



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE  
ESCUELA DE INGENIERIA | ESCUELA DE ADMINISTRACIÓN

# **DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN PRODUCTO MINIMO VIABLE PARA LA PREDICCIÓN DE FALLAS EN EQUIPOS INDUSTRIALES BASADO EN SONIDO.**

**RICARDO JESUS ASKENASY FLORES**

Actividad de Graduación para optar al grado de  
MAGISTER EN INNOVACIÓN

Profesor Supervisor:  
**FRANCISCO PIZARRO**

Santiago de Chile, Julio, 2020

© 2020, Ricardo Askenasy



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE  
ESCUELA DE INGENIERIA | ESCUELA DE ADMINISTRACIÓN

# **DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN PRODUCTO MINIMO VIABLE PARA LA PREDICCIÓN DE FALLAS EN EQUIPOS INDUSTRIALES BASADO EN SONIDO.**

**RICARDO JESUS ASKENASY FLORES**

Proyecto presentado a la Comisión integrada por los profesores:

**PROFESOR SUPERVISOR:** FRANCISCO PIZARRO

**PROFESOR CO-SUPERVISOR:** DAVID PREISS CONTRERAS

**EVALUADOR EXTERNO:** CLAUDIO ROCCO KLEIN

**REPRESENTANTE DE POSTGRADO:** ROCIO ORTIZ MORENO

Para completar las exigencias del grado de  
Magister en Innovación

Santiago de Chile, Julio, 2020

*A Daniela y a mi Papá, que leyeron y  
aportaron con alegría y experiencia.*

*Y a quien me enseñó a escribir, mi  
Madre - QEPD.*

## INDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA.....	iii
INDICE DE TABLAS .....	vii
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	ix
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT .....	xii
DECK – CASO DE NEGOCIO .....	xiii
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Contexto General.....	2
1.2 Introducción al problema .....	2
1.3 Levantamiento inicial en iLab.....	4
1.4 Oportunidad en iLab.....	5
1.5 Diseño conceptual de la solución .....	5
1.6 Prueba prototipo .....	5
1.7 Definiciones Iniciales.....	6
1.8 Inserción en la Cadena de Valor .....	7
2. ESTADO DEL ARTE .....	8
2.1 Generalidades de la evolución.....	8
2.2 Competencia (actores presentes en el mercado) .....	8
2.3 Observaciones y estudio previo.....	11
2.3.1 Fallas de mayor recurrencia.....	12
2.3.2 Rodamientos como elementos a comprender. ....	13
2.3.3 Nueva Propuesta: Sonido como síntoma de falla. ....	14
2.4 Patentes.....	15
2.3.1 Patentes – Mantenimiento predictivo y sonido.....	16
3. AJUSTE PROBLEMA & SOLUCIÓN.....	18
3.1 Mercado a atender .....	18
3.2 Enunciados del problema e hipótesis de solución.....	19

3.3	Objetivos .....	19
3.3.1	Objetivo General de Control-Tech .....	19
3.3.2	Objetivo General bajada individual .....	19
3.4	Diseño del plan de trabajo General .....	20
3.5	Consideraciones Iniciales .....	21
4.	METODOLOGÍA .....	23
5.1	Metodología para la construcción del producto. ....	24
5.	RESULTADOS .....	26
5.1	Marco Teórico. ....	26
5.2	SPRINT 1 – Exploración.....	26
5.2.1	Definiciones del elemento a probar. ....	26
5.2.2	Hipótesis. ....	28
5.2.3	Aprendizajes esperados.....	28
5.2.4	Implementación. ....	28
5.2.5	Lecciones Aprendidas.....	33
5.3	SPRINT 2 – Colección de Datos y Pivoteo.....	35
5.3.1	Pivote. ....	35
5.3.2	Hipótesis. ....	35
5.3.3	Aprendizajes Esperados.....	36
5.3.4	Implementación. ....	36
5.3.5	Lecciones Aprendidas.....	39
5.4	SPRINT 3 – Pruebas de concepto para escalar .....	40
5.4.1	Hipótesis. ....	41
5.4.2	Aprendizajes esperados.....	41
5.4.3	Implementación .....	41
5.4.4	Lecciones aprendidas.....	44
5.4.5	Lineamientos de construcción del software de predicción. ....	45
6.	CONCLUSIONES Y SIGUIENTES PASOS.....	47
7.	BIBLIOGRAFÍA .....	49
	A N E X O S.....	52
	ANEXO A: EXTRACTO CONTRATO DE MANTENCIÓN TIPO.....	53

ANEXO B: MODELO MATEMÁTICO FALLA EN RODAMIENTOS.....	54
ANEXO C: PATENTES .....	56
ANEXO D: PATENTES ESPECÍFICAS .....	63
ANEXO E: DESCRIPCION PARTES METODOLOGIA GRISP-DM .....	65

## INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2-1: Variables típicas versus causales de fallas.....	11
Tabla 2-2: Consumo eléctrico por sector versus demanda de motores eléctricos.....	12
Tabla 5-1: Desagregación de consumo de motores por uso final. ....	27
Tabla 5-2: Características motor y bomba de prueba.....	29
Tabla 5-5: Personas invitadas – Prueba de concepto. ....	42

## INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-2: Modelo conceptual solución de monitoreo de detenciones.....	5
Figura 1-1: MVP1 - Motobomba 125 litros/min - 2,3 bar acero inoxidable.....	6
Figura 2-1: Ilustración motor eléctrico, jaula de ardilla standard .....	13
Figura 2-2: Porcentajes de fallas de componentes de motores eléctricos. ....	13
Figura 3-1: Diagrama del plan de trabajo inicial, en línea de tiempo, año 2020 .....	20
Figura 4-1: Diagrama Lean Canvas. ....	23
Figura 4-2: Diagrama metodológico CRISP-DM .....	25
Figura 5-1: Curva de audibilidad, áreas de audición humana. ....	29
Figura 5-2: Ilustración instalación motobomba .....	30
Figura 5-3: Captura Análisis de Amplitud vs Tiempo .....	30
Figura 5-4: Captura Análisis de Frecuencia vs Tiempo.....	31

Figura 5-6: Falla de la pista interna (provocada con residuos metálicos).....	32
Figura 5-7: Comparativa de análisis rodamiento bueno vs defectuoso.....	34
Figura 5-7: Ventana de Chatbot configurado con árbol de decisión.....	37
Figura 5-8: Grabación con dispositivos móviles.....	38
Figura 5-9: Instructivo de grabación y placa de especificaciones.....	43
Figura 5-10: Diagrama de solución SaaS.....	46
Figura B-1: Esquema general de rodamiento.....	55

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

Definiciones según orden de aparición en el texto explicativo

*Ventaja Injusta:* de la metodología Lean Canvas, elemento de diferenciación para una empresa. Algo que la competencia no tiene, y que no es fácil de copiar o adquirir.

*Running Lean:* metodología basada en libro “Cómo Iterar de un Plan A a un Plan que Funciona” (Maurya, 2019)

*Early adopter:* consumidor de una solución en etapas tempranas

*Buyer persona:* de la metodología Inbound Marketing, construcción semi-ficticia para representar los diferentes tipos de usuarios que podrían usar un producto o marca de manera similar.

*MRO:* abreviación en inglés de Mantenimiento, Reparación y Operación

*Pain points:* o puntos de dolor se refiere a contratiempos, preocupaciones o problemas que tiene el potencial cliente, los cuales pueden ser reales o una simple percepción.

*Arduino:* una plataforma de desarrollo basada en una placa electrónica de hardware libre que incorpora un microcontrolador re-programable.

*SMS:* abreviación en inglés de Sistema de Mensajes Cortos

*Sweet point:* punto de equilibrio entre lo ideal y lo deseado.

*IIoT:* abreviación en inglés de Internet Industrial de las cosas

*IoT:* abreviación en inglés de Internet de las cosas

*Pricing:* ejercicio que se enfoca en fijar precios que hagan de la venta un ejercicio rentable y que permitan entregar valor al cliente.

*Sprint:* de la metodología Lean Canvas, entrega de valor a propósito de un proceso corto de ideación, prototipado y/o testeo.

*Inbound marketing:* metodología de marketing no intrusiva, que busca educar al buyer persona, para llevarlo a una compra.

*Start-ups:* anglicismo que define a una empresa en etapa temprana, que busca ser rentable y escalable.

*HaaS:* abreviación en inglés de Hardware como un Servicio

*SLA:* abreviación en inglés de Acuerdo de Nivel de Servicios, usado en la industria para comprometer niveles mínimos de cumplimiento.

*SaaS:* abreviación en inglés de Software como un Servicio

*Lean:* concepto metodológico que hace referencia a crear la mayor cantidad de valor al cliente, con los menores recursos que sea posible.

*Job to be done:* concepto metodológico de Clay Christensen, que define el trabajo que debe completar el cliente, y que se busca resolver de una manera diferente, usualmente con menores costos y mayor captura de valor.

*Insight:* de la metodología Inbound Marketing, anglicismo que define a un hallazgo, con características poco evidentes o difusas.

*Amplitud:* en vibraciones o sonidos, se refiere a la variación máxima de desplazamiento de la onda, y a efectos prácticos se entiende como el “volumen” percibido en rango audibles.

*Frecuencia:* en vibraciones o sonidos, se refiere a la variación de la onda respecto del tiempo, y a efectos prácticos se entiende como el “tono” percibido en rangos audibles.

*Fundamental de frecuencia:* corresponde al “tono” de mayor amplitud

*Armónicos:* corresponden a los “tonos” de menor amplitud que acompañan a fundamental.

*Amplitud media:* en vibraciones o sonidos, se refiere a la variación media de desplazamiento de la onda.

*Transiente:* en vibraciones o señales eléctricas, fenómeno transitorio que generalmente se percibe al inicio o puesta en marcha.

*Chatbot:* Sistema de conversación automatizada vía una aplicación en la que usualmente interactúan dos o más personas.

*Freemium:* software que se distribuye sin costo, disponible para su uso, pero que mantiene restricciones de funcionalidades que se liberan con pago.

*API:* sigla en inglés para interfaz de programación de aplicaciones.

*WhatsApp:* aplicación para teléfonos inteligentes que permite conversaciones, escritas, envío de imágenes, audios y llamada de voz, haciendo uso de la red de datos.

*WhatsApp Business:* aplicación para teléfonos inteligentes que agrega facilidades

corporativas a su versión de usuario normal.

*Shazam:* aplicación para teléfonos inteligentes que incorpora un servicio de identificación de música, devolviendo nombre de la canción, autor, y letra en formato escrito, solo “escuchando” un fragmento de audio.

*Producto-market-fit,* de la metodología Lean Canvas, define el ajuste intencional del producto al mercado que atiende.

*Likert:* es una escala de calificación que se utiliza para cuestionar a una persona sobre su nivel de acuerdo o desacuerdo con una declaración.

*MP3:* formato de archivo de audio de codificación standard.

## RESUMEN

El propósito de este trabajo es mostrar el viaje de Control-Tech desde su idea inicial hasta su evolución como trabajo de graduación. Bajo una mirada funcional y estructurada, el afán se centra en la elaboración de un producto que contribuya a la obtención de una ventaja injusta robusta, en el ámbito de la predicción de fallas industriales.

De forma complementaria a los trabajos de Marketing<sup>1</sup>, Estrategia de Precios<sup>2</sup> y de Financiamiento<sup>3</sup>, se realizó una extensa revisión del estado del arte, tanto a nivel de patentes como de actores predominantes en el mercado, con el objetivo de validar y abordar la siguiente hipótesis: *Haciendo uso de la tecnología es posible anticipar y reducir cortes inesperados en máquinas industriales, y bajar hasta un 20% en costos de mantenimiento.*

Con el objetivo de abrir un mercado amplio y escalable, durante el desarrollo se distingue y acota el concepto “cortes”. Se decide entonces, trabajar con rodamientos, los que se encuentran transversalmente en industria y son a la vez el mayor elemento de falla.

Haciendo uso de *running lean* como marco metodológico general, los distintos análisis derivaron en la especificación de un producto mínimo viable (o *MVP*) el que hace uso de sonidos para diagnosticar un mal funcionamiento, e informarlo antes de la probable ocurrencia de falla.

Con un plan inicial afectado por las restricciones de movilidad impuestas por la cuarentena sanitaria emitida por el gobierno de Chile, a propósito de la pandemia provocada por el covid-19, se hace un pivote en el desarrollo tecnológico manteniendo la idea y propósito general.

Comprobada la hipótesis, y respecto de las perspectivas futuras como emprendimiento, la decisión del equipo es dejar el desarrollo de este proyecto en *stand-by* a la espera de que las condiciones permitan desarrollar un producto sostenible con un proceso de aprendizaje robusto.

Palabras Claves: *IdC (Internet de las Cosas), IIdC (Industrial Internet de las Cosas), mantenimiento industrial, mantenimiento predictivo, industrias 4.0, predicción de fallas, predicción de fallas en rodamiento y predicción de fallas basadas en sonido.*

---

<sup>1</sup> (Petric, 2020)

<sup>2</sup> (Brevis, 2020)

<sup>3</sup> (Tricarico, 2020)

## ABSTRACT

The purpose of this paper is to show the Control-Tech's journey from its initial idea to its evolution as a graduation job. Working from a functional and structured perspective, the focus has been to develop a product that contributes to obtaining a robust unfair advantage in the field of predicting industrial failures.

In addition to the Marketing<sup>4</sup>, Pricing<sup>5</sup> and Financing Strategy<sup>6</sup> jobs, an extensive review of the state of the art was been done, from the patent level until to the predominant actors in the market, with the aim of validating the following hypothesis: *Using technology, it is possible to anticipate and reduce unexpected interruptions in industrial machines, and to reduce maintenance costs by up to 20%.*

In the effort of opening a broad and scalable market, the “interruption” concept was refined during development and focus was placed on rotary elements. Working on bearings was chosen for its transversality in industry and, at the same time, the greatest element of failure.

Using running lean as a general methodological framework, the different analyzes led to the specification of a minimum viable product (MVP), that uses sounds as a symptom of a malfunction and inform it, before the probable occurrence of failure.

With an initial plan affected by the mobility restrictions imposed by the health quarantine issued by the Chilean government, regarding the covid-19 pandemic, a pivot was made just in technological development but keeping invariable the main purpose of this job.

Once the hypothesis has been verified, and regarding the future as start-up, the team has taken the decision of leaving the project on hold, waiting for the better conditions for developing a sustainable product with a robust learning process.

Keywords: *IoT (Internet of Things), IIoT (Industrial Internet of Things), industrial maintenance, predictive maintenance, industries 4.0, failure prediction, bearing failure prediction and failure prediction based on sound.*

---

<sup>4</sup> (Petric, 2020)

<sup>5</sup> (Brevis, 2020)

<sup>6</sup> (Tricarico, 2020)



Control-Tech

mail : [catalina@control-tech.cl](mailto:catalina@control-tech.cl)

web : [www.control-tech.cl](http://www.control-tech.cl)

tel. : +56 9 7598 5846



## DECK – CASO DE NEGOCIO

**Propósito:** Ser los proveedores preferidos de la I IoT Industrial Internet of Things para anticipar fallas operativas mediante análisis predictivos en Chile y Latinoamérica.

**Acerca de Control-Teh:** Organización que busca llevar a las empresas del área industrial al mundo del IoT. Con el sonido generado por motores eléctricos industriales, construimos parámetros que te permitirán planificar mantenciones, predecir fallas e identificar intervenciones de terceros en tiempo real. Asimismo, la información obtenida nos permite calcular certeramente el ROI y cualquier otro parámetro que necesites de tus activos.

El sonido de tu equipo comunica lo que le está pasando. En Control-Tech hemos desarrollado una tecnología que puede predecir fallas futuras de tus maquinas industriales a través del sonido, sin intervenir y a distancia.

Industria	: Mantenimiento Industrial
Fundación	: Agosto 2019
Locación HQ	: Santiago, Chile
Nº Personas	: 4
Capital buscado	: 792.000 USD

### **Fundadores**

D.Tricarico	: CEO
K.Brevis	: CFO
R.Askenasy	: CTO
C. Petric	: CMO

**Problema:** Las empresas de mantenimiento, y las mismas industrias de menor madurez digital, no tienen acceso a la información para anticipar fallas. El efecto, es el aumento en gastos de mantenimiento, por lucro cesante y usualmente reactivo en vez de preventivo.

**Solución:** Sistema de monitoreo a distancia, simple, no invasivo y en tiempo real. Actualmente basado en sonido, como síntoma de fallas en rodamientos de máquinas eléctricas.

**Producto:** Chatbot automatizado para la colección de audios, analizador central e informe de estado sano, presencia de fallas iniciales y falla potencial.

**Modelo de Negocio:** SaaS- suscripción, cantidad de informes mensuales según plan.

**Propósito:** Ser los proveedores preferidos de la Industrial Internet of Things” (en adelante “IIoT”) para anticipar fallas operativas mediante análisis predictivos en Chile y Latinoamérica.

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente capítulo busca situar al lector en el recorrido que nos lleva a definir Control-Tech, cómo se buscó una ventaja injusta y la propuesta de valor al mercado que busca atender.

Esta tesis es la evolución de un proyecto iniciado en el ramo Laboratorio de Innovación (en adelante iLab) del Magíster de Innovación UC (en adelante “MI UC”), donde en etapas tempranas se analizó el usuario y testeó un mínimo producto viable (en adelante *MVP*) orientado a alertar detenciones no programadas de equipamiento crítico industrial.

En dicha primera etapa, el hallazgo de mayor relevancia vino de un comentario sencillo y sin pretensiones de nuestro *early adopter*, quien nos inspiró a trabajar en esta segunda y definitiva etapa del magíster UC.

El contexto de desarrollo en ambos casos es el ambiente industrial, en particular, sobre aquellos equipos que dejan de vibrar (sonar) como síntoma de detención inesperada o fallo. Si bien existen iniciativas en el mercado que apuntan suplir esta necesidad, se mostrará que la mayoría se centran en el control de activos, conexión a redes informáticas del cliente, con altos costos de implementación y mantención, que aíslan a nuestro *buyer persona* de los signos vitales de su equipamiento crítico.

Con esto, el presente documento se construye basado en 4 grandes ideas: en primer lugar, un resumen de los hallazgos de la primera etapa, como contexto general y fundamento de avance; en segundo lugar, una revisión del estado del arte que ayuda a perfilar el camino a recorrer; luego, se define el problema, objetivos y el plan de trabajo inicial basado en la metodología *running lean* (Maurya, 2019) para encontrar el ajuste de la solución; y

finalmente, la descripción de desarrollo y aprendizajes, poniendo al centro (simultáneamente y en todo momento) a nuestro cliente usuario para ajustar al mercado e inversor para escalar.

## **1.1 Contexto General**

Control-Tech es conformado por un grupo de 4 fundadores multidisciplinarios, con interés en el aprendizaje constante y un foco en común, la innovación. (Petric, 2020)

En esta línea, y como ha sido previamente enunciado, el presente trabajo es la continuidad de lo realizado en el curso iLab – 2do Semestre del 2019. En dicho periodo, se recogieron necesidades del mercado de mantenimiento industrial, puntualmente sobre la alerta remota ante detenciones clasificadas como críticas. En las siguientes secciones se describe este levantamiento inicial.

## **1.2 Introducción al problema**

Insertos en el mundo del mantenimiento industrial y en el interés de entender la oportunidad que se presenta, se analizan conjuntamente el problema y el mercado subyacente.

Con la incorporación de máquinas en la industria a inicios del siglo XX, surge la necesidad de mantenerlas dentro de los rangos de operación estipulados por los fabricantes para su funcionamiento óptimo y dentro de los estándares exigidos por los mercados. En la industria de la minería, por ejemplo, se exigen altísimos niveles de calidad, seguridad de operación y pureza en el producto final, por lo que cada segundo de indisponibilidad de equipos y herramientas suelen costar millones de dólares.

Así entonces, nace el concepto de mantenimiento industrial, cuya criticidad ha aumentado con los años, en consistencia con la complejidad de las máquinas y procesos de producción.

En la práctica, cualquier tiempo de inactividad no programado en el proceso de fabricación implica altos costos. En este sentido, algunos de los factores que hoy impulsan el mercado de mantenimiento, reparación y operaciones industriales (MRO) son la eficiencia, disminución de detenciones por fallas, incremento de madurez de la industria, ciclo de compra de nuevos equipamientos, regulaciones, la necesidad avanzada de productos de alta calidad y la creciente digitalización.

Con este panorama, el mercado global de MRO alcanzó un valor de USD 605 mil millones de dólares en 2018 y se espera una tasa compuesta anual del 1,72% de crecimiento en el período 2020-2025 para alcanzar los USD 660 mil millones a fines del 2020.

Las principales industrias usuarias del MRO son minería, farmacéutica, química, retail, petróleo y gas, automotriz, alimentos y tecnología, insertas en mercado maduros como Norte América y Europa Occidental y/o en mercados de madurez acelerada como son Asia Pacífico, Latinoamérica y Australia.

Es interesante destacar la proporción de esfuerzos asociados a los costos totales del MRO, por un lado, las labores humanas de mantenimiento que se llevan hasta 65% en mercados desarrollados y entre el 40% y 50% en mercados en desarrollo, y por otro, las materias primas que oscilan entre el 55% y 65% incluyendo repuestos. (Beroe Advantage Procurement, 2020)

Ahora bien, insertos en el mercado local y en la investigación que da origen a este documento, surgen hallazgos relevantes asociados a la madurez del mercado que abren oportunidades que han de ser resueltos con una mirada estratégica, en coherencia la tendencia de digitalización del mercado mundial y aportando eficiencia de costos.

En esta línea, se entrevistó a personas que son parte de empresas o industrias de otros sectores productivos en Chile (en adelante simplemente rubro industrial).

Algunas de las intervenciones de mayor relevancia, coherentes a lo expuesto previamente, son las siguientes.

- a) “Hay muchos datos disponibles, pero no es posible visualizarlos para la tomar decisiones en el día a día”. - Molymer
- b) “El mayor reto no es la tecnología, si no la integración con los sistemas de la empresa”. - Molymer
- c) “No hay un lugar único donde sea posible ver los datos de los equipos”. – Frutecxa.

En las siguientes secciones se avanza y profundiza en aquello que se hace relevante desde la mirada que aporta Marketing (Petric, 2020), y la de posibles inversionistas (Tricarico, 2020).

### **1.3 Levantamiento inicial en iLab**

Para hacer tangible la investigación, durante la investigación de la primera etapa se estudió un contrato tipo de mantenimiento (ver Anexo A) otorgado a una empresa del rubro, y que más adelante se define como nuestro *early adopter*. Del acuerdo, empresa del rubro forestal y celulosa, emergen los siguientes hallazgos:

- a) El contrato suele ser por un precio único, no modificable durante su vigencia - usualmente 12 meses.
- b) Todas las fallas son cubiertas por el mantenedor. La empresa mandante, no suele cubrir costos adicionales por viajes o visitas no programadas; salvo se demuestre que la falla es causa directa del mandante.
- c) Resuelta una falla, se hace análisis de responsabilidades una vez reparada y dentro de 30 días siguientes.
- d) Puede haber multas por indisponibilidades de servicios críticos, las que pueden ir en directa proporción al tiempo de indisponibilidad.

## 1.4 Oportunidad en iLab

Revisados los *pain points* se concluye (en conjunto):

*“El potencial cliente requiere minimizar riesgos, lo que, a efectos prácticos se traduce en la capacidad de responder ante detenciones no programadas de los equipos críticos en el menor tiempo posible, dado que en condiciones extremas puede desembocar en altísimos costos por lucro cesante”.*

Así entonces, se llega a la primera hipótesis consistente con la investigación de mercado hecha previamente y en la que, como veremos más adelante, se busca atender un segmento de mercado específico.

## 1.5 Diseño conceptual de la solución

Como resultante de la experimentación y los pasos seguidos en el marco de iLab, se hace entrega de una solución real, y ratificando la hipótesis propuesta. El siguiente esquema muestra lo implementado en base a *Arduino*, módulos de conexión 3G y sensores de vibración X, Y, Z.



Figura 1-2: Modelo conceptual solución de monitoreo de detenciones.

Fuente: Elaboración propia.

## 1.6 Prueba prototipo

La prueba de concepto y el *MVP-1*, probaron la siguiente hipótesis.

“A través de la instalación de sensores en motobombas (eléctricas) es posible capturar datos, aprender del comportamiento del sistema y minimizar el tiempo de respuesta ante detenciones no programadas”

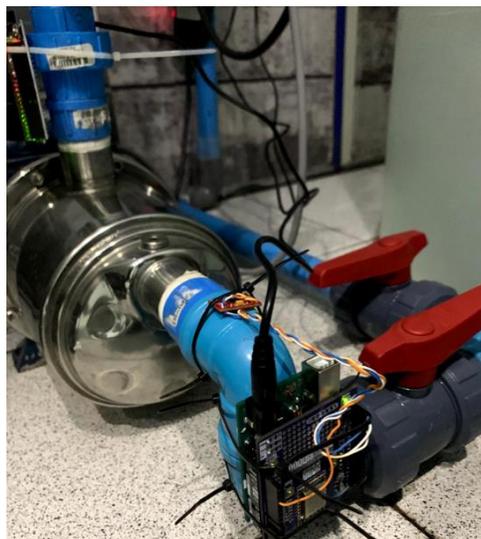


Figura 1-1: MVP1 - Motobomba 125 litros/min - 2,3 bar acero inoxidable.  
Fuente: Elaboración propia.

### 1.7 Definiciones Iniciales

Desde la mirada desarrollo de producto y una vez comprobado el interés (o deseabilidad) vía redes sociales y entrevistas a representantes de la industria, donde el mantenimiento es requerido, se alcanzaron las siguientes definiciones:

a) **Propuesta de valor:** Reportar en menos de 5 minutos, mediante SMS o correo electrónico, la discontinuidad de cualquier parámetro de interés, por medio de un sistema de monitoreo de fallas en tiempo real y conectado a una red de datos diferente a la del usuario.

b) **Early adopter:** se utilizó el modelo de medición de madurez digital de Forrester (VanBoskirk, 2016) para identificar con claridad los probables primeros interesados, determinando de esta forma que empresas ubicadas en el nivel 2 del modelo (con factibilidad de digitalizarse y que requieren acompañamiento), serían los candidatos

más probables para transformarse en clientes. Durante las iteraciones y acorde a la metodología, se decidió segmentar aún más el cliente inicial. El resultado fue entonces, hacer foco *en las empresas que prestan servicios de mantenimientos industrial* a terceros como fuente principal de ingresos.

Meta alcanzada en diciembre 2019: – comprobar viabilidad –

- a) Construcción de un prototipo funcional.
- b) Trabajo con un cliente, y ajuste de las definiciones de *early adopter* para probar el prototipo.
- c) Corrección del prototipo en función de lo levantado en terreno.

## **1.8 Inserción en la Cadena de Valor**

Con las definiciones anteriores, fue posible entender como Control-Tech se inserta en la industria, agrega e intenta capturar valor.

Cabe destacar que, durante el desarrollo de este documento se mostrará un constante cuestionamiento de las definiciones iniciales, siempre en aras de descubrir el *sweet point* entre dificultad de desarrollo, captura de valor y esfuerzo comercial. (Brevis, 2020) y (Petric, 2020).

Es así como en iLab la decisión estuvo centrada en aquellos usuarios que clasificaban dentro de la descripción de *early adopter*, y que ellos atendieran maquinaria “crítica” dentro de la operación del cliente final.

En particular, las pruebas realizadas en el contexto descrito fueron sobre motobombas industriales de acero inoxidable para el movimiento de agua en una planta purificadora, evidente elemento de alta criticidad para la continuidad operacional.

## **2. ESTADO DEL ARTE**

Una vez expuestas las generalidades del proyecto, el presente apartado hace una revisión del estado del arte, el que ayudará a entender la nueva necesidad (o problema a resolver), perfilar un producto o solución y el camino a recorrer durante la implementación de la segunda etapa de Control-Tech.

### **2.1 Generalidades de la evolución**

Durante las entrevistas y pruebas de funcionalidad de MVP de la primera etapa (iLab), se incubaron los primeros pasos de esta segunda parte o actividad de graduación del magister de innovación UC.

Como ha sido expuesto, durante el estudio que incluyeron empresas del rubro industrial, donde surgieron comentarios como:

- a) “Nos ahorraríamos varios millones con un sistema predictivo de fallas que nos dijera cuándo va a fallar”. – Gerencia Codelco
- b) “Y si pudieran avisarme cuando los insumos estén próximos a terminarse, o son capaces de anticipar una falla de la motobomba sería mucho mejor”. – Planta de Purificación de Agua Emaray

Con comentarios como estos, el siguiente paso fue iniciar la búsqueda de soluciones específicas para atender dicho descubrimiento.

### **2.2 Competencia (actores presentes en el mercado)**

Entre las piezas cardinales del contexto de Control-Tech se cuentan los actores y marcas presentes en el mercado objetivo desde todas las miradas del equipo de trabajo (Carrot2, 2020). En específico desde la bajada desarrollo de producto, se hace foco en la tecnología e información de posicionamiento estratégico:

a) **IBM®:** Dada la obtención permanente de información de los propios activos y las funciones operativas, el mantenimiento predictivo es el hito clave que ha surgido como una capacidad de sistemas y software como una consecuencia. La convergencia actual sin precedentes de herramientas, nuevas técnicas predictivas y modelos de implementación hacen que el análisis predictivo y el modelado de datos sean más accesibles que nunca. Las empresas ahora tienen el poder de extraer valor de "datos oscuros" previamente inexplorados, incluyendo todo, desde texto sin procesar hasta información geolocalizada. (IBM, 2020)

b) **SAP:** El gigante de software alemán SAP ha mostrado sus características de mantenimiento predictivo durante ya varios años y, por lo tanto, se ha establecido como una de las empresas más buscadas en relación con el Mantenimiento predictivo. La solución "Mantenimiento y servicio predictivo" que ahora es parte de su cartera de soluciones se denomina SAP Leonardo. Con una mirada holística, SAP presenta el producto como una plataforma capaz de conectar el mundo de dispositivos inteligentes con personas y procesos para lograr resultados comerciales tangibles. (SAP, 2020)

c) **Siemens:** Como especialista en automatización industrial, Siemens ha basado la implementación del mantenimiento predictivo en la integración y uso de información existente de sistemas automatizados. Recientemente la marca ha lanzado al mercado su producto MindSphere, que conecta sus productos, sistemas y máquinas, para aprovechar la gran cantidad de datos generados por el Internet de las cosas (IoT) para los análisis avanzados. (Siemens, 2020)

d) **GE:** tiene dos ángulos hacia el mantenimiento predictivo: 1. GE Measurements, que se establece en el campo del hardware de monitoreo de condición; y 2. GE Digital cubre la parte de software y análisis del mantenimiento predictivo por medio de la plataforma Asset

Performance Management (APM), ya probada en operaciones de producción de petróleo y gas de BP. Además, GE Digital está avanzando en el concepto de gemelo digital, una importante base de conocimiento para el análisis de mantenimiento predictivo. (IoT-Analytics, 2020)

e) **ABB Ability** en sociedad con **Microsoft**: propone un enfoque de ayuda a las empresas industriales para utilizar las lecciones duramente aprendidas del TI y saltar a un estado avanzado de seguridad Internet Industrial de las cosas *IIoT*. El objetivo es disponer de una oferta digital unificada, holística e intersectorial, que se extiende desde el dispositivo hasta el usuario, con sistemas, soluciones, servicios y una plataforma que permite saber más, hacer más y hacerlo mejor. (ABB, 2020)

f) **Fractal**: empresa fundada con la visión de brindar innovación en la gestión del mantenimiento de activos para así empoderar hacia el futuro a instituciones y empresas de todo el planeta, planteando como meta que la confiabilidad de los activos y la capacidad de anticipación ante incidentes futuros. Su foco de desarrollo ha sido la Gestión de datos manejada por un CMMS<sup>7</sup> y otros parámetros operativos provenientes de IoT. Fractal propone extraer poderosas conclusiones acerca del estado futuro de los activos y, sobre todo, actuar en consecuencia con tareas de Mantenimiento Prescriptivo. (Fractal, 2020)

g) **Petasense**: con sede en San José, California es una empresa fundada con la visión de hacer que las máquinas industriales sean más inteligentes. La compañía ofrece una solución moderna de monitoreo industrial, compuesta por sensores inalámbricos y software de análisis predictivo, para ayudar a mejorar la confiabilidad de los activos y los programas de mantenimiento predictivo. Los clientes pueden controlar de forma remota el estado y el

---

<sup>7</sup> CMMS, sigla en inglés para *Computerized Maintenance Management System* que en español se traduce como **Sistema de gestión de mantenimiento computarizado**

rendimiento de cualquier activo industrial y predecir fallas antes de que ocurran. Esto les ayuda a aumentar el tiempo de funcionamiento operativo, reducir los costos de mantenimiento y mejorar la seguridad en el lugar de trabajo. (Petasense, 2020)

### 2.3 Observaciones y estudio previo

En el contexto general de los grandes actores del mercado, se observa que ellos apuntan a integrar soluciones de marca propia y/o datos asociados a variables específicas desde los equipos expuestos a fallas, potenciando la disponibilidad de datos a aplicativos de gestión.

Desde la óptica producto entonces, se vislumbra un espacio interesante de acción con foco en encontrar las causas específicas de una falla basada en patrones, evitar con ello detenciones críticas y que las mismas ayuden a tomar decisiones con criterios de negocios.

El origen de las fallas que puede presentar un equipo, componente o pieza pueden estar ligadas a múltiples factores. La siguiente tabla detalla de forma agrupada las variables de mayor recurrencia (Rojas Cruz, 2007):

Variable	Causa probable
Humana	Diseño inadecuado, negligencia, manufactura defectuosa, desequilibrios dinámicos, falta de mantenimiento, lubricación y/o mal montaje.
Materiales	Tratamiento térmico defectuoso, compuestos desconocidos, fatiga y/o desgaste.
Ambientales	Temperatura, polución, corrosión y/o termofluencia.

Tabla 2-1: Variables típicas versus causales de fallas.

**Nota:** Para efectos del presente trabajo, no se consideran relevantes los factores humanos o de materiales en su etapa de construcción (se asumen correctas), y se hace foco en aquellos

parámetros que varían a propósito de la exposición a ambientes agresivos y/o desgaste por uso.

Así entonces, dependiendo de los diferentes rubros y especialidades, las fallas en equipos industriales varían y aumentan su recurrencia cuando las condiciones ambientales están fuera de los parámetros definidos por los fabricantes, cuando los materiales son forzados más allá sus límites y/o por desgaste inherente al uso (no atendido).

### 2.3.1 Fallas de mayor recurrencia.

Por sobre los elementos estáticos, los sistemas dinámicos siempre estarán sometidos a esfuerzos físicos y deterioros producto de la naturaleza de su funcionamiento, por ello son y serán fuentes de fallas en cualquier entorno.

Luego, ¿dónde está el origen del movimiento?, y ¿Cuáles son los elementos de cuidado?

En un informe técnico que justifica la política pública en cuando al Estándar Mínimo de Eficiencia Energética en Chile (Ministerio de Energía, 2015) se detalla la relevancia mundial por sector del consumo eléctrico de motores eléctricos:

Sector	Consumo eléctrico estimado	% de demanda atribuible a motores
Industrial	4.488 TWh/año	69%
Comercial	1.412 TWh/año	38%
Residencial	948 TWh/año	22%
Transporte y Agricultura	260 TWh/año	39%

Tabla 2-2: Consumo eléctrico por sector versus demanda de motores eléctricos.

Con casi el 70% del consumo, los motores eléctricos (en adelante indistintamente máquinas rotatorias) son por lejos el elemento de mayor presencia en la industria y, en consecuencia, un excelente punto de partida en la investigación de fallas en el rubro.

Ahora bien, prácticamente la totalidad de las máquinas rotatorias disponen de rodamientos (o cojinetes) sobre los que se apoyan los dos extremos del eje que sustenta a la parte móvil. Estos elementos son el punto de encuentro entre la parte estática y dinámica, por lo que están sometidos a una continua fricción, movimiento, desgaste y por lo tanto suelen ser los componentes con el porcentaje de falla más elevado (Asiaín, 2010).

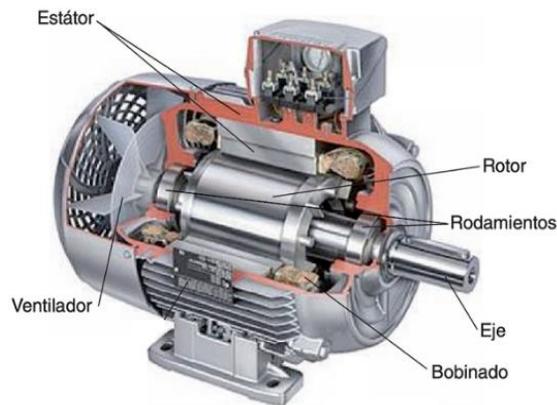


Figura 2-1: Ilustración motor eléctrico, jaula de ardilla standard  
Fuente (Unidad\_11.indd, 2010).

Las estadísticas varían de acuerdo a los autores, sin embargo, la distribución de las fallas es en general la mostrada en la siguiente figura, con fuente (Ariel M. Castellino, 2007):

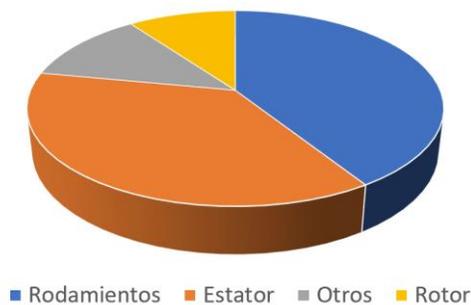


Figura 2-2: Porcentajes de fallas de componentes de motores eléctricos.

### 2.3.2 Rodamientos como elementos a comprender.

No obstante, existe la posibilidad futura de que en Control-Tech se aborden otras causas y variables de fallas industriales, los argumentos previamente explorados sustentan la decisión

de iniciar la exploración de rodamientos, considerándolos como el primer elemento a comprender para alertar y prevenir detenciones no programadas.

Los rodamientos son elementos mecánicos presentes en la mayoría de las máquinas rotativas, y al igual que cualquier otro elemento están expuestos a fallas por variables humanas, de materiales o ambientales.

Cada fabricante de rodamiento recomienda condiciones de trabajo específicas para los diferentes diseños, los que aseguran una vida útil proyectada en miles de horas. Cada modelo posee especificaciones de montaje, régimen y solicitud de trabajo, tipos de sellos, lubricación, velocidades máximas y otras variables que, con complejas relaciones matemáticas, estiman una vida útil en ambientes ideales o de laboratorio. Por esto, es prácticamente imposible determinar su duración por métodos analíticos.

El estudio de vibraciones en el espectro de frecuencia y en el dominio del tiempo son determinantes a la hora de diagnosticar un deterioro, permitiendo por comparación de la evolución de las amplitudes espectrales, llegar a predecir el grado de deterioro y planificar su cambio con la suficiente antelación. (Navarro Pintado, 2016)

### **2.3.3 Nueva Propuesta: Sonido como síntoma de falla.**

Generalmente, las averías de los rodamientos se manifiestan por medio de un lento deterioro de sus partes. Son poco frecuentes los daños abruptos, los que, en cualquier caso, suelen presentarse al inicio de la vida útil del equipamiento o luego de una mantención que incluyó, por ejemplo, un cambio de rodamiento (ver tabla 2-1, variables humanas o de materiales).

Según las condiciones de servicio, desde el inicio del deterioro hasta el fallo efectivo pueden transcurrir desde algunos minutos hasta incluso meses. (FAG Sales Europe GmbH - España, 2002)

En este nuevo contexto, las vibraciones comienzan a jugar un papel importante en la predicción de fallas, puesto que el deterioro de cada uno de los componentes del rodamiento genera una o varias vibraciones de frecuencias características lo que permite una rápida y fácil identificación.

Con fórmulas matemáticas dependientes de la geometría, velocidades de giros y ángulo de apoyo de las bolas (o polines) de un rodamiento, es posible modelar e identificar estas frecuencias características (ver Anexo B que contiene desarrollo matemático y explicación extendida). (Ariel M. Castellino, 2007)

Según se analizará en la etapa de implementación, las frecuencias pueden caer (o no) en los espectros audibles por el ser humano y, por lo tanto, en ciertas condiciones es posible hablar de sonidos “característicos de fallas”.

## **2.4 Patentes**

Usando como herramienta de búsqueda el sitio web Patentinspiration.com se encuentran 1519 patentes (620 otorgadas) en los últimos 20 años, considerando desde inicios del año 2000 al cierre del primer semestre del 2020. Los criterios de búsqueda son: Predictive AND Maintenance (en Title, Abstract, Claims) - <https://app.patentinspiration.com/>

Los países con más patentes otorgadas con estos conceptos son: Estados Unidos (357), China (33), Alemania (22), Francia (22), entre otros. Destaca Chile (4) y Brasil (1) como países sudamericanos con patentes en trámite.

La Universidad de Santiago ha inscrito WO (PCT) en Chile, Canadá, Estados Unidos y Australia un sistema de monitoreo autónomo basado en la variación del campo magnético, que permite predecir, anticipar y detectar material no aplastable en tiempo real y métodos asociados de aplicación en minería. (Chile Patente n° WO2018119529A1, 2018).

Dado el crecimiento exponencial de los últimos años, se acota la búsqueda a los últimos 10, donde los actores más relevantes en la inscripción de patentes del rubro, como era esperable son: IBM (35), General Electric (34) y Siemens AG (20).

### **2.3.1 Patentes – Mantenimiento predictivo y sonido.**

Para acercarse a la búsqueda a la nueva propuesta “Sonido como síntoma de falla” de Control-Tech se agrega el criterio *sound* a la búsqueda realizada en el sitio web Patentinspiration.com, la que devuelve 32 solicitudes, 26 títulos, y 9 patentes otorgadas (ver Anexo C para más detalle).

Entre los 26 títulos surgen 5 de relevancia para el presente estudio, US2018273066A1 – mantenimiento basado en la condición de los rodamientos de rodillos de vagones de ferrocarril, US2017178311A1 – método y sistema de diagnóstico de uno o más problemas asociados con una máquina que incluye la recopilación de datos de sonidos e imagen, US2020131987A1 – método mantenimiento predictivo de componentes de un motor de combustión interna mediante un sensor de sonido, US2016245279A1 – Método y sistema de aprendizaje automático para el mantenimiento predictivo y preventivo de bombas de vacío, US2019311731A1 – Sistema, método y programa informático para el mantenimiento predictivo de compresores de gas natural mediante detección auditiva. El detalle de cada una puede ser revisado en el Anexo D.

Con la información levantada es posible caracterizar métodos y líneas de trabajo para la segunda etapa de Control-Tech. Entre los hallazgos se cuentan productos y técnicas aplicadas en ambientes o a elementos específicos, salvo la patente US2017178311A1 que no fue otorgada e intentaba ser de carácter general.

Otros factores comunes en los sistemas analizados son: la presencia de órganos informáticos centrales, que incluyen procesos matemáticos y “*aprendizaje*” basado en el almacenamiento de datos asociados a condiciones normales o de falla; conexión a sensores vía sistemas cableados tradicionales, redes privadas o públicas; y sensores sensibles a la variable que se desea medir.

### **3. AJUSTE PROBLEMA & SOLUCIÓN**

Hecha la revisión de la competencia, líderes del rubro y sus estrategias, es posible diseñar un camino consistente en la construcción de un producto, definir objetivos y el plan de trabajo inicial basado en la metodología *running lean* (Maurya, 2019).

El presente desarrollo profundiza únicamente en la estrategia de producto, dejando aspectos específicos marketing, disposición a pagar o *pricing* y posibles inversiones a los trabajos que son referenciados a lo largo del texto. Sin embargo, cabe destacar que en el desarrollo de Control-Tech se han incluido dichas aristas en todo momento, con criterios de crecimiento y enunciados únicos de problema e hipótesis como propuestas de solución.

#### **3.1 Mercado a atender**

Como ya se ha perfilado, la propuesta de Control-Tech para el presente trabajo ahonda en el mercado del mantenimiento predictivo que en 2020 alcanzó a nivel global USD 4 billones y se proyecta para 2025 un total de USD 12.3 billones. (Globe News Wire., 2020) y consideraremos como un subconjunto de lo representado en la apartado 1.2.

Tal como indica Globe News Wire, la oportunidad se presenta en el monitoreo de condición en tiempo real para ayudar a tomar acciones rápidas, donde los proveedores de soluciones equipados con inteligencia artificial podrán recopilar y convertir la gran cantidad de datos relacionados en una lógica para tomar decisiones sin la necesidad de ninguna intervención humana.

En este ámbito, se estima que en Estados Unidos la composición del mantenimiento predictivo, que se ha estandarizado en “servicios” y “solución”, bordea la proporción de inversión de 1 a 3.

### **3.2 Enunciados del problema e hipótesis de solución.**

Problema para resolver, obtenido desde las entrevistas y *buyer personas* (Petric, 2020):

*“Las empresas o áreas de mantenimiento industrial necesitan ser más eficientes y adelantarse en la detección de fallas de la infraestructura crítica para evitar detenciones no planificadas de alto costo”.*

Hipótesis como propuesta de solución al problema:

*“Haciendo uso de la tecnología e innovación de Control-Tech, es posible anticipar y reducir cortes inesperados en máquinas industriales, y bajar hasta un 20% en costo de mantenimiento”.*

Contrastado con el mercado, Control-Tech se enfocará en el desarrollo de una solución que permita adelantarse a fallas en la infraestructura crítica, evitar detenciones no planificadas y evitar altos costos que emergen por indisponibilidad.

### **3.3 Objetivos**

#### **3.3.1 Objetivo General de Control-Tech**

Usando la metodología *running lean* (Maurya, 2019), el objetivo trazado es encontrar la propuesta de valor única, parametrizar valores y aprender de ellos para llevar al mercado un producto ajustando al usuario final y al financiero.

#### **3.3.2 Objetivo General bajada individual**

Adicionar al producto existente (solo comunicador de estado on/off), un parámetro sonoro cuyo funcionamiento óptimo varíe de manera sintomática o asociado a un mal funcionamiento de un equipo industrial.

Con dicho parámetro, ser capaces de construir un prototipo funcional para alertas tempranas.

**Nota:** Según se ha indicado en el apartado 2.1.2, en Control-Tech se proyecta crecimiento y, lo por tanto, es probable se estudien múltiples causas y variables de fallas industriales; sin embargo, y para efectos exclusivos de este trabajo, la decisión es iniciar la exploración de fallas en rodamientos, considerándolos como la primer causa de falla en motores eléctricos, que son a la vez, el elemento de mayor presencia y consumo en las industrias.

### 3.4 Diseño del plan de trabajo General

En el marco de la actividad de graduación se han planteado tres (3) iteraciones, cada una con su respectiva hipótesis, marco teórico, implementación, aprendizajes y conclusiones del equipo de Control-Tech. El desarrollo del trabajo (individual y colectivo) es guiado por los profesores y un representante académico, con etapas de clara divergencia y convergencia.

En este contexto, el plan inicial a implementar se detalla en la figura 3-1:

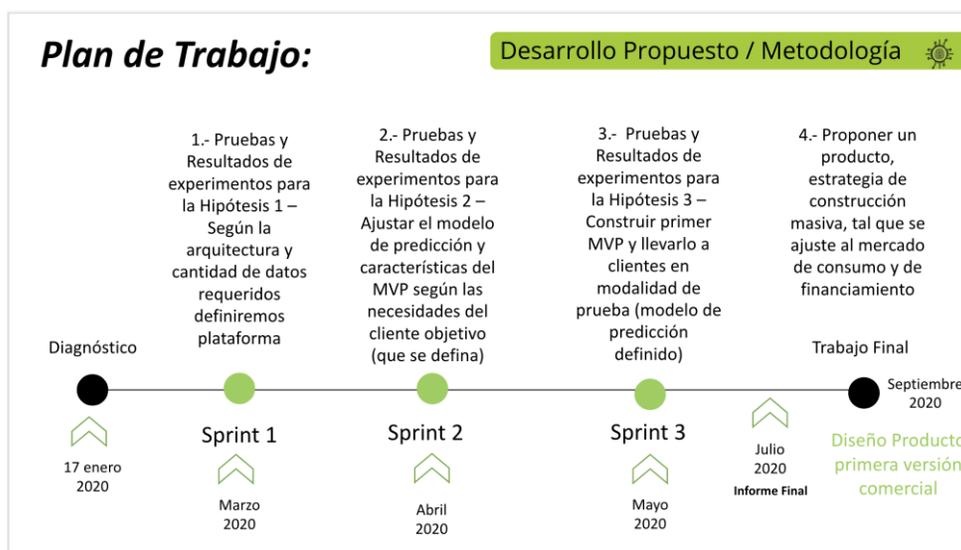


Figura 3-1: Diagrama del plan de trabajo inicial, en línea de tiempo, año 2020

Fuente: Elaboración propia

En el siguiente apartado “Desarrollo de la Estrategia e Implementación”, se implementará una a una las iteraciones (*o Sprints*). En cada paso se busca ajustar el producto al mercado

de consumo por medio de la retroalimentación recibida de marketing (Petric, 2020) y posibles inversionistas (Tricarico, 2020).

### 3.5 Consideraciones Iniciales

El desarrollo del producto es guiado y, según se ha puntualizado previamente, retroalimentado por los desarrollos de marketing y posibles inversionistas. En particular, las siguientes son definiciones iniciales que se consideran parte del plan e influenciaron el producto a proponer:

La estrategia definida inicialmente para posicionar a Control-Tech en el mercado es *Inbound Marketing*, que básicamente consiste en hacer que sea el usuario o cliente el que encuentre a la marca, procurando un buen posicionamiento en buscadores y redes sociales en lugar de ir a buscarle, por medio de campañas o fuerza de venta dedicada (Petric, 2020).

Simultáneamente, en el punto de partida se han considerado características y recomendaciones del mundo inversión, como es Point Nine Capital<sup>8</sup> (Tricarico, 2020):

a) Las start-ups que intentan resolver problemas a través del *HaaS*, poseen (en promedio) más de un año de vida, antes de conseguir su primera inversión. Asimismo, las iteraciones y procesos de innovación comprenden meses y los retrasos son más probables.

b) Muchos de los potenciales clientes poseen *SLA* previamente definidos, por ende, aunque la disrupción sea llamativa, es fundamental un plan de marketing relevante y atractivo.

---

<sup>8</sup> *Point Nine Capital*: firma de capital de riesgo con sede en Berlín que se enfoca en inversiones iniciales relacionadas con SaaS y mercados digitales. Fuente: <https://www.crunchbase.com/organization/point-nine-capital#section-overview>

c) La mayor parte de las nuevas start-ups opta por soluciones *SaaS*, por lo que soluciones basadas en hardware son un buen nicho de disrupción, pero involucran trabajo especializado en componentes físicos, fabricación, etc.

d) Los inversores están en búsqueda de emprendimientos cuyos modelos sean de recurrencia y suscripción, con canales de distribución online y directos, procurando que el componente “inteligente” esté del lado del software más que en el hardware.

#### 4. METODOLOGÍA

Como se ha mencionado ampliamente en las secciones anteriores, la implementación del presente trabajo se sustenta en la metodología *running lean* (Maurya, 2019), que propone una metodología *lean*, construida sobre las ideas de aprendizaje y validación provenientes del método Lean Start Up (Ries, 2011) que incluye el ciclo iterativo Construir-Medir-Aprender.

En el presente apartado se especifica como Control-Tech aborda la metodología y, para conveniencia del lector, se usará un diagrama canvas<sup>9</sup> (figura 4-1) numerado según el orden que la metodología recomienda seguir como guía.

Problema <b>2</b>	Solución <b>4</b>	Propuesta de valor única  <b>3</b>	Ventaja Injusta <b>9</b>	Segmento de Clientes <b>1</b>
Alternativas Existentes	Métricas Claves <b>8</b>		Canales <b>5</b>	Early Adopter
Estructura de Costos <b>7</b>		Ingresos <b>6</b>		

Figura 4-1: Diagrama Lean Canvas.

Fuente: (Maurya, 2019)

A continuación, se detalla la distribución y profundizaciones del equipo de cara a esta segunda etapa de Control-Tech en el contexto académico que se sitúa:

a) Abordado y desarrollado desde Marketing (Petric, 2020)

1. Segmentación de Clientes e *early adopters*
5. Canales de comunicaciones para llegar al cliente

<sup>9</sup> Herramienta gráfica que permite visualizar y comprender el modelo de negocio de cualquier empresa, facilita la creación, generación y entregar productos o servicios que satisfacen las necesidades de los clientes.

- b) Abordado y desarrollado desde Producto (presente documento)
  - 3. Propuesta de valor única: elemento de diferenciación en el mercado. Factor explotado por Marketing para llegar al mercado objetivo.
  - 4. Solución: servicio que llega al mercado / usuario.
- c) Abordado y desarrollado desde la estrategia de *pricing* (Brevis, 2020)
  - 6. Ingresos, estructura de precios y flujos
- d) Abordado y desarrollado desde la estrategia de *financiamiento* (Tricarico, 2020)
  - 7. Estructura de costo e inversión
- e) Estudiado en una mirada común - Contexto
  - 2. Problema: identificación del *job to be done* y alternativas existentes en el mercado.
  - 8. Métricas Clave
  - 9. Ventaja Injusta

Se postula que la presente metodología ayudará al equipo a identificar riesgos inherentes a productos, mercado y clientes. Además, y dada la naturaleza de la propuesta de innovación, se intentará aprovechar los beneficios del testeo sistemático, foco en el aprendizaje y ajuste al mercado.

### **5.1 Metodología para la construcción del producto.**

Ante el planteamiento de desarrollo de un modelo predictivo que se basa en datos, la implementación que se describe en el capítulo siguiente hace uso del marco metodológico conocido como CRISP-DM (*cross industry standard process for data mining*) que se organiza en fases, procesos, documentos entregables y actividades. (Gironés Roig, 2013)

A los efectos prácticos y de aplicación a este trabajo académico, es relevante mencionar que la metodología debe ser entendida como una guía que permite garantizar calidad y que su carácter iterativo general más microciclos parciales limita su uso de manera extendida.

En esta línea, se muestra una representación gráfica característica de la metodología circular, haciendo hincapié en que los *sprint* presentados en los capítulos posteriores se trabajan principalmente en “comprensión del negocio” y “comprensión de datos”, dejando para desarrollo futuro el resto de las fases, procesos, documentos y actividades.

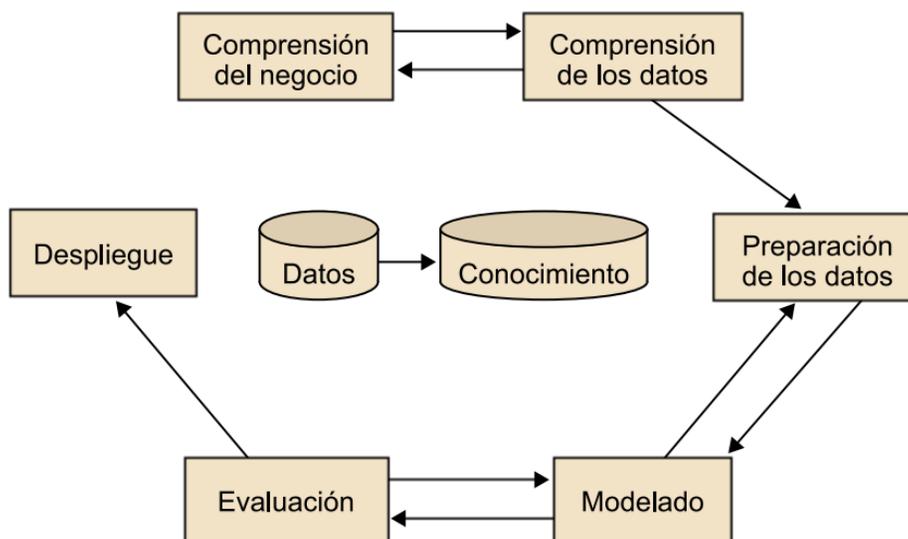


Figura 4-2: Diagrama metodológico CRISP-DM  
Fuente: (Gironés Roig, 2013)

En el Anexo E se encuentra la descripción extendida de cada paso de la metodología usada como marco para la investigación y construcción del producto – solución.

## 5. RESULTADOS

En esta sección se describe la implementación del plan de trabajo y en general, de las ideas expresadas en los capítulos precedentes.

Se mostrará que dado el cambio en las condiciones de accesibilidad a la industria asociadas a la pandemia 2020<sup>10</sup> fue necesario ajustar el plan inicial para responder a la nueva condición, medir interés, escuchar disposición a compra e inversión y responder de acuerdo con las posibilidades del ambiente.

### 5.1 Marco Teórico.

Haciendo referencia al estado del arte, en particular a los puntos 2.1.3, cada sprint se basa en el siguiente enunciado:

*“Los rodamientos son los componentes con un porcentaje de falla más elevado”* (Asiaín, 2010).

### 5.2 SPRINT 1 – Exploración

Se da la partida a la implementación con la siguiente reflexión: *“¿Han notado que las madres saben cómo se siente su bebé sólo por el tipo de llanto? y que, de la misma manera, ¿Han visto a un experto escuchar una máquina, predecir o encontrar la falla rápidamente?”*

Con base en esta observación se plantean los primeros experimentos.

#### 5.2.1 Definiciones del elemento a probar.

Según el Informe Técnico Preliminar de Estándar Mínimo de Eficiencia Energética para Motores Eléctricos (Ministerio de Energía, 2015) que publica la desagregación del consumo

---

<sup>10</sup> *Pandemia*, ocasionada por coronavirus e iniciada en 2019 (COVID-19), causante del síndrome respiratorio agudo grave (SARS-CoV-2)

de motores eléctricos según su aplicación, posiciona a las bombas de fluidos, compresores de aire y ventiladores en los top 3, los que en su conjunto se llevan más del 50% del consumo industrial (ver tabla 5-1, desagregación por uso final, análisis Unión Europea).

De la misma manera se ha expuesto previamente, se propone este argumento para iniciar los experimentos, no obstante, y en la medida que el crecimiento lo amerite se analizarán otros productos propensos a fallas.

<b>Sector</b>	<b>% de demanda atribuible por uso</b>
Bombas (de fluidos)	21%
Compresores de Aire	18%
Ventiladores	16%
Refrigeración	7%
Correas transporte	2%
Otros	36%

Tabla 5-1: Desagregación de consumo de motores por uso final.

Fuente: Informe Técnico Preliminar de Estándar Mínimo de Eficiencia Energética para Motores Eléctricos.

Así entonces, se disponen de los elementos necesarios para construir una primera hipótesis, la que busca dar respuesta a los *insight* del trabajo de marketing (Petric, 2020) y que eventualmente podría desembocar en una solución innovadora basada en:

- a) Registro de vibraciones para reconocer y anticipar fallas, basado en un modelo matemático conocido.
- b) Uso exclusivo en motores eléctricos aplicados a bombas de fluidos, con posibilidades de solicitar una patente.
- c) Aplicado a la industria de manera sencilla, evitando (mas no excluyendo) la integración a sistemas existentes, evitando con ello la inaccesibilidad de personal interesado.

Tal como se ha descrito (ver apartado 3.3) en este primer paso, el plan de trabajo buscará definir la cantidad de datos a coleccionar para determinar los componentes y plataformas que sustenten un posible desarrollo.

### **5.2.2 Hipótesis.**

Para la primera entrega se definió la siguiente conjetura a ser comprobada.

*“A través de la instalación de sensores de audio (de 55 – 20.000Hz) en motobombas eléctricas es posible diagnosticar fallas asociadas a rodamientos, e informarlas antes de la probable ocurrencia de fallas”*

### **5.2.3 Aprendizajes esperados.**

Para intentar comprobar la hipótesis propuesta, se planea buscar respuestas empíricas a las siguientes preguntas:

- a) ¿Cómo varía el comportamiento de un rodamiento ante daños en las áreas de roce (en *amplitud y frecuencia*)?
- b) ¿Cuáles son los fundamentales de frecuencia y armónicos relacionados?
- c) ¿Cuál es la cantidad mínima de información necesaria para un posible diagnóstico?
- d) ¿Qué otros parámetros son relevantes a considerar en esta etapa?

### **5.2.4 Implementación.**

Se definen 2 pruebas, las que se harán sobre una motobomba periférica de prueba nueva cuyas características se presentan en la tabla 5-2.

**Propósito Experimento 1:** Sobre una maqueta de agua circulatoria (ver Figura 5-2), medir condiciones iniciales sobre equipamiento *nuevo*, lo que permitirá definir patrones de comparación.

Características Motor	Valor	Características Bomba	Valor
Voltaje de Funcionamiento	220 V	Volumen de descarga	32 L/min
Potencia del Motor	½ HP	Altura máxima de succión	8 metros
Consumo en W motor	370 W	Altura máxima de descarga	35 metros
Consumo en A de partida	2,5A	Temperatura máxima Fluido	40° C
Velocidad de Giro (2P. a 50Hz)	2.900 rpm	Ensamble	Monoblock

Tabla 5-2: Características motor y bomba de prueba

**Mediciones para realizar:** Según se plantea en el apartado 2.1.3, las vibraciones que producen los rodamientos dependen de los diámetros (interior y exterior), velocidades de giros y ángulo de apoyo de las bolas o polines. En la maqueta indicada, el motor está equipado con rodamientos de 7 bolas, diámetro exterior de 32mm e interior 12mm, se esperan frecuencia características (o fundamentales) situadas en rangos bajos, menores a 3Khz. En este escenario y según se observa en el diagrama de la Figura 5-1, se medirán las vibraciones las que se esperan estén dentro del rango de frecuencias audibles por el humano y, por lo tanto, serán percibidas como “sonidos”.

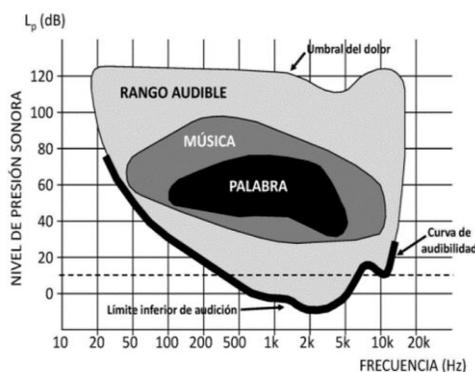


Figura 5-1: Curva de audibilidad, áreas de audición humana.

Fuente: (Merchán, 2014)

**Descripción de la maqueta de prueba:** La configuración de circuito cerrado busca tomar agua y devolverla a un balde de 50 litros, para garantizar un funcionamiento normal, y evitar quemar los sellos internos (que están diseñados para funcionar con agua solamente).

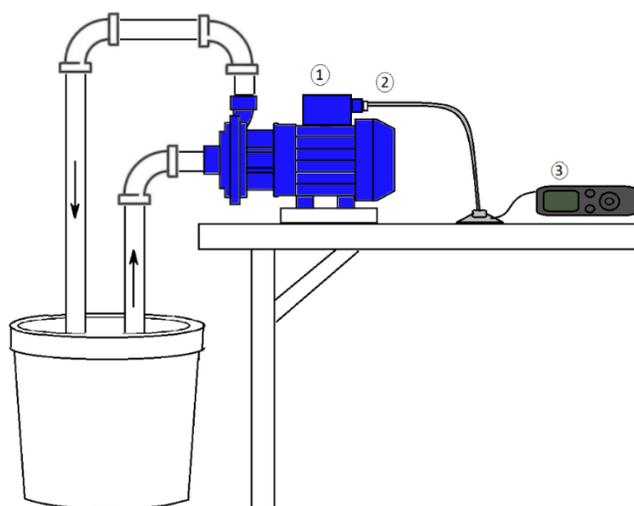


Figura 5-2: Ilustración instalación motobomba

Fuente imagen motobomba: <https://www.inmera.com.ec/productos/>

La figura 5-2 esquematiza la instalación realizada: 1, en azul, la motobomba; 2, micrófono sensible a rangos de entre 50hz y 22.000 KHz (de alto rango) para asegurar la captura las variaciones de vibraciones esperadas y 3, grabadora configurada en registro de mayor calidad posible 192Kbps.

**Experimentación:** Se hacen 3 análisis del audio obtenido.

a) *Análisis de amplitud vs tiempo:* se hace uso de la aplicación Audacity<sup>11</sup>, en el que destacan los transientes iniciales (cerca de 1 minuto y 15 segundos) por efecto del ingreso del agua a la zona del impulsor (autocebado). La amplitud media es menor a 0.5 (volumen). Durante la prueba inicial predominó el sonido del flujo de agua, por lo que fue necesario ajustar la posición del micrófono para centrar la grabación en los sonidos emitidos por el motor.

Se observa una transiente inicial.

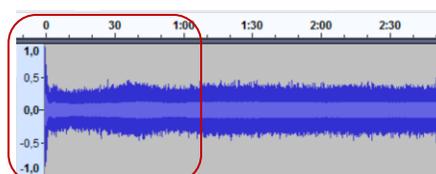
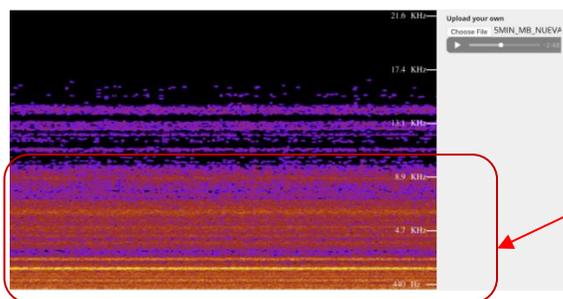


Figura 5-3: Captura Análisis de Amplitud vs Tiempo

<sup>11</sup> <https://www.audacityteam.org/> - Free, open source, cross-platform audio software.

b) *Análisis de frecuencia vs tiempo*: se hace uso de la aplicación online Spectrum analyzer<sup>12</sup>, en él se observan mínimas variaciones en el tiempo (excluyendo transientes iniciales descubiertos en el análisis anterior) con fuerte presencia de volúmenes altos en frecuencias bajas, todas asociadas a la operación normal del sistema (o fundamentales). Este análisis agrega una visión longitudinal de las componentes de frecuencia respecto del tiempo, y permite revelar cualquier anomalía o variación en un instante particular.



Componentes relevantes entre 200Hz y 8.9KHz. Colores cálidos, se consideran altos (o por encima de la media).

Figura 5-4: Captura Análisis de Frecuencia vs Tiempo.

c) *Análisis de amplitud vs frecuencia*: se hace uso de la aplicación Audacity nuevamente en su opción “análisis de frecuencia” y se excluyen transientes iniciales (primer 1 minuto y 15 segundos), según fue descubierto previamente. Este análisis agrega una visión transversal de las componentes de frecuencia y su amplitud, en un acumulado de tiempo.

Ídem a la Fig. 4-4, los componentes relevantes se presentan entre 200Hz y 8.9KHz, ahora con precisión en intensidad medida en -dB.

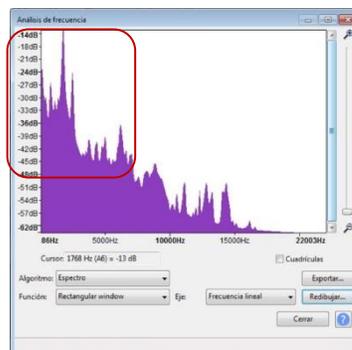


Figura 5-5: Captura Análisis de Amplitud vs Frecuencia

<sup>12</sup> <http://spectrumanalyzer.editaraudio.com/> - Audio Spectrum Visualizer Online gratis

**Hallazgos:** Es interesante notar que en presencia de rodamientos en buen estado y luego de los componentes fundamentales, las frecuencias por sobre los 3Khz caen de manera continua.

El kit de imágenes obtenidas se considerará como los patrones de comparación para una “motobomba equipada con motor eléctrico monofásico de 2,900 rpm en buen estado (o sano)”.

**Propósito Experimento 2:** sobre la misma maqueta de agua circulatoria (ver Figura 5-2), se interviene uno de los rodamientos, provocando una falla típica por ingreso de contaminación ambiental.



Figura 5-6: Falla de la pista interna (provocada con residuos metálicos).  
Fuente: elaboración propia.

**Descripción de pruebas y mediciones a realizar:** las vibraciones que se esperan estarán alrededor de los 3.000 hz por efecto de funcionamiento intrínseco y según el desarrollo matemático del Anexo B, producto de la falla, aparecerán componentes altos  $\approx 14\text{Khz}$  (en el borde del rango audible) asociadas a la falla inducida.

**Descripción de la maqueta de prueba:** La configuración no contempla modificaciones (ver figura 5-2).

**Experimentación:** De la misma manera que se hizo en el experimento 1, se repiten los 3 análisis del nuevo audio obtenido.

**Hallazgos:** Es interesante notar que en presencia del rodamiento dañado y luego de los componentes fundamentales, aparecen componentes de frecuencias entre los 11 y 15 KHz asociadas a los daños en las pistas de deslizamiento del rodamiento.

Los mismo son consistente con el modelo matemático y, en el ámbito empírico, se observa un aumento de amplitud (volumen) de todo el espectro, ver figura 5-7 comparativa de análisis rodamiento bueno vs defectuoso.

### **5.2.5 Lecciones Aprendidas.**

Por medio de múltiples experimentos, se comprueba que se produce una variación en el comportamiento del audio de un rodamiento ante daños en las áreas de roce (en amplitud y frecuencia). A continuación, se listan los aprendizajes relevantes:

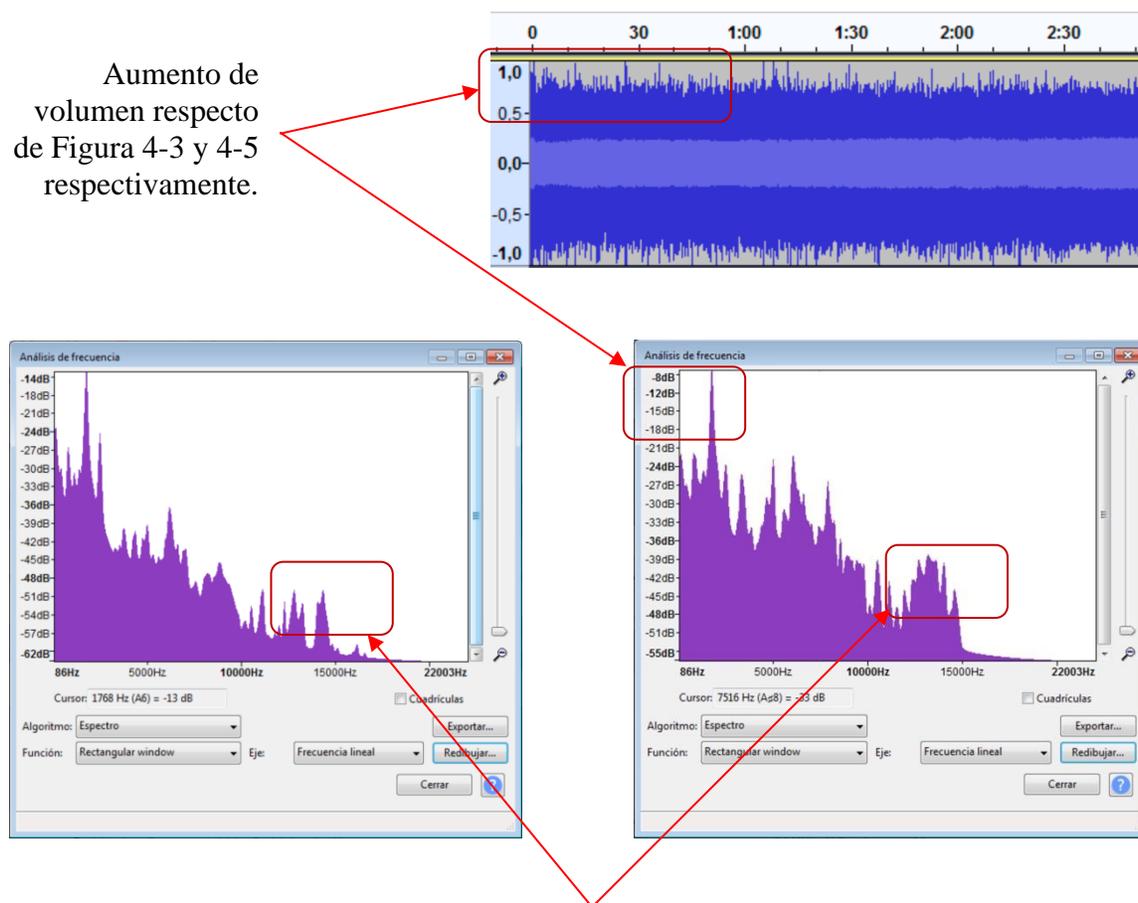
a) Si bien en las frecuencias fundamentales se mantienen constantes, aparecen componentes armónicos entre 11 y 15 KHz producto de fallas. (ver figura 5-7) – versus el pronóstico Anexo 3  $\approx$  14KHz

b) Por lo tanto, el sonido es una variable que permite diagnosticar fallas de rodamientos (más allá de motobombas e incluso motores eléctricos).

c) Se segmenta entonces los tipos de falla que, para el enfoque de mantenimiento de equipos en régimen permanente, situaciones de calentamiento y desalineamiento son fallas menos probables y tienden a darse en etapas tempranas desde el hito de instalación.

d) Gracias a uso metodológico, enfocados en prueba y error se determina que el segmento menor de tiempo de registro (o grabación) va de los 50 a 90seg. en formato MP3, 192Kbps, sin compresión, ni supresión de ruido. Esta información es relevante para el diseño del producto proyectado para el sprint 2.

Aumento de volumen respecto de Figura 4-3 y 4-5 respectivamente.



Aparición de frecuencias producto de falla

Figura 5-7: Comparativa de análisis rodamiento bueno vs defectuoso  
Fuente: Elaboración propia.

Con la información obtenida en esta etapa, es posible diagnosticar fallas asociadas a rodamientos, e informarlas antes de la probable ocurrencia de fallas haciendo uso de sensores de audio (o micrófonos).

Con la información obtenida será posible proyectar el diseño de un hardware (no iniciado aun), liviano y de bajo costo destinado a sensar audio y, por otro lado, dimensionar un aplicativo en la nube (SaaS) que permita analizar dicho registro.

### 5.3 SPRINT 2 – Colección de Datos y Pivoteo

Entre los meses de marzo y hasta el cierre de este trabajo en 2020 se viven días de suspensión de toda la actividad educativa, comercial y social de forma presencial. Estas circunstancias llevaron al equipo a replantear el producto y servicio planificado en esta etapa.

Con el afán dar respuestas a las necesidades y requerimientos de los *buyer persona* definidos en el trabajo de Marketing (Petric, 2020) el equipo decide revisar el desarrollo de producto buscando una alternativa que suprima la necesidad de pruebas presenciales.

#### 5.3.1 Pivote.

Desde las recomendaciones hechas por posibles inversionistas o fuentes de financiamiento (Tricarico, 2020), se recogen 2 elementos que, a juicio de ellos, convertirían a Control-Tech en una *Start-up* atractiva y potencialmente ganadora de fondos: clientes y con base tecnológica 100% *SaaS*. En base a esto se elige una interfaz vía whatsapp con chatbot para tener una solución implementable y escalable.

Se usa como referencia Boti, un *chatbot* de la ciudad de buenos aires, aplicativo que se convirtió en el canal más elegido para resolver sus inquietudes las 24 horas, durante los 365 días del año (Aires, 2020).

#### 5.3.2 Hipótesis.

Para la segunda entrega se definió la siguiente conjetura a ser comprobada.

*“Para motobombas eléctricas es posible capturar audio con un dispositivo móvil y enviarlo vía WhatsApp, para diagnosticar fallas asociadas a rodamientos”*

### 5.3.3 Aprendizajes Esperados.

Para intentar comprobar la hipótesis propuesta, se planea buscar respuestas empíricas a las siguientes preguntas:

- a) ¿Cómo se construye un Chatbot y hacer las primeras pruebas con usuarios/clientes?
- b) ¿Es requerido WhatsApp for Business u otra aplicación especializada de negocio?
- c) ¿Es suficiente el audio que pasa por un mensaje de WhatsApp?
- d) ¿Se registra la suficiente cantidad de espectro auditivo para llegar a medir entre 10 y 15Khz?
- e) ¿Hay dependencia en el tipo de teléfono que manda el usuario/cliente? ¿Android, Apple u otro hacen la diferencia?

### 5.3.4 Implementación.

Una vez construido el *chatbot* se realizan 4 capturas diferentes de audios con dispositivos móviles, las que se harán sobre la maqueta existente (ver Figura 5-2 reemplazando el micrófono y la grabadora por un teléfono móvil). Con resultados muy similares, en este apartado se analizaron 2 muestras de audio, consideradas las de mayor relevancia.

**Propósito Experimento:** Implementar un *chatbot*, simple para el usuario final, con opciones que ayuden al usuario final a entender el servicio y el alcance de Control-Tech.

**Mediciones para realizar:** Se espera revisar la recepción del audio, calidad y si contiene la información necesaria para diagnosticar falla.

**Descripción de la prueba:** Hay múltiples aplicaciones disponibles en internet para crear conversaciones automatizadas, sean esta vía Facebook, Instagram u otras redes sociales, entre ellas, WhatsApp es la más usada en Latinoamérica con entre 60% y 80% de uso versus descarga (Statista, 2019).

Con un análisis sencillo de las aplicaciones disponibles, se decide probar la aplicación [app.landbot.io](http://app.landbot.io) dado que todas sus funcionalidades están disponibles en modalidad *freemium* (hasta 10 usuarios pueden interactuar con previa inscripción).

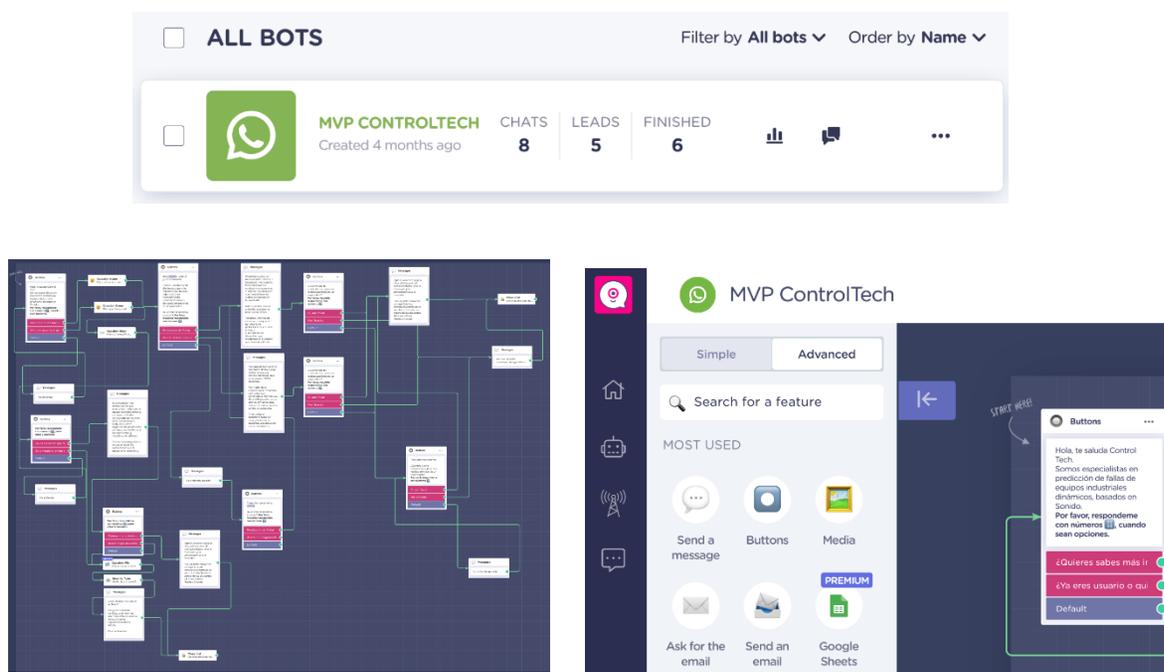


Figura 5-7: Ventana de Chatbot configurado con árbol de decisión  
Fuente: Elaboración propia.

Resumiendo, en la entrada al se *Chatbot* solicita al usuario seleccione entre 2 opciones (respuestas con números pre-establecidos): 1. ¿Quiere saber más acerca de nuestros servicios? y 2. ¿Ya eres usuario y quieres enviarnos un audio?

Con la selección del primer camino, el usuario recibirá información de la propuesta de valor de Control-Tech y el servicio de monitoreo de detenciones de la primera etapa. En colaboración al esfuerzo de Marketing (Petric, 2020) al final del flujo, y si el usuario lo prefiere, podrá solicitar un contacto comercial.

Con la selección del segundo camino, el usuario recibirá las instrucciones para grabar el audio del motor a testear. Se hace la distinción que la aplicación es de prueba.

Las primeras pruebas hacen notar que los usuarios podrían enviar sonidos de cualquier origen industrial, lo que hace necesario solicitar algunas descripciones básicas por medio de una fotografía del escenario, incluyendo la placa de característica (ver tabla 5-2 como referencia símil).

**Experimentación:** Se descartan los intentos fallidos y se seleccionan los audios útiles para identificar el rodamiento defectuoso.

a) *Dispositivo 1 – Diseñado en California:* se hace uso de la aplicación Audacity<sup>13</sup> con la que es posible notar la presencia de los componentes de frecuencias asociadas a los daños en las pistas de deslizamiento del rodamiento. La imagen del audio es abruptamente cortada luego de los 15 Khz y los pick son menos abruptos producto de los filtros de audios.

b) *Dispositivo 2 – Diseñado en China:* de la misma forma que el caso anterior, se hace uso de la aplicación Audacity con la que también es posible notar la presencia de los componentes de frecuencias asociadas a los daños en las pistas de deslizamiento del rodamiento. No obstante, los volúmenes captados son menores y los filtros también afectan el corte final.

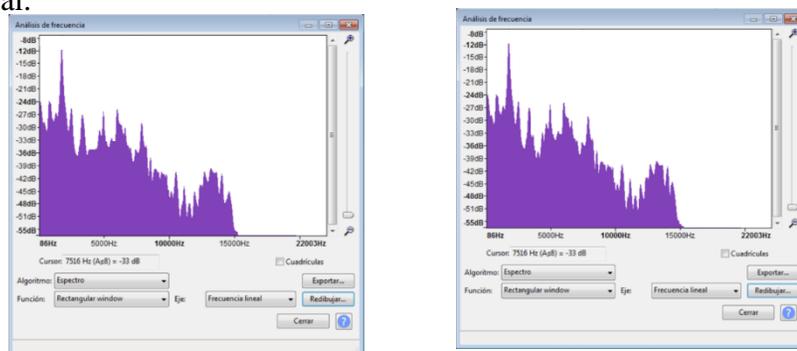


Figura 5-8: Grabación con dispositivos móviles  
Diseño California a la Izquierda versus China a la derecha

<sup>13</sup> <https://www.audacityteam.org/> - Free, open source, cross-platform audio software.

**Hallazgos:** En la comparativa sobre el uso de dispositivos móviles se advierte la presencia de filtros, que recortan y limitan las variaciones en frecuencia o niveles extremos en componentes por sobre los 15Khz.

El posicionamiento del dispositivo móvil juega un papel muy relevante, durante el proceso de registro en terreno, es necesario apoyar el dispositivo móvil en la carcasa del motor para evitar un buen número de distorsiones.

En el transcurso de esta implementación, el equipo de Marketing (Petric, 2020) hace uso de WhatsApp Business, como solución intermedia.

### **5.3.5 Lecciones Aprendidas.**

Al igual que en el *sprint 1* (ver 5.1.3) se revisaron los audios recolectados para entender y verificar la hipótesis planteada, ahora recibidos desde el chatbot.

a) El mercado de automatización de conversaciones vía aplicativos o redes sociales es realmente muy amplio e implementar soluciones es tan sencillo o complejo como se desee. La interacción con los usuarios vía respuestas predefinidas y árboles de decisiones es el paso inicial, dejando a integraciones API de gran dificultad para aquellas con interacción de lenguaje natural. Para los requerimientos iniciales de Control-Tech se considera suficiente la opción más básica, evitando las rutas sin salida que generan una mala experiencia de cliente.

b) Con la aplicación seleccionada, se comprueba que no es requerimiento predefinir una plataforma previa y que la decisión debe pasar por el uso en el mercado objetivo. En el escenario de prueba, una herramienta alternativa fue WhatsApp Business que ofrece la posibilidad de automatizar respuestas de bienvenida al usuario (sin árbol de decisión), para que el mismo deje su grabación, limitando las posibilidades de solicitar datos adicionales

que vimos necesarias luego de las primeras pruebas, además de la interacción con promociones acordadas con Marketing (Petric, 2020).

c) Por otro lado, el audio proporcionado por los equipos móviles es, en general, suficiente para realizar un diagnóstico<sup>14</sup>. Sin embargo, es muy relevante la posición desde donde es grabado el sonido. Empíricamente, quedó demostrado que los teléfonos móviles deben grabar audio en contacto con la unidad motriz, específicamente en el área de conexionado o la cubierta del estator. Desde lejos e incluso cerca desde el área de la bomba (para el caso de prueba) la distorsión y grabaciones no resultan útiles.

d) En cuanto a las frecuencias se observa un corte previo a los 15Khz, que no impiden la comparación con la motobomba en buen estado. Habrá que considerar el comportamiento sobre máquinas cuya velocidad de giro sea menor, es decir, con 4 o más polos.

e) Se hacen pruebas con 3 equipos diferentes, sin embargo, no es posible tener conclusiones relevantes a la funcionalidad de todos los equipos móviles. Será interesante medir con una muestra mayor de terminales, gamas (alta, baja y media) los diferentes registros para librar un producto y sus restricciones.

#### **5.4 SPRINT 3 – Pruebas de concepto para escalar**

En el nuevo escenario, cuál *Shazam* de la industria 4.0, se plantea la necesidad de probar el producto con los usuarios finales (o clientes) y de esta manera, entender cómo es el ajuste del producto al mercado *product-market-fit*. Desde el esfuerzo de marketing, con la prueba de tracción 7 (Petric, 2020), se llevará el producto a una prueba gratis con usuarios, para que nos dejen sus audios. Además, en el presente apartado se hace una proyección de la construcción del software de predicción y aprendizaje, incluido módulos de alto nivel.

---

<sup>14</sup> Analizado en esta etapa con la aplicación Audacity - Free, open source, cross-platform audio software.

#### 5.4.1 Hipótesis.

Para la tercera y final entrega se definió la siguiente conjetura a ser comprobada.

*“La mayoría de los usuarios, usarán y adoptarán el sistema de predicción, haciendo uso de la aplicación WhatsApp instalada en sus teléfonos móviles, sin resistencia y con mínimas explicaciones de cómo hacerlo”.*

#### 5.4.2 Aprendizajes esperados.

Para intentar comprobar la hipótesis propuesta, se planea buscar respuestas empíricas a las siguientes preguntas:

- a) ¿Qué tan sencillo es el uso de WhatsApp en el flujo que hemos propuesto?
- b) ¿Es posible hacer uso de WhatsApp en todos los casos?,
- c) ¿Qué variables importan?
- d) ¿Resulta complejo o sencillo el procedimiento de cara a nuestro usuario?

#### 5.4.3 Implementación

Dada la alta penetración en el mercado, WhatsApp es una excelente herramienta para interactuar con usuarios. En particular, se intenta usufructuar lo intuitivo de la aplicación, para que desde el lado Control-Tech sea posible optimizar el viaje de interacción con clientes.

Según se ha enunciado, la prueba se implementa con 3 personas invitadas como complemento a los esfuerzo de Inbound Marketing.

**Propósito Experimento:** Revisar usabilidad, viabilidad y posibilidades de mejora respecto del *chatbot* y la predictibilidad de fallas en rodamientos basada en el análisis del audio (manualmente por ahora).

**Descripción de pruebas y mediciones:** Se invita a cada usuario a buscar en su entorno de trabajo, una motobomba (o motor) de características similares a la mostrada en el *sprint 1* (ver tablas 5-2).

Completada la prueba se entregó una encuesta a los usuarios para identificar áreas de roce en uso, funcionalidad y mejora desde la mirada del usuario, en evaluaciones del 1 al 5 (*escala likert*). El detalle de las encuestas, tabuladas puede ser revisado en el Anexo F.

**Experimentación:** De manera general, se clasifican usuarios en digitales (2) y análogos (1) caracterizados según la siguiente tabla:

Nombre de Pila	Edad	Clasificación	Ocupación
Jorge	51	Digital	Técnico en Mantenimiento
Francisco	46	Digital	Corredor de Propiedades
Marco	62	Análogo	Técnico Instalador

Tabla 5-5: Personas invitadas – Prueba de concepto.

Cada usuario es contactado y se le explica el servicio con la siguiente pauta.

- *“Tenemos un nuevo servicio que consiste en enviar, vía WhatsApp, un audio para predecir fallas típicas en motobombas”*
- *“Compartiremos el número de contacto, en el que interactuarás con una asistente virtual, es muy sencillo seguir las instrucciones”.*
- *“Una vez el audio sea recibido, el diagnóstico de respuesta te llegará dentro de las 24 horas siguientes”.*

Las interacciones llegaron una a una en el margen de una semana, en cuanto se recibieron las grabaciones, se respondió con una encuesta de experiencia y satisfacción.

En todos los casos fue posible analizar el audio recibido, con volumen y cantidad de datos adecuados. No obstante, es requerido solicitar a Jorge reintentar la prueba, ya que el audio

se presentó con mucho ruido ambiente, que dificultó revisar la información de frecuencias medias, relevantes para el experimento. (Las respuestas posibles son: rodamientos sanos, rodamiento con anomalías se recomienda revisión y falla potencial)

**Hallazgos:** Es relevante mencionar que los usuarios “digitales”, desean menos pasos. En coherencia al usuario “análogo” que reconoce complicaciones con muchas preguntas, y tiende a responder preguntas de forma completa y no con opciones.

Sin embargo, desde el lado del análisis de sonido y como fue previsto en el *Sprint 2*, es necesario incluir explicaciones básicas para el usuario, tal que se explícita la instrucción de apoyar el dispositivo móvil en la motobomba a probar, así como incluir las descripciones mínimas del equipo en medición.

Este último elemento, que en un primer momento fue desestimado en virtud de la simplicidad de la interacción con el usuario, se convierte en una pieza de real importancia dado que los armónicos de frecuencia esperados como síntoma de falla tiene una dependencia directa con: 1, la velocidad de giro del motor y 2, la cantidad de bolas (o polines) con los que se construyó el rodamientos, mismo que puede ser obtenido con el modelo/marca del motor o aproximarlos con el diámetro del eje del motor eléctrico (generalmente disponible en la placa de especificaciones).



Figura 5-9: Instructivo de grabación y placa de especificaciones  
Fuente: Elaboración propia.

Francisco por su parte, nos hace ver la necesidad de ser sincrónicos en la respuesta. Él, como corredor de propiedades, indica, que sería de gran valor para su trabajo presentar un informe instantáneo del resultado.

#### **5.4.4 Lecciones aprendidas.**

Tal como se propuso y al igual que en los *sprint* anteriores, se revisaron los audios recolectados para entender y verificar la hipótesis planteada inicialmente. En esta instancia se buscó analizar desde la mirada usuario la viabilidad, usabilidad y alternativas de mejora esta idea incipiente. En particular los hallazgos son:

a) Haciendo uso de la masividad de WhatsApp y alta penetración en el mercado latinoamericano, se comprueba que los esfuerzos necesarios para implementar son mínimos, en comparación con la inserción de una nueva aplicación. Ciertamente, en una etapa de prueba, la idea de implementar un *chatbot* es más económico y permite validar un producto rápidamente.

b) El flujo requiere simplicidad. Lo más relevante de este experimento, en el que se buscó entender el ajuste producto-mercado, es que las aplicaciones deben incluir el mínimo de interacciones e instrucciones. El reto entonces se sitúa en la programación, lo que implica inclinar la balanza al desarrollo aplicaciones específicas, de nicho, en reemplazo de multifuncionales de alto alcance.

En este punto, cobran sentido aplicaciones como *Shazam* a la que solo le basta un botón para escuchar una canción y devolver como resultado de manera sincrónica el título de esta.

c) Se confirma que las variables más relevantes son el ruido circundante y el procedimiento de grabación. En relación con la escalabilidad, se ve necesaria una integración con un sistema de validación de cliente pago, versus quienes ingresen a la plataforma solo a

probar (tipo *freemium*) o a causa de una iniciativa promocional. Este deberá considerar los modelos e incentivos que Marketing (Petric, 2020) y Pricing (Brevis, 2020) propongan.

d) Finalmente, y pese a que WhatsApp se muestra funcional para todos los casos probados, se vislumbran al menos dos desafíos de cara a seguir escalando la solución en esta dirección. En primer lugar, los altos costo de integración vía API la que, por ahora, solo están habilitados para empresas medianas (Chatbots, 2020); en segundo lugar, la necesidad de sincronidad (o respuesta instantánea), que requiere de un audio de comparación disponible cual discografía es para el caso de *Shazam*. Es requisito entonces, comenzar a alimentar una base de conocimientos de máquinas en buen estado, que debe ser construida como punto de comparación.

De cara a la nueva normalidad que se presentará post pandemia, el equipo estudiará la idea de migrar a un esquema mixto (que incluya hardware instalado en permanencia), tal que, sobre sistemas nuevos sea posible construir una base de conocimiento evolutiva del desgaste o intervenciones, lo que probablemente (y dependiendo del modelo) lleve a Control-Tech a predecir fallas de otras índoles, y no exclusivamente rodamientos.

#### **5.4.5 Lineamientos de construcción del software de predicción.**

Con los datos, hallazgos y aprendizajes recolectados hasta acá es posible construir un modelo e idea general aplicativo predictivo central. Manteniendo el marco referencia metodológico CRISP-DM, los siguientes son los pasos para seguir entendiendo que se conoce, al menos inicialmente, el negocio circundante y los datos provenientes del sonido.

1. **Preparación de datos:** de cara al siguiente paso, habrá que iterar entre modelado y el juego de datos específicos. En esta etapa, y con el modelo propuesto por la aplicación Audacity, la cantidad mínima necesaria de datos es de 5 segundos, en formato MP3.

2. **Modelado:** para la construcción de un aplicativo propio, dedicado y como servicio en la nube, habrá que tener en consideración los siguientes componentes: Identificación del usuario y su estado de pago (suscripción), interfaz de conversión de audio como archivo de datos, análisis del audio e interfaz de envío de resultado.

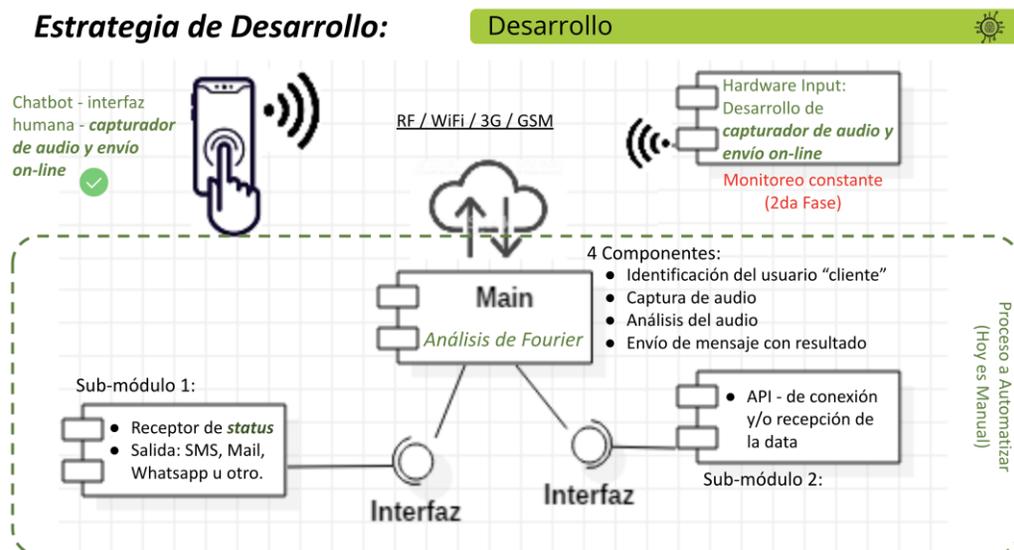


Figura 5-10: Diagrama de solución SaaS.

Fuente: Elaboración propia.

3. **Evaluación:** El modelo deberá entonces ser capaz de aprender de nuevas condiciones ambientales e ir por causas, externas o internas, agregando capacidades predictivas con el tiempo.

4. **Despliegue:** Finalmente al momento de hacer la entrega de la solución totalmente automatizada, se deberá definir cómo el conocimiento obtenido en forma de resultados será propagado hacia los usuarios interesados e impactará en el ahorro proyectado. En el caso de que haya que instalar o distribuir software, será necesario gestionar y prever gastos de marketing, otros efectos posiblemente negativos. Además de monitorear todo el proceso que ayude a minimizar errores en uso, adopción y entrar en mejora continua.

## 6. CONCLUSIONES Y SIGUIENTES PASOS

En el 2019 nace Control-Tech a propósito de una oportunidad de negocio detectada en el contexto industrial, en el que se reconocen altos costos asociados a detenciones no planificadas de equipamiento crítico.

La solución inicial buscó alertar dichas fallas inesperadas en el menor tiempo posible, para evitar altos costos de lucro cesante.

Desde el trabajo hecho en terreno, la evolución del proyecto se expresa en el presente trabajo académico, ahora sobre la tarea de predecir fallas y con el esfuerzo conjunto de 4 bajadas para implementarlo: Marketing, Pricing, Financiamiento y desarrollo de producto objeto del presente trabajo.

Con todo y desde la mirada proyecto, se busca comprobar la viabilidad de Control-Tech como emprendimiento tecnológico innovador *Go* o abandonar la idea *No Go*.

En el marco académico, la hipótesis general se da por comprobada. Sin embargo, los rangos de ahorros a clientes son al menos del 20%, con alta dependencia en lo crítico y costoso del proceso involucrado.

Así, los principales hallazgos en lo relativo al desarrollo de producto son:

a) El punto inicial de la investigación se centra en los rodamientos montados en motores eléctricos por ser estos los elementos de mayor tasa de falla y pieza clave las unidades de mayor consumo del sector industrial. No obstante, otros posibles orígenes de fallas en sistemas específicos, la decisión busca abordar un mercado lo suficientemente grande que permita validar las diferentes hipótesis.

b) Con la información obtenida se confirma que a través de la instalación de sensores de audio en motobombas eléctricas es posible diagnosticar un mal funcionamiento, e informarlo antes de la probable ocurrencia de falla.

c) Dado el contexto sanitario, se busca una solución que reemplace los sensores instalados en motobombas, por una que requiera una baja inversión y al menos permita el envío del audio. Con esto, se buscan alternativas que desembocan en el uso de WhatsApp integrado a un *chatbot*. En este contexto se descubre que el audio proporcionado por los equipos móviles es, en general, suficiente para realizar un diagnóstico. Sin embargo, es muy relevante la posición desde donde se realiza la captura del sonido.

d) Ya en la interacción con usuarios finales se recibe en general muy buenos comentarios, no obstante, se confirman como las variables más relevantes el ruido ambiental y el procedimiento de grabación. El modelo basado en un aplicativo instalado y con usuarios familiarizados minimiza resistencias en uso y adopción, pero recorta la posibilidad de construir una base de conocimiento evolutiva del desgaste o intervenciones.

Respecto de las perspectivas futuras, y si bien es cierto, los resultados generales de las Estrategias de Marketing Digital, Pricing y Financiamiento de Control-Tech se ejecutaron con éxito, las condiciones de operación que nos impone la pandemia mundial COVID-19 son limitantes para el proceso de investigación y desarrollo. Con esto, la decisión del equipo es dejar el desarrollo de este proyecto en *stand-by* hasta que las condiciones sanitarias estén resueltas y sea posible volver a funcionar bajo una nueva normalidad.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- ABB. (25 y 26 de 05 de 2015). *ABB Automation Days*. Obtenido de <https://new.abb.com/docs/librariesprovider7/default-document-library/2505-15-35-diagn%C3%B3stico-de-maquinas-el%C3%A9ctrica--versi%C3%B3n-pedro-garc%C3%ADa-v1.pdf?sfvrsn=4>
- ABB. (25 y 26 de 05 de 2015). *Diagnóstico de máquinas eléctricas rotativas*. Obtenido de <https://new.abb.com/docs/librariesprovider7/default-document-library/2505-15-35-diagn%C3%B3stico-de-maquinas-el%C3%A9ctrica--versi%C3%B3n-pedro-garc%C3%ADa-v1.pdf?sfvrsn=4>
- ABB. (09 de 07 de 2020). *ABB Ability Partnership Microsoft*. Obtenido de <https://ability.abb.com/partners/microsoft/>
- Aires, G. d. (07 de 2020). *Buenos Aires Ciudad - Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires*. Obtenido de Boti, el chat del Gobierno porteño, ganador en la Copa Mundial de chatbots: ver: <https://www.buenosaires.gob.ar/jefaturadegabinete/noticias/boti-el-chat-del-gobierno-de-la-ciudad-de-buenos-aires-ganador-en-la>
- Anibalgoicochea.com. (11 de 08 de 2009). *CRISP-DM, Una metodología para proyectos de Minería de Datos*. Obtenido de <https://anibalgoicochea.com/2009/08/11/crisp-dm-una-metodologia-para-proyectos-de-mineria-de-datos/>
- Ariel M. Castellino, P. D. (2007). *Diagnóstico de fallas en los rodamientos de motores eléctricos empleando variables eléctricas*. Córdoba, Argentina: Grupo de Electrónica Aplicada, Fac. de Ingeniería, Universidad Nacional de Río Cuarto Ruta Nac.#36 Km 601, (X5804BYA), Río Cuarto.
- Asiaín, R. F. (2010). *Diagnóstico de Fallas en Máquinas Eléctricas Rotatorias Utilizando la Técnica de Espectros de Frecuencia de Bandas Laterales*. México D.F., México.: Departamento de Ingeniería Eléctrica, SEPI-ESIME-IPN.
- Askenasy, R. (2020). *Tesis de Grado Magister de Innovación UC. Desarrollo de Producto Control-Tech*.
- Beroe Advantage Procurement. (04 de 10 de 2020). *MRO Market Intelligence 2023, Price, Forecast, Cost Models, Trends*. Obtenido de Beroeinc.com: <https://www.beroeinc.com/category-intelligence/maintenance-repair-and-operations-market>
- Brevis, K. (2020). Santiago: Universidad Católica de Chile.
- Carrot2. (10 de 07 de 2020). *Buscador Carrot*. Obtenido de Fuente: <https://search.carrot2.org/#/search/web/maintenance%20predictive/folders>
- Chatbots, p. W. (24 de 07 de 2020). *Chatcompose.com*. Obtenido de <https://www.chatcompose.com/whatsapp.html>
- CMC-Latam. (10 de 07 de 2020). *Congreso de Mantenimiento & Confiabilidad*. Obtenido de <https://cmc-latam.com/>

- Espejo Pina, A., Vargas Ayala, N., Altbir Drullinsky, D., & Casagrande Denardin, J. (2018). *Chile Patente n° WO2018119529A1*.
- FAG Sales Europe GmbH - España. (2002). *Averías de los rodamientos*. Barcelona: FAG filial del Grupo FAG Kugelfischer.
- Fractal. (09 de 07 de 2020). *Somos Fractal*. Obtenido de <https://www.fractal.com/es/somos-fractal>
- Gironés Roig, J. (2013). *Metodologías y estándares*. Catalunya: Universitat Oberta de Catalunya.
- Globe News Wire. (04 de 10 de 2020). *The global predictive maintenance market size is projected to grow from USD 4.0 billion in 2020 to USD 12.3 billion by 2025, at a Compound Annual Growth Rate (CAGR) of 25.2%*. Obtenido de <https://www.globenewswire.com/news-release/2020/08/04/2072229/0/en/The-global-predictive-maintenance-market-size-is-projected-to-grow-from-USD-4-0-billion-in-2020-to-USD-12-3-billion-by-2025-at-a-Compound-Annual-Growth-Rate-CAGR-of-25-2.html>
- IBM. (09 de 07 de 2020). *Predictive analytics*. Obtenido de <https://www.ibm.com/analytics/predictive-analytics>
- IoT-Analytics. (09 de 07 de 2020). *The Top 20 Companies Enabling Predictive Maintenance*. Obtenido de <https://iot-analytics.com/top-20-companies-enabling-predictive-maintenance/>
- Maurya, A. (2019). *Running Lean, Iterate from Plan A to a Plan That Works*. Sebastopol, CA: O'Reilly -Eric Ries, Series Editor.
- Merchán, C. I. (2014). *EVALUACIÓN DEL RUIDO AMBIENTAL EN ESPACIOS NATURALES PROTEGIDOS: IMPLICACIONES PARA SU GESTIÓN*. Madrid: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID.
- Ministerio de Energía, C. (2015). *Informe Técnico Preliminar Estándar Mínimo de Eficiencia Energética Motores Eléctricos de Inducción Trifásicos DIVISIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA*. Santiago - Chile: Basado en “Evaluación del impacto técnico económico para la implementación de estándares mínimos de eficiencia energética en motores eléctricos” elaborado por River Consultores después de adjudicarse la licitación ID: 584105-41-LP13 realizada por el Minis.
- Navarro Pintado, C. (2016). *Diagnóstico de fallos en rodamientos*. Sevilla: Dep. Ingeniería Mecánica y Fabricación Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla.
- Petasense. (24 de 07 de 2020). *About Us*. Obtenido de <https://petasense.com/company/about-us/>
- Petric, C. (2020). Santiago: Universidad Católica de Chile.
- Ries, E. (2011). *The lean Start UP*. New York: Crown Business.
- Rojas Cruz, M. C. (2007). Análisis de Falla: Un Viaje a la Raíz del Problema y la Solución. *Metal Actual - WWW.METALACTUAL.COM*, 42-48.

- SAP. (09 de 07 de 2020). *SAP Introduces Jump-Start Enablement Program for SAP Leonardo IoT Portfolio*. Obtenido de <https://news.sap.com/2017/01/jump-start-enablement-program-sap-leonardo-iot-portfolio/>
- Siemens. (09 de 07 de 2020). *Siemens Digital Industries Software*. Obtenido de <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/mindsphere/>
- Statista. (28 de 03 de 2019). *¿Qué tan popular es WhatsApp en Latinoamérica?* Obtenido de <https://es.statista.com/grafico/17500/uso-de-whatsapp-en-america-latina/>
- Tricarico, D. (2020). Santiago: Universidad Católica de Chile.
- Tricarico, D. (2020). *Tesis de Grado Magister en Innovación UC. Estrategia de Financiamiento*. Santiago: Universidad Católica de Chile.
- Unidad\_11.indd*. (09 de 04 de 2010). Obtenido de [mheducation.es: https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448173104.pdf](https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448173104.pdf)
- VanBoskirk, M. G. (22 de 01 de 2016). *The Digital Maturity Model 4.0*. Obtenido de *Benchmarks: Digital Business Transformation Playbook*: [www.forrester.com](http://www.forrester.com)

**ANEXOS**

## ANEXO A: EXTRACTO CONTRATO DE MANTENCIÓN TIPO

# arauco

Núm. pedido/Fecha  
31.10.2019

Pág.  
2 / 7

### 3. Garantías:

La empresa adjudicada debe reparar sin costo para Arauco todo problema ocasionado por la mantención de los equipos intervenidos. En caso contrario, si las fallas en los equipos es responsabilidad de ARAUCO, el costo de las reparaciones será asumido por Planta. El informe que acredite la responsabilidad de la falla será determinado en forma posterior a la misma y por un equipo de ambas partes.

Periodo de las garantías mencionadas en el punto anterior, será válido hasta por 12 meses.

La empresa adjudicada, debe cumplir con los plazos comprometidos de mantención según cotización entregada. En caso de atraso en la mantención de los equipos, ARAUCO incurrirá en multas y/o reclamos de garantía, establecidas en las bases administrativas generales.

Considerar que la adjudicación es bajo el concepto de obra vendida y corresponde a cuenta y riesgo de la empresa de servicio.

Asegurar limpieza del área una vez finalizada la intervención, en el caso de NO cumplir, ARAUCO, contratará el servicio de limpieza con cargo a la empresa adjudicada.

Los informes pactados en el servicio deben ser entregados a más tardar 30 días posteriores a la finalización de los trabajos. En caso contrario trabajo se entenderá como no finalizado y se aplicarán las multas establecidas por atraso. Se entenderá por informe todo documento que describa la ejecución de los trabajos, estado final de los equipos y recomendaciones.

Con el objetivo de asegurar un "Trabajo bien hecho", en términos de seguridad y calidad, se establece que empresa debe participar en reuniones de coordinación con personal de planta y se exigirá la participación de los supervisores que posteriormente ejecutarán el trabajo. El no cumplimiento de éste punto, permitirá a Arauco, a aplicar sanciones, ya sea económicas o bien, suspensión de futuras adjudicaciones.

La empresa deberá cumplir con todos los procedimientos y/o fichas SSO entregados por Arauco. En caso de no conocimiento de alguno de éstos, será responsabilidad de la empresa solicitarlos.

\*\*\*\*\*

Documentos a cargar en Sistema gestión contratista (SGC) por Trabajador:

\*\*\*\*\*

Enviar ORDEN DE COMPRA FIRMADA Y MATRIZ DE RIESGOS del servicio e indicar ITO de planta para gestionar VB°.

Requisitos por Trabajador Cargados en Portal SGC.

# Cédula de Identidad + Certificado de Antecedentes

# Contrato

# Examen médico

## ANEXO B: MODELO MATEMÁTICO FALLA EN RODAMIENTOS

Extracto *paper* (Ariel M. Castellino, 2007): Diagnóstico de fallas en los rodamientos de motores eléctricos empleando variables eléctricas.

Ariel M. Castellino, Pablo D. Donolo, Guillermo R. Bossio, Cristian H. De Angelo y Guillermo O. García. - *Río Cuarto, Córdoba, Argentina.*

### B. Diagnóstico de fallas en rodamientos

Las investigaciones realizadas (Silva, Marquez Cardoso, 2005); SIEMENS A&D SD CS Service Cooperation, 1995; FAG SOUTH EAST ASIA PTE LTD, 2002) permiten caracterizar a las fallas en los rodamientos conociendo el estado de cuatro de sus elementos componentes.

Para ello se emplean cuatro ecuaciones, cada una de las cuales dan como resultado una frecuencia característica cuya amplitud se incrementa con el incremento de la magnitud de una falla presente en dichos elementos. Estas ecuaciones dependen de la geometría del rodamiento, el número de bolas o rodillos y la velocidad de rotación del rodamiento. Cabe destacar que estas ecuaciones se pueden aplicar tanto a rodamientos con elementos cilíndricos (rodillos o polines) como a bolas. A continuación, se presentan las ecuaciones correspondientes a las frecuencias características de cada uno de los elementos del rodamiento y la zona a la que se asocian.

$$\begin{array}{l} \text{Pista} \\ \text{interna} \end{array} \quad F_{fpi} = \frac{N_b}{2} \times n \times \left( 1 + \frac{D_b \times \cos(\beta)}{D_c} \right) \quad (1)$$

$$\begin{array}{l} \text{Pista} \\ \text{externa} \end{array} \quad F_{fpe} = \frac{N_b}{2} \times n \times \left( 1 - \frac{D_b \times \cos(\beta)}{D_c} \right) \quad (2)$$

$$\begin{array}{l} \text{Bola} \end{array} \quad F_{fb} = \frac{D_c}{D_b \times 2} \times n \times \left( 1 - \left( \frac{D_b \times \cos(\beta)}{D_c} \right)^2 \right) \quad (3)$$

$$\begin{array}{l} \text{Jaula} \end{array} \quad F_{fpe} = \frac{n}{2} \times \left( 1 - \frac{D_b \times \cos(\beta)}{D_c} \right) \quad (4)$$

Donde:

$N_b$ : Número de bolas, rodillos o polines

$D_b$ : Diámetro de bolas, rodillos o polines en mm.

$D_c$ : Diámetro Medio entre pistas en mm

$\beta$ : Angulo de contacto entre las pistas

$n$ : Velocidad Mecánica del rotor

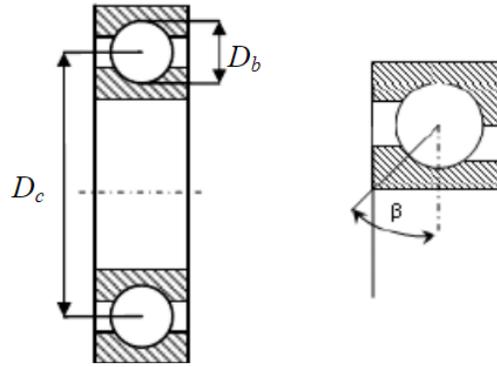


Figura B-1: Esquema general de rodamiento

Fuente: (Ariel M. Castellino, 2007)

Para el caso aplicado en este documento, la motobomba en cuestión (Figura 5-2 y Tabla 5-2) monta su rotor en 2 rodamientos 6201-2RSC3.

6201 = Código del rodamiento

2RS = Implica 2 tapas de obturación total – Material no metálico

C3 = Tolerancia entre la bola (o polín) y sus respectivas pistas de rodaje

$N_b$  = 7

$D_b$  = 9.2 mm

$D_c$  = 23 mm

$\beta$  = 0°

$n$  = 2900 rpm

Reemplazando, según experimento ilustrado en la Figura 5-6: Falla, contaminación a la pista interna, provocado con residuos metálicos.

$$F_{fpi} = \frac{7}{2} * 2900 * \left(1 + \frac{9,2 * 1}{23}\right) = 14.210 \text{ Hz}$$

## ANEXO C: PATENTES

- 1 Lista de 9 patentes **otorgadas** con los criterios de búsqueda “*Predictive AND Maintenance AND Sound*” en <https://app.patentinspiration.com/> y ordenadas por fecha de otorgamiento.

Publication number	First Priority Date	Granted Date	Title
US2011121969A1	25-nov-09	25-nov-14	Remote maintenance of medical imaging devices
US2014336869A1	13-may-13	26-may-15	Automating Predictive Maintenance for Automobiles
US2016218807A1	17-mar-13	22-ene-19	Lifi communication system
AU2019100273A4	15-mar-19	02-may-19	BinWin is a modern-day waste collection technology enabling councils and waste management authorities to manage waste effectively. The framework consists of IoT, AI, mobile & web applications integrated to monitor, track, and plan. The bins ensure eco-friendliness by keeping a constant check on fill levels enabling waste collection on a needs basis preventing overflow, maintaining a hygienic environment using solar self-charging capability. BinWin promises to increase operational efficiencies in the waste collection chain, reducing cost and labour associated with rubbish collection & removal
US2014222378A1	07-feb-13	04-jun-19	Systems and Methods for Communicating in a Predictive Maintenance Program Using Remote Analysts
US2017032402A1	14-abr-14	16-jul-19	Systems, methods and applications for using and enhancing vehicle to vehicle communications, including synergies and interoperation with satellite radio
US10429051B1	02-dic-18	01-oct-19	Lifi communication system
US2018273066A1	24-mar-17	24-dic-19	Condition based maintenance of railcar roller bearings using predictive wayside alerts based on acoustic bearing detector measurements
US2017274419A1	07-oct-15	28-ene-20	Material coating system and method

- 2 Lista de 23 patentes **solicitadas** con los criterios de búsqueda “*Predictive AND Maintenance AND Sound*” en <https://app.patentinspiration.com/> y ordenadas por fecha de solicitud.

Publication number	First Priority Date	Title
US2014012498A1	19-mar-12	Informed Traveler Program and Application
WO2014075833A2	20-sept-12	Beverage machine
US2014207774A1	24-ene-13	Virtual Building Browser Systems and Methods
US2015363750A1	01-feb-13	A method for providing maintenance data
WO2014118049A1	01-feb-13	A method for providing maintenance data
WO2015160859A1	14-abr-14	Systems, methods and applications for using and enhancing vehicle to vehicle communications including synergies and interoperation with satellite radio
US2017128769A1	18-jun-14	Pressure chamber and lift for differential air pressure system with medical data collection capabilities
WO2015195983A1	18-jun-14	Pressure chamber and lift for differential air pressure system with medical data collection capabilities
US2016378890A1	17-feb-15	Method for predicting a future timing of lowering of current value or power generation quantity of solar power generation system
US2019154032A1	23-feb-15	Real time machine learning based predictive and preventive maintenance of vacuum pump
US2016245279A1	23-feb-15	Real time machine learning based predictive and preventive maintenance of vacuum pump
US2018179880A1	05-ago-15	Health monitoring of power generation assembly for downhole applications
US2019048988A1	14-sept-15	Actuator diagnostics and prognostics
WO2017048788A1	14-sept-15	Actuator diagnostics and prognostics
US2017178311A1	20-dic-15	Machine fault detection based on a combination of sound capture and on spot feedback
US2017248118A1	26-feb-16	Novel Applications of the New Wind Power Formula, Novel Movements of Sails, and Novel Sail Turbines, plus Novel Propulsion Systems

US2019339687A1	09-may-16	Methods and systems for data collection, learning, and streaming of machine signals for analytics and maintenance using the industrial internet of things
US2018284749A1	09-may-16	Methods and systems for process adjustments in an internet of things chemical production process
US2018182185A1	22-dic-16	Method and System for Providing Artificial Intelligence Analytic (AIA) Services Using Operator Fingerprints and Cloud Data
US2019078878A1	14-sept-17	Method for automatically notifying an intended person as well as a test and measurement device
WO2019199845A1	09-abr-18	System and method for machine learning predictive maintenance through auditory detection on natural gas compressors
US2019311731A1	09-abr-18	System and Method for Machine Learning Predictive Maintenance Through Auditory Detection on Natural Gas Compressors
US2020131987A1	24-oct-18	Method for the predictive maintenance of internal combustion engine components by means of a structure-borne sound sensor

- 3 Lista de 32 patentes solicitadas con los criterios de búsqueda “Predictive AND Maintenance AND Sound” en <https://app.patentinspiration.com/> con aplicante, inventor y URL

Publication number	Standard applicant	Normalized inventor	Patent URL
US10429051B1	Tran Bao [Us]	Tran Bao [Us]	<a href="http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US10429051B1">Http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US10429051B1</a>
AU2019100273A4	Data One Tech Pty Ltd [Au]	Rajani Kazim Raza, Naqvi Naureen	<a href="http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/AU2019100273A4">Http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/AU2019100273A4</a>
US2018273066A1	Canadian Pacific Railway Company [Ca]	Mulligan Kyle Ryan [Ca]	<a href="http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2018273066A1">Http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2018273066A1</a>
US2017274419A1	Abb Schweiz Ag [Ch], Abb Power Grids Switzerland Ag [Ch]	Frimpong George K [Us], Prieto Colmenero Alberto [Us], Pitois Claire [Se]	<a href="http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2017274419A1">Http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2017274419A1</a>

US2017032402A1	Patsiokas Stelios [Us], Sirius Xm Radio Inc [Us], Marko Paul [Us], Wadin Craig [Us], Deluca Joan [Us], Hayes Jeffery David [Us], Cox Stuart [Us], Michalski Richard Andrew [Us], Rindsberg Mark [Us], Mantel George David [Us], Smallcomb Joseph Michael [Us], Nguyen Anh Xuan [Us], Sirius Xm Radio Inc [Us]	Patsiokas Stelios J [Us], Marko Paul D [Us], Wadin Craig P [Us], Deluca Joan S [Us], Hayes Jeffery David [Us], Cox Stuart A [Us], Michalski Richard Andrew [Us], Rindsberg Mark [Us], Mantel George David [Us], Smallcomb Joseph Michael [Us], Nguyen Anh Xuan [Us]	<a href="http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2017032402A1">Http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2017032402A1</a>
US2016218807A1	Tran Bao [Us]	Tran Bao [Us]	<a href="http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2016218807A1">Http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2016218807A1</a>
US2014336869A1	Ibm [Us]	Bou-Ghannam Akram A [Us], Dockter Michael J [Us]	<a href="http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2014336869A1">Http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2014336869A1</a>
US2014222378A1	Azima Holding Inc [Us], Azima Holdings Inc [Us]	Piety Kenneth Ralph [Us], Dahl K C [Us], Dahl K C [Us]	<a href="http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2014222378A1">Http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2014222378A1</a>
US2011121969A1	Mercer Michael J [Us], Unisyn Medical Technologies Inc [Us], Moore G Wayne [Us], Gessert James [Us], Consensus Imaging Service Inc [Us]	Mercer Michael J [Us], Moore G Wayne [Us], Gessert James M [Us]	<a href="http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2011121969A1">Http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2011121969A1</a>
US2020131987A1	Iav Gmbh Ingenieurgesellsch aft Auto & Verkehr [De]	Lebendt Thomas [De], Friedrich Ingo [De], Mollik Robert [De]	<a href="http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2020131987A1">Http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2020131987A1</a>
US2019339687A1	Strong Force Iot Portfolio 2016 Llc [Us]	Cella Charles Howard [Us], Duffy Jr Gerald William [Us], Mcguckin Jeffrey P [Us], Desai Mehul [Us]	<a href="http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2019339687A1">Http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2019339687A1</a>

WO2019199845A1	Well Checked Systems Int Llc [Us]	Haines Michael [Us], Haines Samuel [Us], Haines Hayden [Us]	<a href="http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/WO2019199845A1">Http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/WO2019199845A1</a>
US2019311731A1	Well Checked Systems Int Llc [Us]	Haines Michael David [Us], Haines Iii Samuel Henry [Us], Haines Hayden Taylor [Us]	<a href="http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2019311731A1">Http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2019311731A1</a>
US2019154032A1	Machinesense Llc [Us]	Pal Biplab [Us], Gillmeister Steve [Us], Purohit Amit [In]	<a href="http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2019154032A1">Http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2019154032A1</a>
US2019078878A1	Rohde & Schwarz [De]	Ding Alvin [Sg]	<a href="http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2019078878A1">Http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2019078878A1</a>
US2019048988A1	Tolomatic Inc [Us]	Besser Steven [Us], Rosengren Gary W [Us], Hobart Patrick [Us], Shulz Robert [Us], Di Marco Steven [Us], Dietrich Aaron [Us]	<a href="http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2019048988A1">Http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2019048988A1</a>
US2018284749A1	Strongforce Iot Portfolio 2016 Llc [Us]	Cella Charles Howard [Us], Duffy Jr Gerald William [Us], Mcguckin Jeffrey P [Us], Desai Mehul [Us]	<a href="http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2018284749A1">Http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2018284749A1</a>
US2018182185A1	Surround Io Corp [Us]	Tong Richard Chia Tsing [Us], Welland Robert Victor [Us], Ludwig John Hayes [Us], Cordell John Palmer [Us], Mckelvie Samuel James [Us]	<a href="http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2018182185A1">Http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2018182185A1</a>
US2018179880A1	Halliburton Energy Services Inc [Us]	Sankaran Venkataraman [Us], Chanpura Reena A [Us]	<a href="http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2018179880A1">Http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2018179880A1</a>
US2017248118A1	Ivers Henry [Us]	Ivers Henry [Us]	<a href="http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2017248118A1">Http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2017248118A1</a>
US2017178311A1	Prophecy Sensors Llc [Us]	Pal Biplab [Us]	<a href="http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2017178311A1">Http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2017178311A1</a>

US2017128769A1	Alterg Inc [Us]	Long Philip W [Us], Kuehne Eric R [Us], Rahman Babu S [Us], Jue Clifford T [Us], Whalen Sean Tremaine [Us], Marecek Gregory P [Us], Horst Robert W [Us], Abrahami Adrian [Us], Curtiss Chase Camden [Us], Essock-Burns Emma [Us]	<a href="http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2017128769A1">Http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2017128769A1</a>
WO2017048788A1	Tolomatic Inc [Us]	Besser Steven [Us], Rosengren Gary W [Us], Hobart Patrick [Us], Shulz Robert [Us], Di Marco Stephen [Us], Dietrich Aaron [Us]	<a href="http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/WO2017048788A1">Http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/WO2017048788A1</a>
US2016378890A1	Onamba Co Ltd [Jp]	Haku Choyu [Jp]	<a href="http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2016378890A1">Http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2016378890A1</a>
US2016245279A1	Pal Biplab [Us], Gillmeister Steve [Us], Purohit Amit [In]	Pal Biplab [Us], Gillmeister Steve [Us], Purohit Amit [In]	<a href="http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2016245279A1">Http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2016245279A1</a>
WO2015195983A1	Alterg Inc [Us]	Long Philip W [Us], Kuehne Eric R [Us], Rahman Babu S [Us], Jue Clifford T [Us], Whalen Sean Tremaine [Us], Marecek Gregory P [Us], Horst Robert W [Us], Abrahami Adrian [Us], Curtiss Chase Camden [Us], Essock-Burns Emma [Us]	<a href="http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/WO2015195983A1">Http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/WO2015195983A1</a>
US2015363750A1	Tetra Laval Holdings & Finance [Ch]	Svensson Rickard [Se], Löfberg Anders [Se]	<a href="http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2015363750A1">Http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2015363750A1</a>

WO2015160859A1	Sirius Xm Radio Inc [Us]	Patsiokas Stelios J [Us], Marko Paul D [Us], Wadin Craig P [Us], Deluca Joan S [Us], Hayes Jeffery David [Us], Cox Stuart A [Us], Michalski Richard Andrew [Us], Rindsberg Mark [Us], Mantel George David [Us], Smallcomb Joseph Michael [Us], Nguyen Anh Xuan [Us]	<a href="http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/WO2015160859A1">Http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/WO2015160859A1</a>
WO2014118049A1	Tetra Laval Holdings & Finance [Ch]	Svensson Rickard [Se], Löffberg Anders [Se]	<a href="http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/WO2014118049A1">Http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/WO2014118049A1</a>
US2014207774A1	Walter Mark [Us], Davis Dale [Us]	Walter Mark [Us], Davis Dale S [Us]	<a href="http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2014207774A1">Http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2014207774A1</a>
WO2014075833A2	Costa Ltd [Gb]		<a href="http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/WO2014075833A2">Http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/WO2014075833A2</a>
US2014012498A1	Gustafson Thomas F [Us], Rische Naphtali [Us], Trias Ramon [Us], Stapleton Kenneth [Us]	Gustafson Thomas F [Us], Rische Naphtali [Us], Trias Ramon [Us], Stapleton Kenneth [Us]	<a href="http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2014012498A1">Http://www.patentinspiration.com/redirect?Url=/patent/US2014012498A1</a>

## ANEXO D: PATENTES ESPECÍFICAS

- 1 Lista de 5 patentes **de interés para el presente trabajo** con criterios de búsqueda “*Predictive AND Maintenance AND Sound*” en <https://app.patentinspiration.com/> y ordenadas por fecha de otorgamiento.

Número(s) de Publicación	Resumen de Abstracto
US2018273066A1	Mantenimiento basado en la condición de los rodamientos de rodillos de vagones de ferrocarril utilizando alertas predictivas, basadas en mediciones de detectores acústicos de rodamientos - CANADIAN PACIFIC RAILWAY
US2017178311A1	Un método y sistema de diagnóstico de uno o más problemas asociados con una máquina que incluye la recopilación de datos de sonidos e imagen asociados con una máquina a través de un dispositivo móvil y su transmisión a un servidor en la nube a través de una red de comunicaciones. El diagnóstico incluye el análisis de los datos de sonido e imagen en combinación con un sistema de retroalimentación a través de un servidor en la nube - PROPHECY SENSORS LLC [US]
US2020131987A1	Método de mantenimiento predictivo de componentes de un motor de combustión interna mediante un sensor de sonido que incluye: registro de las vibraciones de los componentes del motor; durante la operación verifica continuamente sonidos para diagnosticar una condición de desgaste de los componentes del motor de combustión interna. El uno o más sensores de sonido están dispuestos para el registro de las señales y envío a la unidad electrónica de evaluación - IAV GMBH INGENIEURGESELLSCHAFT AUTO & VERKEHR.
US2016245279A1 US2019154032A1	Método y sistema de aprendizaje automático para el mantenimiento predictivo y preventivo de bombas de vacío. El método incluye recibir datos de sensores desde el motor a través de una red de comunicaciones. Los datos se clasifican desde el estado de vacío y se analizan para detectar un nivel operativo y se activa una alarma cuando los datos del sensor de estado exceden un rango de seguridad predefinido - MACHINESENSE LLC [US].

US2019311731A1 WO2019199845A1	Un sistema, método y programa informático para el mantenimiento predictivo de compresores de gas natural mediante detección auditiva. Usando uno o varios micrófonos, un sistema recolecta y evalúa ondas de sonido con el propósito de predecir y detectar fallas y condiciones de alerta en equipos mecánicos y de proceso. El sistema recopila el sonido que se utiliza en un entorno de aprendizaje automático para utilizarlo en ambiente con o sin supervisión humana, producir una línea de base normal y detectar operaciones anormales - WELL CHECKED SYSTEMS INT LLC [US].
----------------------------------	--

## ANEXO E: DESCRIPCION PARTES METODOLOGIA GRISP-DM

Esta metodología de referencia contiene las fases de un proyecto, sus respectivas tareas y sus relaciones entre ellas.

Orientado al ciclo de vida de un proyecto de Minería de Datos consiste esencialmente en seis fases. La secuencia de las fases no es rígida, se puede regresar o adelantar a alguna de ellas siempre que sea necesario. Todo depende de los resultados de cada fase.

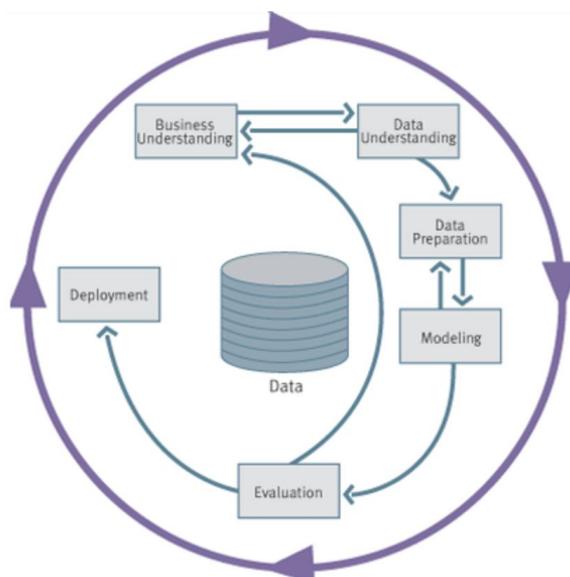


Imagen referencial del método CRISP-DM.

Fuente: (Anibalgoicochea.com, 2009)

A continuación, se describe cada paso de la metodología, según extractos del artículo referido en el texto principal. (Gironés Roig, 2013)

1. **Comprensión del negocio:** con los objetivos de negocio en mente, es requerimiento clarificar la situación actual respecto de los objetivos planteados, recursos, requerimientos y limitaciones, para así poder concretar objetivos de la *minería de datos* que contribuyan claramente a la consecución de la definición de éxito.

2. **Comprensión de los datos:** se refiere al trabajo de los datos con el objetivo de familiarizarse al máximo con ellos, saber de dónde provienen, en qué condiciones llegan, estructura, propiedades, posibles problemas y mitigaciones.

3. **Preparación de datos:** el objetivo de esta fase es disponer del juego de datos final sobre el que se aplicarán los modelos, siempre teniendo claro qué datos son los más apropiados de cara a los resultados de negocio. También, suele desarrollarse la documentación descriptiva necesaria sobre el juego de datos.

4. **Modelado:** entendido como la habilidad de aplicar una técnica a un juego de datos con el objetivo de predecir una variable objetivo o encontrar un patrón. El propósito de esta fase es disponer de un modelo que ayude a alcanzar los objetivos de negocio establecidos en el proyecto.

5. **Evaluación:** o descubrimientos que son definidos como cualquier cosa aparte del modelo que contribuye a alcanzar los objetivos de negocio o que contribuye a plantear nuevas preguntas y que son relevantes para el negocio.

6. **Despliegue:** corresponde al despliegue de resultados, e incorpora medidas alternativas en forma de planes alternativos, que deberán permitir tener varias visiones para escoger el mejor.