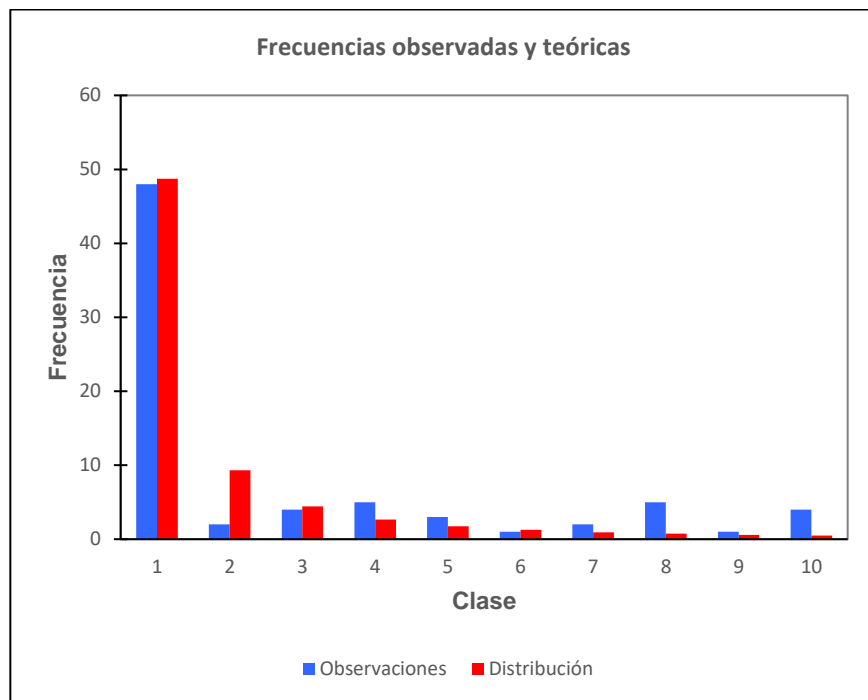
D	0.195
valor-p	0.006
Alfa	0.05

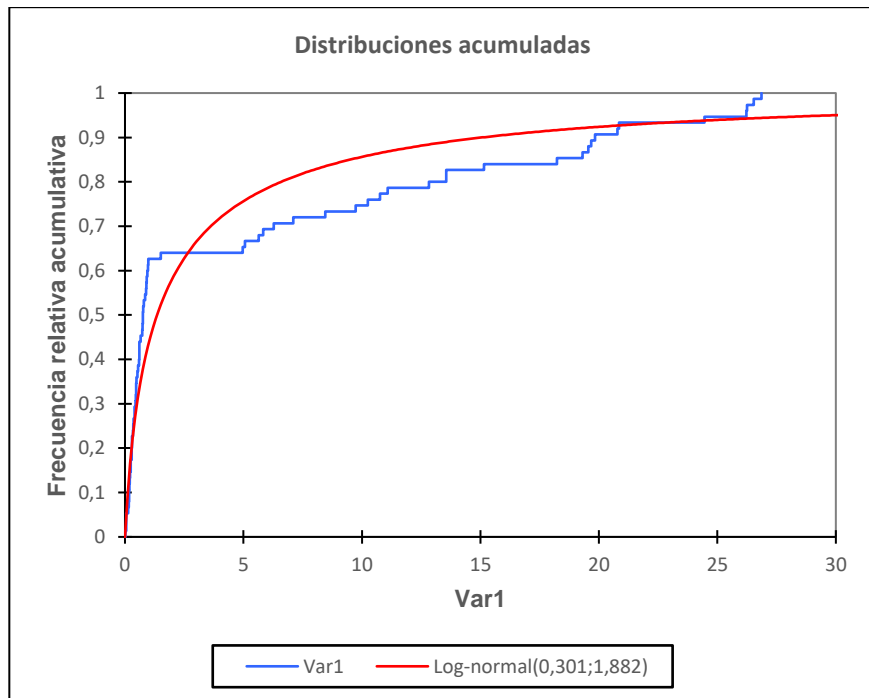
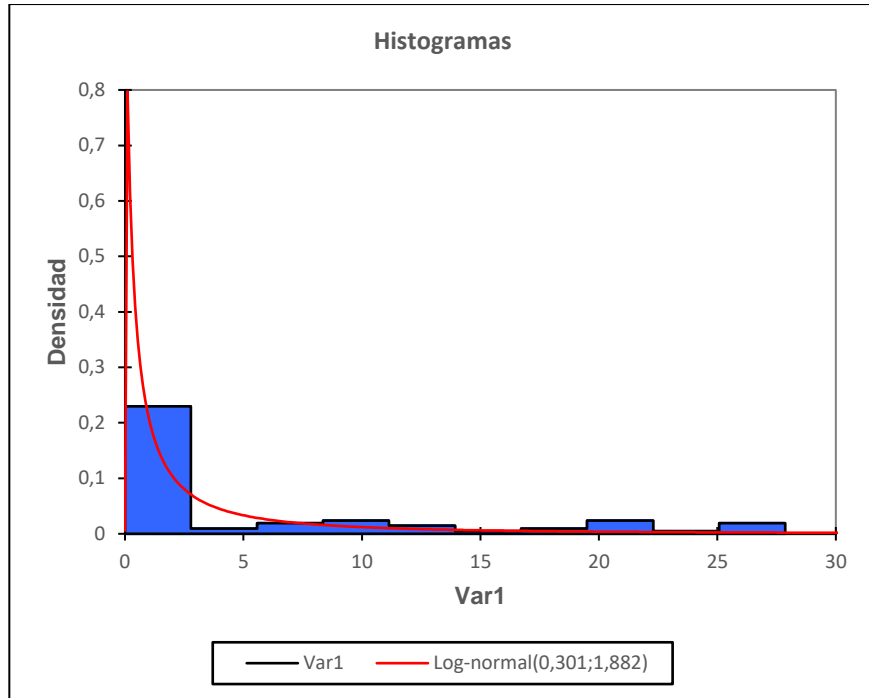
Interpretación de la prueba:

H0: La muestra sigue una distribución Log-Normal

Ha: La muestra no sigue una distribución Log-Normal

Puesto que el valor-p calculado es menor que el nivel de significación $\alpha=0,05$, se debe aceptar la hipótesis alternativa Ha. El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es inferior a 0,58%





11.1.16 Torque revisado placa orificio

La distribución que se ajusta mejor a los datos para la prueba de bondad de ajuste es la distribución Exponencial.

Parámetro estimado:

Parámetro	Valor	Error estándar
Lambda	0.146	0.017

Estadísticos de Log-verosimilitud:

Log-verosimilitud(LV)	-216.359
BIC(LV)	437.021
AIC(LV)	434.717

Estadísticos estimados sobre los datos y calculados utilizando los parámetros estimados de la distribución Exponencial

Estadístico	Datos	Parámetros
Media	6.847	6.847
Varianza	29.925	0.021
Asimetría (Pearson)	0.654	2.000
Curtosis (Pearson)	-0.452	6.000

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

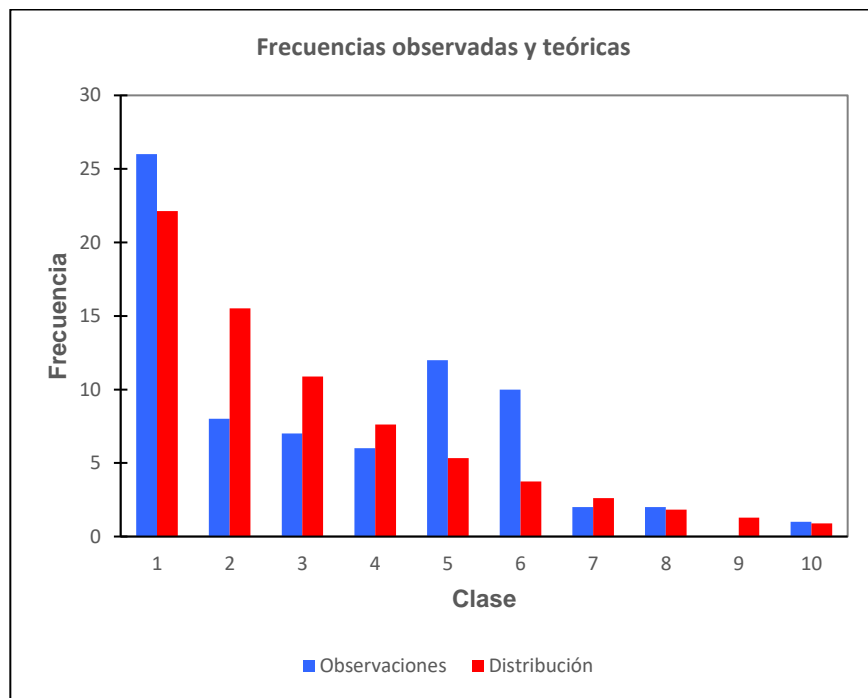
D	0.134
valor-p	0.129
Alfa	0.05

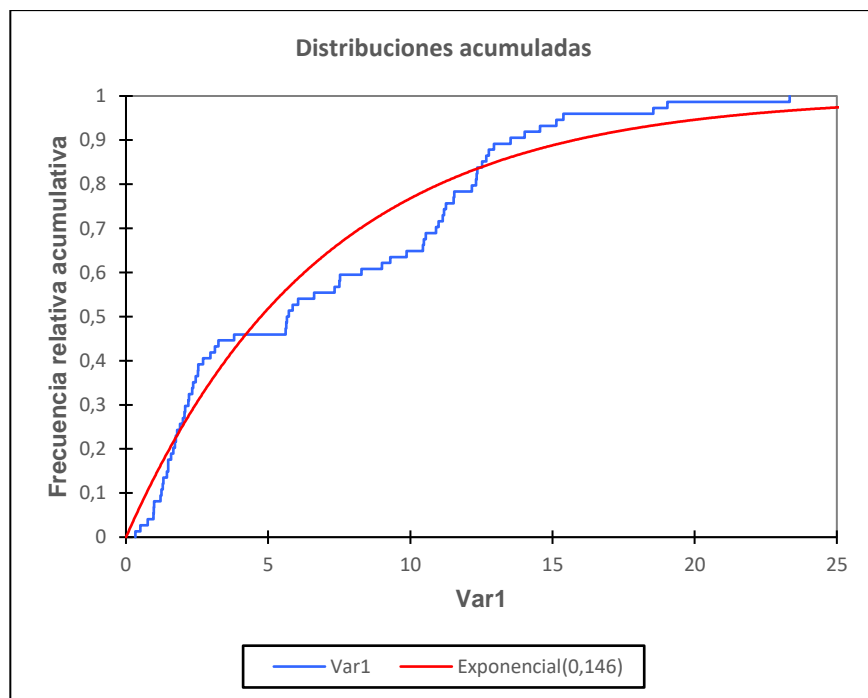
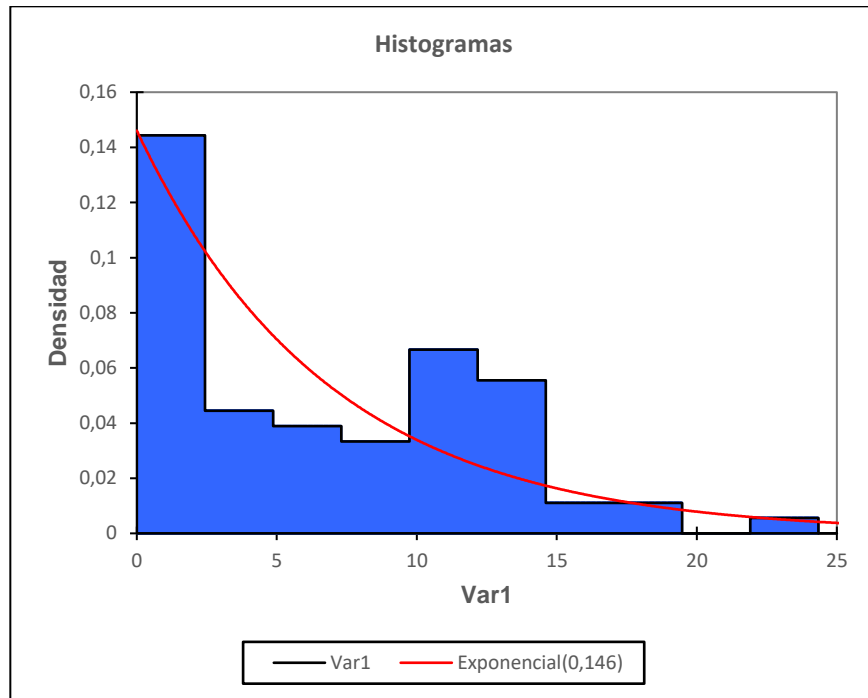
Interpretación de la prueba:

H0: La muestra sigue una distribución Exponencial

Ha: La muestra no sigue una distribución Exponencial

Puesto que el valor-p calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0,05$, no se puede rechazar la hipótesis nula H0. El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es de 12,88%





11.1.17 Mantenición lista transmisores

La distribución que se ajusta mejor a los datos para la prueba de bondad de ajuste es la distribución Logística.

Parámetros estimados:

Parámetro	Valor	Error estándar
μ	12.520	0.243
S	3.180	0.149

Estadísticos de Log-verosimilitud:

Log-verosimilitud(LV)	-289.914
BIC(LV)	588.872
AIC(LV)	583.828

Estadísticos estimados sobre los datos y calculados utilizando los parámetros estimados de la distribución Logística:

Estadístico	Datos	Parámetros
Media	12.734	12.520
Varianza	32.130	33.276
Asimetría (Pearson)	0.328	0.000
Curtosis (Pearson)	-0.048	1.200

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

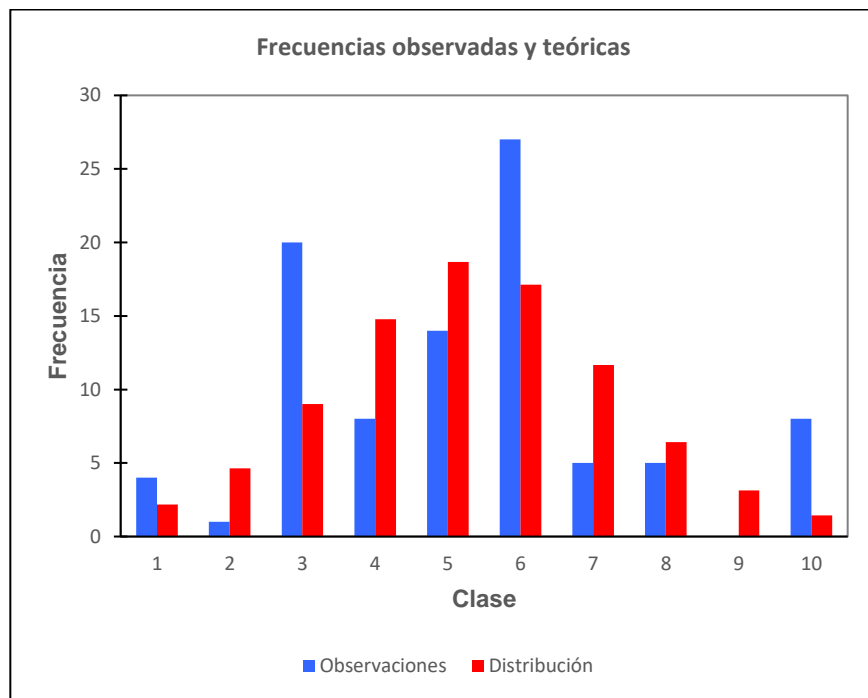
D	0.087
valor-p	0.462
Alfa	0.05

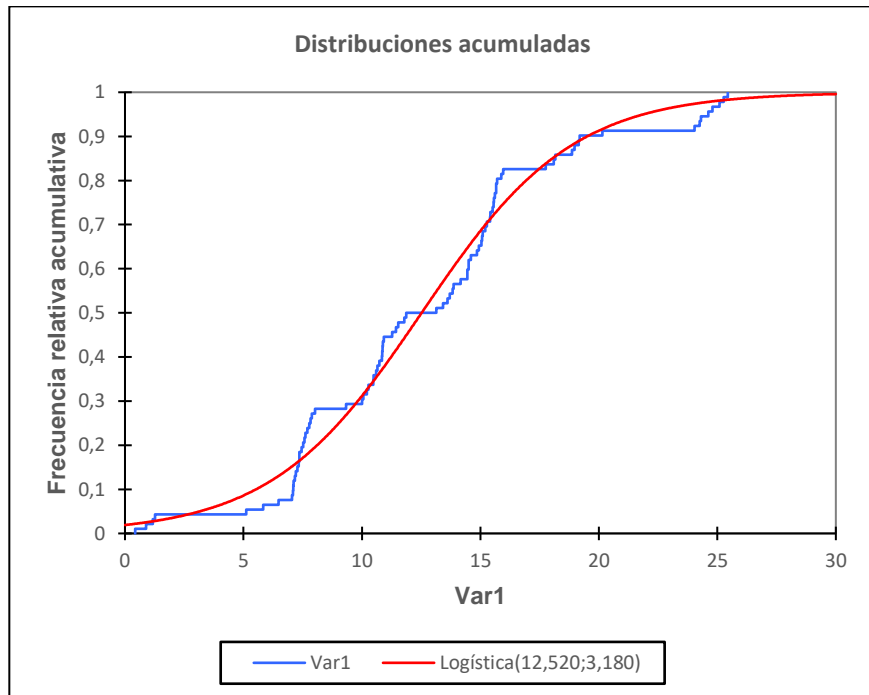
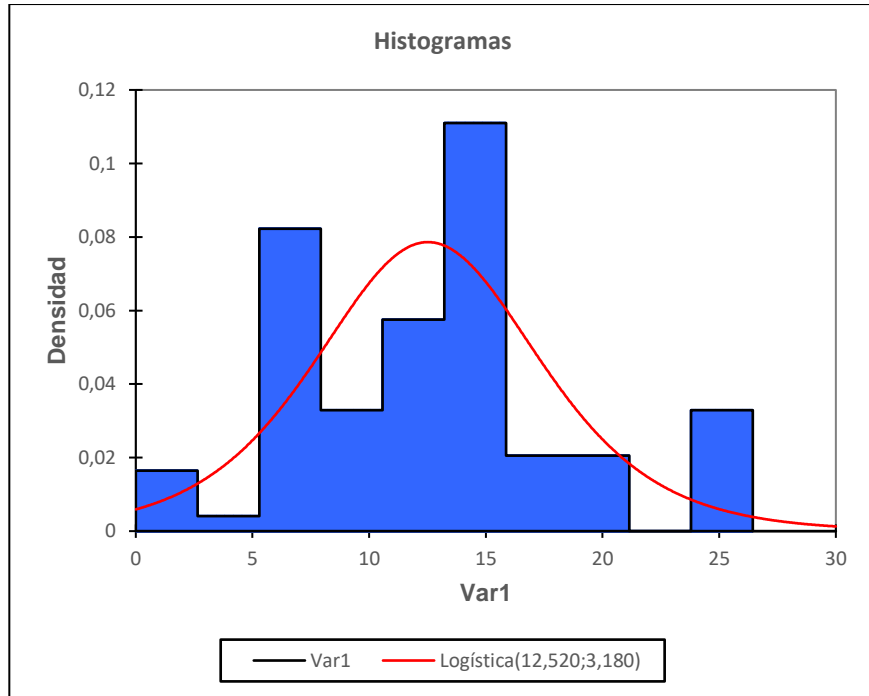
Interpretación de la prueba:

H0: La muestra sigue una distribución Logística

Ha: La muestra no sigue una distribución Logística

Puesto que el valor-p calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0,05$, no se puede rechazar la hipótesis nula H0. El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es de 46,21%





11.1.18 Transmisor instalado

La distribución que se ajusta mejor a los datos para la prueba de bondad de ajuste es la distribución Weibull (2).

Parámetros estimados:

Parámetro	Valor	Error estándar
Beta	0.979	0.082
Gamma	3.555	0.451

Estadísticos de Log-verosimilitud:

Log-verosimilitud(LV)	-211.783
BIC(LV)	432.631
AIC(LV)	427.565

Estadísticos estimados sobre los datos y calculados utilizando los parámetros estimados de la distribución Weibull (2):

Estadístico	Datos	Parámetros
Media	3.588	3.588
Varianza	12.357	13.434
Asimetría (Pearson)	1.098	2.065
Curtosis (Pearson)	0.250	6.442

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

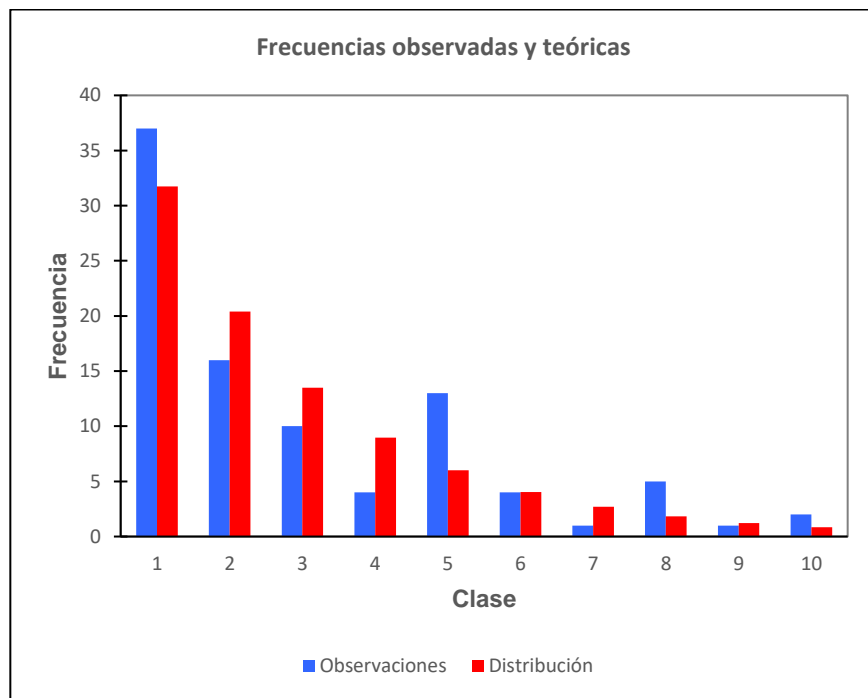
D	0.095
valor-p	0.344
Alfa	0.05

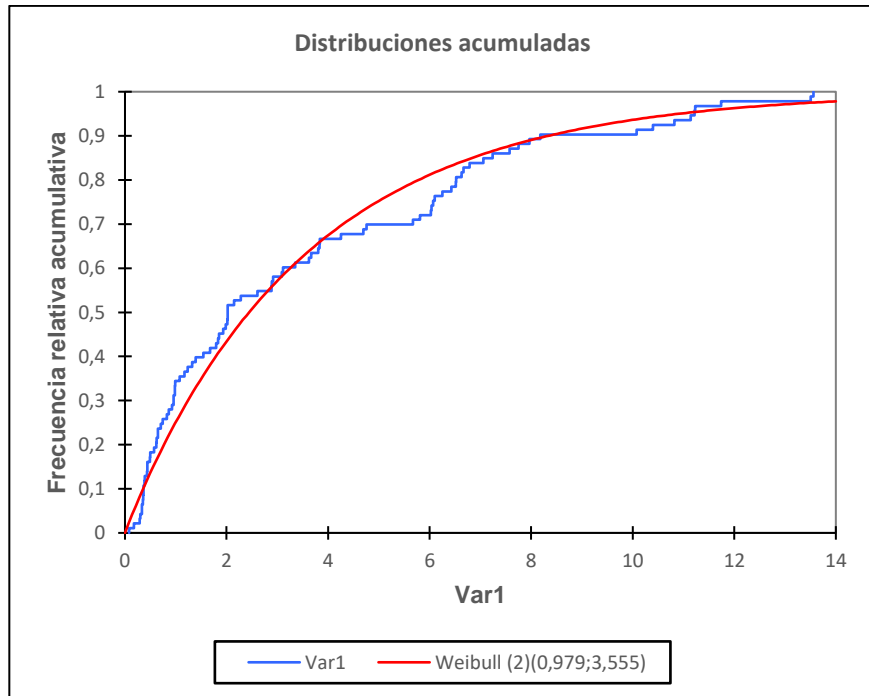
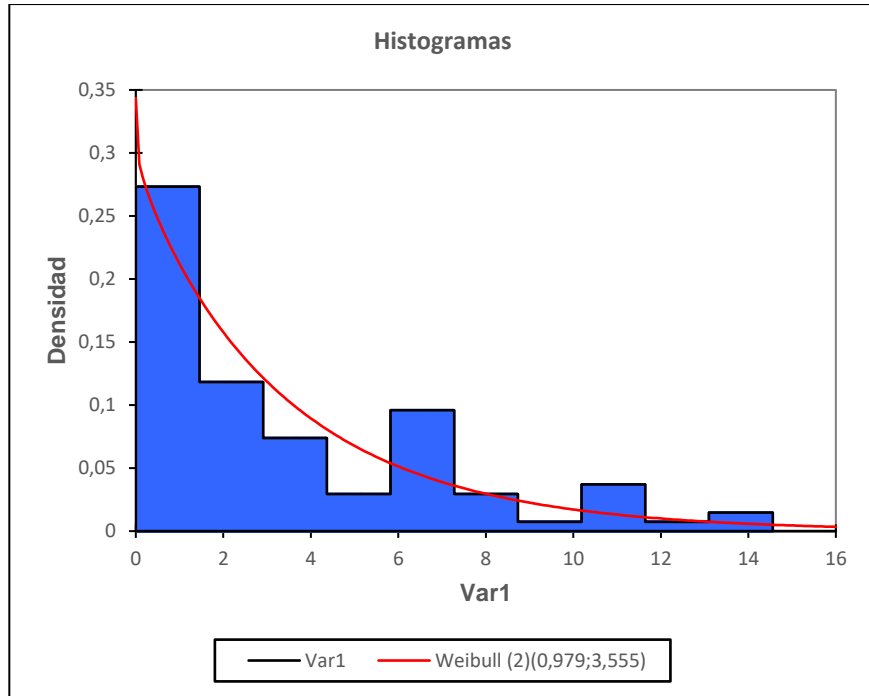
Interpretación de la prueba:

H0: La muestra sigue una distribución Weibull (2)

Ha: La muestra no sigue una distribución Weibull (2)

Puesto que el valor-p calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0,05$, no se puede rechazar la hipótesis nula H0. El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es de 34,38%





11.1.19 Transmisor revisado

La distribución que se ajusta mejor a los datos para la prueba de bondad de ajuste es la distribución Beta4.

Parámetros estimados:

Parámetro	Valor	Error estándar
Alfa	1.155	0.041
Beta	1.142	0.025
C	-0.070	
D	8.868	

No convergió el algoritmo principal después del número máximo de iteraciones.

Estadísticos estimados sobre los datos y calculados utilizando los parámetros estimados de la distribución Beta4:

Estadístico	Datos	Parámetros
Media	4.399	4.425
Varianza	5.791	6.057
Asimetría (Pearson)	0.028	-0.010
Curtosis (Pearson)	-1.028	-1.133

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

D	0.089
valor-p	0.834
alfa	0.05

Interpretación de la prueba:

H0: La muestra sigue una distribución Beta4

Ha: La muestra no sigue una distribución Beta4

Puesto que el valor-p calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0,05$, no se puede rechazar la hipótesis nula H0. El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es de 83,36%

