

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
INGENIERÍA EN DISEÑO DE PRODUCTOS
VALPARAÍSO - CHILE**



Diseño centrado en el usuario aplicado a la implementación de mejoras
en el mantenimiento de aisladores en líneas de transmisión eléctrica

**CARLOS LINO MARCELLINI YUS
MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO EN DISEÑO DE PRODUCTOS
PROFESOR GUÍA: LEONARDO MADARIAGA
AGOSTO 2021**

AGRADECIMIENTOS |

Quiero agradecer a mis padres, por traerme al mundo y dotarme de amor y buenos consejos. También, a toda mi familia, mis tías, lelas, hermanas y primos, que me apoyaron siempre y me ayudaron a entender mis virtudes y defectos.

A mi pareja que me acompañó en cada etapa, desde mi entrada a mi salida. Entendiendo mis tiempos y apoyando con su amor y calidez cuando todo se nublaba.

A mis amigos y compañeros, a quienes conocí a través de los años de aprendizaje. Gracias por hacer mi estancia en la universidad una experiencia divertida, enriquecedora y llena de bonitos recuerdos.

A los docentes que invirtieron su pasión en compartir conocimiento, aquellos que apoyaron y aconsejaron en cada idea, cada proyecto y cada postulación. Siempre viendo a una persona antes que a una nota.

Finalmente, a Tongo le Tongue por amenizar mis tardes de redacción con su música.

RESUMEN |

La energía eléctrica es un insumo vital para las actividades de la población, razón por la que día a día las compañías eléctricas invierten recursos en la manutención de sus activos para el correcto funcionamiento del suministro eléctrico. Esta actividad es de suma importancia, debido a que los componentes se encuentran expuestos constantemente a peligro de fallas. En el caso de los aisladores eléctricos, la aparición de descargas parciales supone un problema para ejercer su función con normalidad, ya que las variables del entorno afectan su operación. Dentro de este panorama, durante el año 2020, la empresa Chilquinta Energía acudió al programa de Memorias Multidisciplinarias de la UTFSM con el fin de generar una herramienta de apoyo para el diagnóstico de aisladores, con la consideración del uso de metodologías basadas en Machine Learning para la innovación y vigencia de sus procedimientos. El equipo a cargo del desafío combina disciplinas del área de diseño, eléctrica y telemática, con el fin de ofrecer una solución acorde y con enfoque interdisciplinario.

El trabajo se desarrolló a lo largo de 8 meses y consideró la aplicación de metodologías de diseño para el estudio de usuarios y el contexto. A través del estudio de los conflictos y recursos disponibles, se determinó que el desafío inicial debería contar con una base sólida antes de considerar cualquier implementación orientada a un modelo predictivo. Es por este motivo que se generaron insumos orientados a reforzar las labores y criterios actuales. Entre ellos la estandarización del proceso de mantenimiento a través de una guía referencial, el desarrollo y estandarización de sus herramientas actuales y un detector de anomalías que complementa la toma de decisiones y se orienta a construir data valiosa para el futuro. Adicionalmente, se definió la proyección de una estructura de trabajo para que al largo plazo el objetivo inicial sea generado acorde a lo esperado.

ABSTRACT |

Electric energy is a vital supply for the activities of the population, that is why every day, electricity companies invest resources in maintaining their assets for the proper functioning of the electricity supply. This activity is extremely important because the components are constantly exposed to failure. In the case of electrical insulators, the appearance of partial discharges is a problem to perform their function correctly, since environmental variables affect their operation. In this panorama, the company Chilquinta Energía attended the “Memorias Multidisciplinarias” program of the UTFSM to generate a support tool for the diagnosis of insulators, with the addition of the use of methodologies based on Machine Learning for the innovation and validity of its procedures. The team in charge of the challenge combines disciplines from design, electrical and telematics areas, to offer a consistent solution with an interdisciplinary approach.

The work was developed over 8 months and considered the application of design methodologies for the study of users and context. Through the study of conflicts and available resources, it was determined that the initial

challenge should have a solid foundation before considering any implementation oriented to a predictive model. It is for this reason that solutions were generated to allow reinforcing of the current tasks and criteria. Among them, the standardization of procedures through a reference guide, the development and standardization of its current tools and an anomaly detector that complements decision-making and works towards building valuable data for the future. Additionally, the projection of the plan was defined so that in long terms, the initial objective is generated according to expectations.

ÍNDICE |

AGRADECIMIENTOS	2
RESUMEN	3
ABSTRACT	5
ÍNDICE	7
ÍNDICE DE FIGURAS	10
ÍNDICE DE TABLAS	13
I. INTRODUCCIÓN	14
II. OBJETIVOS	18
OBJETIVO GENERAL:	19
OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	19
.....	20
III. CAPÍTULO 1	20
CAPÍTULO 1: DATOS GENERALES DE LA EMPRESA	21
IV. CAPÍTULO 2	23
2.1 El mercado chileno	24
2.2 La compañía Chilquinta Energía S.A y su rubro en el mercado	25
.....	29
V. CAPÍTULO 3	29
3.1 Elementos generales de una línea de transmisión	30
3.2 La problemática de los aisladores	32
3.3 La gestión de activos	33
VI. CAPÍTULO 4	34
4.1 El desafío propuesto	35
4.2 Marco de trabajo	35
VII. CAPÍTULO 5	37

5.1 Revisión general de los factores causales	38	9.3 Revisión de actividades para la indagación de conflictos	74
5.2 Revisión general del mantenimiento en la industria	39	9.4 Planteamiento de soluciones parciales.....	79
VIII. CAPÍTULO 6 	41	9.5 Estudio de recursos	82
6.1 Metodologías de inspección usadas en el mantenimiento predictivo.....	42	9.6 Evaluación de soluciones.....	84
6.2 El Machine Learning como herramienta de análisis en el mantenimiento predictivo.	43	XII. CAPÍTULO 10 	90
IX. CAPÍTULO 7 	45	10.1 De soluciones a insumos	91
7.1 Proceso de entrevista.....	46	10.2 Relación con el desafío inicial.....	93
7.2 Resultados de la entrevista	47	10.3 Proyección de las soluciones	94
7.2.1 Etapas del proceso de mantenimiento	47	XIII. CAPÍTULO 11 	97
7.2.2 Análisis de los usuarios involucrados	48	11.1 La cartilla de inspección	98
7.2.3 Metodología de inspección.....	51	11.2 Cambios asociados a la usabilidad	99
7.2.4 Conclusiones del estudio	55	11.3 Cambios asociados a la definición de variables	103
X. CAPÍTULO 8 	56	XIV. CAPÍTULO 12 	104
8.1 Las variables de la inspección y su representación como datos	57	12.1 Definiciones base	105
8.2 Estudio de las variables a través de la cartilla de inspección	58	12.2 Implementación de la herramienta	107
8.3 Revisión de correlación entre variables	63	12.3 Usabilidad de herramienta	108
8.4 Revisión crítica de la información extraída	66	XV. CAPÍTULO 13 	110
8.5 Conclusiones del análisis de variables.	67	13.1 Bases de la guía referencial.....	111
XI. CAPÍTULO 9 	69	13.2 Contenido de la guía referencial	113
9.1 ¿Por qué análisis de tareas?.....	70	13.3 Fuentes de información.....	116
9.2 Descomposición de actividades	71	13.4 Lineamientos de diseño	117
		XVI. CAPÍTULO 14 	118
		14.1 Retroalimentación del desempeño ...	119
		14.2 Evaluación final y proyecciones	120
		XVII. CONCLUSIONES 	121
		XVIII. REFERENCIAS 	125

XIX. ANEXOS |..... 130

ÍNDICE DE FIGURAS|

Figura 1 Esquema sistema eléctrico en Chile. Fuente: (Claseejecutiva, 2019).....	25
Figura 2 Mapa de actores. Fuente: Elaboración propia.....	27
Figura 3 Estructuras de transmisión. Fuente: (Aspen, s.f).....	31
Figura 4 Conductores eléctricos. Fuente (La Nación, 2019).....	31
Figura 5 Aislador de vidrio. Fuente:(Pixabay, 2018)	31
Figura 6 Flashover en superficie de aislador (Chrzn, 2009)	32
Figura 7 Limpieza de aisladores. (Fuente: Highlinedivision,2021)	40
Figura 8 Secuencia de trabajo. Fuente: Elaboración propia.....	49
Figura 9 Mapa de empatía. Fuente: Elaboración propia.....	50
Figura 10 Cámara coronográfica. Fuente (Amperis, 2021).....	52

Figura 11 Registro de descargas en aisladores con cámara coronográfica.	
Fuente: (Chilquinta,2021).....	52
Figura 12 Vista general de cartilla.	
Fuente: (Chilquinta, 2019).....	53
Figura 13 Diagrama de proceso. Fuente: Elaboración propia	54
Figura 14 Diagrama tipos de variable. Fuente: Elaboración propia	58
Figura 15 Clasificación de variables por tipo. Fuente: Elaboración propia	61
Figura 16 Evaluación por semáforo. Fuente: Elaboración propia	62
Figura 17 Clasificación por conteo de descargas. Fuente: (Chilquinta,2019).....	62
Figura 18 Clasificación EPRI. Fuente: (Chilquinta, 2018).....	63
Figura 19 Ejemplos de inconsistencia en el llenado de celdas. Fuente: Elaboración propia	64
Figura 20 Matriz de Correlaciones. Fuente: Elaboración del equipo	65

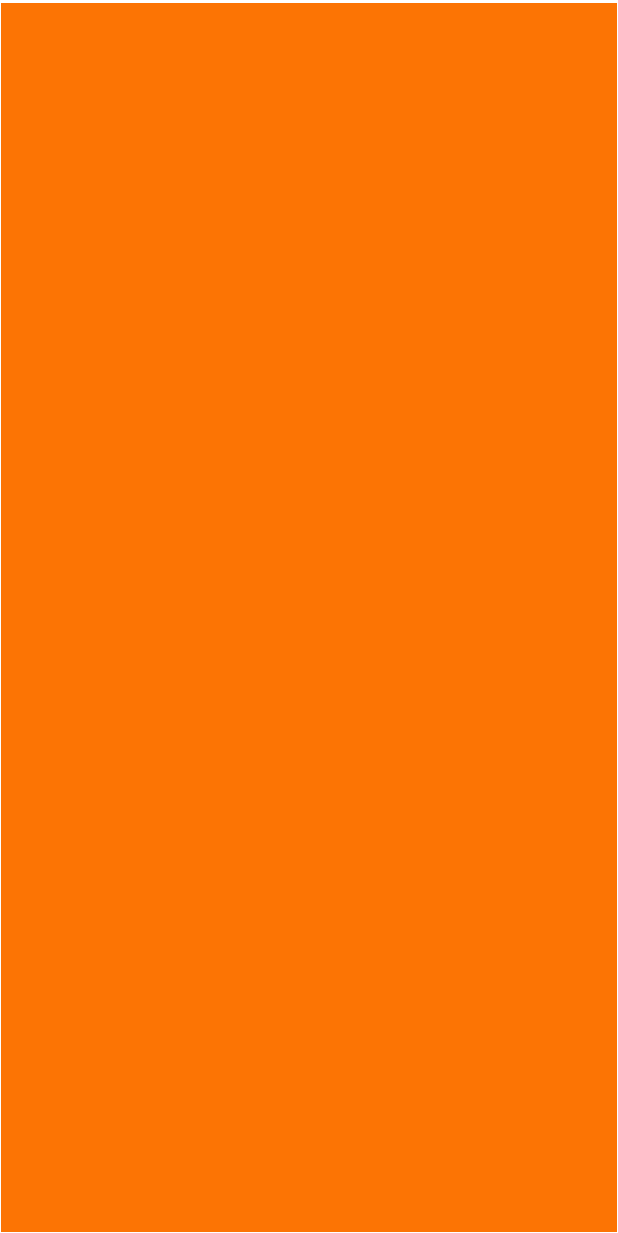
Figura 21 Comparación entre EPRI vs Descargas. Fuente: Elaboración propa ..	66
Figura 22 Universo del proceso de inspección. Fuente: Elaboración propia.	71
Figura 23 Universo de técnico en mantenimiento. Fuente: Elaboración propia	72
Figura 24 Diagrama de tareas. Fuente: Elaboración propia.....	73
Figura 25 Conflictos en T2. Fuente: Elaboración propia.....	75
Figura 26 Conflictos en T3. Fuente: Elaboración propia.....	77
Figura 27 Conflictos en T4. Fuente: Elaboración propia.....	78
Figura 28 Clasificación de recursos. Fuente: Elaboración propia.....	83
Figura 29 Tabla de parámetros para evaluación de recursos. Fuente: (Nikulin et al., 2019)	85
Figura 30 Insumos para análisis de la empresa. Fuente: Elaboración propia.....	92

Figura 31 Diagrama de proyección del proyecto. Fuente: Elaboración propia.....	95
Figura 32 LLenado automático de datos. Fuente: Elaboración propia.....	100
Figura 33 Cambio de formato de datos. Fuente: Elaboración propia.....	101
Figura 34 Celda con recomendación. Fuente: Elaboración propia.....	101
Figura 35 Resumen visual de aisladores. Fuente: Elaboración propia.....	102
Figura 36 Resumen de cantidad de aisladores en el semáforo. Fuente: Elaboración propia.....	102
Figura 37 Pestañas alternativas. Fuente: Elaboración propia.....	102
Figura 38 Unidad de medida en celdas. Fuente: Elaboración propia.....	103
Figura 39 Objetivo de detector de anomalías. Fuente: Elaboración propia	106
Figura 40 Modelado de requerimientos. Fuente: Elaboración propia.....	106

Figura 41 Esquema de funcionamiento de detector de anomalías. Fuente: Elaboración propia.....	108
Figura 42 Pestaña de anomalías. Fuente: Elaboración propia.....	108
Figura 43 Detector de anomalías global y particular. Fuente: Elaboración propia .	108
Figura 44 Portada de guía referencial. Fuente: Elaboración propia.....	112
Figura 45 Página con definiciones de importancia. Fuente: Elaboración propia ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 46 Página con equipos y herramientas. Fuente: Elaboración propia ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 47 Página con parte de descripción del procedimiento. Fuente: Elaboración propia..... ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 48 Página con los cambios generados en la reestructuración. Fuente: Elaboración propia..... ¡Error! Marcador no definido.	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Variables de cartilla de inspección. Fuente: Elaboración propia.	60
Tabla 2 Conflictos explicados en T2. Fuente: Elaboración propia.....	76
Tabla 3 Conflictos explicados en T3. Fuente: Elaboración propia.....	77
Tabla 4 Conflictos explicados en T4. Fuente: Elaboración propia.....	79
Tabla 5 Soluciones parciales por conflicto. Fuente: Elaboración propia.....	81
Tabla 6 Evaluación de soluciones. Fuente: Elaboración propia.....	87
Tabla 7 Soluciones evaluadas. Fuente: Elaboración propia.....	88



I. INTRODUCCIÓN |

INTRODUCCIÓN |

La energía eléctrica es un insumo de gran importancia en el ritmo de vida actual de las personas, puesto que es utilizada en el desarrollo de gran parte de labores relacionadas con la generación de movimiento, señales y calefacción necesarias para sustentar el día a día. La dependencia del suministro eléctrico es una necesidad respaldada por la enorme cobertura de electrificación del país, abarcando un 99,6% a nivel nacional (Minergía, 2019). Es debido a esto, que los servicios brindados por las empresas eléctricas son regulados gracias al ministerio nacional de energía con el fin de asegurar un abastecimiento acorde a las funciones y normativas esperadas. Un factor importante en la regulación del servicio es su estabilidad, cuya interrupción puede afectar negativamente el desarrollo de actividades de la población.

Para la empresa Chilquinta Energía, el mantenimiento de sus activos es un factor de extrema importancia en la continuidad del suministro, razón por la cual invierte de manera constante en la mejora de herramientas y procedimientos que permitan llevar esta tarea de manera más eficiente.

Uno de sus activos más numerosos y significativos son los **aisladores eléctricos**, elementos claves de las amplias líneas energéticas de la compañía, estos se encargan de dar sostén y aislamiento a los conductores electrificados. Al verse expuestos al medio ambiente son susceptibles a fallas que impiden su correcto funcionamiento, por dicha razón son sometidos a un proceso de inspección y análisis periódico ligado a la estructura de un modelo preventivo. Los resultados de la metodología actual permiten evitar fallas en el sistema, sin embargo, no ofrecen mayor información respecto a la estimación de recursos aplicados y el estado real de los aisladores. Para progresar en la gestión de sus activos, Chilquinta propone el desarrollo de un mantenimiento predictivo basado en la generación de una herramienta que permita pronosticar y anticipar fallas potenciales a través del uso de inteligencia artificial. A través de la indagación del contexto, el estudio de recursos y la aplicación de metodologías de investigación se evalúa la factibilidad de aplicación del desafío planteado por la empresa, destacando el rol de los usuarios como responsables de la recolección e interpretación de la información. Se realizará la evaluación de

implementación a la par de la generación de insumos de utilidad para el proceso y se proponen mejoras en los protocolos inspección y análisis del procedimiento actual para alinearlos con el objetivo de desarrollo de un mantenimiento predictivo a largo plazo.

El presente documento, generado en el marco del programa de memorias multidisciplinarias de la Universidad Técnica Federico Santa María expone el trabajo desarrollado en un equipo compuesto por tres alumnos de: Ingeniería Civil Telemática, Ingeniería Eléctrica e Ingeniería en Diseño de Productos, enfocándose en el área correspondiente a esta última disciplina. El equipo fue evaluado durante el programa a través de un docente guía para cada carrera, quienes entregaron la orientación necesaria para el proceso. El programa tuvo una duración de diez meses, en donde, en comunicación con la empresa Chilquinta Energía a través de la interacción constante con los encargados del departamento de mantenimiento en transmisión y la encargada del departamento de innovación, se generó el trabajo periódico respecto al desafío, culminando en la entrega de una presentación final, un informe de evaluación y la entrega de insumos para mejorar la

implementación a largo plazo de la herramienta objetivo. El contexto del desafío se enmarca en el teletrabajo producto de las restricciones sanitarias existentes a la fecha provocadas por una pandemia de Coronavirus que afectó a la población mundial. Esto, limitando el aspecto

investigativo y la disponibilidad de recursos a la hora de generar soluciones. No obstante, ambas partes coordinaron sus intereses y tiempos para desempeñar lo acordado de la mejor manera posible dentro del ámbito remoto.



II. OBJETIVOS |

OBJETIVOS |

OBJETIVO GENERAL:

1. Analizar los procesos de recolección, traspaso e interpretación de datos asociados al estado de los aisladores en líneas de transmisión eléctrica, para el estudio de mejoras en los procesos de mantenimiento.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Identificar los elementos clave asociados al mantenimiento en líneas de transmisión eléctrica de Chilquinta energía.
2. Diagnosticar la problemática y conflictos presentes en las labores estudiadas a través de la recolección de información sobre el contexto.
3. Evaluar la factibilidad de aplicación de metodologías predictivas basadas en Machine Learning mediante el estudio de recursos de la empresa.
4. Desarrollar propuestas centradas en el usuario para la mejora de procesos relacionados al mantenimiento de aisladores.



III. CAPÍTULO 1 |

CAPÍTULO 1: DATOS GENERALES DE LA EMPRESA CHILQUINTA ENERGÍA

- **Historia:** Los orígenes de la empresa se remontan al año 1921, época en donde es constituida la Compañía Chilena de Electricidad Ltda., también llamada Chilectra Ltda. Esta última se mantiene en operación durante 60 años hasta 1981, en donde, bajo una estrategia de holding financiero surge Chilquinta S.A, la cual finalmente pasaría a ser Chilquinta Energía S.A en 1995. En los años posteriores, se encargó de diversificar sus operaciones y cobertura, ingresando finalmente al negocio de la transmisión de energía en el año 2012, abarcando gran parte de los activos de transmisión en la región de Valparaíso.

- **Datos de contacto:**

Domicilio administrativo: Avenida Argentina N° 1,
Piso 9

Comuna: Valparaíso

Ciudad: Valparaíso

Región: Valparaíso

Casilla: 12-V

Página web: www.chilquinta.cl

Teléfono: 32 245 3020

Fono Servicio: 600 600 5000

- Productos y servicios:

Dentro de los principales giros de la empresa se encuentran:

Obtener, transferir, comprar, arrendar, gravar o explotar en cualquiera forma las concesiones a que se refiere la Ley General de Servicios Eléctricos, y solicitar los permisos y franquicias para conservar, promover o desarrollar los fines de la Sociedad.

Realizar en forma directa o a través de otras Empresas, la compra, venta, importación, exportación, elaboración o producción, comercialización y distribución, por cuenta propia o ajena, de toda clase de mercaderías que digan relación con la energía de toda clase, el hogar, deportes, esparcimiento o la computación.

A large, solid orange rectangle occupies the left side of the page, extending from the top to the bottom and from the left edge to about one-third of the way across the page.

IV. CAPÍTULO 2 |

CAPÍTULO 2: LA INDUSTRIA ELÉCTRICA

2.1 El mercado chileno

Acorde al Ministerio de Energía (2019), el porcentaje de viviendas nacionales que poseen acceso a energía eléctrica corresponde al 99,6%, cifra que continúa aumentando con el tiempo. La electricidad, por lo tanto, se ha convertido en un servicio básico indispensable para las personas, razón por la cual el servicio debe ser normado y regulado continuamente, asegurando que se cumplan los estándares mínimos relacionados con seguridad, estabilidad y accesibilidad. El sector eléctrico en Chile está regulado por la Ley General de Servicios Eléctricos Decreto con Fuerza de Ley 4/2018, el reglamento de la Ley Eléctrica Decreto Supremo N°327-1997 y sus modificaciones que han ido perfeccionando el funcionamiento del sector, siendo la máxima autoridad el Ministerio de Energía, encargado de regular y coordinar las políticas y normas del sector. La fiscalización y regulación respecto al cumplimiento de leyes, normas y políticas está a cargo de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC). Por último, el ente encargado de la regulación de precios, tarifas y

normativa técnica es la Comisión Nacional de Energía (CNE).

Dentro del rubro de la energía eléctrica existen tres sectores complementarios que permiten el abastecimiento de la población:

- **Generación:** Encargado de la producción de energía eléctrica a través de centrales tecnológicas que transforman otras energías, tales como la solar, calórica, hidráulica, nuclear entre otras.
- **Transmisión:** Tiene como función transportar energía eléctrica desde una central generadora a través de líneas de transporte conductoras, en niveles altos de voltaje, hacia subestaciones eléctricas para que sean entregadas a las líneas de distribución.
- **Distribución:** Su función es distribuir, en niveles menores de voltaje que los de Transmisión, la energía eléctrica hacia los clientes finales para su uso doméstico, público e industrial.



Figura 1. Esquema sistema eléctrico en Chile. Fuente: (Clase ejecutiva, 2019)

En Chile, las empresas privadas son las encargadas de desarrollar los roles anteriormente descritos, quienes son reguladas bajo la normativa específica de cada sector. Tal como indica Chilquinta, “los segmentos de transmisión y distribución poseen características de monopolio natural, por tanto, son sectores regulados, mientras que la Generación sigue reglas de la libre competencia” (2020, p. 51).

2.2 La compañía Chilquinta Energía S.A y su rubro en el mercado

La Compañía Chilquinta energía se encuentra estrictamente relacionada con los tres sectores de la industria, contando con activos a su nombre en el área de transmisión y distribución. El territorio operativo de la empresa abarca 11.496 km² en la Región de Valparaíso de Chile, abasteciendo con sus servicios a gran parte de

las provincias de Valparaíso, Marga Marga, Quillota, San Felipe, Los Andes y San Antonio. La compra de energía y potencia se realiza a diferentes empresas generadoras mediante licitaciones públicas que perduran durante un periodo determinado de tiempo (Valdés, 2012). Por otra parte, las ventas de energía eléctrica son realizadas mayoritariamente a clientes del sector residencial, siguiendo con el comercial, industrial y finalmente el agrícola.

La empresa desarrolla planes de inversión para un periodo de cinco años, los cuales tienen como objetivo reforzar la calidad y continuidad del servicio, mantener la seguridad de sus activos e instalaciones y el cumplimiento de la normativa. Adicionalmente se busca de manera continua dar satisfacción a la creciente demanda a través del aumento productivo de los recursos y operaciones, actualizando los modelos de gestión y aplicando nuevas tecnologías y herramientas informáticas. (Chilquinta 2020)

Para efectos del estudio a desarrollar a lo largo de este documento, el enfoque será orientado al área de Transmisión de Chilquinta, más

concretamente al mantenimiento de esta. La operación de una empresa tan grande e influyente como la analizada, conlleva un completo ecosistema que debe funcionar en cooperación y armonía. Para visualizar lo comentado, existe una útil herramienta que presenta y clasifica de manera gráfica, gran parte de las entidades participantes influidas o influyentes en el mantenimiento de la empresa. Este instrumento es conocido como el **Mapa de Actores** (Stakeholders map), en concreto, en su forma de diagrama circular (Onion map), una diagramación clásica, la cual fue adaptada posterior al comienzo del análisis de *Stakeholders para* negocios en 1981, a manos de Richard Mason e Ian Mitroff. (Alexander, 2005). El mapeo de actores permite entender la realidad de un entorno específico; A modo de una captura de las personas y grupos que participan de una serie de interacciones sostenidas y orientadas a abordar una temática en común. Se constituye como una visión que permite identificar entidades, intereses y recursos decisivos (Silva, 2017).

Mapa de actores

Transmisión CHILQUINTA

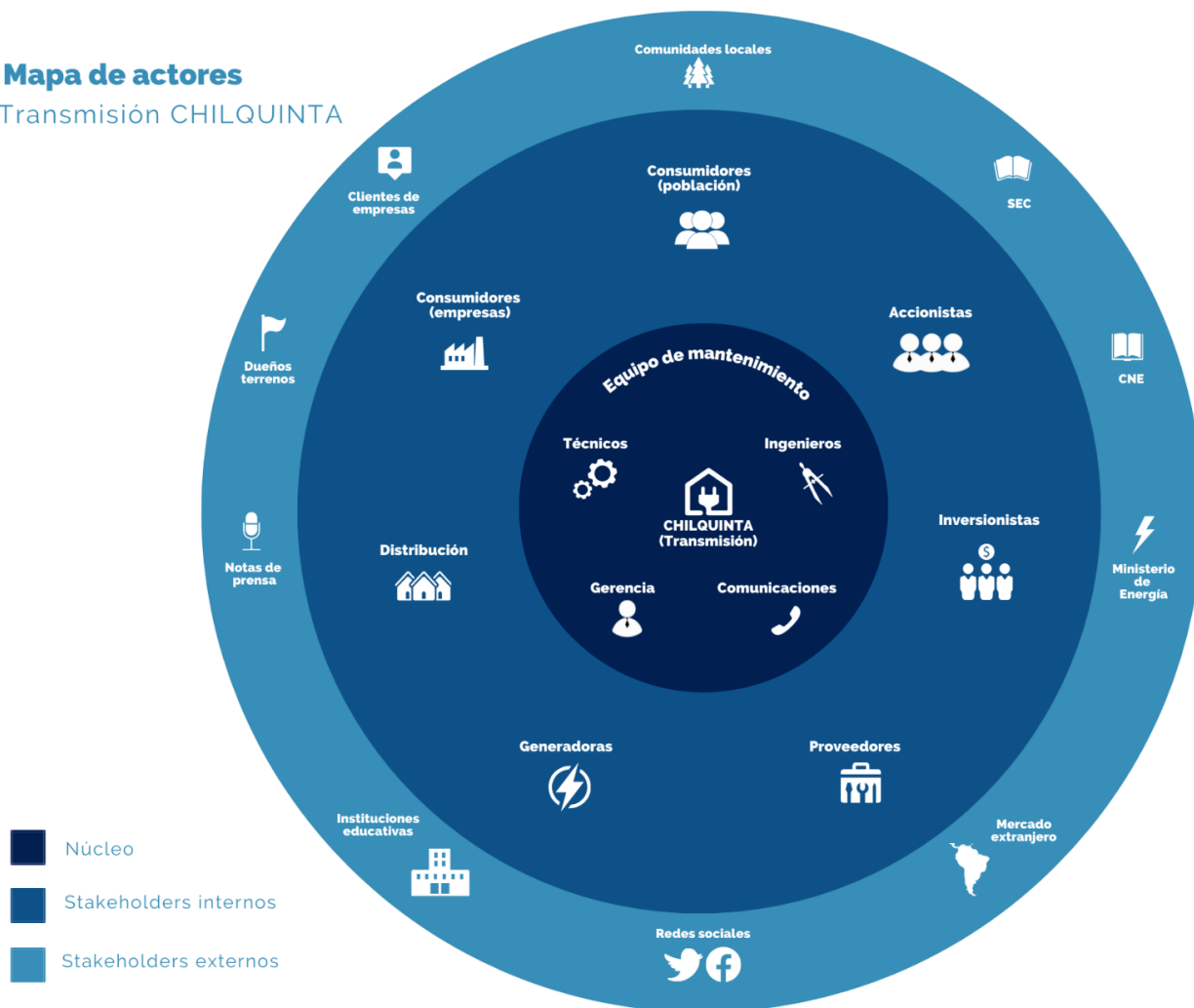


Figura 2. Mapa de actores. Fuente: Elaboración propia

Se describen las áreas del diagrama:

- **Núcleo:** En esta área se retratan los interesados internos del mantenimiento en transmisión, todos pertenecientes al cuerpo de Chilquinta. Entre estos es posible encontrar al equipo encargado del mantenimiento, la gerencia y el equipo de comunicaciones (secretaría, Community managers, etc.)

- **Stakeholders internos:** En este nivel se agrupan los actores interesados que permiten el funcionamiento directo de la operación del servicio, ya sea abasteciendo el servicio, contratándolo o invirtiendo en él. En el diagrama pueden distinguirse tres grupos, aquellos de influencia económica (clientes, accionistas e inversores), servicios contratados de generación eléctrica (centrales generadoras) y otras áreas de Chilquinta que conforman parte del proceso de transporte energético (distribución)

- **Stakeholders externos:** Son aquellos factores del contexto que influyen en la manera en que funciona el servicio, aquí es posible agrupar

entre la opinión pública (prensa, educación, mercado externo, redes sociales), terceros que pueden verse afectados (comunidades locales influidas por infraestructura, dueños de terrenos en donde se ubican las instalaciones o usuarios dependientes de empresas que adquieren los servicios de Chilquinta) y finalmente el segmento de entidades regulatorias encargadas de fiscalizar el funcionamiento de la empresa (Ministerio de energía, SEC, CNE).

Conocer los actores entorno al servicio otorga una visión global de la importancia del correcto funcionamiento de los elementos de la empresa.

Dado por mostrado el entorno del área de mantenimiento de líneas de la empresa, es momento de interiorizar en los conceptos y procedimientos que ocurren directamente en el núcleo del diagrama. Partiendo por conocer el funcionamiento general de una línea de transmisión y su rol en la empresa y el rubro eléctrico.



V. CAPÍTULO 3 |

CAPÍTULO 3: LOS AISLADORES

3.1 Elementos generales de una línea de transmisión

Una línea de transmisión eléctrica “es un medio de transporte que permite entregar energía a grandes distancias, desde las centrales de generación hacia los centros de consumo” (Neira, 2020, p.16). Debido a el extenso trecho que debe recorrer la electricidad para llegar de un punto a otro, es necesario elevar la tensión para disminuir la pérdida de energía en el camino, esto se realiza gracias a transformadores ubicados en subestaciones por donde circula la ruta. En Chile, se considera como Transmisión a toda línea en la cual se transmite un voltaje superior a los 23[kV], llegando hasta un límite posible de 500 [kV]. (Arias,2009)

Los componentes relevantes para la investigación que podemos encontrar en una línea de transmisión son los siguientes:

- **Estructuras de transmisión:** Mayormente conocidas como torres, son las estructuras encargadas de soportar los conductores que transportan la energía de un lugar a otro. Su forma se relaciona directamente con el voltaje empleado, la cantidad de circuitos, entre otros factores. Los tipos más comunes de encontrar son las *LST* (*Lattice steel towers*) y las *TSP* (*Tubular steel poles*) (Aspen, s.f).

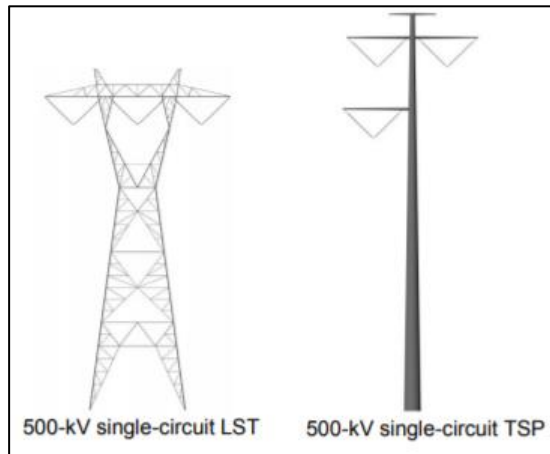


Figura 3. Estructuras de transmisión. Fuente: (Aspen, s.f)

- **Conductores:** Entendidos por el colectivo popular como “cables eléctricos”, son aquellos que transportan la energía eléctrica a través de la ruta gracias a su conductividad. Son

elevados por las torres de transmisión. (Neira, 2020)



Figura 4. Conductores eléctricos. Fuente (La Nación, 2019)

- **Aisladores:** Elementos que dan soporte mecánico a los conductores y aseguran el aislamiento eléctrico de la línea con respecto a la estructura de transmisión y la tierra.



Figura 5. Aislador de vidrio. Fuente:(Pixabay, 2018)

3.2 La problemática de los aisladores

En una línea de transmisión aérea, las distancias que sus componentes interconectados deben cubrir son amplias, abarcando una gran variedad de entornos en presencia de cerros, costas, carreteras e incluso fábricas industriales. Esta exposición directa a los factores críticos del ambiente puede generar efectos negativos en el funcionamiento de una línea, afectando su desempeño de manera notoria. Es el caso de los aisladores, elementos altamente sensibles a los factores ambientales y mecánicos externos. Para observar la influencia de estos factores, debemos definir dos funciones principales de un aislador o cadena de aisladores, la primera consiste en dar soporte estructural a los conductores a lo largo de la línea y la segunda, es limitar el paso de corriente solo al circuito deseado (Silva, 2018), es esta última actividad la que principalmente se ve en riesgo en presencia de agentes externos recurrentes, puesto que gran parte del desempeño del elemento reside en su capacidad de aislar el paso de la corriente, situación que cambia con el depósito de agentes contaminantes en la superficie, ya que se

producen efectos indeseados de conducción eléctrica.

El fenómeno negativo más observable es el denominado descarga disruptiva (en inglés “Flashover”), el cual consiste en un cortocircuito eléctrico de alta tensión entre conductores expuestos a través del aire (Silva, 2018). Este fenómeno es visible en forma de un rayo que cruza sobre la superficie del aislador.



Figura 6. Flashover en superficie de aislador (Chrz, 2009)

Las descargas disruptivas constituyen un riesgo para el funcionamiento de la línea debido a que son capaces de dañar de manera severa la

superficie del aislador, causando desperfectos permanentes en la aislación y por lo tanto en la estabilidad del servicio. Adicionalmente, el cortocircuito generado puede ocasionar potenciales incendios en estructuras adyacentes, poniendo en riesgo a la población y el entorno natural.

3.3 La gestión de activos

Las empresas eléctricas deben regirse por una serie de pliegos normativos que regulan la norma técnica. Entre estos es posible encontrar el pliego técnico normativo RPTD N17, cuyo objetivo principal es velar por la integridad de las instalaciones eléctricas para maximizar las condiciones de seguridad, continuidad y calidad del suministro eléctrico (Ministerio de energía, 2020)

Como se establece en la normativa, los responsables de los activos de la empresa deberán investigar, regular y evaluar cualquier hecho potencialmente riesgoso para el funcionamiento de las instalaciones. La problemática de los aisladores es considerada dentro de estos casos, ya que amenaza la

continuidad y seguridad de los sistemas. Por esta razón la empresa debe hacerse cargo de reducir los riesgos potenciales a través del mantenimiento de estas estructuras.

Hoy en día, los planes de mantenimiento son piezas clave para el funcionamiento de las redes eléctricas, estos involucran esfuerzos por parte de la empresa para llevar a cabo tareas de inspección, evaluación y reparación. Dichos esfuerzos se traducen en la inversión constante de recursos considerando la gran extensión de activos requeridos de mantenimiento periódico. Para el caso de los aisladores, Chilquinta realiza un plan de inspección anual, que a través del análisis permite tomar decisiones respecto a los planes de mantenimiento, calendarizando la atención de las distintas locaciones con relación al nivel de riesgo latente. Dado que los aisladores en líneas de transmisión se ven afectados por una gran cantidad de factores, resulta complejo diagnosticar el estado a partir de la recopilación de datos en terreno, razón por la que la técnica continúa perfeccionándose en un terreno recientemente explorado y en la actualidad, difuso.



VI. CAPÍTULO 4 |

CAPÍTULO 4: EL PROYECTO

4.1 El desafío propuesto

Chilquinta acudió al programa de memorias multidisciplinarias, en busca de un equipo capaz de abordar el desafío de definir una metodología de análisis sustentada en la investigación, con el fin de contar con una herramienta informática que permita la interpretación de los datos recogidos a través de inspecciones periódicas. Esto, incorporando como grado de innovación el uso de Machine Learning para la obtención de patrones significativos y la generación de planes de mantenimiento.

Para la resolución del desafío se conformó un equipo multidisciplinario consistente en un estudiante de Ingeniería Civil Telemática (Fabricio Rosales), Ingeniería Eléctrica (Ignacio Reyes) e Ingeniería en Diseño de Productos (Autor), siendo de esta última disciplina, el enfoque abordado a lo largo de este documento.

4.2 Marco de trabajo

El marco de trabajo seleccionado para el avance en el programa de Memorias Multidisciplinarias sigue la metodología Scrum, metodología ágil de ciclos cortos de desarrollo, ideal para propiciar la

interacción permanente entre los miembros del equipo y una interacción sistemática con los profesores guías y los representantes de la organización proponente del desafío. “La esencia de Scrum es un pequeño equipo de personas. El equipo individual es altamente flexible y adaptativo” (Schwaber Y Sutherland, 2017)

Para la resolución bajo el marco de Scrum se consideran los siguientes conceptos:

- El dueño del producto (Product owner):

Corresponde a los encargados de maximizar el valor del producto a generar por el equipo de desarrollo, en este caso, corresponde al representante de la empresa Chilquinta Energía involucrado en el proyecto. El dueño del producto es el responsable de gestionar la lista del producto.

- Lista del producto (Product backlog): Se trata de las actividades asociadas a la resolución del desafío inicialmente planteado por la empresa. Incluyendo la definición del contexto, sus variables significativas y la generación de una herramienta que permita la toma de decisiones en torno al estado de los aisladores

(Esta lista se irá actualizando a lo largo del desarrollo del proyecto).

- Lista de tareas de iteración (Sprint backlog):

Consiste en la planificación de cada iteración. Esta se realiza a través de la generación de bitácoras de actualización y evaluación mensual.

- Ciclos de desarrollo (Sprint): Son ciclos cortos y de alta frecuencia en los cuales el equipo se reúne para reportar a los demás miembros y a los profesores guías su progreso, impedimentos, proyecciones e ir actualizando su bitácora de trabajo.

- Incremento (Product increment): El Incremento representa la suma de todos los elementos de la lista de producto completados durante un Sprint y el valor de los incrementos de todos los Sprints anteriores (Schwaber Y Sutherland, 2017). Para el proyecto se consideran cuatro hitos de avance para alcanzar la resolución del desafío y la entrega de un producto mínimo Viable (PMV). Estos hitos son evaluados por el Profesor guía y corresponden a la definición técnica del Problema, diseño Preliminar, prototipo preliminar y prototipo funcional.



VII. CAPÍTULO 5 |

CAPÍTULO 5: CONTAMINACIÓN DE AISLADORES, UNA REVISIÓN DEL CONOCIMIENTO ACTUAL

5.1 Revisión general de los factores causales

Para contextualizar la problemática de los aisladores y los factores comunes identificados en la bibliografía disponible, se realiza la revisión de parte del conocimiento accesible a la fecha. Con relación a los factores causales es importante mencionar que la literatura señala que tanto las ***propiedades físicas del aislador, como el ambiente en donde se encuentra operativo, determinarán la capacidad de contaminación posible*** (Task Force, 2020). La definición del “ambiente” tiene gran importancia en la formulación del proceso de inspección, ya que los factores considerados para el monitoreo deberán ser influyentes en el funcionamiento de los aisladores. Este apartado puede ser de los más variados en la bibliografía, el saber que medir o registrar. Sin embargo, existe un consenso en la importancia de la humedad, el tipo de clima y el tipo de medio (Natural o artificial) al que el elemento aislante se ve expuesto. El apartado anterior será revisado a detalle a lo largo del desarrollo de este

documento y constituye parte importante de la resolución del desafío.

5.2 Revisión general del mantenimiento en la industria

En la industria eléctrica existen diferentes metodologías para afrontar la problemática de los aisladores, estas soluciones son aplicadas bajo distintos enfoques de mantenimiento:

- **Mantenimiento correctivo:** El mantenimiento correctivo consiste esencialmente en la reparación de los equipos y elementos una vez han presentado fallas (Botero, 1991). En el rubro eléctrico, esta metodología puede considerarse de las más costosas debido al valor de los equipos, las posibles interrupciones del servicio y a las cuantiosas multas cursadas por las autoridades pertinentes producto de estas fallas. En el caso de los aisladores, es posible considerar el mantenimiento correctivo cuando se presentan grados de daño inesperado en su estructura, teniendo que realizar el cambio de los elementos dañados consecuencia del deterioro percibido.

- **Mantenimiento preventivo:** El enfoque del mantenimiento preventivo considera la programación previa de actividades resolutorias en función de periodos regulares de tiempo. (Botero, 1991) Esta organización permite el mantenimiento planificado de un elemento más allá de las condiciones propias del mismo.

Acorde a lo señalado por Luna (2018) la tendencia de la industria en el mantenimiento de aisladores apunta al lavado de estos con ayuda de agua desmineralizada, realizado en periodos no superiores a un año y optando por el ahorro de equipo, personal y recursos materiales. En algunos casos, esta inclinación en el mantenimiento pretende mezclarse con el enfoque predictivo, ya que como fue mencionado con anterioridad, la rapidez de contaminación depende enormemente de los factores ambientales.

- **Mantenimiento predictivo:** El enfoque predictivo considera ensayos de carácter no destructivo con el propósito de realizar seguimiento del funcionamiento de los equipos para detectar signos críticos que advierten del

mal funcionamiento de un elemento. A través de este tipo de mantenimiento, es posible programar de manera oportuna las reparaciones acordes sin que se vea interrumpido el servicio y se prolongue la vida útil de los componentes (Botero, Cañon, Olarte, 2010).



Figura 7. Limpieza de aisladores. (Fuente: Highlinedivision,2021)



VIII. CAPÍTULO 6 |

CAPÍTULO 6: EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO, UNA MIRADA A TRAVÉS DEL MACHINE LEARNING

6.1 Metodologías de inspección usadas en el mantenimiento predictivo

Silva (2018) Señala que existen diversos ensayos dentro de la industria para conocer el estado de los aisladores. Entre estos, podemos encontrar el uso de tecnología basada en la detección de luz ultravioleta, la cual permite la visualización de pequeños niveles de descarga ocasionados por irregularidades en la superficie del aislador. La termografía es otra opción para detectar acumulaciones de calor en los elementos a inspeccionar que puedan indicar una ineficiencia del material aislante. La medición de elementos presentes en la superficie del aislador es otra alternativa para caracterizar el tipo de contaminación y su incidencia en las actividades indeseadas, entre estos ensayos se encuentra la medición de densidad de depósitos salinos, inspección de depósitos no solubles y la medición de conductividad, la cual permite valorar la capacidad aislante del elemento.

Es importante mencionar el estudio y registro de las variables ambientales que rodean a las estructuras eléctricas, como la presencia de

precipitaciones, vientos preponderantes y la presencia de ambientes polucionados o salinos. Las actividades previamente mencionadas constituyen diferentes metodologías de inspección utilizadas en la industria eléctrica en medida de las necesidades y recursos de cada empresa, sin embargo, sin el análisis correcto no tienen valor alguno en las decisiones de mantenimiento, razón por la que deben complementarse con una herramienta de análisis que permita escoger la mejor alternativa para la gestión de los activos.

6.2 El Machine Learning como herramienta de análisis en el mantenimiento predictivo

Dentro del espectro de herramientas posibles para la interpretación de datos relacionados a la inspección de aisladores, se encuentra el Machine Learning, un subconjunto de la Inteligencia artificial. “La Inteligencia Artificial (IA) es la capacidad de las máquinas para usar algoritmos, aprender de datos y utilizar lo aprendido en la toma de decisiones, similar a como lo haría un ser humano” (Rouhiainen, 2018). Cuando las máquinas son

“entrenadas” para generar análisis predictivos en base a un conjunto de datos y el reconocimiento de patrones, es correcto referirse al uso de Machine Learning. El principal valor de esta metodología es que permite modelar la relación entre variables registradas del entorno de los aisladores (entradas) y otro conjunto de variables relacionadas con estas (salidas), como lo podrían ser las descargas indeseadas. Una vez que se ha determinado dicho modelo matemático, es posible predecir el valor de las variables deseadas evaluando las observables (Cano, Luque, Lama & Córdoba, 2019).

La empresa en la actualidad gestiona el mantenimiento de sus aisladores a través de un enfoque preventivo, a través de limpiezas o reemplazos programadas en periodos fijos de tiempo, no obstante, esta ejecución se combina con un enfoque predictivo a través de inspecciones periódicas que pueden señalar los casos de mayor riesgo. Dada la naturaleza novedosa de esta última perspectiva, las interpretaciones carecen de mayor experiencia y objetividad, por lo que se hace prioritario el desarrollo de nuevas formas de abordar el

análisis de la información recopilada para el correcto aprovechamiento de los recursos invertidos. El beneficio esperado del uso de Machine Learning se relaciona directamente con el desafío planteado: El desarrollo de una herramienta que permita apoyar la toma de decisiones en torno al mantenimiento de aisladores.

Para evaluar el uso de esta metodología y la factibilidad de implementación del proyecto con los recursos que dispone la empresa, se realizará el estudio del contexto que rodea a la problemática y a la empresa y se analizarán los recursos disponibles para la resolución del desafío.



IX. CAPÍTULO 7 |

CAPÍTULO 7: ESTUDIO DEL MANTENIMIENTO ACTUAL DE LA EMPRESA

7.1 Proceso de entrevista

El mantenimiento de aisladores realizado por Chilquinta es un proceso complejo que requiere información específica del rubro eléctrico. Para un mejor entendimiento de las actividades necesarias del proceso y del personal involucrado en él, se ha efectuado una entrevista con propósitos investigativos. A través de esta herramienta es posible analizar la experiencia de los individuos y relacionarla con sus actividades cotidianas y profesionales, poniendo énfasis la exploración de las interacciones dentro de su entorno natural de trabajo (Hernández, 2014). En concreto, el objetivo de esta investigación es obtener información respecto al proceso de inspección de aisladores en las líneas de transmisión de Chilquinta, conocer los equipos, metodologías aplicadas y desafíos a los cuales se enfrenta el personal a cargo. Todo lo anterior con motivo de definir, optimizar y estandarizar las tareas asociadas a la determinación del estado de los aisladores.

Para ello en Julio del 2020 se contacta a una de las personas encargadas del proceso de inspección de aisladores en terreno, en donde, a

través de una carta de consentimiento para la elaboración de la investigación, se confirma su participación.

El formato de la entrevista es individual, a través de videollamada, con grabación consentida. Se realizan un total de seis preguntas base, intercaladas con conversación en caso de profundización. La entrevista completa se encuentra disponible en anexos.

7.2 Resultados de la entrevista

A través de la respuesta a las preguntas planteadas durante la entrevista, fue posible establecer de manera general el proceso de mantenimiento de aisladores realizado por la empresa. A continuación, se presenta el análisis de la información recopilada.

7.2.1 Etapas del proceso de mantenimiento

Es posible segmentar este proceso en tres etapas principales:

- **Inspección:** Etapa en donde se recopila la información correspondiente al estado de los aisladores dispuestos en las líneas de transmisión. Se realiza mediante la medición y registro de variables influyentes en el desempeño de los aisladores directamente en el territorio en donde están ubicados. Los datos recopilados tienen el objetivo de guiar la toma de decisiones respecto a la urgencia de mantenimiento de cada línea. Lo anterior corresponde al uso idealizado de la información, en la realidad actual, representa mayormente una constancia sobre que el mantenimiento de los equipos de la empresa se está realizando. Esta constancia es esencial frente a las regulaciones y a la justificación en caso de fallas expuestas a sanciones. Esta etapa está a cargo de los técnicos de mantenimiento en transmisión de la empresa.

- **Mantenimiento:** Proceso en donde se atiende la necesidad de cuidado de determinada línea. Dependiendo de la gravedad de la falla, se realiza limpieza o reemplazo de la estructura problemática. La primera acción corresponde a la respuesta en caso de determinar grados de

contaminación considerables en una cadena de aisladores, la segunda acción responde a la presencia de daño estructural encontrado en la superficie aislante. Esta labor es desempeñada de igual manera por los técnicos de mantenimiento en transmisión de la empresa.

- **Planificación:** Es un proceso presente antes de cada una de las etapas mencionadas con anterioridad, aquí es donde se programa que líneas de transmisión deben ser intervenidas tanto para inspección como para mantenimiento. La planificación actual de la empresa contempla un mantenimiento con enfoque preventivo, basado principalmente en periodos de tiempo estables, ya que, a pesar de los resultados encontrados en el proceso de inspección, el tiempo entre mantenimientos realizados a una misma línea se mantiene constante (con excepción de los casos más críticos y notorios). Siendo este periodo aproximadamente de un año. Estas etapas están a cargo del ingeniero de mantenimiento en transmisión de la empresa.

Acorde a lo conversado en reuniones con la empresa, la resolución del desafío tiene su

principal enfoque en la etapa de **inspección** y la **planificación del mantenimiento**, ya que, la implementación de la herramienta de apoyo solicitada depende de los datos recopilados en la primera etapa mencionada y busca ser utilizada para la toma de decisiones de la segunda. El proceso de mantenimiento resulta ser una consecuencia del desarrollo de las etapas anteriores y depende netamente de la manera en que fueron ejecutadas, por lo tanto, el análisis generado tendrá su énfasis en dichas áreas.

7.2.2 Análisis de los usuarios involucrados

Los involucrados en las etapas analizadas constituyen principalmente dos perfiles de usuario:

- **Ingeniero de mantenimiento en transmisión:** Encargado de coordinar la logística necesaria para que la actividad de inspección y mantenimiento se realice de forma exitosa, adicionalmente debe velar que los trabajos se ejecuten acorde a los estándares de calidad y seguridad de la empresa.

- Técnico de mantenimiento en transmisión:

Encargado de realizar la inspección en terreno de las líneas de transmisión, registrando información respecto a el estado de los aisladores a través de la medición, grabación y observación de las variables críticas. Su deber es almacenar los datos y completar un documento que contiene los resultados de la inspección, el cual será utilizado idealmente como insumo en la toma de decisiones para la planificación de los planes de mantenimiento.

Para el entendimiento del protocolo actual del mantenimiento de aisladores es clave visualizar el proceso de manera secuencial. El desarrollo de una etapa afecta directamente en la ejecución de la siguiente, esto genera una participación ordenada de los usuarios en las actividades estudiadas, tal como se muestra en la figura inferior:



Figura 8. Secuencia de trabajo. Fuente: Elaboración propia

El primer paso es profundizar en la investigación del contexto que rodea al técnico de mantenimiento y el rol que desempeña en las etapas mostradas. Con la ayuda de la información obtenida en la entrevista y con el objetivo de comprender el sentir de este usuario

en torno a la problemática, se realiza un mapa de empatía. Esta herramienta fue originalmente creada por Dave Gray y ha sido ampliamente utilizada para definir a un consumidor en base a sus deseos y necesidades. Para este caso en particular, permite ampliar la información

respecto al comportamiento y percepción del sujeto estudiado, en torno al procedimiento de inspección de aisladores de la empresa,

otorgando una visión que permita ofrecer propuestas de valor real para el usuario. (García, 2019).



Figura 9. Mapa de empatía. Fuente: Elaboración propia

Analizando el mapa generado, es posible notar las sensaciones transmitidas por el entrevistado, quien es un actor clave del mantenimiento. A este usuario le preocupa realizar sus labores de la mejor manera posible. A pesar de desempeñarse acorde a lo establecido por la empresa, existe la inquietud en cuanto a las mejoras que podría tener el proceso. Partiendo por considerar que existen algunos criterios subjetivos que tienen alta dependencia en la experiencia de quien los emite, y a su vez, en cómo estos criterios influyen a la hora de diagnosticar el estado de un grupo determinado de aisladores junto a la metodología utilizada para concluir dicho diagnóstico. Por lo general, gran parte de estas dudas provienen de una metodología de trabajo basada en tecnologías y estudios recientes, la cual fue implementada hace no más de dos años. Para un marco de trabajo que requiere experiencia para la interpretación de fenómenos, es perjudicial que exista información escasa que no permita resolver las dudas respecto a los procedimientos. El detalle respecto a qué tipo de tecnología es utilizado en los procesos de inspección, será abordado al desentrañar las tareas realizadas por el técnico a cargo.

Finalmente he de comentar que existe una preocupación respecto a si las labores realizadas efectivamente inciden en la toma de decisiones finales, este punto es importante debido a que detalla el valor real que se le da a la etapa de inspección y la herramienta de clasificación atendidas por el entrevistado. Haciendo la diferencia en lo que dispone un modelo de mantenimiento preventivo y uno predictivo.

7.2.3 Metodología de inspección

El proceso de inspección constituye la primera etapa dentro de las labores principales del técnico de mantenimiento, esta fase inicia cuando el ingeniero encargado programa el requerimiento de revisión de una línea de transmisión concreta de la empresa. Llegada la fecha, el técnico dispuesto para ello realiza la visita al terreno en donde se ubican los aisladores por inspeccionar. En dicho lugar, se procede a registrar y medir variables influyentes en la presencia de descargas indeseadas, tales como la temperatura, humedad y señales de daño estructural, o bien, constatar señales de mal funcionamiento, como lo es el ruido o la

propia presencia de las descargas. Para la detección de las descargas mencionadas, el encargado hace uso de una herramienta denominada **cámara coronográfica**, esta tecnología permite captar la existencia de destellos que se encuentran en el espectro ultravioleta y entrega un estimado respecto a la cantidad de descargas presentes en el momento. El uso de este equipo para la detección de descargas en aisladores es reciente en la empresa (desde aproximadamente el año 2018) y relativamente novedoso en el mercado eléctrico (un periodo inferior a 10 años).



Figura 10. Cámara coronográfica. Fuente (Amperis, 2021)

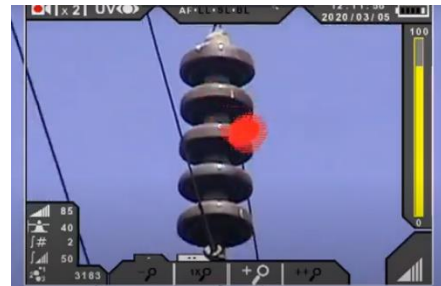


Figura 11. Registro de descargas en aisladores con cámara coronográfica. Fuente: (Chilquinta,2021)

Es de relevancia destacar que el proceso de inspección de una línea puede durar uno o más días dependiendo de la extensión en kilómetros de esta misma. Considerando un total aproximado de 316 kilómetros de líneas de transmisión de la empresa (Chilquinta, 2018), se hace vital que los recursos sean utilizados de manera eficiente y acorde a la realidad de la problemática.

Posterior a la recolección de los datos en el lugar de inspección, la información recaudada se ingresa a una herramienta conocida como **cartilla de inspección**, la cual es un archivo Excel generado por cada chequeo, que almacena todos los datos registrados de la medición realizada. El objetivo de esta herramienta es mostrar el estado general de una línea y contrastarlo (idealmente) con parámetros permanentes y conocidos de ella, como lo sería

el voltaje o el tipo de contaminación del territorio. En un apartado se clasifica el estado de cada aislador en base a su conteo de descargas registradas con la cámara coronográfica, el cual constituye uno de los elementos decisivos para realizar mantenimiento prematuro. A través de estos documentos, el ingeniero de mantenimiento puede tomar decisiones respecto a los requerimientos de cada línea y programar la asistencia acorde a la urgencia. Como fue comentado con anterioridad, a pesar de la existencia del proceso de inspección y clasificación del riesgo en la cartilla, los resultados no tienen mayor incidencia en los períodos de mantención, salvo los casos más extremos, haciendo que no se aproveche el potencial de los recursos invertidos en el plan de mantenimiento de la empresa.

Figura 12. Vista general de cartilla. Fuente: (Chilquinta, 2019)

En el siguiente diagrama, se resumen las labores del personal, el equipo utilizado y las variables determinantes del proceso de inspección.



Diagrama de proceso de inspección de aisladores

El objetivo de las inspecciones coronográficas es detectar de manera prematura, condiciones de funcionamiento anómalas, basadas en el aumento de concentración de campo eléctrico de los componentes de una instalación eléctrica, con el fin de asegurar la disponibilidad del Sistema de Transmisión de Chilquinta.

Responsabilidad

Ingeniero de mantenimiento

Encargado de coordinar, planificar y monitorear los esfuerzos aplicados en cada inspección, acorde a los estándares de calidad y seguridad de Chilquinta Energía.

Equipo y herramientas



Elementos de protección personal. Incluye casco, chaleco, gafas y guantes.



Cámara coronográfica para la detección de descargas en el espectro UV.



Elementos de medición para la toma de datos en terreno.



Vehículo 4x4 para el transporte a la zona de inspección.



Técnico de mantenimiento

Encargado de la inspección, traspaso y evaluación de los datos de aisladores obtenidos en terreno a través del equipo y herramientas idóneos.

Líneas a inspeccionar

La inspección se realiza a lo largo del terreno de las líneas de transmisión y distribución de la empresa, recolectando información de cada estructura.

Factores determinantes



Los aisladores

Estructuras encargadas de aislar y sujetar los conductores de la línea eléctrica. Producto de factores como el **clima**, la **contaminación** y el **daño** estructural es posible que se generen **descargas parciales** en la superficie del aislador. En casos mas extremos pueden generar interrupciones en el servicio.

Elementos a inspeccionar



Conteo de descargas

Una cantidad de descargas elevada en la superficie del aislador es una señal de un mal funcionamiento



Ruido

El sonido audible en las estructuras es una señal de descargas de mayor intensidad.



Daño visible

El daño estructural, tales como fracturas o picaduras en el material puede promover las descargas en la superficie.



Temperatura y humedad

El rango de temperatura y humedad permite observar los efectos de un aislador con problemas de mejor manera.

Traspaso de información



Figura 13. Diagrama de proceso. Fuente: Elaboración propia

7.2.4 Conclusiones del estudio

Concluyendo respecto al análisis anterior, es posible señalar que el proceso de mantenimiento estudiado es secuencial. Este inicia con las actividades de inspección a manos del técnico encomendado. A partir de una metodología basada en una experiencia acotada y dependencia del criterio personal, se construye un documento con la intención de ser utilizado en la toma de decisiones de mantenimiento, sin embargo, la realidad dista de esto debido a la baja dependencia de los resultados de la inspección para la planificación de la fase de mantenimiento, optando por periodos regulares de atención a cada línea que requiera limpieza o reparación.

Es posible señalar la problemática del proceso como:

La falta de una herramienta objetiva para el diagnóstico del estado de los aisladores, la cual tenga influencia efectiva en los planes de mantenimiento.

Por lo tanto, se remarca el desafío propuesto y la necesidad de evaluar la implementación de una herramienta capaz de responder a los

conflictos mencionados, añadiendo como foco el interés de la empresa en la aplicación de tecnologías basadas en la aplicación de Machine Learning para su renovación y vigencia en el mercado eléctrico.

X. CAPÍTULO 8 |

CAPÍTULO 8: ESTUDIO DE LA VARIABLES DEL PROCESO DE INSPECCIÓN

8.1 Las variables de la inspección y su representación como datos

Hasta el momento, se ha comentado la existencia del Machine Learning como una alternativa atractiva y de gran interés para el cumplimiento del desafío propuesto, no obstante, es tiempo de considerar el recurso base que hace posible la implementación de estas herramientas: los **datos**.

Previamente, fue mencionado que un programa basado en estas características requiere ser “entrenado” con una cantidad considerable de información que represente patrones significativos. Los datos de relevancia para la resolución del problema corresponden a la información de las variables recolectadas durante el proceso de inspección.

En un contexto específico, una variable es considerada un elemento que puede adquirir diferentes valores a lo largo de su existencia. Es posible segmentar las variables en **cuantitativas y cualitativas** dependiendo de si su naturaleza puede ser representada por valores numéricos o no, respectivamente (Batanero & Godino, 2001). Al mismo tiempo, es posible agruparlos por dependencia, pudiendo

ser dependientes o independientes de otras variables del sistema.

De manera general, una variable puede encontrarse en cualquiera de uno de los cuadrantes indicados en la figura.

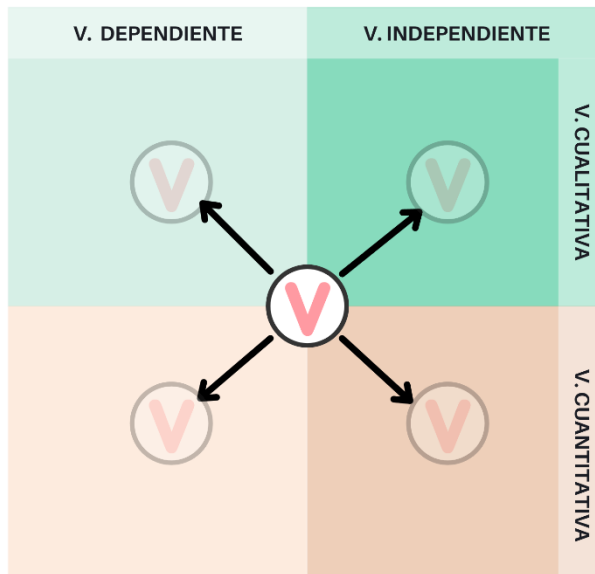


Figura 14. Diagrama tipos de variable. Fuente: Elaboración propia

El contexto de inspección considera una cantidad plural de variables que constituyen la realidad de los aisladores, cuando un entorno se ve afectado de esta manera, es entendido como un **sistema multivariable**. El análisis multivariante de datos proporciona métodos objetivos para conocer la estructura de los

factores que influyen en la definición de una realidad compleja. (Peña, 2002)

Acorde a lo señalado por el estudiante a cargo del procesamiento de datos, las variables que poseen mayor facilidad de ser trabajadas mediante algoritmos de Machine Learning, son aquellas de carácter cuantitativo y de preferencia independiente. Las variables cualitativas resultan más complejas de analizar debido a que su relación no es numérica, por lo tanto, crean nuevas variables “ficticias” en función de sus posibles variantes, ralentizando el procesamiento de la información o limitando el espacio de soluciones.

8.2 Estudio de las variables a través de la cartilla de inspección

A partir de los datos enviados por la empresa (Chilquinta Energía S.A), se realizó el análisis de la información entregada bajo 2 perspectivas: Análisis estadístico y clasificación de las variables de acuerdo con su naturaleza y la normativa IEC 60815. El objetivo de este análisis es sintetizar los resultados de ambos enfoques, determinar relaciones entre las variables estudiadas y determinar los recursos informáticos para la elaboración de la solución.

El análisis se basa en la información recopilada hasta el momento a través de la entrevista y los datos otorgados por la empresa. Abarcando inicialmente un total de 30 cartillas de inspección. Las variables analizadas son obtenidas a través de la cartilla previamente mencionada.

Consideraciones de la cartilla de inspección:

- Su objetivo es almacenar la información de las inspecciones y aportar datos conclusivos para la toma de decisiones respecto al requerimiento de mantención en los aisladores (independientemente de su uso actual).

- Consiste en un documento Excel para cada línea por tramo de tiempo específico, es decir, una misma línea puede tener varios archivos Excel diferenciados por la fecha del periodo de la inspección.

- El técnico de mantenimiento es el encargado de recopilar variables cuantitativas y cualitativas en terreno, este también tiene el rol de traspasar dicha información a la cartilla.

- El ingeniero de mantenimiento utiliza esta cartilla para la toma de decisiones de los planes de mantenimiento

A continuación, se presenta una tabla de las variables extraídas de la cartilla y su explicación correspondiente; Trabajo desarrollado en conjunto con Ignacio Reyes. Toda la información es corroborada y validada posteriormente por la contraparte.

Variable	Tipo	Dependencia	Medida	Definición	Significancia
Clima	Cualitativa	Independiente	Tipo de clima	Condición meteorológica registrada el día de medición. (Nublado, soleado/despejado, neblina)	Resume aproximadamente las variables meteorológicas recurrentes bajo un concepto.
Contaminación (Según ambiente)	Cualitativa	Independiente	Tipo de contaminación	Conjunto de circunstancias o factores físicos, químicos y biológicos que rodean al objeto en particular e influyen en su desarrollo y comportamiento.	Indica la disposición de un aisladora contaminarse.
Material aislador	Cualitativa	Independiente	Tipo de material	El material del cual está compuesto el aislador.	Afecta en la hidrofiliadad de la superficie. Afecta en su vida útil general.
Ruido	Cualitativa	Dependiente	Tipo de ruido	Sonido característico de las descargas generadas en el aislador.	Indicador de la existencia de descargas parciales en la superficie del aislador.
Daño visible	Cualitativa	Dependiente	Tipo de daño	Daños superficiales (Grietas o picados) apreciados visualmente en la superficie del aislador.	Dependiendo de la intensidad, acusamantenimiento necesario al corto plazo.
Descargas	Cuantitativa	Dependiente	Cantidad de descargas	La magnitud relacionada con los impulsos de DP permitidos en un objeto de ensayo en una tensión específica, siguiendo un procedimiento de ensayo y un condicionamiento específicos.	La magnitud de impulsos de dp por lo general esta relacionada con el nivel de contaminación o daño en la estructura
Temperatura	Cuantitativa	Independiente	Grados Celsius	Grado o nivel térmico de un cuerpo o de la atmósfera.	Incide en la densidad del aire que rodea el aislador
Humedad	Cuantitativa	Independiente	% de Humedad	Relación entre la cantidad de vapor de agua que tiene una masa de aire y la máxima que podría tener.	Tiene relación con la cantidad de corrientes de fuga
Nivel contaminación	Cuantitativa	Dependiente	Porcentaje de Contaminación	Clasificación de la contaminación basada en la inspección visual.	Tiene relación con el requerimiento de limpieza
EPRI	Cualitativa	Dependiente	Nivel de EPRI	Clasificación basada en maunal de Electric Power Research Institute.	Califica urgencia del mantenimiento
Tiempo	Cuantitativa	Independiente	Días diferentes de medición	Día en que es realizada la medición.	Incide en la variación de los datos de una misma línea

Tabla 1. Variables de cartilla de inspección. Fuente: Elaboración propia

Descripción de las columnas de la tabla:

-**Variables:** Corresponden a los datos con incidencia en el estado de los aisladores, registrados de manera previa o en el terreno de inspección e ingresados a la cartilla para su evaluación conjunta.

- **Tipo de variable:** Clasificación si la variable corresponde a un dato cuantitativo o cualitativo.

- **Dependencia:** Corresponde a si la variable depende de otro valor medible o del criterio del inspector en terreno.

- **Medida:** Formato de la medida utilizada para categorizar la variable.

- **Definición:** Alude a una descripción de la variable medida.

- **Significancia:** Que representa la variable en el proceso.

Los tipos de variable pueden verse clasificados en el siguiente esquema:

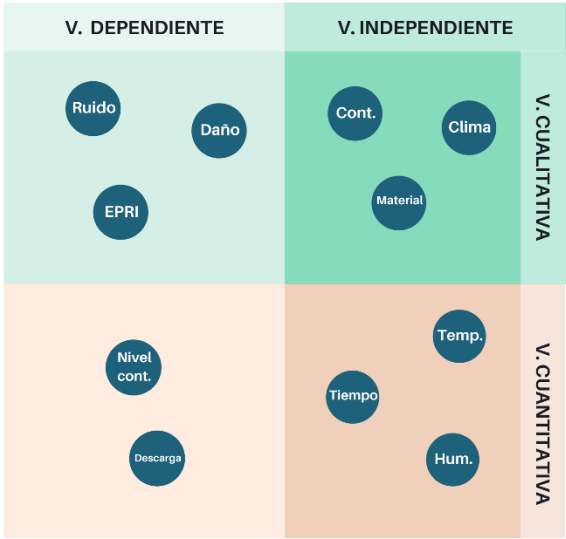


Figura 15. Clasificación de variables por tipo. Fuente: Elaboración propia

Es necesario destacar la importancia de dos variables del documento que tienen el mayor peso en el **diagnóstico** actual del estado de los aisladores. Ambas son gestionadas en base a un sistema de semáforo que ordena los niveles de urgencia de atención por colores, siendo blanco el nivel más bajo de prioridad, pasando por verde, amarillo y finalizando en rojo como el más alto posible.



Figura 16. Evaluación por semáforo. Fuente: Elaboración propia

Las variables citadas son las siguientes:

- **Descargas:** Las descargas disruptivas o también referidas como descargas parciales (DP), son aquellas producidas por grados de contaminación o daño presentes en la superficie de cada aislador. Como fue comentado con anterioridad, estas son registradas a través del uso de la cámara coronográfica, siendo el dato registrado, un monto aproximado de la cantidad de descargas ocurriendo en cada fase. Actualmente, el conteo de descargas es en esencia, de las pocas variables utilizadas para categorizar el nivel de daño de la superficie y, por tanto, el requerimiento de atención de los aisladores.

Clasificación Nivel de Daño - Número Conteo Descargas				
A	0	≤	500	No requiere acción
B	500.0	---	1000	Falla incipiente. Monitorear
C	1000	---	5000	Falla potencial. Reemplazar o reparar próximo mantenimiento.
D		>	5000	Falla funcional. Reparar lo antes posible

Figura 17. Clasificación por conteo de descargas. Fuente: (Chilquinta,2019)

Acorde a la investigación realizada, la definición de los tramos de descargas utilizados en el Excel (A, B, C o D), no posee una referencia clara en la literatura existente, por lo que es una medida arbitraria o basada en la experiencia, tomando como fundamento que a mayor presencia de descargas mayor es el riesgo de sufrir un inconveniente en el funcionamiento. El desarrollo de un modelo que permita comprobar estadísticamente la relación entre descargas y el nivel de daño/contaminación, permitiría el aprovechamiento real de la recolección de este dato.

- **Rango EPRI:** Variable que indica el nivel de riesgo en base a la contaminación de los aisladores.

Clasificación Periodo de Limpieza/Lavado de Aislación	
A	No es necesario
B	Podría ser necesario
C	Realizar a corto plazo
D	Realizar urgente

Figura 18. Clasificación EPRI. Fuente: (Chilquinta, 2018)

A diferencia del resto de variables, actualmente el rango EPRI no utiliza datos puntuales recolectados en terreno, ya que se trata de un apartado conclusivo basado en observaciones. Su definición real se fundamenta en el manual de uso de la cámara coronográfica, la cual referencia los procedimientos de la EPRI (Electric Power Research Institute). A pesar de la importancia y de que el uso de este rango está indicado en el procedimiento (un sistema basado en el tipo de descarga presenciada en terreno), no es detallado de manera concreta en el diagnóstico de cada estructura.

8.3 Revisión de correlación entre variables

Posteriormente a la revisión de las variables se ejecuta la revisión estadística a manos de Fabricio Rosales, consistiendo en un análisis exploratorio de datos que utiliza como herramienta una matriz de correlaciones

generada a partir de las cartillas entregadas hasta la fecha. El objetivo es encontrar correlaciones entre las variables, filtrar datos atípicos y verificar los datos que sean relevantes para la construcción de un modelo o algoritmo. Es importante señalar la aparición de dos problemas a la hora de generar la matriz, ambos altamente relacionados con el trabajo realizado por el usuario estudiado hasta la fecha:

- Inconsistencia en el formato y unidades:

Existen columnas y celdas cuyo formato cambia entre una cartilla a otra, pudiendo variar en el nombre o la posición establecida con anterioridad. Así mismo, ocurre con las unidades de medida utilizadas para llenar la información de cada celda.

Ejemplos de inconsistencias detectadas			
Formato llenado	Fecha	18-20-25-26 de Mayo	
		≠	
	Fecha	3/5/2020	
Nombre columna	Temp. Amb. [°C]	≠	T° C
		≠	t° C
Celdas nulas	Temp. Amb. [°C]	≠	Temp. Amb. [°C]
	18°	/	Circuito 1 2

Figura 19 Ejemplos de inconsistencia en el llenado de celdas. Fuente: Elaboración propia

Esto afecta negativamente a la hora de solicitar que un programa lea las variables desde los documentos disponibles. Este hecho recae en la ejecución del traspaso de información realizada por el usuario estudiado, por lo que es

corresponde a una situación identificable y corregible.

- Existencia de datos insuficiente:

El material existente de las inspecciones no es el idóneo para conseguir resultados significativos en la búsqueda de patrones. Este elemento será abordado posteriormente con mayor énfasis, a la hora de estudiar los recursos para la resolución de conflictos.

A pesar de las dificultades señaladas con anterioridad, el memorista a cargo realiza una estandarización de los datos existentes (proceso extenso y tedioso) estudiando las variantes presentes y elabora la matriz de correlación a modo de implementación y corroboración de la técnica.

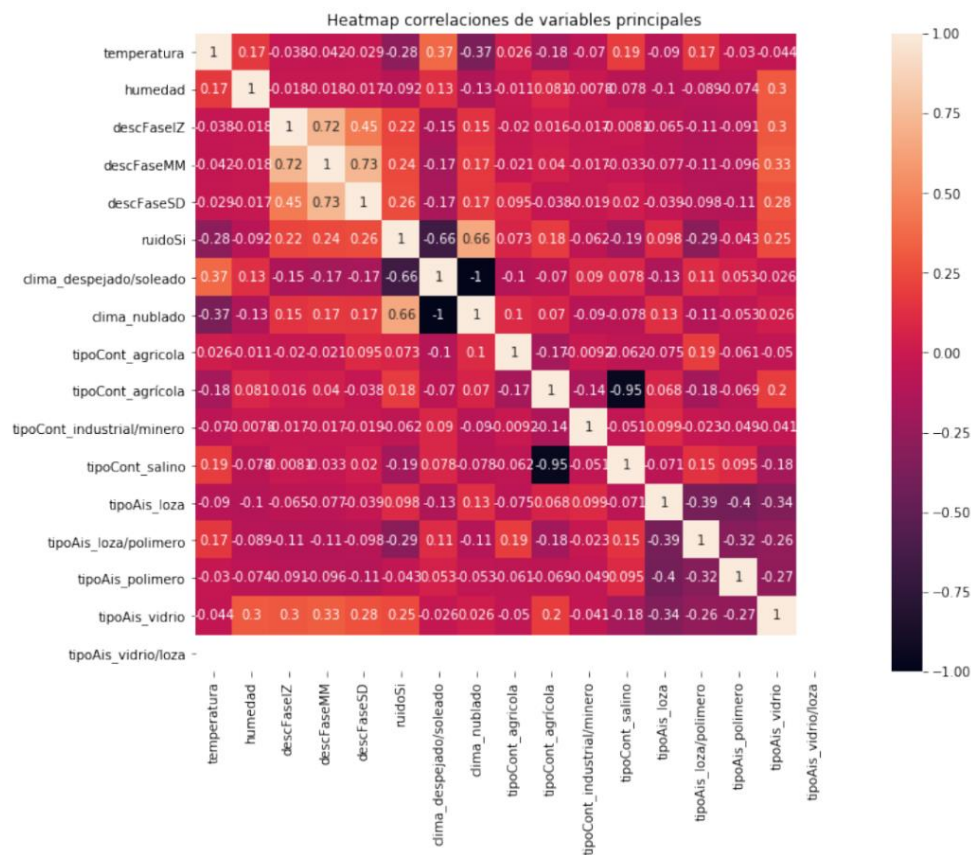


Figura 20 Matriz de Correlaciones. Fuente: Elaboración del equipo

Los resultados de la matriz obtenida no poseen mayor significancia respecto al modelado del fenómeno debido al volumen de datos disponible, sin embargo, la figura expresa de manera general la relación entre una variable

situada en el eje X y una situada en el eje Y, siendo los valores cercanos a 1 (recuadros de color beige) los que denotan una correlación, mas no causalidad. A efectos de este informe, se ha mencionado la construcción de la matriz

como un elemento que permitió vislumbrar las dos dificultades mencionadas con anterioridad.

8.4 Revisión crítica de la información extraída

Al revisar en detalle los insumos generados y la información entregada, se encontraron inconvenientes en torno a la cartilla de inspección:

- La cartilla no presenta un apartado conclusivo y confiable basado en las variables recolectadas del proceso con respecto al estado de los aisladores, por lo que no satisface el objetivo principal de la inspección.
- Existen variables cuya definición, cálculo e influencia en la problemática no es clara. El porcentaje de contaminación, el rango de descargas y el Rango EPRI, son establecidas bajo un criterio arbitrario y poco normado.
- El Rango EPRI teóricamente tiene relación con el conteo de las descargas captadas por la cámara, sin embargo, la cantidad de descargas

ingresados en la cartilla no presenta relación con el rango asignado al criterio EPRI. Por ejemplo, como se indica en la figura: Un conjunto de aisladores con un alto índice de descargas podría tener el mismo EPRI que uno con baja cantidad de descargas detectadas.

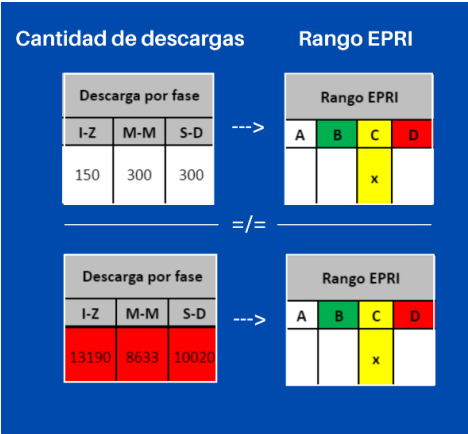


Figura 21 Comparación entre EPRI vs Descargas.
Fuente: Elaboración propia

- Los únicos registros que aportan a diagnosticar directamente el estado de los aisladores son las descargas por fase y el rango EPRI, el resto de los datos solo es almacenado a modo de referencia. Esto puede cambiar con la aplicación

de algoritmos que permitan la identificación de patrones y la relación entre variables.

- La cantidad de variables significativas del tipo cualitativo conforman más del 50% de los datos, por lo que formular una relación matemática entre las variables y su influencia en los aisladores tendría sentido sólo a través del estudio de fenómenos reiterativos, es decir, como valor único no tendrían valor.

- Las variables medidas bajo el uso de equipo específico corresponden solo a un 30% del total, por lo que la exactitud del resto de datos obtenidos está afectada por la percepción y juicio subjetivo de quien las registra. Siendo las variables medidas por equipos especializados: Temperatura, humedad y Cantidad de descargas. Cabe agregar, que, a pesar de ser datos medidos con equipos, están sujetos a errores de calibración, uso, e interpretación de los datos.

- Existe la repetición de valores iguales de una misma variable a lo largo de la línea, siendo este un reflejo de una toma de datos inexacta y/o

replicada a lo largo del documento. Por lo que la precisión de las conclusiones se ve afectada negativamente, al igual que su influencia en la correlación de las variables.

- Los ambientes se clasifican en tres categorías: Agrícola, Industrial/minero y Smog, de los cuales no se detallan sus características y quedan a criterio del inspector en terreno.

8.5 Conclusiones del análisis de variables

La cartilla de inspección es un insumo de gran valor para modelar el fenómeno de contaminación o daño en aisladores, sin embargo, a la fecha la información recopilada en terreno no es aprovechada en todo su potencial. El mantenimiento realizado de la empresa obedece a un plan fijo de limpiezas programadas, el cual rara vez se ve alterado por la cartilla de cada línea. Sumando a dicha situación, se encuentra el hecho de que solo una pequeña parte de los datos del documento aportan directivas respecto a determinar el estado de los aisladores, dado que, el resto de

las variables no se entrelazan con estos apartados para ofrecer una visión global del problema. La necesidad de modernizar los protocolos de gestión de activos se hace presente al verificar la efectividad e influencia del sistema actual y la aplicación de inteligencia artificial para la búsqueda de patrones cobra sentido como una solución a la problemática, no obstante, tal como fue expuesto en el estudio de las variables, surgieron dificultades importantes a la hora de evaluar los datos para la aplicación de un modelo, la consistencia de los datos y la cantidad acotada de estos, los cuales dificultan la implementación y el estudio de soluciones de carácter predictivo. A estas dificultades, deben añadirse los comentarios realizados respecto a la definición y legitimidad de algunos datos, que alteran la certeza informativa y aumentan el sesgo estadístico.

La tarea consiguiente consiste en determinar cuántos de estos problemas mencionados provienen del operar de los usuarios en torno a la creación y aplicación del protocolo establecido; Estudiando los factores causales de cada problema es posible aplicar soluciones acordes a la realidad actual y determinar qué tan

cerca se encuentra la empresa de desarrollar exitosamente la implementación de la solución esperada.

A large, solid orange rectangle occupies the left side of the page, extending from the top to the bottom and from the left edge to about one-third of the way across the page.

XI. CAPÍTULO 9 |

CAPÍTULO 9: ANÁLISIS DE TAREAS Y SUS CONFLICTOS

9.1 ¿Por qué análisis de tareas?

Cada archivo Excel registrado hasta la fecha conforma una fuente de datos vital para la construcción de un modelo basado en aprendizaje de máquinas. Dado lo anterior, es necesario plantear las preguntas: **¿De qué manera se recolectan los datos?** Es posible hallar la respuesta a estas interrogantes mediante el estudio de las actividades asociadas al proceso de inspección, considerando este, como el corazón de la formación de una base de datos adecuada.

El análisis de tareas (Task analysis) es un proceso que permite descomponer procesos complejos en actividades más pequeñas y manejables (Szidon & Frandzone, 2009), la implementación puede variar dependiendo de la necesidad del estudio. Para este caso, se realizará una descomposición de las tareas principales realizadas por el técnico de mantenimiento durante el proceso de inspección en terreno, con el objetivo de visualizar y analizar los objetivos del desempeño y que actividades son necesarias para cumplir con estos, ya que

finalmente conforman la información que será utilizada en las etapas siguientes.

9.2 Descomposición de actividades

Como primer paso es necesario definir el universo en donde se realiza la inspección. Actualmente la empresa cuenta con 3 técnicos de mantenimiento en transmisión, quienes son

coordinados por el ingeniero de mantenimiento a cargo. Cada línea es inspeccionada por un técnico a la vez y la revisión actual no contempla la toma de datos en cada aislador o torre presente en dicha línea, sino más bien, en tramos específicos de esta, con la intención de obtener un aproximado del estado de cada estructura con relación al comportamiento de sus vecinos

Universo del proceso de inspección

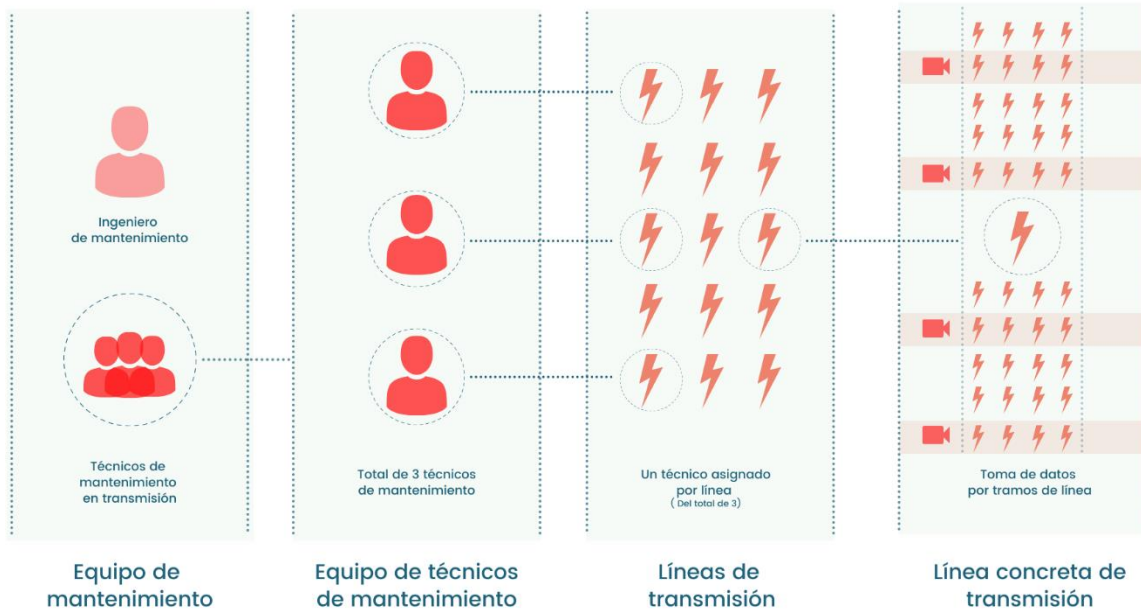


Figura 22. Universo del proceso de inspección. Fuente: Elaboración propia

En el universo de labores del técnico de mantenimiento, debe atender tres principales, las cuales son realizar termografía de conductores, atender fallas específicas de una línea y finalmente la inspección coronográfica de aisladores, siendo esta última la que se encuentra mayormente relacionada con la

problemática y la que involucra todo el proceso de inspección en cuestión. Para este análisis se dividirá esta última labor en cuatro tareas principales, también denominadas objetivos, los cuales representan los pasos necesarios para considerar la etapa de inspección como exitosa.

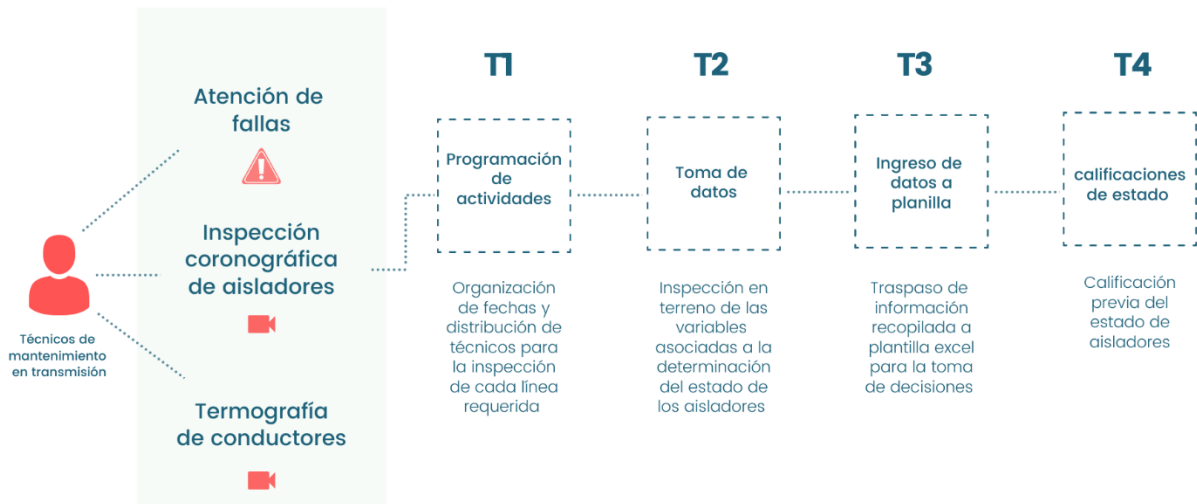


Figura 23. Universo de técnico en mantenimiento. Fuente: Elaboración propia

Una vez establecidas las cuatro tareas principales, se procede a segmentar en las actividades requeridas para el proceso. En la enumeración de actividades, se otorga mayor

énfasis y desglose en **T2**, siendo esta la base de la conformación de los datos que servirán como insumo para la cartilla de inspección.



El diagrama anterior fue realizado en base a la información otorgada por la empresa y los resultados de la entrevista realizada al personal. Es posible notar en **T2** (1.2) que algunas actividades se relacionan de manera directa con las variables a medir y su proceso correspondiente, en cambio en **T3** (1.3) se hace énfasis en el traspaso de la información recopilada hacia la cartilla de inspección. Los procesos mostrados pueden ser analizados para encontrar posibles conflictos en el proceso de inspección que influyan finalmente en la construcción de los datos. Se les denomina conflictos debido a que su existencia establece una contradicción entre el propósito general de la inspección y la acción realizada por el usuario.

9.3 Revisión de actividades para la indagación de conflictos

A partir del diagrama generado y la información recopilada, se presentan las actividades realizadas de manera lineal para indagar en los conflictos actuales que presenta el diagnóstico de aisladores. A modo de simplificación, el proceso se realiza para las tareas que influyen directamente en la construcción de los datos y la interpretación de ellos, siendo estas **T2, T3 y T4**.

Se seleccionaron 15 conflictos cuya ocurrencia se da en el desarrollo de las tareas T2, T3 y T4, los cuales finalmente inciden tanto en la información recolectada como en el diagnóstico de los aisladores. El detalle de los conflictos identificados se encuentra en cada tabla adjunta.

Conflictos
T2: Toma de datos

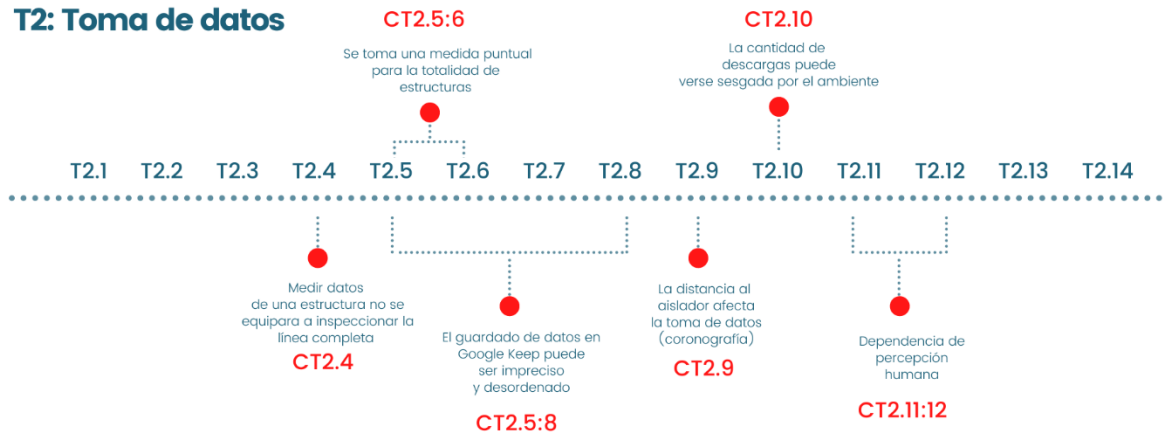


Figura 25. Conflictos en T2. Fuente: Elaboración propia

Conflicto	Descripción
CT2.4	Actualmente los datos registrados se realizan por tramos, obviando el estado de las estructuras circundantes. Para mayor exactitud en la recolección de variables se requiere que las medidas sean registradas por cada torre.
CT2.5:6	Por cada día de registro se utiliza la misma temperatura y humedad en todas las estructuras, limitando la realidad

	de estas variables e impidiendo que un algoritmo encuentre relaciones reales entre estos registros y el resto de las variables.
CT2.5:8	Google Keep es una herramienta que funciona como bloc de notas, sin embargo, no posee el formato adecuado para almacenar de manera rápida y ordenada los datos que posteriormente se utilizan para llenar la cartilla.

CT2.9	En la Coronografía, la distancia es un factor que afecta en la cantidad de descargas apreciadas, la distancia general en la que se realiza el registro no se mide en terreno al evaluar una estructura y se estima posteriormente.
CT2.10	El entorno del aislador puede generar la imagen de falsas descargas en el registro de la cámara coronográfica.
CT2.11:12	La percepción de sonidos anómalos y daño en la superficie del aislador depende netamente de la percepción y juicio del inspector en terreno.

Tabla 2. Conflictos explicados en T2. Fuente: Elaboración propia



Figura 26. Conflictos en T3. Fuente: Elaboración propia

Conflicto	Descripción
CT3.2	La información de la inspección es dependiente de servidores externos (Google) antes de ser traspasada a la cartilla de inspección.
CT3.3	El proceso de traspaso de la información a la cartilla puede ser tedioso y repetitivo, pudiendo generar la copia de los registros para el relleno de las celdas de manera más rápida.
CT3.3 (2)	El formato de algunas casillas no concuerda con el resto de estas, perjudicando la lectura a través de algoritmos para su posterior análisis.
CT3.4	El valor de descargas obtenido a través de la grabación de cada estructura puede adoptar diferentes valores dependiendo de la distancia, el movimiento y ángulo del registro.

Tabla 3 Conflictos explicados en T3. Fuente: Elaboración propia

Conflictos

T4: Conclusiones de estado



Figura 27. Conflictos en T4. Fuente: Elaboración propia

Conflicto	Descripción
CT4.1 (1)	El nivel de contaminación (indicado en porcentaje) no tiene respaldo teórico o dependencia clara de otra variable, por lo que se basa netamente en la interpretación del contexto en manos del inspector.
CT4.1 (2)	El criterio para la selección del rango EPRI no se encuentra definido o detallado al momento

	de la inspección y/o llenado de la cartilla.
CT4.1 (3)	La experiencia de la empresa y equipo en el mantenimiento de aisladores en base a inspección coronográfica es de menos de dos años (considerando algunas variables como recientes), por lo que los criterios subjetivos podrían verse afectados por el corto periodo de aplicado el procedimiento actual.

CT4.1 (4)	El rango EPRI representa un diagnóstico conclusivo respecto al nivel de contaminación del aislador, sin embargo, no se relaciona con otras variables para su uso y en ocasiones se contradice con la lógica de algunos datos, como la cantidad de descargas.
CT4.2	No se entrega detalle del estado general de los aisladores y los apartados conclusivos no poseen confianza debido a la definición inconsistente de ellos.

Tabla 4. Conflictos explicados en T4. Fuente: Elaboración propia

9.4 Planteamiento de soluciones parciales

El planteamiento de conflictos se encuentra basado en la “Red de Problemas” (Network of Problems/NoP), la cual es parte de las herramientas de los métodos de resolución para problemas de inventiva OTSM- TRIZ.

OTSM- TRIZ es una teoría adaptada por Nikolai Khomenko a partir de TRIZ, generada inicialmente por Genrich Altshuller para resolver problemas que requieren creatividad e inventiva, la cual otorga herramientas que disminuyen la probabilidad de error (Khomenko & De Guio, 2007). La herramienta NoP es útil para comprender el riesgo durante el proceso de generación de soluciones, permitiendo anteponerse a dificultades potenciales y ayudando a su mitigación (Montalba, 2018).

La implementación de esta herramienta comienza con la generación de una lista de problemas (Conflictos enumerados previamente), posteriormente, se generan soluciones parciales en base a los problemas encontrados. Generalmente, estas soluciones producen nuevos subproblemas que son

posteriormente evaluados bajo la estructura de OTSM-TRIZ para la búsqueda de contradicciones. Dado que el marco de trabajo de este documento es orientado a la resolución específica del desafío propuesto y que el enfoque de la metodología mencionada es orientado a la creatividad, no se profundizará mayormente en las contradicciones generadas debido a que los conflictos señalados carecen de complejidad excesiva que requiera la disección de cada solución parcial. Alternativamente, el autor propone el uso de soluciones parciales como una resolución de uno o varios subproblemas, pero no de la problemática completa (Khomenko & De Guio, 2007), buscando que el conjunto de soluciones parciales dé lugar a soluciones principales que abarquen la resolución de la mayor cantidad de conflictos.

Para la resolución de los conflictos identificados se plantean soluciones parciales para cada uno de ellos, a modo de evaluar su implementación en torno a la disponibilidad de recursos e impacto en la solución para encontrar puntos coincidentes en el desarrollo.

Conflicto detectado	Solución parcial
CT2.4	Sp1 Realizar inspección coronográfica en cada estructura.
CT2.5:6	Sp2 Registrar temperatura/humedad en cada estructura.
CT2.5:8 CT3.2	Sp3 Generar herramienta especializada para almacenar los datos de la inspección de manera ordenada y sencilla.
CT2.9	Sp4 Utilizar instrumento para medir distancia entre inspector y aislador registrado.
CT2.10	Sp5 Contrastar descargas registradas con otras variables registradas o realizar mayor énfasis en el registro de cada aislador.
CT2.11:12	Sp6 Utilizar equipo especializado para detección de ruidos o para la mejora de la inspección visual.

CT3.3	Sp7 Rellenar la cartilla directamente en terreno o con ayuda de una herramienta intermedia (reconocimiento de voz o video). O bien conectar mediante servidor los datos registrados con la cartilla final durante el registro.
CT3.3 (2)	Sp8 Estandarizar formato de casillas y unidades de medida. Limitar tipos de respuesta.
CT3.4	Sp9 Estandarizar obtención estimada de descargas a partir de un rango de tiempo o valores estimado.
CT4.1 (1)	Sp10 Estandarizar o reemplazar variable de contaminación acorde a norma y literatura.
CT4.1 (2) CT4.1 (4)	Sp11 Estandarizar o reemplazar variable EPRI acorde a norma y literatura.

CT4.1 (3)	Sp12 Redactar definición de datos y variables para generar capacitaciones o documentos de ayuda para la inspección.
CT4.2	Sp13 Implementar o evaluar metodologías basadas en inteligencia artificial para hallar relaciones significativas que permitan diagnosticar el estado de los aisladores con las variables recolectadas.

Tabla 5. Soluciones parciales por conflicto. Fuente: Elaboración propia

9.5 Estudio de recursos

Para evaluar la factibilidad de aplicación de las soluciones generadas, deben estudiarse los recursos de la empresa y el equipo desarrollador, esto permite la reducción de riesgos asociados a la implementación de las soluciones. TRIZ ofrece un marco de evaluación asociado a la calificación de los recursos disponibles (Nikulin, Acuña, Lopez-Campos, Fernandez & Madrid, 2017). Siendo las siguientes clasificaciones:

- **Material:** Tiene relación con todos los tipos de materiales, ya sean brutos, semi acabados o manufacturados. Involucra el equipamiento de la empresa y el equipo desarrollador.
- **Energía:** Cualquier tipo de energía disponible dentro o fuera de la compañía, necesaria para realizar las labores habituales. También es posible considerar la energía humana o esfuerzo físico.

- **Información:** Se relaciona a todo tipo de dato perceptible en el sistema, esto puede incluir documentos, libros, computadoras, audiovisuales o manuales.

- **Tiempo:** Cualquier tipo de intervalo relevante para la operación de la empresa y el equipo desarrollador.

- **Espacio:** Referente a cualquier espacio o lugar disponible para la empresa o equipo desarrollador y su entorno para desarrollar sus procesos.

En la figura adjunta se ordenan los recursos disponibles a la fecha acorde a la clasificación señalada.

Clasificación de recursos

Material	Energía	Información	Tiempo	Espacio
Cámara coronográfica	Batería equipos	Registros de inspecciones previas	5 meses restantes de duración del programa MM	Terrenos de inspección
Termohigrómetro	Suministro eléctrico	Normativa	Indefinido para inspecciones futuras (anuales)	Oficinas empresa
Telómetro	Esfuerzo físico	Manuales de equipos		Hogares de equipo
Elementos de protección personal	Combustible	Literatura del fenómeno	1 año por inspección a cada línea	
Vehículo		Conocimientos del equipo desarrollador		
Teléfono celular		Experiencia técnico		
Equipo computacional		Equipo computacional		
		Procedimiento actual		

Figura 28. Clasificación de recursos. Fuente: Elaboración propia

Respecto a los registros de inspecciones previas, cabe destacar que a la fecha se cuenta con 30 archivos Excel pertenecientes a todas las líneas inspeccionadas. Acorde con lo indicado por el memorista del área telemática, la variación o complejidad de modelar el fenómeno es proporcional a la cantidad de observaciones necesarias, razón por la que la data actual es insuficiente para aplicar algoritmos que entreguen

información de valor respecto a la relación entre variables. A esta situación debe sumarse el estado de las mediciones actuales, alteradas por los conflictos previamente identificados, los cuales perjudican la calidad de la información utilizada para hacer concebir un modelo multivariable.

9.6 Evaluación de soluciones

Las soluciones propuestas con anterioridad deben evaluarse acorde a la posibilidad de implementación en el proyecto. Resolver la mayor cantidad de conflictos es ideal para acercarse al cumplimiento del desafío propuesto, sin embargo, es bueno considerar los recursos disponibles y el grado de madurez que posee el equipo de desarrollo y el equipo de mantenimiento para llevar a cabo lo propuesto. Dado que los recursos son limitados, se debe jerarquizar acorde a la factibilidad de aplicación e influencia en el proceso. Nikulin et al. (2019) proponen evaluar la madurez del equipo a través de una escala basada en los principios de TRIZ, la cual permite identificar los niveles de madurez en torno a campos específicos del proyecto. Esencialmente esta tabla es utilizada para definir una ruta de aplicación en problemas aplicados en NoP, sin embargo, dado que no existe una ramificación de problemáticas, el autor propone su uso para evaluar que soluciones parciales podrían ser desarrolladas acorde a los recursos

disponibles (no eligiendo una ruta concreta, sino, jerarquizando las Sp).

La escala utilizada mide la madurez para acometer una solución desde el nivel uno al cinco las siguientes características:

- **Conocimiento y experiencia (DK):** Conocimiento de los desarrolladores con relación a la actividad, capacidad para crear soluciones acordes.
- **Información del sistema (SI):** Compilado de datos e información perteneciente al sistema. Acceso a dicha información.
- **Material para procesos (PrM):** Herramientas, equipamiento disponible para el desarrollo del proceso.
- **Material para producción (PdM):** Materiales transformados para obtener determinado producto.
- **Tiempo necesario (T):** Tiempo considerado todos los procesos de desarrollo.

Parameter	General description	Level 1	L 2	Level 3	L4	Level 5
Developer knowledge/ experience (DK)	Developers know about activity-related topics and can create a real solution with their knowledge.	Poor knowledge and experience. The activity has never been developed for the analyst(s).		Some knowledge and, in certain cases, the activity has been developed.		Deep knowledge and experience. The activity has been developed frequently and regularly in practice. Unpredicted events are missed.
System information (SI)	Data compilation, images, and other information belonging to the system. Workers have access to the information for analysis.	The system suffers from a lack of information to develop the solution, and/or information access is difficult or impossible to obtain.		The system has sufficient information to be used for solution building, and/or information access may be limited.		The system includes the complete and necessary information to develop the solution or access to information is easy and rapidly obtained.
Process material (PrM)	Tools, implements, and equipment are available to develop the manufacturing or building process.	Tools, equipment, and implements are unavailable for use and/or difficult to obtain.		Poor equipment, only a few tools and implements are available for the manufacturing process. Obtaining the equipment requires substantial time.		Equipment and all necessary tools for manufacturing are available and in good condition and/or equipment is easy to obtain in a short time.
Product material (PdM)	Materials (wood, steel, plastic, aluminum, etc.) that are transformed to obtain the final product.	All the required materials are unavailable or in a poor condition. Developers need to consider high acquisition times.		Only a few materials are available, in a good condition, or have fast and easy access.		All requested materials are available and have facility of use. In other cases, materials can be obtained in a short time.
Time needed (T)	The time considered in all development processes (analysis, design, manufacturing, quality assurance).	The time available for the solution development is less than that established in the planning. In other words, there is not sufficient time to develop an appropriate solution.		The time available for the solution is affordable and established in the planning.		There is a considerable amount of time for the project, far above that established in the planning. There is more time available than expected.

Figura 29. Tabla de parámetros para evaluación de recursos. Fuente: (Nikulin et al., 2019)

La multiplicación del valor de todos los campos se denomina Evaluación de la Solución (Solution Assement/SA) (Nikulin et al., 2019) y permite

determinar la capacidad teórica de un equipo para resolver un problema (a mayor valor, mejor desempeño esperado).

Adicional a los parámetros determinados previamente para la evaluación, se propone la incorporación de un elemento que verifica el valor de la solución desarrollada acorde a proyectos con un desafío en concreto (en este caso, la generación de una herramienta de apoyo para la toma de decisiones). Este apartado es denominado como **“Pertinencia del proyecto”** y no es considerado como un grado de madurez, si no como un verificador de que los recursos invertidos tienen interés para la contraparte. Se evalúa al igual que los parámetros anteriores con la definición en los siguientes niveles:

- **Nivel 1:** La actividad no posee relación con el proyecto y los recursos invertidos son utilizados en una solución irrelevante.

- **Nivel 3:** La actividad se relaciona con el desarrollo de soluciones con potencial impacto para el proyecto. Los recursos invertidos podrían utilizarse de manera equívoca.

- **Nivel 5:** La actividad soluciona un problema clave del proyecto. La inversión de recursos se compensa con los resultados obtenidos.

Este parámetro es multiplicado por el SA obtenido con anterioridad y el resultante es el valor utilizado para verificar la evaluación de las soluciones

$$Dk * SI * PrM * PdM * T * Pp = SA$$

Se realiza la evaluación de las soluciones a través de una tabla de ponderaciones utilizando la metodología descrita.

Conflicto	Solución parcial	DK	SI	PrM	PdM	T	PP	Evaluación de solución	Normalización
CT2.4	Sp1 Realizar inspección coronográfica en cada estructura.	5	4	4	5	2	4	3200	0,67
CT2.5:6	Sp2 Registrar temperatura/humedad en cada estructura.	5	4	5	5	2	4	4000	0,83
CT2.5:8 CT3.2	Sp3 Generar herramienta espacializada para almacenar los datos de la inspección de manera ordenada y sencilla.	3	4	4	5	1	3	720	0,15
CT2.9	Sp4 Utilizar instrumento para medir distancia entre inspector y aislador registrado.	4	4	5	5	3	4	4800	1,00
CT2.10	Sp5 Contrastar descargas registradas con otras variables registradas o realizar mayor énfasis en el registro de cada aislador.	3	4	5	5	3	4	3600	0,75
CT2.11:12	Sp6 Utilizar equipo especializado para detección de ruidos o para la mejora de la inspección visual.	2	2	3	5	3	4	720	0,15
CT3.3	Sp7 Rellenar la cartilla directamente en terreno o con ayuda de una herramienta intermedia (reconocimiento de voz o video). O bien conectar mediante servidor los datos registrados con la cartilla final durante el registro.	2	3	3	5	2	3	540	0,11
CT3.3 (2)	Sp8 Estandarizar formato de casillas y unidades de medida. Limitar tipos de respuesta.	4	4	5	5	3	4	4800	1,00
CT3.4	Sp9 Estandarizar obtención estimada de descargas a partir de un rango de tiempo o valores estimado.	3	3	4	5	3	4	2160	0,45
CT4.1 (1)	Sp10 Estandarizar o reemplazar variable de contaminación acorde a norma y literatura.	3	4	4	5	3	5	3600	0,75
CT4.1 (2) CT4.1 (4)	Sp11 Estandarizar o reemplazar variable EPRI acorde a norma y literatura.	3	3	4	5	3	5	2700	0,56
CT4.1 (3)	Sp12 Realizar estandarización de datos y variables para generar capacitaciones o documentos de ayuda para la inspección.	3	4	5	5	3	5	4500	0,94
CT4.2	Sp13 Implementar o evaluar metodologías basadas en inteligencia artificial para hallar relaciones significativas que permitan diagnosticar el estado de los aisladores con las variables recolectadas	4	2	5	5	3	5	3000	0,63

Tabla 6. Evaluación de soluciones. Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la evaluación son los siguientes (resumidos y ordenados de mayor a menor ponderación normalizada):

Sp4: Medir distancia.	1,00
Sp8: Estandarizar formato cartilla.	1,00
Sp12: Definir variables, comunicarlas.	0,94
Sp2: Registrar Temp/Hum por estructura.	0,83
Sp10: Corregir variable de contaminación.	0,75
Sp5: Definir registro de descargas.	0,75
Sp1: Realizar coronografía por estructura.	0,67
Sp13: Evaluar metodologías de IA.	0,63
Sp11: Estandarizar variable EPRI.	0,56
Sp9: Estandarizar valores descargas.	0,45
Sp3: Generar herramienta almacenamiento.	0,15
Sp6: Equipo detección ruido/visual	0,15
Sp7: Generar herramienta de traspaso	0,11

Tabla 7. Soluciones evaluadas. Fuente: Elaboración propia

Aquellos con mejor ponderación son las soluciones que teóricamente pueden ser mejor implementadas por el equipo de mantenimiento y desarrollo. Es

posible agrupar las soluciones parciales en soluciones generales que permiten resolver un problema específico por cada tarea principal del proceso utilizando las soluciones con evaluación por sobre el 50%.

SG1-Estandarizar procedimiento de inspección (Sp4+ Sp2+ Sp5+ Sp1): Se relaciona con la **T2** de las tareas del proceso (Toma de datos). Agrupa todas las soluciones relacionadas con mejoras en el procedimiento de inspección para la obtención de variables significativas de la mejor forma posible. Sp6 también se incluye en este segmento, sin embargo, dada la baja madurez para su implementación no es considerado.

SG2-Reestructurar cartilla de inspección (Sp8+ Sp12+ Sp10): Se relaciona con la **T3** de las tareas del proceso (Ingreso de datos a planilla).

Agrupar las soluciones relacionadas con la definición de variables acorde a la literatura y establece el formato de llenado de la cartilla.

SG3-Herramienta de evaluación (Sp13+Sp11):

Se relaciona con la **T4** de las tareas del proceso (Calificaciones de estado).

Agrupar las soluciones relacionadas con la aplicación de estadística y algoritmos de inteligencia artificial para obtener variables conclusivas y diagnósticos estimados. Sp9 también se incluye en este segmento, sin embargo, dada la baja madurez para su implementación no es considerado.

SG4- Almacenamiento y traspaso (Sp3+ Sp7): Se

relaciona con **T2-T3** (Toma de datos e Ingreso de datos a planilla). Agrupa las soluciones relacionadas con la generación de una herramienta que permita almacenar los datos y transcribirlos a la cartilla. Este segmento obtiene la evaluación más baja en general, por lo que el nivel de madurez para enfrentar dicha solución es insuficiente.



XII. CAPÍTULO 10 |

CAPÍTULO 10: DEFINICIÓN DE PROPUESTAS

10.1 De soluciones a insumos

Anteriormente las soluciones determinadas fueron evaluadas y agrupadas por segmento para generar una solución general (**SG**) en torno a una tarea específica. Para darles un sentido práctico es necesario traducirlas a insumos realizables por el equipo de desarrollo. Como se comentó previamente, dada la limitación de los recursos, no todos los insumos pueden ser realizados en el plazo estimado, razón por la cual deberán ser revisados y evaluados por la contraparte en base a sus intereses y la evaluación de madurez previamente realizada.

Los insumos ordenados de mayor a menor factibilidad propuestos por el equipo (acorde a cada segmento) son los siguientes:

SG1-Guía referencial: Incluye estandarizar el procedimiento de toma de datos y plasmarlo en una guía explicativa de manera que el equipo de mantenimiento disponga de insumo referencial para el proceso.

SG2-Reestructurar cartilla de inspección:

Plantear un set de variables representativas del problema a modelar. Definir las ya existentes y limitar formato de respuestas.

SG3-Detector de anomalías: Generar una herramienta que permita categorizar los datos anómalos para uso futuro y ofrecer apartados conclusivos en el diagnóstico de aisladores.

SG4-Digitalizar traspaso de información:

Generar una herramienta para el almacenamiento y traspaso de información recogida en terreno hacia las cartillas de inspección.



Figura 30. Insumos para análisis de la empresa. Fuente: Elaboración propia

Las propuestas de insumos fueron presentadas a la contraparte, esto incluyendo al equipo de mantenimiento (Técnico e Ingeniero) y el departamento de innovación. Basándose en la relación con el objetivo del proyecto, y la evaluación de soluciones previamente presentada escogieron tres alternativas:

- Guía referencial
- Reestructuración de cartilla
- Detector de anomalías

En cuanto a la última opción, la digitalización fue descartada por la contraparte debido a su poca factibilidad y necesidad de desarrollo. El diseño de cada propuesta será abordado con mayor profundidad en los próximos capítulos.

10.2 Relación con el desafío inicial

El objetivo inicial del proyecto era generar una herramienta informática que permita la interpretación de los datos recogidos a través de inspecciones periódicas. Esto, incorporando como grado de innovación el uso de Machine Learning para la obtención de patrones significativos y la generación de planes de mantenimiento.

Durante la investigación del mantenimiento actual, a través del estudio de los actores principales, las variables influyentes y las actividades realizadas, se determinó la existencia de factores que perjudican la generación de lo solicitado. Variables de definición ambigua, una inspección y manejo de datos inconsistente y conclusiones inciertas son las complicaciones que influyen directamente en

la calidad de los datos a utilizar en la generación de un modelo. A su vez, se debe considerar la escasa cantidad de datos pertenecientes a inspecciones que la empresa dispone a la fecha. En palabras simples, con las condiciones actuales de mantenimiento, el desafío no puede ser cumplido, al menos no como fue estipulado en un inicio.

Entonces, **¿Cómo se relacionan los insumos propuestos con el objetivo inicial del proyecto?**

La combinación de soluciones propuestas para afrontar el desafío permite obtener:

- Cantidad de registros en formato único:

Estandarizar la recolección y llenado de la cartilla permite almacenar registros sencillos de procesar, para que con el tiempo conformen una base sólida y consistente para la revisión a través de algoritmos.

- Mejora en la calidad en los registros y su tratamiento: Definir las variables de importancia y estudiar mejoras en la cartilla de inspección

permite obtener resultados de mayor confiabilidad, reduciendo el porcentaje de errores y sesgos que afecten los datos a procesar para la búsqueda de patrones significativos.

Combinando estos aspectos con un aumento de inspecciones o un transcurso de tiempo

considerable en pos de obtener una mayor cantidad de muestras, es posible considerar la generación de una herramienta de apoyo para la toma de decisiones como se había concebido inicialmente. Por consiguiente, el desarrollo realizado por el equipo multidisciplinario constituye una mejora del procedimiento actual para preparar el camino hacia la incorporación de metodologías predictivas aplicadas al mantenimiento de aisladores en el futuro.

10.3 Proyección de las soluciones

El plazo para la generación de insumos se limita por el marco del programa de Memorias Multidisciplinarias. No obstante, el equipo de desarrollo propone un esquema de ejecución futuro para establecer las bases de la implementación del objetivo inicial. La primera parte consiste en la **mejora de procesos internos**, esto es, todos los insumos ya comentados, desarrollados y detallados a lo largo de este documento. La segunda parte es una proyección de trabajo externa al programa de Memorias que abarca **mejoras en el almacenamiento y traspaso de datos**, siendo estas, parte de las soluciones no escogidas para la ejecución durante el programa. No obstante, igualmente consideradas de valor general para el proceso.

Basadas en la **SG4**, las propuestas recomendadas para su implementación futura son las siguientes:

- Centralizar fuentes de datos históricas:

Consiste en generar una ubicación central para los archivos que contienen la información de todas las inspecciones, posiblemente generar una base de datos de mayor acceso y maleabilidad que no dependa de Excel para su gestión.

- Digitalizar proceso de traspaso de información: Automatizar el proceso de llenado de la cartilla desde la recolección de los datos en terreno.

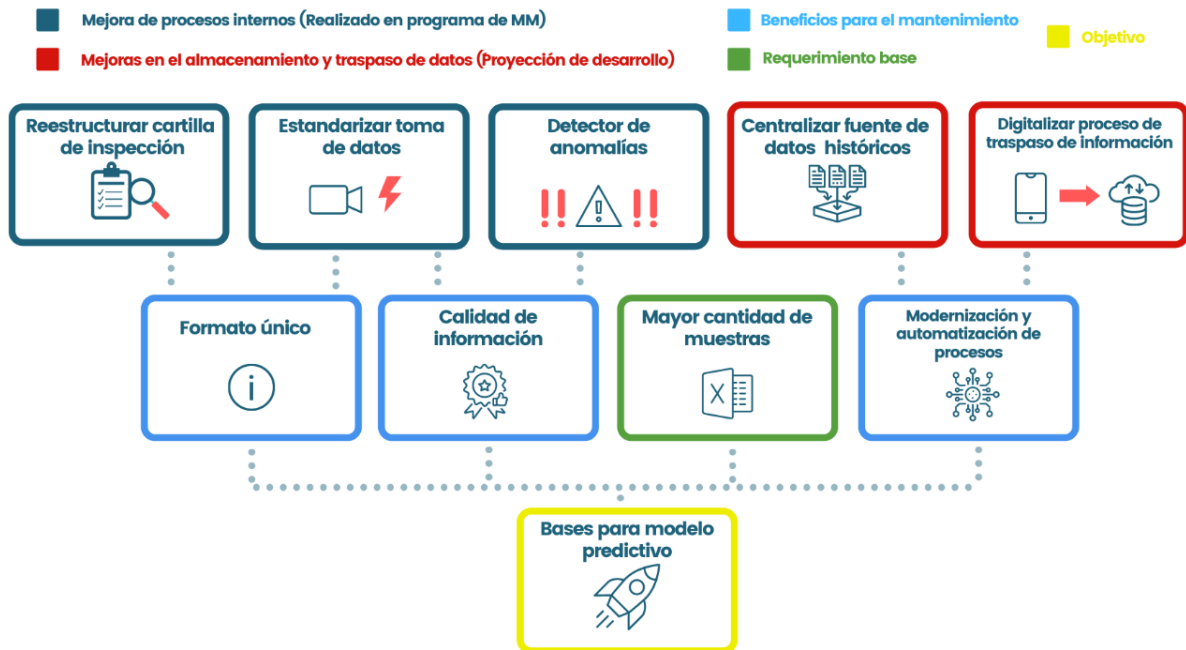


Figura 31. Diagrama de proyección del proyecto. Fuente: Elaboración propia

Los insumos generados durante el programa corresponden a los tres marcados con azul oscuro, estos fueron desarrollados de manera simultánea por el equipo, entrelazando conocimientos de cada área respectiva para generar soluciones con enfoque multidisciplinario.

En función de la comprensión del desarrollo, la generación de cada insumo será descrita en un orden lógico, entendiendo que cada elemento contiene relación con sus contiguos.

A large, solid orange rectangle occupies the left half of the page.

XIII. CAPÍTULO 11|

CAPÍTULO 11: DISEÑO DE INSUMOS, CARTILLA DE INSPECCIÓN

11.1 La cartilla de inspección

Como ha sido señalado a lo largo de este documento, la cartilla de inspección es una herramienta (Excel) para almacenar la información de las variables recolectadas de cada inspección y ofrecer un apoyo en la toma de decisiones de mantenimiento en torno a la problemática de los aisladores. Las deficiencias de la cartilla actual fueron detalladas a lo largo del Capítulo 8, en donde se señala la existencia de variables conflictivas cuya definición aun no es clara, la inconsistencia de llenado de algunas casillas y las celdas ambiguamente conclusivas. A la hora de generar la solución, primeramente, se busca cumplir con lo estipulado en SG2 y sus soluciones parciales:

- **Sp8:** Estandarizar formato de casillas y unidades de medida. Limitar tipos de respuesta.
- **Sp10:** Definir o reemplazar variable de contaminación acorde a norma y literatura.
- **Sp12:** Redactar definición de datos y variables para generar capacitaciones o documentos de ayuda para la inspección.

Como complemento al diseño de la nueva cartilla se busca incorporar aspectos que faciliten el uso, la toma de decisiones y la lectura de datos por parte de algoritmos futuros.

El desarrollo es realizado en conjunto con el memorista de Ingeniería Eléctrica y la contraparte a través de ciclos de retroalimentación directa.

11.2 Cambios asociados a la usabilidad

La Norma ISO/IEC 9241 (ISO, 2010) define la experiencia de usuario como “la consecuencia otro tipo de documento o programa especializado para el caso, sin embargo, el formato actual ha sido un elemento presente desde los inicios de las actividades de inspección y ha tenido su eficacia moderada durante el transcurso de los años. Durante este periodo, tanto los técnicos como el ingeniero de mantenimiento han hecho uso continuo de dicho documento Excel, adaptando su trabajo a dicha plataforma y organizando la información de manera acorde. Es por este motivo, que la reestructuración de la planilla plantea solucionar los conflictos descritos anteriormente y mejorar

de la presentación, funcionalidad, desempeño, interactividad y asistencia de un sistema, tanto en hardware como en software. Es también la consecuencia de las experiencias previas, actitudes, habilidades y personalidad”.

Como base para la reestructuración se debe reconocer la existencia de apego entre el operador y la cartilla existente, esto queda remarcado por los comentarios realizados durante la entrevista y conversaciones del proceso. La existencia de la cartilla en propósito de sus funciones podría tratarse de cualquier

la usabilidad desde una perspectiva discreta, sea dicho, sin realizar cambios que interfieran la operación general y el ritmo de trabajo actual.

A continuación, se presentan los cambios realizados respecto al formato de la cartilla y la interacción con esta. Las mejoras de usabilidad se basaron en parte de los principios de experiencia de usuario señalados por Von Saucken, Lachner & Lindemann (2014):

- **Minimizar operaciones necesarias por el usuario:** Acorde a la revisión de las variables desde la perspectiva eléctrica, se eliminaron las

celdas cuya definición y uso eran problemáticas para la inspección, reduciendo la interpretación y cantidad de fases para el llenado (Ver 11.3).

Asimismo, Cada locación inspeccionada posee datos específicos asociados a los elementos de la línea de transmisión. Tales como Voltaje, tipo

de contaminación, año de servicio, entre otros. Para establecer un documento único que permita representar todas las locaciones y disminuir el trabajo asociado al relleno de sus atributos, se enlaza cada terreno con sus respectivos valores de manera automatizada al seleccionar la línea.

Plan de Mantenimiento

Reporte de Inspección Descarga Corona

* = Rellenado automático

Instalación	Seleccionar línea	OM	****
Año de servicio	*****	Clima	Despejado/Soleado
Voltaje [kV]	***	Tipo de contaminación	*****
Permiso	****	Inspector	
Equipo	*****	Informe	
Ultimo Mantenimiento [Dia-mes-año]			

Figura 32. Llenado automático de datos. Fuente: Elaboración propia

- **Condicionar un manejo natural:** Algunas inspecciones son realizadas en un plazo mayor a un día, esto ocasiona que algunos datos de registro diario sean posicionados dentro de una misma casilla, haciéndolo engorroso y difícil de

reconocer para el análisis a través de algoritmos. Para la nueva cartilla se reestructuró la posición de algunas celdas para permitir agregar estos datos de manera más orgánica.

Antes Múltiples datos por casilla			
Demanda [MVA]	SP: 3,4 / -5,8 / -0,2 MI: 18 / 20,7 / 15,9		---
Inspector		Permiso	
Equipo		Fecha	28; 29; 30 de Abril 2020

Múltiples fechas por casilla

Después						
Fecha de medición [Dia-mes-año]						
Demanda [MVA]	Circuito 1					
	Circuito 2					

Figura 33. Cambio de formato de datos. Fuente: Elaboración propia

- **Cumplir las funciones fundamentales esperadas:** En conjunto con el trabajo de definir las variables conflictivas (Ver **11.3**), se ofrece una recomendación basada en el llenado de las celdas conclusivas (Celda “Se recomienda realizar”), comunicando una orientación del mantenimiento de manera explícita, cumpliendo con parte del objetivo de la cartilla (entendiendo las limitaciones del proceso actual).

Daño Visible		Se recomienda Realizar:	Clasificación EPRI*			
SI	NO		A	B	C	D
	x	Limpieza		x		
x		Reemplazo/ Reparación			x	

Figura 34. Celda con recomendación. Fuente: Elaboración propia

De manera adicional, se añadieron indicadores visuales que sintetizan el estado general de la línea, clasificando por acción (limpieza/reparación) y por urgencia del mantenimiento.



Figura 35. Resumen visual de aisladores. Fuente: Elaboración propia

Total Clasificados en Reemplazo/Reparación				Total Clasificados en Limpieza			
5				0			
A	B	C	D	A	B	C	D
1	1	1	2	0	0	0	0

Figura 36. Resumen de cantidad de aisladores en el semáforo. Fuente: Elaboración propia

- **Realizar un sistema entre producto y servicio:** Anteriormente la cartilla solo incluía la pestaña para el llenado de los datos. Se añadieron pestañas de utilidad para consultar la definición de elementos necesarios para la clasificación.

Figura 37. Pestañas alternativas. Fuente: Elaboración propia

- **Orientar el uso del producto al contexto:** Uno de los problemas encontrados a la hora de aplicar algoritmos en las cartillas entregadas era la inconsistencia del formato en las diversas celdas, perjudicando la lectura del archivo por parte de un programa. Ahora se ha especificado el formato de cada variable en la celda correspondiente y se ha reforzado esta información en la guía de inspección generada (Ver capítulo 13).

Distancia Obj-cámara [m]	Temp. Amb. [°C]	Humedad Relativa [%]
---	--------------------------------	-------------------------------------

Figura 38. Unidad de medida en celdas. Fuente: Elaboración propia

11.3 Cambios asociados a la definición de variables

Esta etapa fue desarrollada principalmente por el memorista de Ingeniería Eléctrica basándose principalmente en la literatura de dicha disciplina. Por lo tanto, solo se expone un resumen de los resultados y cambios significativos para la experiencia del usuario:

- Eliminación de nivel de contaminación:

Se eliminó esta variable 100% dependiente de la estimación en terreno que no tenía incidencia mayor en el diagnóstico.

- **Definición de tipo de contaminación:** Se reemplazó la definición de esta variable por la

existente en la normativa IEC 60815. Todo el detalle puede encontrarse en la pestaña de información adicional del documento y en la guía de inspección.

- Definición de EPRI:

Se definió el concepto y uso del rango EPRI acorde al manual de la cámara coronográfica. Basando su categorización en los tipos de descargas percibidas.

- Regulación de mediciones:

Se especificó la importancia de medir cada estructura para datos más fidedignos, esto incluye temperatura y humedad. Se añadió el uso de telemetro para medir distancia de manera metódica. Toda la actividad del procedimiento puede ser encontrada en guía de inspección.

A large, solid orange rectangle occupies the left half of the page.

XIV. CAPÍTULO 12 |

CAPÍTULO 12: DISEÑO DE INSUMOS, DETECTOR DE ANOMALÍAS

12.1 Definiciones base

Al igual que el desarrollo del insumo anterior, la implementación del detector de anomalías estuvo en evaluación y conversación respecto a su implementación. Existieron etapas preliminares en donde se visualizó el diseño de una herramienta externa para inspeccionar las cartillas la cual cumpliera con la función de encontrar datos anómalos para la curación de ellos. Tras la reflexión del equipo y el intercambio de ideas con la contraparte, se decidió aplicar la misma lógica que la reestructuración de la cartilla. ***¿Por qué cambiar una herramienta conocida por el usuario, con la cual se siente cómodo para realizar sus labores?*** Es desde ese punto donde se decidió mantener como marco de trabajo el documento Excel, estableciendo las bases pertinentes para su desarrollo.

Como pilar de la implementación, Pacheco (2016) establece en el modelado de requerimientos para Software, la importancia de la fase de requisitos, ya que la define como “la especificación de las necesidades del sistema resultante de la interacción entre los

desarrolladores del software y los usuarios”. Basado en esta indicación y en conjunto con el responsable de la elaboración del detector, se procede a detallar la estructura base.

Comenzando con plantear el **objetivo** de la herramienta:

OBJETIVO

informar sobre las variables obtenidas en la inspección cuyo valor se desvía de las tendencias esperadas acorde a registros de la empresa.

Figura 39. Objetivo de detector de anomalías. Fuente: Elaboración propia

Una vez planteado el objetivo de la herramienta se establecen los requerimientos del sistema. Estos pueden ser funcionales y no funcionales, “los requisitos funcionales describen la funcionalidad o los servicios que el sistema proveerá. Los requisitos no funcionales se refieren a propiedades del sistema” (Pacheco, 2016). Ambos son establecidos en torno a el objetivo principal y los usuarios a los que va dirigido.

Modelado de requerimientos

Usuarios Técnicos e Ingeniero de mantenimiento en transmisión	Requerimientos Funcionales	1.	Debe detectar valores extremos y aislados en las cartillas registradas.	2.	Debe notificar de manera visual cuando se ha detectado una variable anómala.	3.	Puede estimar la clasificación del tipo de dato anómalo en contaminación o daño.	
	Requerimientos No Funcionales	1.	se encuentra disponible para cada cartilla de cualquier línea.	2.	Es visualmente comunicativa y no interfiere los demás elementos de la cartilla.	3.	Otorga una respuesta de manera instantánea.	4.

Figura 40. Modelado de requerimientos. Fuente: Elaboración propia

12.2 Implementación de la herramienta

Los requerimientos planteados establecen la dirección que tomará la implementación del sistema en torno la cartilla de inspección, ya que esta última fue seleccionada como el entorno de desarrollo para el detector de anomalías. La pregunta es: **¿Tendrá Excel los atributos necesarios para incorporar un sistema con los requerimientos descritos?**

Para contestar esta pregunta es necesario comprender qué clase de algoritmos fueron aplicados en la construcción del programa. Considerando la orientación al diseño de este documento, solo se especificará lo necesario para entender las bases del funcionamiento de la herramienta.

El detector de anomalías se compone de la conjunción entre dos técnicas basadas en algoritmos específicos. La primera es denominada “Z-Score” y es una técnica estadística (programable en Excel) que es

utilizada a modo de detector “local”, esto quiere decir que solo compara datos de una misma cartilla para encontrar anomalías. La segunda técnica se relaciona con la ciencia de datos, se le denomina “Isolation Forest” y considera la aplicación de **Machine Learning** para ser utilizado como detector “global”, es decir, compara datos entre todas las cartillas existentes hasta la fecha. Esta aplicación es la propuesta factible más cercana al desafío inicial de la empresa, ya que, no concluye aspectos generales para diagnosticar los aisladores, pero permite clasificar parte de los datos.

Respondiendo a la pregunta planteada, efectivamente Excel es capaz de incorporar dichos algoritmos en su funcionamiento, incluso mejor, dentro de la propia cartilla de inspección. Todo con una condición: El uso de un Plugin especializado para hacer la transición del algoritmo al programa.

El esquema resultante de la incorporación en la cartilla es el siguiente:

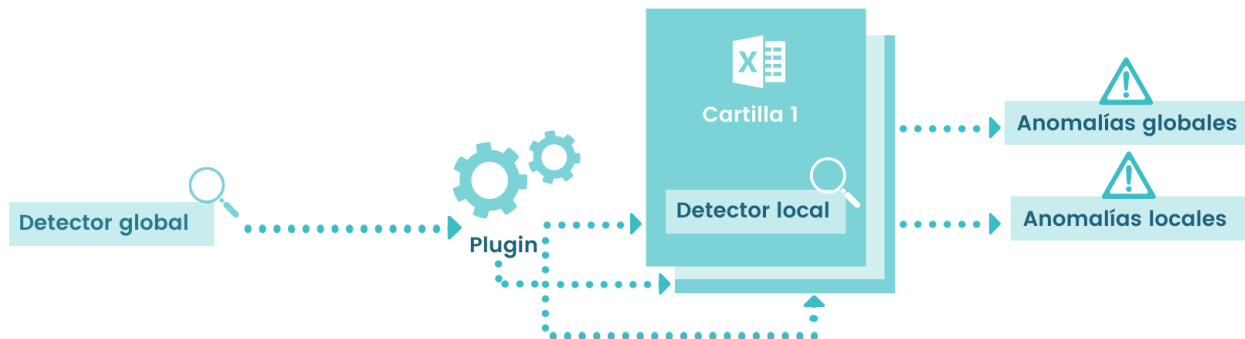


Figura 41. Esquema de funcionamiento de detector de anomalías. Fuente: Elaboración propia

12.3 Usabilidad de herramienta

Traducir un sistema complejo a una actividad sencilla es un atributo de gran valor para cualquier diseño. Es justo gracias al

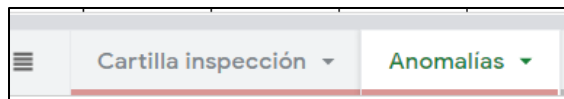


Figura 42. Pestaña de anomalías. Fuente: Elaboración propia

El Plugin que adapta el algoritmo hacia la cartilla Excel se encuentra incorporado en el archivo y no requiere manipulación.

Una vez en dicha pestaña, el técnico puede apreciar los resultados sin modificar ningún

modelamiento de requerimientos que se priorizó este apartado. En la cartilla de inspección puede encontrarse el acceso al detector de anomalías en una pestaña aparte, ya que, como fue concebido pretende no interferir directamente en uso regular de la cartilla de inspección.

apartado

extra.

Detector de anomalía global	Detector de anomalía particular			Sugerencia
	I-Z	M-M	S-D	
Si		Si	Si	EPRI C

Figura 43. Detector de anomalías global y particular. Fuente: Elaboración propia

La herramienta etiqueta de manera automática cada aislador ingresado en la pestaña previa y puede catalogarlo como una anomalía global, local o ambas al mismo tiempo.

El detector de anomalías posee dos usos: Uno totalmente orientado al usuario estudiado y pensado a **corto plazo**. Esta función etiqueta de manera estadística un tipo de EPRI al marcar un aislador como anómalo entre ambos detectores (local y global), ofreciendo una sugerencia para el llenado en la cartilla.

El uso alterno es a **largo plazo** y está orientado a generar un insumo para el futuro, preparando etiquetas de valores anómalos para la lectura de los archivos a través de algoritmos.

Todo el detalle de uso y funciones del detector de anomalías se encuentra detallado en la guía de inspección generada como insumo.



XV. CAPÍTULO 13 |

CAPÍTULO 13: DISEÑO DE INSUMOS, GUÍA REFERENCIAL

13.1 Bases de la guía referencial

En la generación de soluciones, la estandarización de los procesos asociados a la inspección fue parte de las opciones escogidas con mayor ponderación. La respuesta por parte del equipo se manifestó como un insumo que permita establecer por escrito los procedimientos adecuados para asegurar una calidad en los registros.

El documento denominado “Guía referencial para procedimiento de inspección en aisladores” es un archivo PDF realizado por el equipo de desarrollo que contiene 28 páginas con información relevante para el proceso de inspección e interpretación de aisladores. La generación de este insumo se apoyó en la Guía técnica Para la Elaboración de Manuales de Procedimientos (SER, 2004) para la estructura general del documento.

- **Objetivo de la guía:** Otorgar información referencial respecto a los equipos y actividades realizadas en el procedimiento de inspección de aisladores en líneas de transmisión, orientando las tareas y recursos con los lineamientos de la empresa Chilquinta Energía.



Figura 44 Portada de guía referencial. Fuente:
Elaboración propia

Debe responder los cuestionamientos fundamentales que estructuran la información y se alinean con el objetivo definido:

- **¿Qué se hace?:** El proceso de inspección coronográfica de aisladores es una actividad que consiste en la detección de fenómenos indeseados en la superficie de elementos aislantes de las líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica. Es realizado a través de equipamiento especializado que permite registrar las anomalías y parámetros de interés para la toma de decisiones en torno al mantenimiento de los aisladores.

- **¿Por qué se hace?:** El objetivo es detectar, prematuramente, condiciones de funcionamiento anómalas, basadas en el aumento de concentración de campo eléctrico en los componentes de una instalación eléctrica, con el fin de asegurar el correcto funcionamiento del sistema de transmisión.

- **¿Quién lo hace?:** Se requiere de una persona encargada de coordinar la logística y planificación de las tareas asociadas al proceso, esta responsabilidad recae en el ingeniero de mantenimiento de transmisión/distribución. Por otro lado, quienes ejecutan las labores de inspección en terreno, registro de datos y

digitalización son los técnicos de mantenimiento de transmisión/distribución.

- **¿Cómo lo hacen?:** La planificación es realizada a través de un sistema de gestión de mantenimiento que permite coordinar a los actores involucrados. A partir de aquí es posible agendar inspecciones de terreno en donde se recolectan variables de interés para el análisis del estado de los aisladores de una línea eléctrica. Analizando la información reunida es posible coordinar la limpieza o reemplazo de los elementos más problemáticos.

- **¿Cuándo se hace?:** La inspección coronográfica se realiza anualmente para cada línea, exceptuando los casos específicos de

- **¿Dónde se hace?:** La planificación del proceso se realiza en las instalaciones de la empresa, mientras que la inspección debe hacerse específicamente en el terreno en donde se ubica la línea a revisar, ya que es requerida la toma de datos, tanto del contexto en donde se ubican las estructuras, como de los elementos que allí se ubican.

riesgo potencial. En dicha situación se acude de manera excepcional y específica a la línea problemática acorde a la disponibilidad.

13.2 Contenido de la guía referencial

Las respuestas a las preguntas anteriormente planteadas representan el análisis de la información y el entendimiento general del procedimiento (SRE, 2004).

El contenido de la guía generada abarca los siguientes parámetros:

- **Definición e importancia de variables:** Define y especifica los conceptos de incidencia en el procedimiento. Adicionalmente, detalla la implicancia de cada variable medida para el diagnóstico.

Alcances y Definiciones de importancia

Esta guía es descrita para ser utilizada de manera transversal entre líneas de transmisión y distribución, por lo que las definiciones descritas corresponden a los elementos y fenómenos encontrados en ambos contextos.

A continuación se presentan conceptos importantes utilizados a lo largo de este documento.



Aislador

Elementos utilizados en líneas de transmisión o distribución, cuya función es aislar eléctricamente a los conductores energizados de la torre o poste, y a su vez actuar como soporte mecánico a lo largo de las líneas.



Anomalia

La anomalía eléctrica, referida para este documento como "anomalía", corresponde a un registro que presenta concentración de descargas parciales elevada, pudiendo representar un potencial riesgo al suministro eléctrico.



Cámara coronográfica

Instrumento que permite la detección y recopilación de la información ultravioleta irradiada por la presencia de efecto corona. Permite generar una imagen en el espectro visible sobre las descargas eléctricas asociadas a la superficie del aislador objetivo.



Cartilla de inspección

Documento Excel utilizado para el registro y clasificación de los datos obtenidos en el proceso de inspección. Otorga una evaluación correspondiente al estado de los aisladores en la línea inspeccionada. Véase anexo 1



Contaminación

Polvo o sedimento depositado en la superficie del aislador debido a determinadas condiciones ambientales, agentes químicos o biológicos. Existen dos tipos de contaminación: Soluble e Insoluble.



Desperfecto mecánico

Daño o deterioro del material aislante, que ocasiona descargas superficiales y efectos no deseados. Puede producirse por envejecimiento natural del material o algún daño externo.



Destello

Manifestación visible a través de cámara coronográfica (UV) producida por una descarga parcial. También referida como "Blob", "burbuja" o "mancha".



Detector de anomalías

Herramienta digital incorporada a la cartilla de inspección encargada de resaltar datos anómalos registrados durante una inspección.

Figura 45. Página con definiciones de importancia.
Fuente Elaboración propia.

- **Detalle de equipo y herramientas:** Contiene la especificación de los equipos necesarios para realizar las mediciones y observaciones correspondientes.

Equipos y herramientas

Para realizar las actividades estipuladas en el proceso de inspección, el técnico de mantenimiento debe hacer uso de los elementos especificados a continuación.

Equipo de medición



Cámara coronográfica

Permite obtener registros de descargas en el espectro UV



Anemómetro

Mide la velocidad del viento



Termohigrómetro

Mide temperatura y humedad



Telómetro

Mide la distancia a un objeto

Equipo complementario



Vehículo 4x4

Permite al técnico desplazarse al área de inspección



Notebook

Permite el traspaso de registros a la cartilla de inspección



Teléfono celular

Permite la comunicación y el registro de información



Binoculares

Permite captar desperfectos con mayor detalle

Elementos de protección personal





Casco de seguridad

Protege la cabeza de peligros de naturaleza mecánica, térmica o eléctrica



Chaleco reflectante

Resalta al usuario ante un entorno de posibles riesgos por falta de visión



Gautes dieléctricos de seguridad

Evitan la posibilidad de sufrir daños por una descarga eléctrica



Zapatos de seguridad

Protege los pies de peligros de naturaleza mecánica, química o eléctrica

Figura 46. Página con equipos y herramientas. Fuente: Elaboración propia.

114

- **Descripción de actividades:** Contiene el detalle del proceso secuencial de inspección. Se hace énfasis en la calibración de equipos, protocolos de medición, factor humano, toma de decisiones e interpretación de datos.

c **Comprobar daño visible:**
Observar si la superficie del aislador posee fisuras, grietas u otros daños mecánicos en la superficie (puede ayudarse del zoom de la cámara coronográfica para mejor visualización). En caso de detectar daño visible, debe registrar el detalle por escrito inmediatamente.



Ejemplos de daño

Se recomienda realizar una inspección en 360 grados para asegurar que no se esconde daño en el elemento.

¿Por qué?

El daño visible indica que la estructura requiere mantenimiento lo antes posible. Ya que intensifica la gravedad de las descargas. Además es un indicativo claro de necesidad de reparación/reemplazo.

d **Medir distancia a objeto:**
Registrar la distancia entre el personal y el aislador a inspeccionar. Para esto es necesario usar el **telémetro** otorgado por la empresa en un ángulo aproximado de 60 grados.

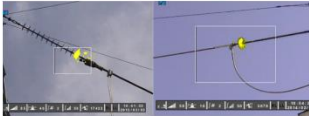


La distancia de la fuente permite hacer comparaciones con registros previo a la misma estructura. Esto se debe a que la intensidad de luz decae proporcional al cuadrado de la distancia. Ver ejemplo.

Por lo anterior mencionado, mantener una distancia constante (priorizando seguridad) es ideal para que la proporción del registro de descargas sea consistente.

Ejemplo:

El aislador en la imagen izquierda se encuentra a la mitad de la distancia que el de la derecha. Por lo tanto el recuento de descargas a la derecha debe multiplicarse por 4 para que ambas mediciones sean equivalentes.



¿Por qué?

Esta distancia es la utilizada al registrar el conteo de descargas con la cámara coronográfica. Es útil para comparar los registros de una estructura con un valor de referencia.

Una distancia prudente corresponde aproximadamente a 20 metros desde la cámara hasta el elemento inspeccionado.

Figura 47. Página con parte de descripción del procedimiento. Fuente: Elaboración propia.

- **Incorporación de actualizaciones:** La guía contiene incorporadas las actualizaciones realizadas producto de las soluciones paralelas generadas, es decir, la información y tratamiento de la nueva cartilla y el detector de anomalías.

i **Demanda [MVA]:** Demanda estimada de la línea en el día que fue realizada la inspección. Para mediciones ocurridas en más de una fecha, alinear la columna correspondiente con el día de inspección

k **Estructura:** Corresponde a la torre/poste en donde se encuentran los grupos de aisladores inspeccionados. Se enumeran de 1 a N, según la cantidad de estructuras por línea.

l **Circuito:** Hemisferio de la estructura apreciado desde la perspectiva del inspector. El circuito 1 corresponde al hemisferio izquierdo y el circuito 2 corresponde al hemisferio derecho.

m **Número de registro:** Nombre del archivo de video grabado por la cámara coronográfica. Ejemplo: "2020_03_05_11.41.23"

n **Tipo de aislación:** Material del aislador inspeccionado, el cual se encuentra previamente anotado en terreno. Son posibles cuatro opciones: Cerámica, vidrio, polímero u otro.

o **Mediciones de instrumentos:** Involucra los valores registrados en terreno a través de los instrumentos de medición. En orden: Distancia objeto-cámara [m], temperatura ambiente [°C], Humedad relativa [%] (rango 0 a 100) y Velocidad del viento [km/h]

Distancia Obj-cámara [m]	Temp. Amb. [°C]	Humedad Relativa [%]	Velocidad del Viento [km/h]

Las anotaciones se realizan por cada estructura.

p **Descargas por fase:** Promedio de descargas captadas en cada aislador. Por lo general cada circuito puede dividirse en tres fases. I-Z, M-M y S-D.



Las descargas pueden apreciarse en el material audiovisual registrado con la cámara coronográfica, como el valor varía, debe obtenerse un promedio aproximado.

Para el ejemplo, un valor acorde a lo mostrado variaría entre los 4030 y los 4470

Los valores numéricos deben escribirse en la columna correspondiente. Las casillas alteran su color de manera automática según su valor, acorde a lo descrito en la página 15.

Cada color se relaciona con su prioridad de mantenimiento.

Descarga por fase		
I-Z	M-M	S-D
528	1204	6087

- No requiere acción.
- Falla incipiente. Monitorear.
- Reemplazar o reparar en próximo mantenimiento.
- Falla funcional. Necesita mantenimiento lo antes posible.

Figura 48. Página con los cambios generados en la reestructuración. Fuente: Elaboración propia.

115

13.3 Fuentes de información

Para la elaboración del insumo se utilizaron diversas fuentes recopiladas por la empresa y el equipo de desarrollo:

- **Manuales de uso de equipos:** El inspector debe ayudarse de equipos específicos para recolectar información en terreno. Para obtener una mejor calidad de los datos es necesario que estos sean utilizados de manera correcta, esto implica calibrar y operar bajo protocolos puntuales de cada equipo. Estos pueden ser encontrados en el manual de uso.

- **Normativa:** Los procesos a realizar se encuentran fundamentados en normativa o información otorgada por centros de investigación. Entre las entidades principales de las cuales se basa el proceso se encuentra la EPRI (Electric Power Research Institute), la normativa IEC60815 y el folleto técnico CIGRE158.

- **Entrevistas y conversaciones:** A lo largo del desarrollo de la solución general se ha recopilado información a través de la conversación directa con los agentes implicados en el contexto, esto incluyendo al ingeniero y técnico de mantenimiento en transmisión. Obteniendo valiosas referencias del proceso basadas en la experiencia y conocimientos adquiridos con el tiempo.

- **Guía de procedimiento:** De manera reciente la empresa ha elaborado una breve guía que especifica algunas actividades de la de toma de datos, sirviendo como un gran insumo complementario y referencial para la elaboración del documento en desarrollo, ya que denota procesos de importancia a destacar para la empresa, pero también muestra sus limitantes en términos de protocolos adicionales asociados al proceso de inspección.

- **Material generado por el equipo:** Se utiliza parte de la información generada por el equipo de desarrollo hasta el momento para complementar procesos o detallar nuevas funcionalidades estudiadas.

13.4 Lineamientos de diseño

El documento originado busca ser una ayuda visualmente atractiva, clara y ordenada para el estudio y consulta respecto al procedimiento. Está orientado tanto a los usuarios del mantenimiento como a cualquier tercero que busque conocer los aspectos relevantes del diagnóstico de aisladores (respetando la privacidad de los procesos internos de la empresa). Se utilizaron los colores representativos de la entidad como la combinación entre tonos rojizos y grises que se asocian directamente con la identidad de la marca.

A large, solid orange rectangle occupies the left side of the page, extending from the top to the bottom and from the left edge to about one-third of the way across the page.

XVI. CAPÍTULO 14 |

CAPÍTULO 14: VALIDACIÓN Y PROYECCIONES

14.1 Retroalimentación del desempeño

La interacción con la contraparte estuvo presente durante todo el proceso a través de los ciclos de desarrollo del proyecto. Debido a la iteración en cada evaluación se reestructuraron los objetivos orientados a ofrecer soluciones de valor dentro de la realidad del problema. Culminando finalmente como producto mínimo viable, el set de insumos descritos en este documento.

Todos estos esfuerzos aplicados no poseen significación si no existe retroalimentación (*Feedback*) por parte de la empresa hacia el equipo. Acorde a Hattie & Timperley (2007) el feedback es información proveniente de un agente con respecto a aspectos de desempeño o entendimiento en un contexto definido, comprendiendo que existe diferencia entre el feedback y la instrucción por sí sola. Para este caso de estudio en particular, se trabajó en mejorar los aspectos relacionales en torno al acceso a la información y la confianza, respondiendo tres preguntas claves en cada ciclo:

- **¿Cuáles son las metas?**

- **¿Cómo vamos?**

- **¿A dónde vamos ahora?**

La reflexión y conversación en torno a estas incógnitas permitieron orientar el proceso a un ritmo y objetivo acorde para ambas partes.

14.2 Evaluación final y proyecciones

El proyecto culminó con una presentación final entre docentes y representantes de la empresa en donde se expusieron los avances finales. Los insumos, por su parte, fueron entregados en una reunión de cierre posterior, junto a los instructivos adicionales para su uso.

Durante la continuidad del proceso se clarificó que el desafío inicial difícilmente podría ser resuelto sin incorporar las mejoras descritas desde el presente hacia el futuro. Razón por la cual la contraparte comenzó a sumar algunos de esos aspectos al mantenimiento actual y manifestó interés en la continuidad del trabajo en cooperaciones futuras junto al equipo de desarrollo. Recomendando ampliamente la consolidación como equipo de consultoría.



XVII. CONCLUSIONES |

CONCLUSIONES |

El mantenimiento de aisladores es un proceso complejo, en constante evolución y abierto a la aplicación de metodologías innovadoras en la industria. Resulta por lo menos interesante descubrir el universo existente detrás de cada proceso. Sobre todo, de un evento que incide directamente en el estilo de vida de la población sin que esta misma considere la necesidad e incluso la existencia de estas labores.

Como para cualquier tercero fuera del núcleo de mantenimiento, el entendimiento de esta problemática y todo lo que conlleva su tratamiento, no habría sido posible de no haber estudiado a fondo el contexto y sus actores de manera consciente. Es por este motivo que debe reconocerse la importancia de todos los pasos que llevaron a la comprensión del problema y sus vertientes. Comenzando con el estudio de los usuarios. La mejor manera de empaparse de un entorno es a través de las personas que lo viven día a día, solo ellos enfrentan los desafíos cara a cara y generan experiencias basadas en sus vivencias. Experiencia que finalmente servirá para diseñar soluciones de valor para los interesados.

Toda esta información contenida en los usuarios no siempre está disponible o clara, es por eso que se hace vital el uso de metodologías y herramientas orientadas a extraer los insights más relevantes, tal como fue utilizada la entrevista o el mapa de empatía. Así también hace falta aplicar herramientas de análisis para procesar la información y darle un sentido de pragmático a la hora de plantear soluciones.

Dentro de este sentido, la comunicación es un eje vital para iterar en el trabajo realizado. Con esto se pretende realzar la importancia del feedback como marco para la mejora en el desarrollo. Gracias a la cooperación entre ambas partes fue posible llegar a una solución sin ser esta necesariamente la esperada en un inicio, por lo que la capacidad de adaptación se presenta como una habilidad clave en la resolución del desafío planteado.

El desafío, enmarcado bajo el programa de Memorias Multidisciplinarias, se trató de una oportunidad para cooperar junto a entidades reconocidas de la industria en la resolución de desafíos de impacto en el rubro. Todo esto potenciado por el valor de la interdisciplina, otorgando una mirada holística a la hora de

resolver un problema. Los equipos multidisciplinarios son efectivos siempre y cuando sean capaces de abordar un desafío desde un enfoque complementario, situación abordada con éxito que permitió empapar la solución de diferentes disciplinas y por ende conocimientos. Desde la perspectiva del diseño de productos, se identifica la fortaleza en el rol de organización y entendimiento del desafío, función que impactó positivamente en el desempeño del equipo y que fue reconocida por los pares como un elemento clave para abordar cualquier tipo de problema.

Cabe destacar, el ejercicio de transformar procesos complejos como la inspección de los fenómenos eléctricos, la inteligencia artificial o el mantenimiento general en conceptos más sencillos, a través del uso de definiciones básicas, diagramas e infografías, así como también la simplificación de las soluciones reducidas al uso más amigable posible. Esto guiado por principios de diseño para permitir el acceso a la información de manera eficaz a el equipo, la contraparte e incluso la docencia encargada.

Gracias a la participación en el programa de Memorias Multidisciplinarias se aprendió la importancia de la comunicación, y la honestidad para poder progresar en los desafíos de manera Realista y estructurada. También, a estudiar los recursos y evaluar la factibilidad de una solución para expresar a los interesados las falencias y virtudes de sus procesos, a pesar de tratarse de un tema de sensibilidad operativa. A modo de desarrollo personal, se reforzaron las habilidades para el trabajo en equipo, las técnicas expositivas y el rol de mediador entre disciplinas.

Finalmente expresar la influencia de las limitaciones del trabajo remoto, tanto en la comunicación como en el desarrollo final de las soluciones. Eventos tan enriquecedores como estudiar el comportamiento de aisladores en laboratorios, visitar las dependencias de la empresa o incluso participar del proceso de inspección fueron mermados por las restricciones sanitarias presentes a la fecha de desarrollado el proyecto. No cabe duda igualmente que la experiencia fue satisfactoria en todo aspecto y se espera la adopción del

trabajo realizado durante el programa. Dejando la puerta abierta a más colaboraciones entre el equipo y la contraparte en el futuro.



XVIII. REFERENCIAS |

REFERENCIAS |

- Alexander, I. F. (2005). A Taxonomy of Stakeholders Human Roles in System Development.
- Aspen. (s. f.). 500-kV single-circuit LST 500-kV single-circuit TSP [Ilustración]. Recuperado de <http://waterheatertimer.org/pdf/Transmission-Components-Fact-Sheet.pdf>
- Batanero, C., & Godino, J. (2001). ANÁLISIS DE DATOS Y SU DIDÁCTICA. Departamento de Didáctica de la Matemática Universidad de Granada. Granada, España.
- Botero, C. (1991). Mantenimiento Preventivo. En Manual de mantenimiento (Vol. 5, pp. 38–42). Bogotá, Colombia: SENA.
- Cano, M., Luque, A., Lama, J. R., & Córdoba, A. (2019). PREDICTIVE MAINTENANCE USING MACHINE LEARNING TECHNIQUES. 23rd International Congress on Project Management and Engineering. Málaga.
- Chilquinta Energía. (2018). MEMORIA ANUAL 2018.

Chilquinta Energía. (2019). MEMORIA ANUAL 2019.

García, L. (2019). Aplicación del Mapa de Empatía: una Herramienta de Valor en los Modelos de Negocio. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia.

Generadoras de Chile. (2017). Generación eléctrica en Chile. Recuperado 11 de abril de 2021, de <http://generadoras.cl/generacion-electrica-en-chile>

Hattie, J., & Timperley, H. (2007). The Power of Feedback. University of Auckland.

Hernández, R. M. (2014). LA INVESTIGACIÓN CUALITATIVA A TRAVÉS DE ENTREVISTAS: SU ANÁLISIS MEDIANTE LA TEORÍA FUNDAMENTADA. Universidad Internacional de la Rioja, España.

ISO (2010). ISO 9241: Ergonomics of Human-System Interaction – Part 210: Human–Centred Design for Interactive Systems. International Organisation for Standardisation, Geneva, Suiza

J. M. Pacheco (2016) Modelado de requerimientos de software. (Documento de docencia N° 18). Bogotá: Ediciones Universidad Cooperativa de Colombia

Khomenko, N., & de Guio, R. (2007.). OTSM Network of Problems for representing and analysing problem situations with computer support.

Ley no. 18.410. Orgánica de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles. MINISTERIO DE ENERGÍA; SUPERINTENDENCIA DE ELECTRICIDAD Y COMBUSTIBLES. 03 de MAR 2020

Ley no. 20.402.LEY GENERAL DE SERVICIOS ELECTRICOS, EN MATERIA DE ENERGIA ELECTRICA. MINISTERIO DE ECONOMÍA, FOMENTO Y RECONSTRUCCIÓN; SUBSECRETARIA DE ECONOMIA, FOMENTO Y ECONSTRUCCION. 21 de DIC 2019

Luna, P. (2018). La tendencia en mantención de aisladores: disminuir la cantidad de limpiezas. Electricidad: La revista

- energética de Chile. Recuperado de <https://www.revistaei.cl>
- Ministerio de Energía. (2019). Mapa de Vulnerabilidad Energética. Síntesis y resultados. Gobierno de Chile.
- Montalba, M. (2018). INTEGRACIÓN DE LA TEORÍA DEL PENSAMIENTO PODEROSO OTSM – TRIZ CON LA HERRRAMIENTA DE ANÁLISIS DE ESCENARIOS FUTURES WHEEL Y LA MATRIZ DE VESTER. UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA. Valparaíso, Chile.
- Neria, O. L. (2020). GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE LA LÍNEA ELÉCTRICA CHARCANI - YURA 138 KV. Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú
- Nikulin, C., Acuña, C. A., Fernández, C., López, M., & Madrid, R. (2017). A creative root-cause analysis integrated with problem solving theory approach to better drive maintenance's strategies. The 2nd International Conference on Engineering Sciences and Technologies.
- Nikulin, C., Céspedes, C., Stegmaier, R., Nino, S., Viveros, P., & Becattini, N. (2019). Anticipation of Problems in Innovative Projects Based on OTSM-TRIZ: Operative Algorithm to Assess Resources and Solutions in Project Development – Innovative Projects Based on OTSM-TRIZ.
- Olarte, W., Botero, M., & Cañon, B. (2010). TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO UTILIZADAS EN LA INDUSTRIA. Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia
- Peña, D. (2002). ANÁLISIS DE DATOS MULTIVARIANTES. Universidad Carlos III. Madrid, España.
- Quezada, A. A. (2009). El Mercado Eléctrico en Chile. Recuperado mayo de 2021, de <https://n9.cl/fx1en>
- Rouhiainen, L. (2018). Inteligencia artificial: 101 cosas que debes saber hoy sobre nuestro futuro. Barcelona, España: Alienta Editorial.

- Schwaber, K., & Sutherland, J. (2017). La Guía de Scrum.
- Silva, C. D. (2018). MODELO DE MANTENIMIENTO PARA AISLADORES CONTAMINADOS EN LA LÍNEA 220 KV CÓNDORES - PARINACOTA. Universidad Técnica Federico Santa María. Valparaíso, Chile.
- Silva, S. (2017). Identificando a los protagonistas: el mapeo de actores como herramienta para el diseño y análisis de políticas públicas (7). Universidad EAFIT.
- SRE. (2004). GUÍA TÉCNICA PARA LA ELABORACIÓN DE MANUALES DE PROCEDIMIENTOS. Secretaría de relaciones exteriores.
- Szidon, K., & Franzone, E. (2009). Task Analysis: Steps for Implementation. National Professional Development Center on Autism Spectrum Disorders.
- Task Force. (2000). POLLUTED INSULATORS: A REVIEW OF CURRENT KNOWLEDGE. Cigre.
- Valdés, E. (2013). Chilquinta Energía S.A. Humphreys.
- von Saucken, C., Lachner, F., & Lindemann, U. (2014). Principles for User Experience: What We Can Learn from Bad Examples. INTERNATIONAL CONFERENCE ON KANSEI ENGINEERING AND EMOTION RESEARCH.



XIX. ANEXOS |

¿Cuáles son las labores más frecuentes que realiza?

R: Como técnico de mantenimiento realizamos supervisión y control de cuadrillas de trabajo. Tareas de mantenimiento predictivo, termografía y coronografía, además de atención a fallas que son una vez cada cierto tiempo. A la temática de inspección de los aisladores le denomina inspección coronográfica.

Con relación a labor de inspección de aisladores. Me ayudaría que me cuente un poco más acerca de: - ¿Cómo se inició en este trabajo?, ¿Cómo aprendió a hacerlo?

R: En el año 2018 se comenzó a gestionar la compra de una cámara corona. Vimos varias especificaciones de equipos, pero por temas de plata se quedó en “standby”. Si no me equivoco el 2019, se compraron 2 equipos corona por parte de Chilquinta con el fin de diagnosticar el estado de los aisladores. Hay mucha aislación que se ve individualmente si tiene daños, pero hay mucha que no tiene ese componente visual, entonces la escuchas que suena o con una

cámara especial se puede encontrar algún daño. Por eso salió la adquisición de dichas cámaras, entonces se compraron y vino el proveedor y nos trajo una pequeña de capacitación de un par de horas, de uso y análisis de las imágenes que vamos obteniendo. Dentro de esa capacitación nos mostraron diapositivas y los mismos manuales de la cámara vienen con harta información respecto al diagnóstico de los equipos. Mencionar también que la inspección corona es una tecnología bastante nueva, como 10 años de novedosa, no hay estudio y análisis que te vayan afinando de lo que vas obteniendo tu. Entonces si te vas al manual y a lo que dice el fabricante el fabricante estipula 2 razones de análisis: una que pongas énfasis a lo que quieres obtener, que podría ser la contaminación y por el otro lado está el énfasis al daño de la aislación. Entonces bajo esos dos conceptos tú sales a hacer una inspección y va a depender de las condiciones ambientales, de lo que buscas, el tipo de aislador, etc.

¿Desde cuándo lo realiza?

R: Desde 2018.

¿Qué es lo más difícil de este trabajo en el día a día?

R: Partiendo por llegar a la estructura, y yo creo que el análisis el cual podría llevar a confusiones, porque muchas veces te encuentras con aisladores que tienen ruido y descarga, pero esto pasa más por contaminación que por daño, y muchas veces esto te puede llevar a una confusión y un diagnóstico errado.

Me gustaría saber más detalles de este trabajo: ¿En qué consiste el proceso de inspección en el día a día? ¿Cuáles son los pasos del proceso desde que se prepara desde la planta hasta que termina sus labores?

R: El proceso parte por la programación nuestra, el plan de mantenimiento nos arroja una fecha de caducidad para la inspección, por ej ahora parte un programa de inspección en agosto, por decirte algo, debemos hacer 3 inspecciones. Al encargado se le asigna la tarea de programar a qué estructuras deben hacer en las inspecciones. Hacemos un muestreo a las estructuras. En base a eso se arma un esquema

de trabajo tipo carta Gantt super simple. Se le solicita al área encargada de los permisos gestionar los permisos con los propietarios para no tener problema al ingresar a ciertos fundos. Sales a terreno el día de la inspección, llegas al punto y solicitas tu permiso preventivo, mides valores temperatura y humedad. Luego de eso vas a la estructura y haces un recorrido, miras a través de la cámara coronográfica, si encuentras algo se le hace un enfoque más detallado, esta primera inspección se le hace en 360 grados con el equipo. No pueden quedar puntos ciegos porque puede ocultar algún desperfecto. Si este todo ok, grabas el video y todo perfecto. En el caso contrario, si se encuentra una anomalía, se graba y detalla la anomalía, enfocando lo que se quiere mostrar. Ya sería el último día de la inspección, generalmente estamos haciendo inspecciones de esta magnitud y se hace de lunes a jueves para el viernes armar todo en la planilla. Yo en lo personal trato de hablar lo más posible sobre los campos que se tienen que rellenar. En lo personal yo anoto todo en el celular, en Google Keep, para almacenar las notas. Entonces al iniciar la inspección anoto el número de permiso que nos entrega el área de

operaciones para indicar que estás trabajando en cierta zona. Zona inicio, temperatura, hora, humedad, nivel de tensión (que es super importante en la inspección) Esos datos de zonas de contaminación, vienen definidas por el fabricante en el manual de la cámara. Ahí se establecen las zonas contaminadas, y eso se cruza con la guía EPRI para obtener lo mismo.

¿Qué cosas se podrían hacer para mejorar el proceso?

R: Primero llegar a un muestreo representativo de cada instalación, hemos intentado llegar a ese punto, pero no hemos dado con ningún estándar representativo ante una autoridad u organismo internacional, no hay nada que te defina un valor estadístico respecto a un porcentaje para que la muestra sea representativa. Ahora también, está el punto que debe inspeccionarse toda la instalación, pero eso es harta pega; Y el otro punto es referente al diagnóstico. Porque se definen dos tipos de líneas a seguir, la línea del daño y la línea de la contaminación, porque la línea del daño necesita condiciones meteorológicas distintas según el tipo de daño, a las condiciones de la

contaminación. Sería bueno definirlo y dejarlo estandarizado, porque te muestra 10 posibles daños en la aislación y 10 posibles condiciones distintas.

Feedback de herramienta para traspaso

¿Qué te parece una ayuda para traspasar la información a Excel?:

R: Considerando el tema de tomar varias temperaturas y humedad punto a punto también podría ser un punto factible, pero en este caso yo en mi caso personal me manejo un poco más rápido en el tema del Word y el Excel, a Google Keep le aplicó ciertos formatos y copio y pego directo al Excel. Pero eso es solo personalmente. El tema de usar Google Keep es mi metodología personal, tengo como antecedente el procedimiento de termografía donde se anotan varios datos y llevar un proceso juicioso en todo momento. a veces es complicado llevar un cuaderno en terreno, se cae, se pierde. por lo que el celular es mi mejor arma.

ANEXO 1 Cartilla actual



Plan de Mantenimiento

Reporte de Inspección Descarga Corona

Instalación	LT 110kV TAP MAYACA MAYACA	OM	
Año de servicio		Clima	Despejado/Soleado
Voltaje [kV]		Tipo de contaminación	Otro
Permiso		Inspector	
Equipo		Informe	
Ultimo Mantenimiento [Día-mes-año]			

Aisladores clasificados en: Limpieza



A = B = C = D

Aisladores clasificados en: Reemplazo/Reparación

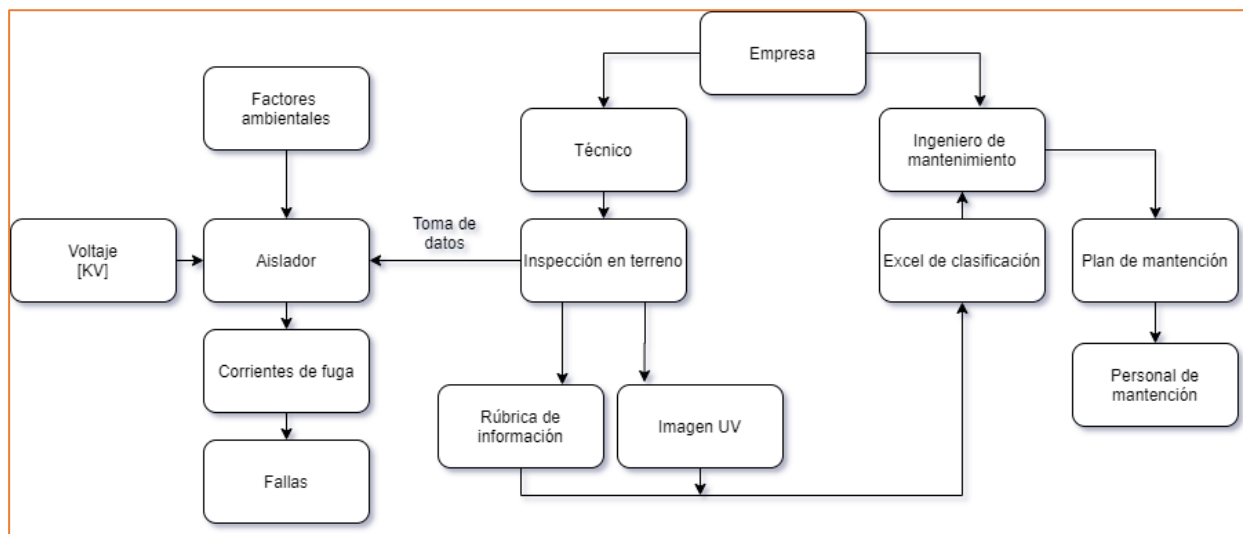


A = B = C = D

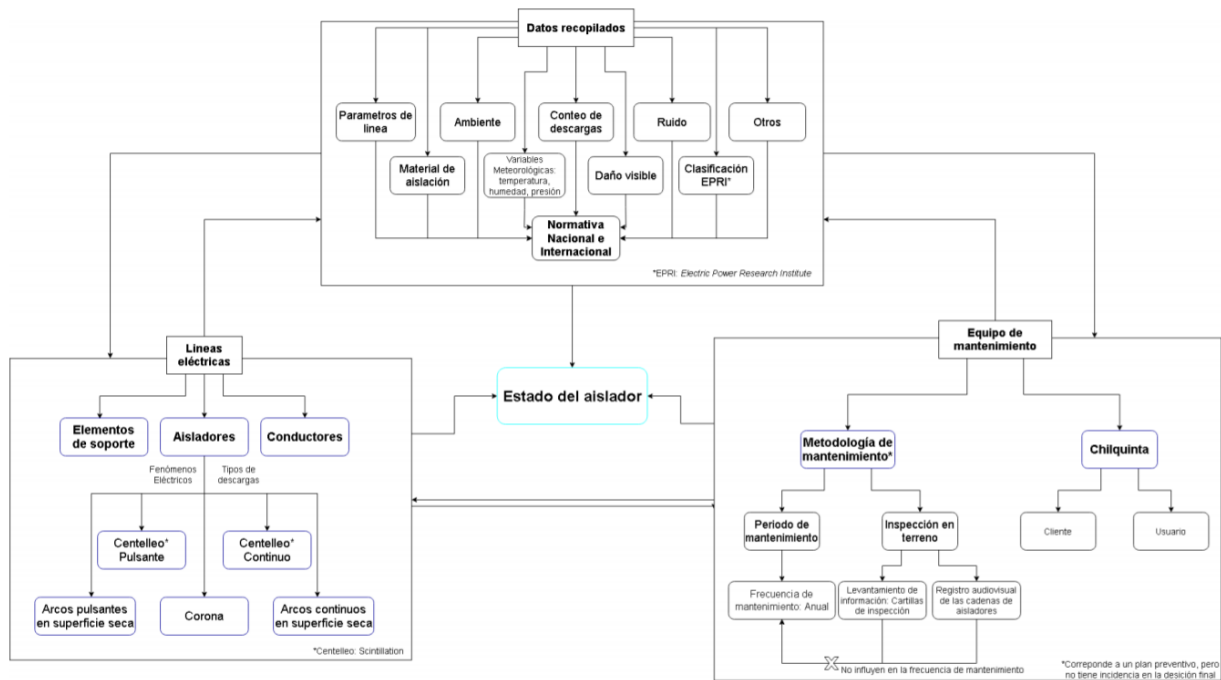
Criterio Chilquinta: Descargas superficiales - Caudes Descargas			
0	≤	500	No requiere acción
500	---	1000	Falla incipiente. Monitorear
1000	---	5000	Falla potencial. Reemplazar o reparar próximo mantenimiento.
>		5000	Falla funcional. Necesita mantenimiento lo antes posible

Estructura	Circuito		N° Registro	Tipo Aislación	Distancia Obj cámara [m]	Temp. Amb. [°C]	Humedad Relativa [%]	Velocidad del Viento [km/h]	Descarga por fase			Ruido		Daño Visible		Se recomienda Realizar:	Clasificación EPRI*				OBSERVACIONES/COMENTARIOS
	1	2							I-Z	M-M	S-D	SI	NO	SI	NO		A	B	C	D	
															x	Reemplazo/Reparación			x		
															x	Limpieza	x				
														x		Reemplazo/Reparación			x		
														x		Reemplazo/Reparación				x	
															x	Limpieza			x		
															x	Limpieza	x				

ANEXO 2 Cartilla Excel actualizada



ANEXO 3 Esquema inicial del proceso



ANEXO 4 Esquema procedimiento V2.