REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería Mecatrónica

Diseño e integración conceptual de dispositivos basados en mantenimiento 4.0 para la optimización de recursos en la perforadora diamantina UDR-650, Corporación Perforaciones del Perú, Arequipa, 2025

Tesis presentada por el Bachiller:

Nina Vilca, Mario Gabriel

ORCID: 0009-0005-0873-9269

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecatrónico

Asesor:

Dr. Siles Nates, Fernando David

ORCID: 0000-0002-7732-6012

Arequipa – Perú

2025

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA MECATRONICA

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 14 de Octubre del 2025

Dictamen: 011146-C-EPIMMEM-2025

Visto el borrador del expediente 011146, presentado por:

2017802231 - NINA VILCA MARIO GABRIEL

Titulado:

DISEÑO E INTEGRACIÓN CONCEPTUAL DE DISPOSITIVOS BASADOS EN MANTENIMIENTO 4.0 PARA LA OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS EN LA PERFORADORA DIAMANTINA UDR-650, CORPORACIÓN PERFORACIONES DEL PERÚ, AREQUIPA, 2025

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Titulo Profesional/Titulo de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO MECATRÓNICO

29387211 - FERNANDEZ BARRIGA CAMILO GRIMALDO
DICTAMINADOR



29479140 - VALENCIA SALAS MARIO JOSE
DICTAMINADOR



29685318 - CASTRO VALDIVIA JORGE LUIS
DICTAMINADOR



Diseño e integración conceptual de dispositivos basados en mantenimiento 4.0 para la optimización de recursos en la perforadora diamantina UDR-650, Corporación Perforaciones del Perú, Arequipa, 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%	7%	1%	3%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
2	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	1%
3	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%
4	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	<1%
5	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1%
8	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1%
9	repositorio.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1%
	www.researchgate.net	

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mis padres Mario Nina y Gaby Vilca, por ser el ejemplo de mi vida, por su amor incondicional, su sacrificio y por el apoyo constante que me han brindado en cada etapa de mi camino profesional, también a mis dos hermanas, Tania y Fanny por estar siempre a mi lado, por su ayuda incondicional, sus valiosos consejos y por escucharme en cada momento, siendo un soporte fundamental en este proceso. Y finalmente a mi abuela Peta, mi ejemplo de fortaleza y persistencia, cuyo cariño y enseñanzas han sido una inspiración para nunca rendirme

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Agradecimientos

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a Corporaciones Perforaciones del Perú S.A.C., por brindarme la oportunidad de acceder a información interna y por mantener siempre las puertas abiertas para cualquier consulta o duda durante el desarrollo de esta investigación, gracias a su disposición y apoyo no solo facilitaron el acceso a datos relevantes que eran necesarios para esta investigación, sino que también me permitieron comprender de manera más profunda los procesos y prácticas de la empresa, contribuyendo significativamente al desarrollo de este trabajo y a mi desarrollo como profesional.

A mis amigos de la carrera, quienes de distintas formas me brindaron asesoría, orientación y motivación a lo largo del proceso, les seré siempre agradecido por compartir sus conocimientos y experiencia, por tomarse el tiempo de explicarme dudas, por sus valiosos consejos y sugerencias que enriquecieron este trabajo, y por acompañarme en los momentos de dificultad, haciendo que cada desafío se sintiera más llevadero.

Finalmente, a mi familia que, con su apoyo incondicional, amor y confianza han estado siempre detrás de mí, impulsándome a perseverar y a mantenerme enfocado para culminar esta tesis, gracias por creer en mí incluso en los momentos que ni yo podía hacerlo, por alentarme a seguir adelante y por ofrecerme su apoyo constante, que me permitió avanzar con mayor seguridad y rapidez en esta etapa de mi vida.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Resumen

En la presente tesis se expone el diseño e integración conceptual de dispositivos y la implementación del Mantenimiento 4.0 para la perforadora diamantina UDR-650 de la empresa Corporación Perforaciones del Perú S.A.C. La investigación surge de la necesidad de optimizar el uso de recursos en empresas de perforación diamantina, ya que estas operan en lugares recónditos, con condiciones geográficas y ambientales muy variadas, a diferencia de otros tipos de maquinaria que trabajan en entornos más controlados. Esta realidad genera mayores dificultades logísticas, altos costos en repuestos y tiempos muertos prolongados cuando ocurre una falla no prevista.

La propuesta plantea un sistema compuesto por nodos de monitoreo y Gateways que conforman una arquitectura cibernética. Los nodos integran sensores para registrar variables críticas del equipo, específicamente sonido, vibración y temperatura, mientras que los Gateways transmiten la información recolectada a la nube mediante tecnología LoRaWAN, asegurando conectividad y confiabilidad incluso en zonas alejadas donde las comunicaciones suelen ser limitadas. Además, el sistema trabaja con parámetros de referencia que permiten generar alertas tempranas e informar sobre posibles averías, funcionando como una herramienta de mantenimiento predictivo que contribuye a prevenir fallas y optimizar la disponibilidad del equipo.

Con esta solución, se busca no solo reducir costos de operación y mantenimiento, sino también generar un sistema escalable que sirva como base para la digitalización progresiva de los procesos en perforación diamantina, incrementando la eficiencia, reduciendo tiempos de inactividad y asegurando un mayor aprovechamiento de los recursos de las empresas, teniendo como resultado de optimización un incremento del 268.7% en la rentabilidad de la misma empresa, confirmando que la implementación de tecnologías IoT en el monitoreo predictivo de perforadoras diamantinas no solo es técnicamente factible, sino también financieramente rentable, por lo tanto, la investigación evidencia que el uso de sistemas inteligentes de monitoreo constituye una herramienta clave para mejorar la eficiencia operativa, optimizar recursos y fortalecer la sostenibilidad en los procesos de exploración minera.

Palabras Clave: UDR-650, optimización, LoRaWAN.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Abstract

This thesis presents the conceptual design and integration of devices and the implementation of Maintenance 4.0 for the UDR-650 diamond drilling rig of Corporación Perforaciones del Perú S.A.C. The research arose from the need to optimize resource use in diamond drilling companies, as they operate in remote locations with highly varied geographic and environmental conditions, unlike other types of machinery that operate in more controlled environments. This reality generates greater logistical difficulties, high spare parts costs, and prolonged downtime when an unforeseen failure occurs.

The proposal proposes a system composed of monitoring nodes and gateways that make up a cyber architecture. The nodes integrate sensors to record critical equipment variables, specifically sound, vibration, and temperature, while the gateways transmit the collected information to the cloud using LoRaWAN technology, ensuring connectivity and reliability even in remote areas where communications are often limited. Furthermore, the system works with reference parameters that generate early warnings and report potential breakdowns, functioning as a predictive maintenance tool that helps prevent failures and optimize equipment availability.

This solution seeks not only to reduce operating and maintenance costs but also to generate a scalable system that serves as the basis for the progressive digitalization of diamond drilling processes, increasing efficiency, reducing downtime, and ensuring greater use of company resources. This optimization has resulted in a 268.7% increase in the company's profitability. This confirms that the implementation of IoT technologies in the predictive monitoring of diamond drilling rigs is not only technically feasible but also financially profitable. Therefore, the research shows that the use of intelligent monitoring systems is a key tool for improving operational efficiency, optimizing resources, and strengthening sustainability in mining exploration processes.

Keywords: UDR-650, optimization, LoRaWAN.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Índice

Dedicatoria

Agradecimientos

Resumen

Abstract

Introducción **1**

Capítulo I Marco Metodológico **3**

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 3

1.1.1. Enunciado del problema 3

1.1.2. Área de conocimiento 6

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 6

1.2.1. Interrogante principal 6

1.2.2. Interrogantes especificas 6

1.3. JUSTIFICACIÓN 7

1.3.1. Justificación teórica 7

1.3.2. Justificación técnica 8

1.3.3. Justificación económica 8

1.3.4. Justificación metodológica 8

1.4. OBJETIVOS 9

1.4.1. Objetivo general 9

1.4.2. Objetivos específicos 9

1.5. HIPÓTESIS 10

1.5.1. Hipótesis general 10

1.5.2. Hipótesis especificas 10

1.6. VARIABLES 10

1.6.1. Variable independiente 10

1.6.2. Variables dependientes 10

1.6.3. Operacionalización de variables 10

1.7. ALCANCES 11

1.8. LIMITACIONES 12

1.9. ANTECEDENTES 13

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Capítulo II Marco Teórico 18

2.1. PERFORACIÓN DIAMANTINA 18

2.1.1. Procedimiento de perforación diamantina 20

2.1.2. Perforadora diamantina 22

2.1.3. Partes de una perforadora diamantina 23

2.2. ANTECEDENTES DE CORPORACIÓN PERFORACIONES DEL PERÚ S.A.C. 24

2.2.1. Datos generales 24

2.2.2. Servicios que ofrece la empresa 26

2.2.3. Trayectoria empresarial 26

2.2.4. Tamaño de empresa 28

2.2.5. Organigrama 30

2.2.6. Principales equipos de perforación que dispone 31

2.2.7. UDR-650 32

2.3. MANTENIMIENTO 34

2.3.1. Objetivo del mantenimiento 35

2.3.2. Indicadores de Gestión de Mantenimiento 35

2.3.3. Mantenimiento predictivo 38

2.3.3.1. Ventajas del mantenimiento predictivo: 39

2.3.3.2. Desventajas del mantenimiento predictivo: 39

2.3.4. Costo de mantenimiento predictivo 39

2.3.5. Técnicas más usadas en el mantenimiento predictivo 40

2.3.5.1. Análisis de vibraciones 40

2.3.5.2. Análisis de termografía 40

2.3.5.3. Análisis por ultrasonido 41

2.3.5.4. Análisis de aceite 41

2.4. TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA 4.0 41

2.4.1. Principios para una red Tecnología de la industria 4.0 44

2.4.2. Uso de la nube 45

2.4.2.1. Cloud Computing 46

2.4.2.2. Modelos de Servicios en la Nube 46

2.4.3. Componentes estratégicos de la Industria 4.0 47

2.4.3.1. Sistemas Ciberfísicos (CPS) 47

2.4.3.2. Big Data e inteligencia artificial 48

2.4.3.3. Gemelo Digital (Digital Twin) 48

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.4.3.4. Ciberseguridad Industrial 49
2.4.3.5. Interoperabilidad y Estándares 49
2.5. DISPOSITIVOS SIMILARES 49
2.5.1. Redes de sensores inalámbricos (WSN) 49
2.5.2. Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) 50
2.5.3. Telemetría 51
2.5.4. Sistema de control distribuidos (DCS) 51
2.6. NORMAS APLICADAS 52
2.6.1. ISO 14224:2016 - Taxonomía 52
2.6.2. CTR – Criticality Total by Risk 52
2.6.3. AMFE – Análisis de Modos de Falla y Efectos 53
2.6.4. ADD – Attribute-Driven Design 54

Capítulo III Recolección y análisis de datos 56

3.1. DATOS GENERALES DE LA UDR-650 56
3.1.1. Taxonomía 57
3.1.2. Análisis de criticidad 61
3.1.2.1. Análisis de criticidad de los sistemas 62
3.1.2.1.1. Análisis de criticidad de los subsistemas 63
3.1.2.2. Análisis de criticidad de los componentes 64
3.1.3. Análisis de modo efecto falla 66
3.1.3.1. Castillo de perforación (Sistema estructural) 67
3.1.3.2. Eje de potencia (Sistema de potencia) 67
3.1.3.3. Unidad de control (Sistema eléctrico) 68
3.1.3.4. Bomba hidráulica principal (Sistema hidráulico – distribución) 69
3.1.3.5. Bloque de distribución (Sistema hidráulico – Distribución) 70
3.1.3.6. Cilindros hidráulicos (Sistema de instalación – Estabilización) 71
3.1.3.7. Cilindros hidráulicos (Sistema de instalación – Inclinación) 72
3.1.3.8. Cabezal rotativo (Sistema de perforación – Rotación) 73
3.1.3.9. Cilindro hidráulico (Sistema de perforación – Empuje) 74
3.1.3.10. Bomba de agua (Sistema de perforación – Bombeo de agua) 75
3.1.3.11. Tambor de cabestrante (Sistema de elevación – Principal) 76
3.1.3.12. Tambor de cabestrante (Sistema de elevación – Wire Line) 78
3.1.3.13. Cilindros hidráulicos (Sistema de elevación – Sujeción de tubería) ... 79

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.1.3.14. Radiador (Sistema de refrigeración) 80
3.2. DATOS DE MONITOREO 81
3.2.1. Datos de temperatura de cada sistema 82
3.2.2. Datos de vibración de cada sistema 84
3.2.3. Datos de sonido de cada sistema 86

Capítulo IV Desarrollo de la solución tecnológica 89

4.1. SISTEMA CONEXIÓN INALÁMBRICA 90
4.1.1. Selección de red IoT 90
4.1.1.1. Topología LoRaWAN: 92
4.2. DISEÑO DEL SISTEMA FÍSICO 93
4.2.1. Selección de componentes a utilizar 96
4.2.1.1. Nodo de Monitoreo 97
4.2.1.2. Gateway 108
4.2.2. Arquitectura de los prototipos 114
4.2.2.1. Nodo de monitoreo 115
4.2.2.2. Gateway 116
4.2.3. Diagrama de conexiones entre componentes 117
4.2.3.1. Nodo de monitoreo 117
4.2.3.2. Gateway 118
4.2.4. Modelo 3D del diseño 119
4.2.4.1. Nodo de monitoreo 119
4.2.4.2. Gateway 122
4.3. ARQUITECTURA DEL SISTEMA CIBERNÉTICO 124
4.3.1. Etapas del diseño - ADD 3.0 125
4.3.1.1. Evaluación de entradas (Sección 1) 125
4.3.1.2. FASE 1: Definición de la arquitectura base (Sección 2 - 7) 128
4.3.1.3. FASE 2: Procesamiento de información y monitoreo (Sección 2 - 7) 132
4.3.1.4. FASE 3: Elección de tecnologías (Sección 2 - 7) 136
4.3.2. Ingreso de parámetros 143
4.3.3. Diseño de alertas de parámetros 144
4.3.3.1. Cálculo de temperatura 144
4.3.3.2. Cálculo de vibración 146
4.3.3.3. Cálculo de sonido 147

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4.3.3.4. Cálculo de alerta para las tres magnitudes físicas 149

Capítulo V Análisis de resultados y discusión 151

5.1. COSTO DE DISPOSITIVOS PROPUESTOS 152

5.1.1. Costo de componentes y materiales 152

5.1.1.1. Nodo de monitoreo 152

5.1.1.2. Gateway 155

5.1.2. Costo de sistema cibernético 157

5.1.2.1. AWS IoT Core - Infraestructura 157

5.1.2.2. DynamoDB (Data Base) 160

5.1.2.3. Amazon S3 (Simple Storage Service) 162

5.1.2.4. Amazon Web Services Lambda 164

5.1.2.5. Amazon Web Services CloudFront 165

5.1.2.6. Application Programming Interface - API Gateway 166

5.1.2.7. Amazon Cognito 167

5.1.2.8. Amazon CloudWatch 168

5.1.3. Costo total del sistema de monitoreo 170

5.2. INGRESO Y EGRESOS REALES VS. SIMULADOS 173

5.2.1. Ingresos y egresos reales 173

5.2.1.1. Ingresos reales 173

5.2.1.2. Egresos reales 177

5.2.2. Ingresos y egresos simulados 182

5.2.2.1. Ingresos simulados 182

5.2.2.2. Egresos simulados 185

5.2.3. Comparación de ingresos y egresos de proyecto real con el simulado 186

Conclusiones 194

Recomendaciones 197

Referencias 198

Anexos 206

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Índice de tablas

Tabla 1. *Matriz de operacionalización de variables* 11
Tabla 2. *Principales clientes de CPDP* 27
Tabla 3. *Equipos que dispone CPDP* 32
Tabla 4. *Especificaciones técnicas de la UDR-650* 33
Tabla 5. *Capacidades inteligentes en el sistema Tecnología de la industria 4.0* 43
Tabla 6. *Arquitectura de la Tecnología de la industria 4.0* 44
Tabla 7. *Redes de comunicación para Tecnología de la industria 4.0* 45
Tabla 8. *Análisis de criticidad de los sistemas* 63
Tabla 9. *Análisis de criticidad de los subsistemas* 64
Tabla 10. *Análisis de criticidad de los componentes* 66
Tabla 11. *Análisis AMFE de castillo de perforación* 67
Tabla 12. *Análisis AMFE de eje de potencia* 68
Tabla 13. *Análisis AMFE de unidad de control* 69
Tabla 14. *Análisis AMFE de bomba hidráulica principal* 70
Tabla 15. *Análisis AMFE de bloque de distribución* 71
Tabla 16. *Análisis AMFE de cilindros hidráulicos de estabilización* 72
Tabla 17. *Análisis AMFE de cilindros hidráulicos de inclinación* 73
Tabla 18. *Análisis AMFE de cabezal rotativo* 74
Tabla 19. *Análisis AMFE de cilindro hidráulico de empuje* 75
Tabla 20. *Análisis AMFE de bomba de agua de perforación* 76
Tabla 21. *Análisis AMFE de tambor de cabestrante principal* 77
Tabla 22. *Análisis AMFE de tambor de cabestrante Wire Line* 78
Tabla 23. *Análisis AMFE de cilindros hidráulicos de sujeción* 79
Tabla 24. *Análisis AMFE de radiador* 80
Tabla 25. *Tipos de red IoT* 90

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 26. *Selección de red IoT* 91

Tabla 27. *Selección de sensor de Temperatura* 98

Tabla 28. *Selección de sensor de Sonido* 99

Tabla 29. *Selección de sensor de Vibración* 100

Tabla 30. *Selección de sensor de Corriente* 101

Tabla 31. *Especificaciones Arduino Atmega328p* 102

Tabla 32. *Selección de Transceptor Lora* 103

Tabla 33. *Especificaciones antena WRL-14* 104

Tabla 34. *Tabla de potencias de nodo de monitoreo* 105

Tabla 35. *Selección de Placa UPS* 105

Tabla 36. *Selección de convertidor Buck* 106

Tabla 37. *Especificaciones Batería Li-ion 18650* 108

Tabla 38. *Selección de Raspberry* 109

Tabla 39. *Selección de Concentrador* 110

Tabla 40. *Tabla de potencias de Gateway* 111

Tabla 41. *Especificaciones de panel solar* 112

Tabla 42. *Selección de Módulo de carga* 112

Tabla 43. *Especificaciones de baterías Li-ion 18650* 113

Tabla 44. *Selección de Regulador de batería de Litio de 3.7V a 5V* 114

Tabla 45. *Funcionalidades del sistema Ciber* 126

Tabla 46. *Atributos de calidad del sistema Ciber* 126

Tabla 47. *Restricciones del diseño del sistema Ciber* 127

Tabla 48. *Preocupaciones arquitectónicas del sistema Ciber* 127

Tabla 49. *Selección de arquitectura referencial* 129

Tabla 50. *Revisión de Objetivos – Método Kanban (Fase 1)* 132

Tabla 51. *Selección de procesamiento de flujos* 133

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 52. *Revisión de Objetivos – Método Kanban (Fase 2)* 135

Tabla 53. *Selección de Nube* 137

Tabla 54. *Revisión de Objetivos – Método Kanban (Fase 3)* 142

Tabla 55. *Rangos máximos y mínimos de cada sensor por componente* 143

Tabla 56. *Parámetros e importancia establecidos de temperatura* 145

Tabla 57. *Parámetros e importancia establecidos de vibración* 147

Tabla 58. *Parámetros e importancia establecidos de sonido* 148

Tabla 59. *Grado de importancia de cada magnitud física* 149

Tabla 60. *Cotización – Nodo de monitoreo* 153

Tabla 61. *Cotización – Gateway* 155

Tabla 62. *Costo total de prototipos* 171

Tabla 63. *Costo total anual de sistema ciber* 172

Tabla 64. *Ingresos reales de febrero, marzo y abril por metraje* 174

Tabla 65. *Ingresos reales de febrero, marzo y abril por adicionales* 176

Tabla 66. *Egresos reales de febrero, marzo y abril* 178

Tabla 67. *Egresos reales de febrero, marzo y abril* 179

Tabla 68. *Egresos reales total del proyecto* 180

Tabla 69. *Egresos reales de febrero, marzo y abril por mantenimiento* 181

Tabla 70. *Ingresos simulados de febrero, marzo y abril por metraje* 183

Tabla 71. *Ingresos simulados de febrero, marzo y abril por adicionales* 184

Tabla 72. *Egresos simulados de febrero, marzo y abril por mantenimiento* 186

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Índice de figuras

Figura 1 *Condiciones que alteran la disponibilidad de una perforadora diamantina* 4

Figura 2. *Proceso minero de inicio a fin* 20

Figura 3. *Perforadora diamantina UDR-650* 23

Figura 4. *Logotipo de CPDP* 25

Figura 5. *Mapa de ubicación de CPDP* 25

Figura 6. *Mapa de Terrenos de perforación de CPDP* 28

Figura 7. *Ganancias de CPDP en el año 2011* 29

Figura 8. *Organigrama de CPDP* 31

Figura 9. *Máquina Perforadora Diamantina UDR-650* 34

Figura 10. *Concepto de Tecnología de la industria 4.0* 42

Figura 11. *Contenido según la Nube* 47

Figura 12. *Criticality Rating Matrix* 53

Figura 13. *Sistemas de máquina perforadora UDR-650* 59

Figura 14. *Taxonomía de la UDR-650 Montada sobre un Volvo F12* 60

Figura 15. *Promedio de temperatura* 82

Figura 16. *Promedio de vibración* 85

Figura 17. *Promedio de sonido* 87

Figura 18. *Arquitectura de red LoRaWAN* 93

Figura 19. *Principales componentes de Nodo de Monitoreo* 95

Figura 20. *Principales componentes de Gateway* 96

Figura 21. *Diagrama de interacción de Nodo de Monitoreo* 115

Figura 22. *Diagrama de interacción de Gateway* 116

Figura 23. *Diagrama de conexiones de Nodo de Monitoreo* 118

Figura 24. *Diagrama de conexiones de Gateway* 119

Figura 25. *Prototipo físico de nodo de monitoreo* 122

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 26. *Prototipo físico de Gateway* 123
Figura 27. *Diagrama método ADD* 124
Figura 28. *Arquitectura Microsoft Azure IoT* 130
Figura 29. *Primer modelo de fase - Registro de decisiones* 131
Figura 30. *Stateless Stream Processing* 134
Figura 31. *Segundo modelo de fase – Registro de decisiones* 135
Figura 32. *Servicios de AWS* 138
Figura 33. *Tercer modelo de fase – Servicios AWS* 141
Figura 34. *Puntos estratégicos de ubicación para los nodos de monitoreo* 154
Figura 35. *Puntos estratégicos de Gateway* 156
Figura 36. *Precios de AWS IoT Core* 158
Figura 37. *Precios de DynamoDB – AWS* 160
Figura 38. *Precios de Amazon S3 (Almacenamiento)* 162
Figura 39. *Precios de Amazon S3 (Solicitudes)* 163
Figura 40. *Precios de AWS Lambda* 164
Figura 41. *Precios de AWS CloudFront* 165
Figura 42. *Precios de API Gateway* 166
Figura 43. *Precios de Amazon Cognito* 167
Figura 44. *Capa gratuita de Amazon CloudWatch* 168
Figura 45. *Precios de Amazon CloudWatch - Registros* 168
Figura 46. *Precios de Amazon CloudWatch - Métricas* 169
Figura 47. *Precios de Amazon CloudWatch - Alarma* 170
Figura 48. *Ingresos Reales vs. Simulados* 187
Figura 49. *Total de ingresos reales vs. simulados* 188
Figura 50. *Egresos Reales vs. Simulados* 189
Figura 51. *Total de egresos reales vs. simulados* 191

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 52. *Utilidad trimestral real vs. simulado* 192

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Índice de anexos

Anexo 1. *Factores ponderados de criticidad – Sistemas* 207

Anexo 2. *Factores ponderados de criticidad – Subsistemas* 208

Anexo 3. *Factores ponderados de criticidad – Componentes* 209

Anexo 4. *QR de archivo Excel de factores ponderados de criticidad* 210

Anexo 5. *Tablas de Riesgo y criticidad - Sistemas* 211

Anexo 6. *Tablas de Risgo y criticidad – Subsistemas* 211

Anexo 7. *Tablas de Riesgo y criticidad – Componentes* 211

Anexo 8. *QR de archivo Excel de análisis de medición de componentes* 212

Anexo 9. *Tabla de medición de temperatura, sonido y vibración – vista general* 212

Anexo 10. *Gráficos de las medidas de temperatura – vista general* 213

Anexo 11. *Gráficos de las medidas de sonido – vista general* 213

Anexo 12. *Gráficos de las medidas de vibración – vista general* 213

Anexo 13. *Código de nodo de monitoreo – Arduino* 214

Anexo 14. *Código de Gateway – Python* 218

Anexo 15. *Código (AWS Lambda) – Python* 220

Anexo 16. *Tablas de resultados de caso real vs. simulado* 223

Anexo 17. *Ingresos por 3 meses – caso real* 224

Anexo 18. *Egresos por 3 meses – caso real* 225

Anexo 19. *Ingresos por 3 meses – caso simulado* 226

Anexo 20. *Egresos por 3 meses – caso simulado* 227

Anexo 21. *Mant. Zona tambor principal (Caso real)* 228

Anexo 22. *Mant. Cilindro de empuje (Caso real)* 229

Anexo 23. *Mant. Radiador (Caso real)* 230

Anexo 24. *Mant. Bomba de agua de lodos (Caso real)* 231

Anexo 25. *Mant. Zona tambor principal (Caso simulado)* 232

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Anexo 26. *Mant. Cilindro de empuje (Caso simulado)*..... 233

Anexo 27. *Mant. Radiador (Caso simulado)* 234

Anexo 28. *Mant. Bomba de agua de lodos (Caso simulado)*..... 235

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Abreviaturas y listas de símbolos

IoT:	Es la conexión entre distintos dispositivos y objetos a través de una red, ya sea privada o por Internet, lo que permite que se comuniquen entre sí y compartan información de manera automática
UDR-650:	Universal Drill Riges 650. Máquina perforadora diamantina de la empresa Corporación Perforaciones del Perú S.A.C.
Gateway:	Puerta que sirve para la conexión entre dos o más dispositivos para la recopilación de datos hacia otras redes.
CPDP:	Corporación Perforaciones del Perú S.A.C.
Testigo:	Muestra de roca de forma cilíndrica en la cual se hacen estudios para saber la existencia de recursos minerales.
Sondaje:	Pozo o agujero en donde se realiza la obtención de muestras de núcleo de roca.
Lloraran:	Protocolo inalámbrico diseñado para cubrir grandes distancias con un consumo mínimo de energía, que hace posible que sensores y otros dispositivos envíen información a la nube, aun cuando estén ubicados en zonas remotas o de difícil acceso.
Mantenimiento 4.0:	Estrategia que utiliza tecnologías digitales, sensores y el Internet de las Cosas para detectar posibles fallas antes de que ocurran y mejorar el funcionamiento de los equipos, aplicando el enfoque de mantenimiento predictivo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Introducción

Actualmente no es novedad que el Perú tiene una excelente ubicación geográfica debido a su amplia riqueza geológica; gracias a este gran potencial se sabe que la minería es fundamental para el desarrollo económico del Perú (MINEM, 2025), sin embargo, se tiene entendido que la mayor parte aún no se ha explorado y menos explotado (Gestión, 2025).

Debido a este suceso varias empresas tanto nacionales como internacionales buscan exhaustivamente la presencia de recursos minerales en diferentes zonas del Perú, en cambio se sabe que de cada 100 proyectos 1 se hace mina (El Peruano, 2024), por tal motivo con la ayuda de especialistas como geólogos y geofísicos se realizan bastantes estudios para la búsqueda de yacimientos, aun así, es imposible certificar la presencia de minerales bajo tierra (CACERES LLAZA, 2023).

Por tal motivo se creó la perforación diamantina, la cual es un método que consiste en realizar orificios de gran profundidad sobre una superficie para poder analizar la presencia de recursos minerales a varios metros bajo suelo (CACERES LLAZA, 2023), sin embargo, las empresas que se dedican a este rubro minero han tenido bastantes problemas con el mantenimiento de las perforadoras debido a que estas trabajan en ubicaciones remotas donde no hay mecánicos especialistas u repuestos de estas máquinas más que todo porque estas se encargan de trabajar en distintas zonas, altitudes y terrenos del Perú, no como otro tipo de maquinaria que tienden a trabajar en una zona en específico, las máquinas perforadoras cambian de ubicación geográfica comúnmente debido a que estas se usan principalmente para la exploración (RAMIRO, 2021) .

Gracias a esta gran problemática, surge la necesidad de buscar soluciones más innovadoras que ayuden a mejorar la gestión y control del mantenimiento de estas perforadoras diamantinas, explícitamente en la UDR-650. En este caso, con ayuda del mantenimiento 4.0, apoyado en tecnologías IoT (Internet of Things), se presenta como una opción fundamental para innovar en la forma de cómo se monitorea y analiza el funcionamiento de este tipo de máquinas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Por lo cual, en el presente trabajo de tesis se plantea diseñar e implementar un sistema de monitoreo de mantenimiento predictivo para la perforadora UDR-650, perteneciente a la empresa Corporación Perforaciones del Perú S.A.C. teniendo como objetivo principal de poder predecir posibles fallas o averías en la máquina antes de que estas se conviertan en problemas más críticos que puedan detener la operación durante más tiempo, generando retrasos y sobrecostos para la empresa.

Con esta propuesta se busca disminuir de forma notable los costos y gastos que genera el mantenimiento correctivo, logrando una mejor organización de las intervenciones ante fallas y evitando paradas imprevistas durante las campañas de exploración minera. Además, el sistema apunta a aumentar la disponibilidad operativa de la perforadora y reducir al mínimo los tiempos muertos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Capítulo I

Marco Metodológico

1.1. Planteamiento del problema

1.1.1. Enunciado del problema

Desde tiempos memorables, Perú es considerado un país lleno de riqueza mineral, ya que, según el ministerio de energías y minas Isasi (2008), "El Perú tiene un gran potencial geológico ya que existe una variada riqueza geológica que actualmente es reconocida por la comunidad internacional" (párr. 8). Sin embargo, hay que tener en cuenta que la mayor parte aún no ha sido explorada y menos explotada.

Debido al gran potencial que tiene este país en minerales se ha estado haciendo más exhausta la búsqueda de yacimientos, para esto se requiere de una gran cantidad de geólogos y geofísicos que puedan realizar estudios los cuales nos puedan estimar la presencia de estos metales, sin embargo, Catilla (2012) dice: "no hay una ciencia exacta para certificar que minerales hay debajo de los 100 metros bajo tierra" (pp. 13-17).

Por ende, se creó la perforación diamantina la cual tiene como función principal realizar perforaciones de hasta 2500 metros bajo suelo (dependiendo de la máquina perforadora a usar) para poder analizar que contiene el terreno estudiado; como este es el único proceso por el cual se puede ver si en realidad hay mineral o no, antes de poderlo llevar

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

a cabo se tiene que tener en cuenta que se realizará una inversión muy grande en una cantidad mediana de tiempo solo para confirmar si hay yacimientos.

Por otro lado, se debe saber que la perforación diamantina es un proceso costoso, más que todo por la ubicación remota del trabajo, ambiente de trabajo, los accesorios de perforación y el mantenimiento de la perforadora, ya que se debe considerar que no todos los ambientes donde trabaja esta máquina son los mismos y usualmente la perforación se da en lugares recónditos donde no hay civilización.

Teniendo en cuenta estos puntos, las empresas que se dedican a este rubro han tenido bastantes problemas especialmente por parte económica, esto se da porque las perforadoras diamantinas varían bastante en su disponibilidad a comparación de otras máquinas, esto se da por la variedad de condiciones que en las que estas tienen que trabajar como son:

- Condiciones climáticas de trabajo
- Altitud de trabajo
- Profundidad de trabajo
- Terreno de perforación
- Inclinación de trabajo

Figura 1

Condiciones que alteran la disponibilidad de una perforadora diamantina



Nota: Elaboración propia

Considerando que la variedad de condiciones a las que una perforadora trabaja es casi imposible establecer un plan de mantenimiento general además de poder calcular el tiempo exacto de trabajo, debido a que, la mayor parte de mantenimiento en una máquina perforadora es correctivo, lo cual perjudica bastante a la disponibilidad de la misma, más

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

que todo porque en los ambientes de trabajo de esta máquina se dan en lugares alejados de ciudades y carreteras.

Por tal motivo en el caso que se requiera hacer algún tipo de mantenimiento no se contará con la intervención inmediata de los especialistas encargados de la perforadora, por lo cual esta estaría inoperativa más tiempo del esperado, por otro lado, en el peor de los casos de que no se tenga los repuestos necesarios de la reparación a efectuar se perdería más tiempo por la búsqueda, la cotización, la compra y traslado de repuestos, por ende se pierda más dinero para las empresas encargadas de la perforación diamantina, además de no tener un estimado exacto del tiempo de operación y el tiempo de reparación para contabilizar las ganancias y pérdidas de dichas compañías.

Hoy en día hay formas de cómo reducir este tipo de problemas, como tener repuestos en stock o asegurar una disposición inmediata de mecánicos especialistas, sin embargo, no hay una forma exacta de como poder predecir cuándo una parte de la máquina se va a dañar o está empezando a tener una fatiga la cual afecte al desempeño de esta, por lo que no se espera algún tipo de reparación hasta que los mismos supervisores u operadores se percaten de alguna anomalía.

Usualmente se pueden percibir anomalías tanto por la vibración, el aumento de temperatura, el aumento de sonido y en casos más delimitantes cuando se observa que la máquina empieza a gotear o incluso derramar aceite hidráulico, no obstante, como el personal está más enfocado en operar y en la obtención de testigos o supervisar no está enfocado en dichas anomalías, adicionando que los sentidos del humano no son tan agudos como para poder percibir una irregularidad en un tiempo prudente para tomar acción ante una posible avería.

Esta situación refleja claras falencias en la supervisión y control de las perforadoras diamantinas, ya que la detección de posibles fallas depende en gran medida de la observación humana, limitando la capacidad de anticiparse a problemas y generando intervenciones tardías. Esta impericia, sumada a la falta de sistemas de monitoreo predictivo, provoca que las máquinas permanezcan inoperativas durante periodos prolongados, afectando la planificación de trabajo y el registro de horas efectivas de operación.

La problemática se agrava debido a que los operadores y supervisores están enfocados en la obtención de testigos y en el manejo de la máquina, dejando de lado la identificación de anomalías que podrían indicar fallas inminentes. Esto genera pérdidas económicas directas, dificulta la evaluación de la eficiencia de las operaciones y aumenta el riesgo de daños mayores a los equipos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Por otro lado, la carencia de un sistema que registre, analice y alerte sobre el estado de la perforadora conduce a decisiones basadas en estimaciones y percepciones subjetivas, incrementando la incertidumbre sobre los tiempos de operación, mantenimiento y reparación, afectando negativamente la rentabilidad de las empresas dedicadas a la perforación diamantina.

Por ende, hasta ahora es un gran problema poder realizar un buen plan de mantenimiento a este tipo de maquinaria, más que todo por todas las variables que posee y por todos los cambios de potencia que maneja, además de que no se tiene una contabilidad exacta de las horas de perforación y las horas de reparación para poder hacerle un correcto seguimiento de ganancias y pérdidas de la empresa, para así poder analizar la eficiencia de la máquina durante el periodo de operación.

1.1.2. Área de conocimiento

De acuerdo con la clasificación establecida por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 2007), este trabajo de investigación se enmarca dentro de las áreas, subáreas y líneas de conocimiento establecidas por la organización correspondiente, hay que tener en cuenta que esta clasificación es importante porque ayuda a definir con claridad el campo específico al que pertenece este estudio.

Teniendo en cuenta la naturaleza del proyecto, sus objetivos y las tecnologías aplicadas en el desarrollo del prototipo, la investigación se organiza de la siguiente forma:

- Área: Ingeniería y Tecnología
- Subárea: Ingeniería Mecánica
- Línea: Desarrollo de sistemas IoT para mantenimiento predictivo en maquinaria de perforación diamantina

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Interrogante principal

¿Cómo puede la implementación de un sistema IoT de monitoreo predictivo optimizar la disponibilidad de la perforadora diamantina UDR-650 contribuyendo a la optimización de recursos en procesos de exploración minera?

1.2.2. Interrogantes especificas

- ¿Qué componentes de hardware son adecuados para la captura de señales auditivas, vibratorias y de temperatura en la UDR-650, considerando las condiciones de operación en campo?

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- ¿Qué sistemas, subsistemas y componentes de la UDR-650 deben priorizarse a través de un análisis de criticidad para garantizar un monitoreo predictivo eficiente?
- ¿Cómo puede diseñarse una estrategia de mantenimiento predictivo basada en tecnología IoT que permita la detección temprana de fallas, disminuya las horas muertas y reduzca la pérdida de tuberías durante la operación?
- ¿Qué características debe tener un sistema IoT para garantizar la captura, transmisión y almacenamiento seguro de los datos recopilados, asegurando compatibilidad y eficiencia?
- ¿De qué manera la aplicación de la estrategia de mantenimiento predictivo puede generar una optimización de recursos y una reducción de costos en comparación con el mantenimiento correctivo tradicional?

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación teórica

Como ya se sabe, la minería peruana enfrenta retos constantes en la gestión y optimización de recursos debido a las condiciones geográficas y a la diversidad de factores que intervienen en la operación de maquinaria pesada, especialmente en el caso de las perforadoras diamantinas, que se utilizan en etapas de exploración minera donde no existe un campamento en el cual se le pueda dar un soporte oportuno de mantenimiento y stock de repuesto; sin embargo, existe una limitada base de estudios sobre la aplicación de tecnologías IoT y estrategias de mantenimiento 4.0 en este tipo de equipos, lo que genera una oportunidad para el desarrollo de modelos de monitoreo predictivo que aporten a la optimización de tiempo en proyectos de exploración y de recursos para las empresas dedicadas a este rubro.

Este proyecto busca contribuir teóricamente al conocimiento en el área de mantenimiento industrial, planteando así un enfoque el cual este pueda integra sensores, los cuales se encargue de la recolección de datos y análisis predictivo para anticipar fallas, para así, con los resultados obtenidos estos servan como referencia para futuras investigaciones en el ámbito de la digitalización minera e industrial y así lograr una optimización de procesos, fomentando el avance tecnológico hacia modelos de minería en el Perú.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

1.3.2. Justificación técnica

Las perforadoras diamantinas, como la UDR-650, operan en condiciones adversas, con constantes cambios de ubicación, altitudes y tipos de terreno, lo que hace más complejo la gestión de mantenimiento de estas, por esta razón, a falta de herramientas de monitoreo en tiempo real provoca que las fallas se detecten de manera tardía, generando paradas imprevistas y mayores costos para las empresas dedicadas a este rubro.

En este proyecto se pretende proponer una solución tecnológica basada en el Internet de las Cosas para el monitoreo remoto de la perforadora, permitiendo detectar anomalías en parámetros como sonido, vibración y temperatura, con el objetivo de predecir fallas en componentes críticos, al incrementar este sistema permitirá incrementar la disponibilidad de la máquina, mejorar la planificación de los mantenimientos y reducir la dependencia de diagnósticos manuales, optimizando así las operaciones en los proyectos de exploración minera.

1.3.3. Justificación económica

Por parte económica, se tiene entendido que el mantenimiento correctivo en una perforadora diamantina no solo implica un alto costo de reparación de componentes, sino que también implica en las pérdidas asociadas al tiempo muerto durante la adquisición y traslado de repuestos, además de la movilización de mecánicos especializados hacia zonas remotas; en empresas de exploración, estas paradas no programadas pueden representar miles de dólares diarios en pérdidas.

Por lo que, con la implementación de este sistema de monitoreo con tecnología IoT, se espera reducir significativamente los costos operativos, disminuyendo la frecuencia de fallas inesperadas, optimizando así la gestión de recursos, lo cual permitirá una mayor rentabilidad para la empresa, ya que se maximizará el tiempo productivo de la perforadora y se minimizarán los gastos innecesarios que se generen por paradas no programadas y por tubería perdida que se ocasiona por paradas prolongadas, mejorando así su competitividad en el mercado minero.

1.3.4. Justificación metodológica

Por parte metodológica, este proyecto se basa en la integración de conceptos de mantenimiento 4.0, combinando tecnologías digitales con estrategias predictivas que permitan analizar datos de manera continua y así detectar problemas antes de que se conviertan en fallas graves, esta propuesta se centra en diseñar conceptualmente un sistema

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

IoT, capaz de recopilar información clave de la perforadora, como temperatura, vibración y sonido de cada parte importante de una UDR-650.

Este enfoque es novedoso dentro de la exploración minera en el Perú, ya que no se limita únicamente a reparar la máquina cuando falla, sino que busca implementar un sistema de monitoreo, orientado a anticiparse a los problemas y optimizar la gestión del mantenimiento, por otro lado, se plantea como un modelo replicable y escalable, que en el futuro podría aplicarse a otros tipos de maquinaria minera, impulsando la modernización y el desarrollo tecnológico dentro del país y del sector minero.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar e integrar conceptualmente dispositivos basados en Mantenimiento 4.0 para optimizar recursos en la perforadora diamantina UDR-650, Corporación Perforaciones del Perú, Arequipa, 2025.

1.4.2. Objetivos específicos

- Seleccionar componentes de hardware capaces de captar señales auditivas, vibratorias y de temperatura, adecuados para el monitoreo de la perforadora diamantina UDR-650.
- Realizar un análisis de criticidad de la UDR-650, identificando los sistemas, subsistemas y componentes más relevantes para priorizar el monitoreo predictivo.
- Diseñar una estrategia de mantenimiento predictivo basada en tecnología IoT, orientada a la detección temprana de fallas, disminución de horas muertas, aumento de disponibilidad de la URD-650 y reducción de pérdidas de tuberías durante la operación.
- Seleccionar e integrar un sistema IoT que permita la captura, transmisión y almacenamiento de datos en la nube, considerando aspectos de seguridad, compatibilidad y eficiencia.
- Demostrar la optimización de recursos mediante un análisis comparativo entre los ingreso y egresos, utilizando datos reales de exploración minera.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

El diseño de un prototipo IoT orientado al monitoreo continuo de parámetros críticos como vibración, temperatura y sonido permitirá optimizar la detección temprana de fallas y averías en la perforadora diamantina UDR-650 contribuyendo significativamente en la reducción de recursos.

1.5.2. Hipótesis especificas

- **H1:** El análisis de criticidad de la UDR-650 permitirá identificar los sistemas, subsistemas y componentes más relevantes, priorizando adecuadamente los elementos a monitorear para prevenir fallas críticas.
- **H2:** El diseño de una estrategia de mantenimiento predictivo basada en IoT es capaz de detectar fallas tempranas en la perforadora diamantina UDR-650
- **H3:** La implementación de la estrategia de mantenimiento predictivo basada en IoT permitirá reducir costos operativos y optimizar recursos en procesos de perforación diamantina, en comparación con el mantenimiento correctivo tradicional.

1.6. Variables

1.6.1. Variable independiente

Sistema de monitoreo IoT para mantenimiento predictivo aplicado a la perforadora diamantina UDR-650.

1.6.2. Variables dependientes

- Identificación de componentes críticos de la UDR-650
- Detección temprana de fallas en la perforadora diamantina UDR-650
- Optimización de recursos en la operación

1.6.3. Operacionalización de variables

La Tabla 1 que se presenta a continuación indica cómo se han identificado y estructurado las variables que se usan en esta investigación, en el cual se considera, el tipo de variable, la variable, la definición conceptual, la definición operacional y finalmente los indicadores que estos desglosan, por otro lado, cabe recalcar que la gran parte de las variables van dirigidas a la UDR-650 y el ultima es referente a la optimización de recursos que se puede generar con la implementación del sistema de monitoreo planteado.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 1.
Matriz de operacionalización de variables

Tipo de Variable	Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores
INDEP	Sistema de monitoreo IoT para mantenimiento predictivo aplicado a la perforadora UDR-650	Integración de hardware, software y conectividad IoT para capturar, transmitir y analizar datos en tiempo real y detectar fallas tempranas.	Implementación de sensores, microcontrolador y plataforma en la nube para monitorear vibración, temperatura y sonido.	- Cantidad de sensores implementados. - Funcionalidad del sistema IoT. - Datos transmitidos y registrados en la nube.
DEP 1	Identificación de componentes críticos de la UDR-650	Reconocimiento de los sistemas y subsistemas más relevantes que afectan la operación de la perforadora.	Evaluación mediante análisis de criticidad para determinar cuáles requieren monitoreo predictivo.	- Número de componentes identificados. - Nivel de criticidad asignado.
DEP 2	Detección temprana de fallas en la perforadora diamantina UDR-650	Capacidad del sistema IoT para identificar fallas antes de que ocurran daños críticos en la perforadora.	Medición de los parámetros críticos (temperatura, vibración, sonido) en cada subsistema y componente de la UDR-650 para detectar fallas potenciales.	- Número de subsistemas y componentes monitoreados. - Capacidad del sistema para generar alertas o alarmas ante desviaciones de los parámetros normales.
DEP 3	Optimización de recursos en la operación	Nivel de eficiencia en el uso de recursos (tiempo, personal, costos) gracias al mantenimiento predictivo IoT.	Comparación de costos y tiempos antes y después de implementar la estrategia IoT.	- Costos operativos totales. - Tiempo promedio de mantenimiento. - Porcentaje de reducción de recursos utilizados.

Nota: Elaboración Propia

1.7. Alcances

En el presente plan de tesis lo que se espera es proponer una estrategia de mantenimiento con dispositivos los cuales sean capaces de poder percibir señales auditivas, de temperatura y de vibraciones para poder predecir una posible avería en una máquina

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

perforadora UDR-650 y con la ayuda del mantenimiento 4.0 para así poder disminuir costos y gastos en el mantenimiento de la perforadora con alertas al supervisor a cargo y la central de la compañía donde se indiquen datos puntuales sobre la anomalía, como puede ser; el sistema de la posible avería y que componentes comprenden esa zona.

El alcance de este trabajo también toma en cuenta el gasto económico que generan las atrapadas de tubería en perforación diamantina que usualmente se dan cuando la perforadora está parada, ya que no solo se pierde tiempo de operación, sino también bastante dinero. Una atrapada puede costar entre 1.500 y 3.000 dólares cuando es leve, pero en los casos más graves, donde se pierde una gran cantidad de tubería, el gasto puede pasar los 15.000 dólares (THE DRILLER, 2015), además del retraso que esto también representa un gran gasto para la empresa. Por eso, con esta tesis se busca proponer un sistema de monitoreo que ayude a anticipar estas situaciones y así reducir tanto la frecuencia de atrapadas como los costos que estas generan.

Por otro lado, también se espera tener un monitoreo exacto de operación de la máquina perforadora, cuantas horas está perforando por día teniendo en cuenta las paradas diarias programadas por el personal de operación y los tiempos de mantenimiento, así tener un cálculo exacto de disponibilidad de la UDR-650; lo que se busca principalmente es disminuir las pérdidas y gastos de la empresa y se tenga un mejor monitoreo de esta máquina sin la necesidad de estar con ella.

1.8. Limitaciones

En cuanto a las limitaciones de este proyecto de tesis se tienen bastantes incógnitas a resolver debido a la gran cantidad de variables que se disponen, sin embargo, hablando de los procesos generales se pueden dar las siguientes limitaciones las cuales se describirán a continuación:

- Conexión a señal, dependiendo del lugar en el que se vaya a operar.
- Conexión a energía eléctrica constante para la alimentación de cada dispositivo.
- La posible avería de un dispositivo debido a variables ambientales u operativas (tales pueden ser fuertes cantidades de viento, lluvia, nieve o en cualquier caso adverso que se pueda dar como la colisión o desgaste de un dispositivo).
- Exactitud en la detección de alguna anomalía debido a la gran cantidad de variables a analizar (cambio de terreno a perforar, inclinación, ambiente, tipo de tubo de perforación, profundidad, altitud, etc.).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- El cambio de parámetros que va a variar dependiendo de la profundidad de perforación de la máquina UDR-650 (esto se debe a que mientras más profundo este el terreno a perforar más potencia necesitará la perforadora por lo que calentará, vibrará y sonará más).
- La incorporación e instalación de cada dispositivo manualmente al iniciar cada proyecto.

1.9. Antecedentes

Arce & Pérez (2022) realizaron una investigación orientada al desarrollo de un sistema mecatrónico capaz de recopilar y registrar de forma remota los parámetros de perforación de una máquina diamantina Atlas Copco, modelo CS-3001, para ello, implementaron un sistema de adquisición de datos utilizando una computadora Raspberry junto con un módulo ADC, lo que permitió almacenar y visualizar de manera remota la información obtenida del equipo adicionando a esto, este sistema tuvo como objetivo facilitar a los operadores el monitoreo y registro del proceso de perforación, integrando herramientas como IBM Cloud y Nade-RED para lograr una solución práctica y eficiente en el entorno industrial. Asimismo, se diseñó un tablero eléctrico que alberga todos los componentes del sistema, el cual puede instalarse sobre la consola de la perforadora sin interferir con sus mandos, por parte del funcionamiento, el sistema genera señales simuladas de los sensores y obtiene las lecturas de temperatura mediante un conversor analógico-digital, escalando los datos al rango de medición correspondiente, gracias a esto la interfaz visual desarrollada con no de-RED permite observar los datos en tiempo real desde un navegador web, aunque el acceso a la nube solo es posible cuando se dispone de conexión a Internet, por último, se creó un mecanismo automatizado para enviar los parámetros hacia una plataforma remota usando el protocolo MQTT, garantizando una comunicación ágil y con una pérdida de datos mínima, estimada en 1.38%. Los datos se almacenan en IBM Cloud mediante Coluden. Finalmente, se estableció una plataforma de acceso remoto que permite visualizar todos los datos en tiempo real y graficar los datos almacenados según un rango de fechas específico.

De igual forma, Hernandez (2022) desarrolló un estudio con la finalidad de proponer un modelo de gestión de mantenimiento que permita mejorar la disponibilidad de las máquinas perforadoras en la empresa analizada, para poder lograrlo su investigación se planteó como un trabajo de tipo aplicado, con enfoque cuantitativo y diseño preexperimental,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

durante este diagnóstico, se identificó como principal problema la baja disponibilidad operativa de las perforadoras, lo que afectaba directamente la continuidad de las operaciones, por lo que se propuso la implementación de un sistema de gestión de mantenimiento acompañado de controles específicos, logrando elevar la disponibilidad promedio a un 90%, lo que representa un aumento del 6.18% respecto al valor inicial de 83.82%. Por otra parte, la propuesta fue diseñada considerando las necesidades reales de la empresa, lo que permitió optimizar la planificación de mantenimiento y establecer un sistema de registro que facilita el control de las actividades ejecutadas, por último, se determinó que el costo estimado para la puesta en marcha de esta propuesta ascendiendo a 420,831.00 PEN. Es importante mencionar que esta inversión resulta esencial para garantizar una correcta implementación del sistema y su sostenibilidad a lo largo del tiempo.

En la tesis de Muñuri & Ramirez (2022), su investigación tuvo como propósito proponer un plan de mantenimiento preventivo que mejore la disponibilidad de la perforadora Superdrill H600 en la empresa minera estudiada, para esto, el trabajo se desarrolló con un enfoque aplicado, explicativo, cuantitativo y no experimental, se debe de considerar que durante su análisis, se detectó como principal problema la baja disponibilidad de la perforadora, que antes de aplicar el plan de mantenimiento registraba un promedio del 86.86%, por tal motivo, se diseñó un plan de mantenimiento preventivo que pudiera realizarse tanto con el equipo apagado como en operación, buscando asegurar un mejor control del estado de la máquina. Como parte del desarrollo, se elaboraron formatos para el mantenimiento diario y para intervalos de 250, 1000 y 2000 horas, además de una lista de repuestos necesarios para las intervenciones de 250 y 2000 horas, a su vez, después de la implementación, se comprobó que la disponibilidad de la perforadora aumentó a un promedio del 93.14% durante siete meses de seguimiento. En consecuencia, este resultado superó la meta inicial del 92%, demostrando que el plan de mantenimiento preventivo tuvo un impacto positivo en la mejora de la disponibilidad operativa de la perforadora dentro de la empresa minera ubicada en La Libertad en 2021.

Por otro lado, Nayhua (2019) elaboró una tesis de maestría en Ingeniería de Mantenimiento con el objetivo de diseñar un plan de mantenimiento basado en la filosofía del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), con la finalidad de optimizar el MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas) de la flota de perforadoras Atlas Copco CT20 pertenecientes a la empresa Explo Drilling, en donde el desarrollo del estudio, se concluyó que la implementación de un plan sustentado en esta metodología puede incrementar el MTBF en aproximadamente un 13%, mejorando así el desempeño y la disponibilidad de las

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

máquinas perforadoras; durante el análisis del mantenimiento existente, se observó que el plan actual presentaba un control deficiente y se apoyaba en un estándar poco adecuado para las condiciones reales de trabajo, de esta forma, se identificó la ausencia de herramientas que permitieran realizar diagnósticos precisos o un monitoreo constante de los equipos, lo que dificultaba anticiparse a posibles fallas. Por tal motivo, el mantenimiento ejecutado se enfocaba mayormente en acciones correctivas, con poca aplicación de medidas preventivas, lo que hacía necesario establecer una estrategia más confiable y planificada, ante esta situación, el autor propuso el desarrollo de un plan de mantenimiento enfocado en la confiabilidad para incrementar el MTBF y reducir las averías inesperadas, para así, tras el análisis de los sistemas más relevantes de la perforadora Atlas Copco CT20, se determinó que los componentes de potencia, rotación e hidráulico presentaban el mayor nivel de criticidad, por lo que debían ser considerados como prioridad dentro de la nueva propuesta de mantenimiento.

En el caso de Castañeda (2021), llevó a cabo un estudio con la finalidad de mejorar la gestión del mantenimiento y, a partir de ello, aumentar la disponibilidad de las perforadoras del Consorcio JM SAC, ubicado en la sede Tantahuatay, en el cual, se explica que la empresa se dedica a proyectos de exploración minera mediante perforación diamantina y con circulación reversa, a su vez, se detalla que cuenta con seis perforadoras SANDVIK fabricadas entre los años 2010 y 2015, cuya disponibilidad varía entre 68.18% y 95.45%. Como resultado de esta situación, se determinó que las máquinas registran un promedio anual de 6,610 horas de inactividad, lo que genera un gasto aproximado de 844,650.00 PEN en alquiler de equipos para reemplazar las perforadoras que se encuentran fuera de servicio, con el propósito de resolver esta problemática, propuso implementar un sistema de Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM), apoyado en los principios del Mantenimiento Productivo Total (TPM), buscando optimizar los recursos disponibles y mejorar la eficiencia en la gestión del mantenimiento, del mismo modo, se calculó que la inversión necesaria para aplicar esta propuesta asciende a 402,831.00 PEN, obteniendo un Valor Actual Neto de 1,617,273.61 PEN y una Tasa Interna de Retorno del 177%. Finalmente, se proyecta que la puesta en marcha del plan permitirá alcanzar una disponibilidad promedio del 90% en las máquinas, demostrando que la propuesta no solo es viable, sino también altamente rentable para la empresa.

Por su parte, Huacho (2022) llevó a cabo una investigación enfocada en la aplicación de tecnologías del Internet de las Cosas (IoT), con el objetivo de diseñar un módulo de control que permitiera supervisar de manera remota motores de inducción de baja potencia,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

en este estudio, se desarrolló un sistema que recopila información sobre la corriente y el voltaje del motor a través del sensor PZEM-004T, mientras que la medición de la temperatura se realiza mediante un termopar tipo K. Del mismo modo, se utilizaron los microcontroladores ESP32 y Atmega 2560 para procesar los datos obtenidos y enviarlos automáticamente a la nube, por otro lado, el código fuente fue programado en lenguaje C++, y la plataforma IoT de Ubidots se empleó para el monitoreo y control del motor en tiempo real mediante un panel de control diseñado específicamente para tal fin, de esta forma, los usuarios pueden acceder al sistema desde distintos dispositivos, almacenándose los datos recopilados durante un periodo máximo de 30 días, teniendo en cuenta que cuando se detectan eventos anómalos, como un aumento de temperatura, se genera una alerta automática que es enviada por correo electrónico, adicional a esto, se aplicó el enfoque I+P+D3, el cual es apropiado para el diseño y desarrollo de nuevos productos tecnológicos, ya que se emplearon diversas herramientas como EasyEDA, CADe SIMU, Ubidots e IDE Arduino para la elaboración y simulación de los diferentes subsistemas del proyecto, teniendo como resultado de este proceso, un prototipo funcional compuesto por cuatro subsistemas principales: eléctrico, electrónico, de control e interfaz, que presentó un desempeño satisfactorio durante las pruebas experimentales, por último, (Huacho, 2022) destaca la importancia de continuar impulsando proyectos que integren tecnologías asociadas a la Industria 4.0, ya que su implementación adecuada puede generar impactos significativos en la eficiencia operativa de diversos sectores, por lo que, la adopción del IoT demuestra ofrecer más ventajas que limitaciones, consolidándose como una herramienta clave para la modernización y optimización de procesos industriales.

En el caso de Hinostroza (2019) desarrolló una investigación con el propósito de implementar un Sistema de Gestión de Mantenimiento Preventivo que permitiera elevar la disponibilidad de las perforadoras diamantinas utilizadas por la empresa Geotecnia Peruana S.R.L., dedicada principalmente a la obtención de muestras minerales mediante técnicas de perforación, en este estudio, se inicia con una descripción completa de las actividades que realiza la empresa, analizando los principales inconvenientes identificados, las causas que originan la baja disponibilidad de los equipos y las posibles alternativas para optimizar su desempeño, asimismo, se presenta un análisis de antecedentes y fundamentos teóricos que sustentan la investigación, lo cual permitió definir el problema central junto con los problemas específicos, gracias a esto, se formularon las hipótesis y objetivos que orientaron el desarrollo de este trabajo, posteriormente se planteó la propuesta de implementación del sistema, incorporando los formatos, procedimientos y pasos necesarios para la correcta

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

aplicación del mantenimiento preventivo dentro de la empresa, teniendo como resultado de la propuesta aplicada la evidencia de una mejora notable en la disponibilidad de las perforadoras, logrando un incremento del 9.53%, del mismo modo, el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) presentó un aumento promedio de 2.13, mientras que el Tiempo Medio para Reparaciones (MTTR) se redujo en alrededor de 0.4, teniendo como conclusión los resultados que demuestran que la implementación del Sistema de Gestión de Mantenimiento Preventivo contribuye de manera efectiva a mejorar la disponibilidad y el rendimiento de las perforadoras diamantinas en Geotecnia Peruana S.R.L., fortaleciendo así la eficiencia operativa dentro de la empresa.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Capítulo II

Marco Teórico

En esta parte de la tesis se presentará los conceptos básicos de cómo opera una perforadora diamantina y cuáles son sus principales funciones dentro del campo minero, además de los antecedentes de la empresa a la que se dirigirá, junto a los datos técnicos de la perforadora UDR-650 que serán importantes para el desarrollo de esta investigación.

Por otro lado, se precisarán otros temas como conceptos básicos de las áreas que se necesitan para la investigación, entre ellos el mantenimiento, centrándose en el mantenimiento predictivo; además del mantenimiento 4.0 en especial el área de la tecnología IoT *(internet of things*) con los distintos tipos, arquitectura y topología que conlleva.

2.1. Perforación diamantina

Para hablar de la perforación diamantina debemos adentrarnos en su pasado, exactamente en 1863 donde el ingeniero de túneles Frances Rodolphe Leschot creo la primera broca diamantada para hacer vías subterráneas en la limitación entre Francia e Italia. Posteriormente se rediseño esta broca en 1869 para trabajar en un yacimiento de mármol en Estados Unidos; se tiene por entendido que la broca tenía incrustaciones de piedras costosas de corte como diamantes ya que este es el mineral más duro, además de que la forma de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

perforar era cilíndrica como lo es hoy en día, posteriormente se empezó a utilizar esta actividad para la extracción de petróleo y empezó a diseñarse más funciones para este proceso de perforación. (Pees, 2004)

Hoy en día la perforación diamantina es una actividad minera en la cual se realizan orificios en un terreno específico con la ayuda de las brocas con diamantes sintéticos (de ahí el nombre perforación diamantina) las cuales tienen la peculiaridad de poder cortar todo tipo de terreno con la ayuda de la fuerza de rotación y empuje que tiene la máquina perforadora, de este modo se sacan testigos en los cuales se puede verificar la presencia de distintos minerales del terreno de hasta 2500 o incluso 3000 metros bajo suelo dependiendo de la perforadora y de la dificultad que tenga el terreno.

Por otro lado, en sustento opino que la perforación diamantina tiene otros tipos de objetivos además de la extracción de testigos, entre ellas está la determinación de reservas minerales, la cual sirve para poder estimar la cantidad de mineral que aún se encuentra en una mina para así poder realizar proyecciones y poder planificar el desarrollo de la minera, otra función es poder evaluar la estabilidad del terreno, esta función es fundamental para prevenir colapsos y derrumbes en operaciones subterráneas, otra actividad muy conocida en la perforación diamantina es la obtención de agua más conocida como pozos de agua, esta se da perforando el suelo hasta encontrar un punto donde se encuentre en el subsuelo fluidos que puede ser para analizar el impacto ambiental que tiene la minera o simplemente para la obtención de agua potable.

Metiéndonos más a fondo sobre el funcionamiento de las máquinas encargadas de la perforación diamantina, estas usan un sistema electro-hidráulico con el cual genera el torque adecuado para poder hacer torcer la broca y generar un avance para cortar el terreno deseado, asimismo también contiene un sistema de lubricación y refrigeración que van directamente a la broca diamantada para que esta no se fatigue permitiendo un correcto corte y extracción de muestras para que posteriormente sea estudiada para saber el tipo, cantidad y calidad del recurso mineral en dicha área. Después de la extracción del testigo se almacena la muestra en una caja en donde será analizada en una sala de logueo que de acuerdo con Yacila (2021) “Es la actividad en la cual los geólogos describen la muestra e identifican el tipo de roca, la zona de contacto de mineralización, la zona de alteración, estructuras, entre otras características geológicas” (párr. 3). Y dependiendo de que los estudios sean positivos se realizan más sondajes repitiendo el mismo proceso hasta delimitar el área que contiene recursos minerales para que posteriormente se pueda hacer una mina.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 2.

Proceso minero de inicio a fin



Nota: Inspirado de (Autlan, 2018)

2.1.1. Procedimiento de perforación diamantina

La perforación diamantina es una actividad muy extensa, tanto así que por lo menos tiene duración de 6 meses debido a su complejidad, los equipos especializados que utiliza y a sus técnicas específicas, hoy en día se presume que la forma de planificar esta actividad a lo largo del tiempo no ha variado casi nada, por ende, para poder diferenciar cada proceso se decidió dividir en 7 cada proceso que se lleva a cabo dentro de este proceso de exploración:

1. **Planificación:** Primeramente, para realizar el trabajo de perforación se requiere analizar geológicamente el terreno para poder identificar el área de trabajo y poder determinar cuál es el lugar más indicado para poder perforar y determinar si en la zona hay presencia de mineral o no, por consiguiente, una vez determinada la zona de perforación se procede al diseño de programa de perforación, en donde se determina varios factores como la cantidad y la ubicación de los sondajes que se realizarán, por otro lado, también se determinará la profundidad esperada de cada sondaje dependiendo del terreno estudiado.
2. **Selección de equipos:** Una vez determinado la cantidad y profundidad de los sondajes se procede a la elección de los equipos a utilizar, entre ellos la máquina perforadora que depende fundamentalmente de los alcances que esta tenga como la cantidad de profundidad donde esta llegue, la potencia que disponga, el

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

consumo que requiere, etc. En otro aspecto, también se encuentran los accesorios de perforación, entre ellos lo más determinante es el diámetro de muestra que se desee estudiar, entre ellos los más comunes son BQ, NQ, HQ y PQ; por otra parte dependiendo del terreno, se escoge la numeración de la broca que se utilizará, esta elección depende especialmente de la formación geológica que se desee perforar, otro punto a tomar es la cantidad de aditivos que se necesitarán, esto también depende el terreno a perforar y los posibles atrapamientos que se generen en el proceso de perforado.

3. **Preparación del terreno a operar:** Posteriormente se encuentra la preparación del sitio, en donde se genera un campamento pequeño en donde se establezca la plataforma de perforación para así poder proporcionar soporte al sondaje y facilitar la operación, unas de las actividades más destacadas es la elaboración de tinas o piscinas de agua cerca al sondaje para que la máquina pueda absorber y perforar en conjunto con la broca para que esta no se fatigue, cabe recalcar que la perforación diamantina usa bastante agua debido a la fuerza rotacional que utiliza para poder perforar las rocas a estudiar, otro punto a tomar por temas ambientales también se requiere tener depósitos en donde se eliminen los residuos contaminantes como algún tipo de aditivo o aceite de la misma máquina que perjudica al medio ambiente.
4. **Iniciación de perforación:** Una vez generado el campamento en donde se generará el sondaje se inicia con la perforación en donde se comienza señalando el punto de perforación y junto a la ayuda de la dureza de la broca y la fuerza rotacional que genera la perforadora se realiza un hueco en el suelo progresivamente; el único trabajo de la perforadora es hacer la fuerza rotacional, y utilizar el fluido de perforación (comúnmente llamado lodo) para mantener limpio el agujero y enfriar la roca, además de poder llevar los fragmentos de la roca a la superficie; comúnmente la perforación se da cada 3 metros debido a la longitud de tubos que se utilizan para sacar los testigos, por lo que el trabajo de la máquina es perforar, limpiar el hueco y sacar la muestra, así sucesivamente hasta alcanzar la profundidad esperada.
5. **Recuperación de muestras:** Como ya se mencionó antes después de la perforación del terreno se procede a la extracción del testigo, la cual es la roca que se encuentra dentro de la broca la cual perfora un aproximado de 3 metros por tubo de perforación, además de sacar la muestra lo que se procede a hacer

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

es guardarlo en cajas en donde luego pueda ser analizado, se debe de tener en cuenta que no solo es sacar la muestra, si no en medir la profundidad del terreno dependiendo de la cantidad de muestra que se haya sacado.

6. **Análisis del terreno operado:** Al ya tener el testigo en cajas se procede a inspeccionar el terreno para poder analizar las características geológicas que este tiene para así poder tener información geológica necesaria para saber si hay la cantidad, calidad y mineral que se requiera, este análisis va acompañado de la información de una cantidad de sondajes esto se debe a que se realiza un mapeo del estado geológico de la zona a estudiar, una vez analizado los testigos con su ubicación geográfica se decide si sigue la perforación y le generación de nuevos sondajes, o en caso delimitante dar por finalizada la actividad (usualmente se da cuando no se pudo encontrar la calidad de mineral esperada).
7. **Finalización de la perforación:** Una vez acabada la actividad de perforación y de la verificación de que en si ya no se encuentra más mineral para poder explorar se procede a retirar todos los accesorios de perforación junto a la máquina perforadora, posteriormente se realiza una limpieza general de la zona de operación (teniendo en cuenta todos los líquidos dañinos para el medio ambiente y los accesorios desechables) y se tapa el hueco en donde se realizó el estudio.

2.1.2. Perforadora diamantina

Como lo dice en su mismo nombre una perforadora diamantina es una máquina que se encarga de realizar orificios con el uso de brocas diamantadas, sin embargo, hay que recalcar que este mecanismo es primordial para la exploración minera ya que es especialmente útil cuando se necesita una alta precisión para la obtención de testigos de calidad (para estudios de minerales) y en la perforación de orificios de larga profundidad.

Hablando de manera más operativa se puede decir que la perforadora diamantina combina tanto la energía mecánica como la energía rotativa, además de que utiliza otros componentes dentro de su sistema como es el uso de una bomba de agua para poder refrigerar la broca con la que se perfora el subsuelo y esta no se termine desgastando ni quemando. En sí, esta máquina comprende un sistema muy complejo y variable, debido a la inmensa cantidad de suelos que comprende la geología de nuestro planeta(Runge, 2019).

Hablando de los avances tecnológicos que ha tenido este mecanismo en el mundo no han sido bastantes debido a que el sistema funciona bastante bien y no requiere un rediseño

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

del sistema, sin embargo se le han añadido bastantes funciones las cuales pueden hacer más fácil y más llevadero la operación de estas máquinas, entre ellas la automatización para controlar la velocidad de rotación y potencia para facilitar el trabajo del operador, sistemas de posicionamiento GPS para saber exactamente el punto de perforación, sensores y monitoreos los cuales ayudan al operador para tener información en tiempo real como presión de la broca, velocidad de rotación e inclinación, además de otros avances secundarios como el cambio de diseño ergonómico y de seguridad para los operadores y la eficiencia energética. (Jameson, 2010)

Figura 3.
Perforadora diamantina UDR-650



Nota: Elaboración Propia

2.1.3. Partes de una perforadora diamantina

Como ya se mencionó antes, la máquina perforadora es un mecanismo muy complejo, el cual cuenta con distintos sistemas que actúan de manera conjunta para hacer un buen estudio de exploración y tener una buena operación durante el tiempo de estudios sin tener algún tipo de inconveniente operativo. Entre todos los sistemas y componentes que cuenta la perforadora los principales son los siguientes:

- Unidad de potencia: Sistema de avance que empuja la broca de perforación hacia abajo en el suelo o roca mientras esta gira para poder cortar los testigos de estudio.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Unidad de rotación: Sistema compuesto por motores hidráulicos o mecánicos que transmiten el movimiento de rotación por una serie de engranajes y ejes hasta la broca de perforación.
- Sistema hidráulico: Sistema que utiliza líquidos (aceites hidráulicos) para transmitir energía y realizar el trabajo de perforación de manera más eficiente ayudando tanto al sistema de potencia como el sistema de rotación.
- Comando principal: Panel de control en donde el operario se encarga de manejar a la máquina de perforación en donde puede regular la fuerza de empuje, las revoluciones, la cantidad de agua que entrara a la broca, etc.
- Bastidor o torre de izase: Es la estructura que sostiene y guía la broca de perforación durante el proceso de perforación, también es la que con ayuda del mástil permite que se alcance diferentes profundidades de perforación.
- Bomba de agua: Sistema en el cual se utiliza para suministrar agua o en otros casos lodo de alta presión durante el proceso de perforación el cual tiene como objetivo lubricar, enfriar la broca y estabilizar el pozo (para evitar atrapamientos).
- Mesclador hidráulico: Es el componente que se encarga de mezclar el agua con otros aditivos requeridos para la perforación para que estos junto a sus propiedades ayuden al proceso de perforación, como evitar atrapamientos, acelerar el proceso u otros.

2.2. Antecedentes de Corporación Perforaciones del Perú S.A.C.

2.2.1. Datos generales

CORPORACION PERFORACIONES DEL PERU S.A.C., es una empresa Contratista Minera Arequipeña, con Ruc 20498305726 inscrita como Empresa Especializada de Contratistas Mineros ante el Ministerio de Energía y Minas y el ANA (Autoridad Nacional del Agua (ANA), 2025).

Esta empresa viene laborando en el Perú desde el año 1996, subsidiaria de la Empresa Australiana Anderson Drilling teniendo un cambio de nombre y de dueño en el mes de noviembre del año 2002 con una nueva Gerencia y representante legal, la cual se convertiría en una empresa totalmente peruana.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Logotipo Institucional:

Figura 4.
Logotipo de CPDP

Nota: Extraído de Corporación perforaciones del Perú S.A.C.

Dirección de gerencia:

Av. Industrial 204 Apima, Distrito de Paucarpata, Provincia y Departamento de Arequipa (Autoridad Nacional del Agua (ANA), 2025).

Número telefónico:

Secretaria general:

Teléfono: (054)61 65 60

Celular: +51 959 920 328

Correo electrónico:

perforaperu@gmail.com

Ubicación en Mapa:

Figura 5.
Mapa de ubicación de CPDP



Nota: Extraído de Google Maps

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.2.2. Servicios que ofrece la empresa

- Perforación Diamantina Geológicos
- Perforación Aire Reverso (RC)
- Perforación Diamantina Geotécnica
- Perforación de Core Orientado
- Logeo Geológico y Geotécnico
- Trabajos de Mecánica de Rocas
- Trabajos de Mecánica de Suelos
- Ensayos de Permeabilidad Lugeon
- Ensayos de Permeabilidad Lefram
- Ensayo SPT
- Ensayo LPT
- Prueba de Tubo Shelby
- Colocación de Piezómetros
- Limpieza de sondajes
- Limpieza de Piezómetros
- Medición de Desviación de sondajes
- Medición de Orientación de Testigos
- Asesoramiento en Perforación
- Alquiler de Cisternas para regado de carreteras con sistema de aspersión

2.2.3. Trayectoria empresarial

Para poder realizar cualquier tipo de análisis, en especial para optimizar recursos en cuestión de gestión de mantenimiento de cualquier empresa primero se debe saber el recorrido que tiene en el mercado para identificar la experiencia que tiene respecto a la organización que tiene sobre sus procesos tanto de mantenimiento como logísticos, en el caso de Corporación Perforaciones del Perú S.A.C., esta empresa es una contratista Minera que ha laborado especialmente en la zona de Arequipa y posteriormente se fue expandiendo a más departamentos, dependiendo de los contratos que fue adquiriendo con distintas mineras.

Empezando a laborar en la Sociedad minera Cerro Verde por más de 5 años CPDP no ha tenido mucho problema de mantenimiento debido a que la zona de perforación se encuentra cerca de su oficina central, por lo cual no se requería de un plan de mantenimiento

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

exhaustivo ya que la comunicación y acceso entre el área de operación y administrativa era relativamente inmediata; sin embargo, mediante esta empresa fue creciendo, se expandió a otras minas entre ellas Minera La Zanja y Buena Aventura donde tuvo que operar fuera del departamento de Arequipa lo cual significó un gran desafío para CPDP por la comunicación y contacto entre la central y la zona de operación, además de la necesidad de tener nuevas contratas que abastecieran a esta empresa con combustible o repuestos fuera del departamento de Arequipa, para tener una vista más general en la tabla 2 se presentara los principales clientes que tuvo esta empresa con un aproximado de metros de operación que tuvo con cada una:

Tabla 2.
Principales clientes de CPDP

Principales clientes	Metros de perforación (m)	Ø de tubería
Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A.	100000.00	HQ y NQ
Compañía de Minas Buenaventura S.A.	6500.00	HQ y NQ
Minera la Zanja S.R.L.	8200.00	HQ y NQ
Minera Phell Dodge Del Perú S.A.C.	3300.00	HQ y NQ
Minera Cordor Resources S.A.C.	3000.00	HQ y NQ
Compañía Minera Milpo S.A.A.	7000.00	HQ y NQ
Jinzhao Mining Perú S.A.C.	15000.00	HQ y NQ
Minera Kim S.A.C.	10000.00	HQ y NQ
Minera Hampton Perú S.A.C.	3200.00	HQ y NQ
Geoservice Ingeniería S.A.C.	2000.00	HQ y NQ
Cedimin S.A.C.	25000.00	HQ y NQ
Norsemont Peru S.A.C. – Hudbay Perú S.A.C.	12000.00	HQ y NQ
Bisa Ingeniería De Proyectos S.A.	3500.00	HQ y NQ
Peruvian Latin Resources S.A.C	2500.00	HQ y NQ

Nota: Elaboración propia

Al ya saber las principales mineras o compañías en las cuales trabajo CPDP se debe tener en cuenta los distintos tipos de terrenos con los que tiene experiencia esta empresa, en los cuales la mayor parte es sierra; para tener una idea más específica los principales departamentos donde laboró CPDP es Arequipa, Cajamarca, Apurímac, Moquegua, Cuzco y Puno. Donde se desempeñó satisfactoriamente pese a las adversidades como la variedad de terreno desconocido y la lejanía que se tenía con la central administrativa, sin embargo,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

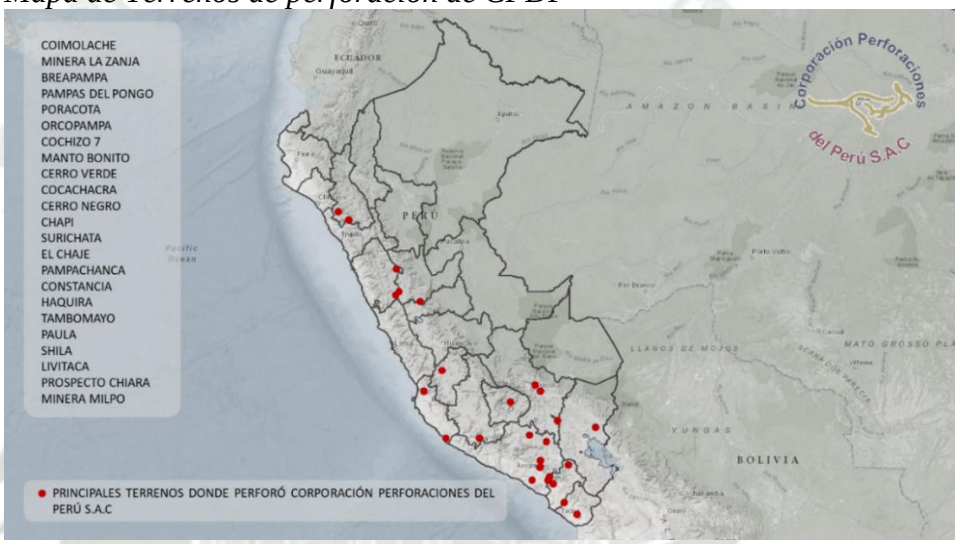
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

cabe recalcar que en el caso de la obtención de repuestos u otro tipo de adquisición debido al mantenimiento correctivo de la perforadora se tuvieron bastantes problemas, principalmente por la falta de comunicación entre el área de operación con el área administrativa (señal) además del tiempo de envió de la central de Arequipa hasta el lugar de operación donde se acumulaban más horas muertas de trabajo.

Para poder tener una mejor perspectiva de los terrenos donde trabajó CPDP se realizó un mapa en donde se visualiza los puntos de operación de esta empresa:

Figura 6.
Mapa de Terrenos de perforación de CPDP



Nota: Extraído de INGEMMET – Edición propia

2.2.4. Tamaño de empresa

Otro dato muy relevante para realizar un plan de mantenimiento a una empresa son los recursos que obtiene respecto a los servicios que ofrece, en este caso se tiene que hablar de la forma de facturación que tiene CPDP.

Corporación Perforaciones del Perú y la mayoría de empresas que se dedican a la perforación diamantina tienen un estilo de cobranza distinto a otro tipo de servicios, estas compañías trabajan por proyectos, y dentro de los proyectos la cobranza a los clientes es por metros de perforación que va variando el precio cada 100 metros de profundidad, se estima que por los primeros metros de perforación la cobranza es de un aproximado de 110.00 USD y puede llegar a variar hasta 270.00 USD por el metro de perforación dependiendo de la profundidad y por el diámetro de muestra.

Esta varianza de precio se debe a que mientras más profunda sea la perforación demanda mayor tiempo para la extracción del testigo además de que la máquina perforadora utiliza aumento de potencia debido al torque que aumenta por la profundidad lo que exige

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

más cantidad de combustible; por otro lado, hay cargos adicionales de cobranza como es la movilización y desmovilización de la perforadora junto a sus accesorios de perforación de la central de la empresa hacia la zona de operación y viceversa que varía dependiendo de la dificultad de movilización, otros cargos serían los aditivos que se requieran para facilitar la perforación, esto depende del terreno a perforar.

Sabiendo el tipo de facturación de CPDP se tiene en cuenta que sus ganancias no son lineales y varían dependiendo de los metros de perforación que alcance cada maquinaria además del gasto de accesorios de perforación como las brocas, remichell, tubos HQ, NQ, etc. Por ello en el caso que la máquina se encuentre parada por problemas mecánicos u otros, se estaría perdiendo utilidades porque durante ese tiempo muerto no se llega a facturar, además de que se pueda dar el caso de atascamiento de tubería en lo cual comprometería bastantes accesorios de perforación.

Para tener una idea más clara se tomó como ejemplo un año de facturación de la empresa Corporación Perforaciones del Perú S.A.C., en este caso el año 2011 debido que en esta temporada se empezó con ocho proyectos en enero y se finalizó con siete proyectos en diciembre del mismo año, se escogió el 2011 debido a que la empresa no varió mucho la cantidad de proyectos que tuvo lo cual ayudara a que se pueda tomar una vista más objetiva sobre sus ganancias.

En este año CPDP tuvo un ingreso bruto de 9,753,048.41 USD en donde se podrá observar en el siguiente cuadro una variedad de ganancias en los distintos meses.

Figura 7.
Ganancias de CPDP en el año 2011



GANANCIAS BRUTAS - 2011	
ENERO	$ 662,545.65
FEBRERO	$ 478,811.14
MARZO	$ 340,098.01
ABRIL	$ 348,823.10
MAYO	$ 742,897.38
JUNIO	$ 549,992.78
JULIO	$ 121,398.40
AGOSTO	$ 891,720.77
SETIEMBRE	$ 880,017.31
OCTUBRE	$ 1,586,092.53
NOVIEMBRE	$ 1,471,086.08
DICIEMBRE	$ 1,679,565.26

Nota: Elaboración propia

Como se pudo observar en el anterior cuadro hay una gran diferencia de ganancias por mes, esta variación como ya se mencionó antes es directamente proporcional a la cantidad de metros perforados que va de la mano con la confiabilidad de cada máquina

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

perforadora que estuvo trabajando durante ese año, esto quiere decir que no se obtuvo un buen plan de mantenimiento, el cual como se puede visualizar afectó bastante a la empresa en Julio del año 2011 teniendo una mínima ganancia de 121,398.40 USD, donde el gerente general informo que durante ese mes 4 perforadoras tuvieron problemas mecánicos durante ese mes.

2.2.5. Organigrama

Otro punto a considerar es la organización que tiene la empresa con respecto a cada proyecto que tienen, en este caso CPDP tiene dos áreas, el área administrativa y el área operativa, en el área administrativa se cuenta con la oficina central donde está el sector de logística que se encarga fundamentalmente de la compra de repuestos y servicios que requiera la máquina perforadora, por otro lado, está el área de operación en donde se cuenta con un ingeniero residente por perforadora que usualmente es un ingeniero geólogo que se encarga de las valorizaciones del proyecto junto a su flota de trabajadores, entre ellos está el logístico residente (en el caso que se requiera) que se encarga de hacer contacto y realizar todo tipo de costos que requiera el personal como vivienda, pensión alimenticia, etc.

Otro cargo que tiene el logístico es la búsqueda de un punto de suministro de combustible cercano (gasolineras) y tiendas de repuestos más que todo hidráulicos para no tener la necesidad de suministrarse de la central que se encuentra en Arequipa, otro personal es el ingeniero de seguridad, el encargado del suministro de EPP’s, la protección del personal, los SCTRS, el cuidado del medio ambiente, etc.

Como ultimo está el supervisor que es el que está encargado de la operación de la máquina perforadora, usualmente el puesto lo lleva un perforista con más de 5 años de experiencia y con conocimientos mecánicos, este está encargado de alertar algún tipo de avería o de desperfecto como el derrame de aceite hidráulico a los mecánicos hidráulicos especialistas para que asistan a la localidad para su debido mantenimiento, también el supervisor es el que se encarga de dirigir los tres grupos de operación que se tiene, el cual cuenta con un perforista y dos ayudantes por turno. Cabe recalcar que la máquina perforadora trabaja 24/7, esto quiere decir que opera tanto en la mañana como en la noche, lo cual propicia que se generen más averías por su rendimiento constante, junto a esto se da el régimen que es de 20x10, como se cuenta con 3 turnos distintos, un turno trabaja de día, otro de noche y el otro descansa y se va rotando el turno por cada 10 días.

En el caso de algún tipo de mantenimiento se para la operación de la máquina por temas de seguridad tanto para el personal, la máquina y/o el medio ambiente, hasta la llegada

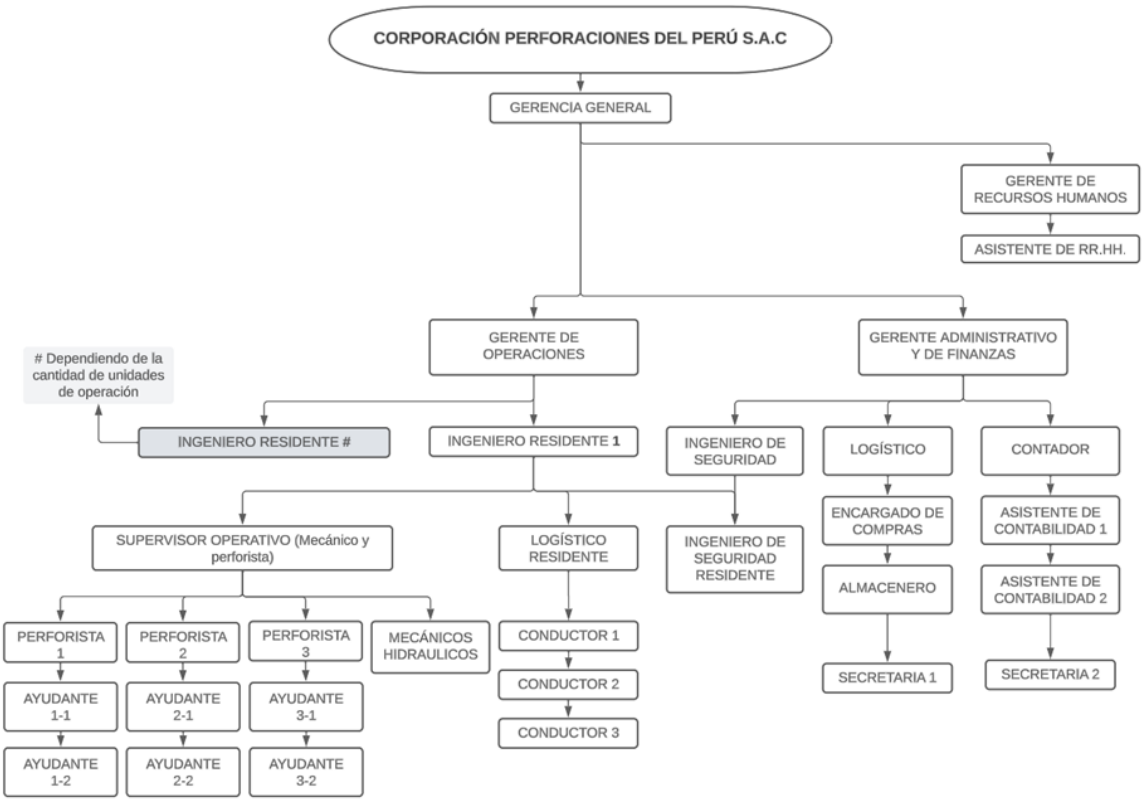
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

de los mecánicos especialistas, los cuales se demoran máximo medio día en la llegada al campo de acción, en donde mientras realizan los diagnósticos de fallo y el desmontaje de un componente de la máquina se genera la orden de compra para los repuestos requeridos.

A continuación, se presenta el organigrama de Corporación perforaciones del Perú S.A.C. para una vista más general de los cargos que se tiene.

Figura 8.
Organigrama de CPDP



Nota: Extraído de Corporación Perforaciones del Perú S.A.C.

2.2.6. Principales equipos de perforación que dispone

Un aspecto muy distintivo de CPDP con su competencia son sus equipos de perforación, esto se debe a que aparte de tener maquinaria australiana, esta empresa crea sus propias perforadoras según las necesidades que se ha requerido por parte de sus clientes, a estas perforadoras diamantina se les generó un código por la empresa que es "PDP" proveniente de las siglas Perforaciones del Perú, al saber esta información en algunas ocasiones se tiene mucha dificultad en encontrar algún tipo de repuesto para partes específicas de cada perforadora, sin embargo, se cuenta con mecánicos especialistas que han diseñado e implementado cada máquina y ya saben perfectamente la avería que pueden o no tener en el caso de algún mantenimiento correctivo que se pueda presentar.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 3.
Equipos que dispone CPDP

EQUIPOS	CAPACIDAD DE PERFORACIÓN POR DIÁMETRO			
	PQ 114.3 mm	HQ 88.9 mm	NQ 69.9 mm	BQ 55.6 mm
UDR 650	600	1300	2200	-
UDR 657	450	850	1500	-
PDP 300	550	1200	2000	-
PDP 250	450	850	1500	-
PDP 200-I	200	600	1200	-
PDP 200-II	350	700	1400	-
PDP 200-III	350	700	1400	-
PDP 200-IV	200	600	1200	-
PDP 100	100	300	600	1200
PDP 70	-	250	400	750
LY 44	-	400	800	1400
DIAMEC 282	-	250	600	1200

Nota: Elaboración propia

2.2.7. UDR-650

En este caso, se escogió la UDR-650 porque es la perforadora que tiene menos cambios de especificaciones respecto a la obtención de la misma (menos mantenimientos Over Haull), por otro lado, otra causa del estudio de esta perforadora es que se llevó a cabo un seguimiento de las ganancias y pérdidas durante su operación durante el inicio y cierre de un proyecto que se efectuó desde noviembre del 2024 hasta mayo del 2025 en donde se tomará de ejemplo para el estudio de reducción de gastos con y sin el plan de mantenimiento con los prototipos IoT.

Para saber más sobre la máquina a la que va dirigida este plan de mantenimiento se debe tener en cuenta las especificaciones que esta tiene, desde la misma estructura que esta contiene contando el camión que lleva la misma máquina hasta el motor y bombas que dispone para el desempeño que van dirigidas, como la circulación de lodos como la refrigeración del área de perforación para que la broca que contenga no se fatigue herméticamente y termine quemada.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 4.
Especificaciones técnicas de la UDR-650

UNIVERSAL DRILL RIGS 650

MOTOR DIESEL	:	Cummins BTC
		260 HP @ 2.100 RPM
Camión	:	VOLVO F12
		Ejes 8x4
Mástil	:	Ángulos de trabajo desde la vertical a 45° - 11.5 m
		Cilindros hidráulicos de levante de mástil con válvulas contra balance instaladas como estándar de seguridad
Cabezal Rotación	:	Doble Velocidad, Manual Alta/Baja cambio de engranaje
		Eje flotante DI: 70 mm – 3 ½" API IF macho
Desplazamiento Cabezal	:	Carrera cabezal 6.5 m
		Empuje 78 kN (17.500 Lbf)
		Levante 209 kN (47.000 Lbf)
Huinche Principal	:	Max velocidad 75 m/min (246 ft/min/)
		Limitador de Carrera para evitar una barra en el tambor
Huinche Wireline	:	Capacidad 2.600 m (8.530 ft) de 6 mm (¼") cable
		Max levante promedio, de tambor lleno a vacío 16,4 kN (3.680 Lbf)
		Max velocidad promedio, de tambor lleno a vacío 7 m/s (23 ft/s)
		Con motorín incluido
Panel de Control	:	Diseño con distribución sencilla con manómetros y tacómetros
		Controles principales bloqueables
		Fácil acceso para mantención y reparación
Hidráulica	:	Bomba principal Parker 145 cc pistones
		Bomba secundaria Parker 105 cc pistones
		Estanque Hidráulico 120 GAL
Bomba de Agua	:	140 l/min @ 7.000 kPa
		(37 gal/min @ 1.000 psi)
Dimensiones	:	Ancho Plataforma 2.200 mm (8 ft 2 in)
		Largo Perforadora 8.000 mm (39 ft 6 in)
		Altura Total 4.600 mm (5 ft 1 in)
		Largo Mástil 11.500 mm (33 ft 2 in)
		Peso 32.000 kg (70.548 lb)
Capacidad	:	PQ - 600.00 metros
		HQ - 1200.00 metros
		NQ - 1800.00 metros
Mordazas	:	PQ, HQ y NQ

El rendimiento del equipo está directamente relacionado con las condiciones que se encuentran en campo.

Nota: Extraído de Corporación Perforaciones del Perú S.A.C.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 9.
Máquina Perforadora Diamantina UDR-650



Nota: Extraído de Corporación Perforaciones del Perú S.A.C.

2.3. Mantenimiento

Por parte del mantenimiento se entiende como la disciplina dedicada a mantener las máquinas y equipos en buen estado de funcionamiento, asegurando que puedan operar de manera eficiente y segura. Esto incluye una variedad de actividades, como servicios rutinarios, pruebas, inspecciones, ajustes, reemplazos de piezas, reinstalaciones, calibraciones, reparaciones y en el caso sea necesario reconstrucciones completas. El objetivo del mantenimiento es prevenir fallas, prolongar la vida útil de los equipos y garantizar que las operaciones se realicen sin interrupciones innecesarias. Se fundamenta principalmente en el desarrollo de conceptos, criterios y técnicas necesarias para el mantenimiento, ofreciendo una guía de políticas o criterios para la toma de decisiones en la gestión y aplicación de programas de mantenimiento (Arroyo & Obando, 2022). Este conjunto de actividades tiene como objetivo mantener o recuperar un equipo o sistema para que opere de forma segura y cumpla correctamente con la función que se le ha asignado, de esta manera, las acciones comprenden una combinación de procedimientos técnicos, tareas administrativas y estrategias de gestión orientadas a garantizar su correcto desempeño. En síntesis, "el mantenimiento consiste en un conjunto de acciones orientadas a prolongar el funcionamiento continuo de los equipos, reducir los costos en la producción, extender la vida útil de los equipos y evitar pérdidas por paradas imprevistas, además de garantizar una producción de mayor calidad". (Vera & Torres, 2021)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.3.1. Objetivo del mantenimiento

Según Sánchez et al. (2016) el objetivo fundamental del mantenimiento es asegurar que la producción requerida se realice en el momento adecuado y con el menor costo posible. Esto implica varios aspectos clave como:

I. Asegurar la máxima productividad manteniendo la disponibilidad de los equipos para así poder cumplir con los objetivos establecidos planteados.
II. Minimizar al máximo las fallas para reducir los costos asociados a las tareas de mantenimiento.
III. Optimizar el consumo energético mediante el adecuado funcionamiento de los distintos sistemas, subsistemas y componentes de todo tipo de máquina.
IV. Proteger el entorno ambiental garantizando la hermeticidad y eficiencia de los diversos sistemas.
V. Asegurarse de que los mecanismos de seguridad funcionen correctamente, de manera que se proteja tanto la integridad del personal como de los equipos.

El mantenimiento juega un papel muy importante, no solo para aumentar la producción y reducir costos, sino también para mantener la eficiencia energética, cuidar el medio ambiente y garantizar la seguridad del personal a cargo y de los equipos que están en funcionamiento.

2.3.2. Indicadores de Gestión de Mantenimiento

El mantenimiento se define como el conjunto de trámites necesarios para resolver un determinado asunto, y juega un papel crucial en la dirección administrativa de una empresa o negocio (Estrella, Segura, & Sandoval, 2023).

A. Gestión de la Producción

La gestión de la producción puede entenderse como un conjunto de métodos y técnicas administrativas orientadas a mejorar la productividad de una organización, en este sentido, su propósito principal se centra en planificar, organizar, ejecutar y supervisar los diferentes procesos involucrados, buscando así alcanzar la mayor eficiencia posible y garantizar productos de alta calidad. En este contexto, la propuesta de gestión del mantenimiento está directamente relacionada con la producción, es decir, con el avance tangible de los proyectos (Estrella, Segura, & Sandoval, 2023).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

B. Gestión del Mantenimiento

La gestión del mantenimiento se concibe como un conjunto de actividades fundamentales orientadas a aplicar políticas de mantenimiento definidas dentro de una organización productiva, teniendo siempre un propósito claramente establecido, de esta manera, este enfoque adapta la manera en que la empresa interpreta la función del mantenimiento, considerándolo un elemento operativo clave para el buen desempeño de estos procesos, así la gestión del mantenimiento se traduce en diversas modalidades de intervención, que pueden ser correctivas, preventivas, sintomáticas, entre otras, así como en la estructura general que guiará la ejecución de estas intervenciones.

En la actualidad, debido a las demandas del mercado, el enfoque del mantenimiento está en un estado de transformación. Los productos deben ser elaborados con altos estándares de excelencia, lo que implica que no se puede permitir que el mantenimiento opere sin cumplir con estas exigencias, dado que es un apoyo vital para el área de producción. Por lo tanto, las empresas enfrentan el desafío de mejorar sus prácticas de gestión del mantenimiento para asegurar su sostenibilidad a largo plazo (Estrella, Segura, & Sandoval, 2023).

C. Indicadores de Gestión para el Mantenimiento

El objetivo principal del área de mantenimiento consiste en asegurar que los equipos y sistemas funcionen con confiabilidad, resulten sencillos de mantener y estén operativos en el momento en que se necesiten, contribuyendo directamente a la eficiencia de la producción, para poder alcanzar este propósito, se emplean también diversos indicadores secundarios que permiten evaluar, interpretar y anticipar el rendimiento de las actividades de mantenimiento, gracias a estos parámetros, es posible optimizar la toma de decisiones y promover mejoras continuas en los procesos internos de la organización. Los indicadores son herramientas que nos permiten medir, tanto desde una perspectiva técnica como en términos de costos, la efectividad de las actividades de mantenimiento (Estrella, Segura, & Sandoval, 2023).

a. Disponibilidad

La disponibilidad se refiere a la probabilidad de que un equipo esté en condiciones óptimas para operar de manera eficiente en el momento en que se requiera, una vez iniciado su funcionamiento, este concepto se aplica bajo parámetros normales de trabajo e involucra diversos factores relacionados con el tiempo, como las horas efectivas de operación, los periodos dedicados a reparación, los lapsos de inactividad, las tareas de mantenimiento preventivo (cuando corresponden) y las actividades administrativas o logísticas que influyen en su desempeño. Por otro lado, la disponibilidad representa un indicador clave para la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

gestión operativa, ya que permite evaluar el rendimiento de los equipos y facilita la toma de decisiones cuando se debe elegir entre diferentes alternativas, en este caso para realizar una elección adecuada, es necesario contar con información integral que considere no solo las especificaciones técnicas, sino también la disponibilidad, la cual ofrece una perspectiva más completa sobre la capacidad y confiabilidad del mismo equipo, tendiendo en cuenta lo antes mencionado, este indicador es fundamental para el estudio de las fallas y del tiempo invertido en reparaciones, convirtiéndose además en un parámetro de referencia importante para el diseño y la mejora de sistemas, al contribuir directamente a su eficiencia y continuidad operativa.

$$D = \frac{H_{programada} - H_{parada}}{H_{programada}} x100\%$$

Nota: Uribe (2020)

b. Tipos de Disponibilidad

Existen tres categorías principales de disponibilidad:

- Disponibilidad Inherente (Ai):

Se refiere al nivel de disponibilidad esperado de un equipo considerando únicamente su desempeño bajo mantenimiento correctivo, este indicador depende directamente del diseño y la calidad de fabricación del equipo, ya que estos factores determinan qué tan fácil y rápido puede ser reparado cuando ocurre una falla, por ende, este tipo de disponibilidad se considera en un escenario ideal, en el que siempre se cuenta con repuestos y personal calificado disponibles de manera inmediata, sin tiempos de espera ni retrasos por temas logísticos o administrativos.

- Disponibilidad Alcanzable (Aa):

Como lo dice su nombre, es el nivel esperado de disponibilidad que se obtiene considerando tanto las actividades de mantenimiento correctivo como las de mantenimiento preventivo; este tipo de disponibilidad depende no solo del diseño del equipo, sino también del diseño y la organización general de la planta, lo que influye directamente en la facilidad para realizar inspecciones, reparaciones y tareas de prevención, a su vez, hay que recalcar que al igual que la disponibilidad inherente, se asume un escenario ideal donde siempre se cuenta con repuestos, herramientas y personal calificado de forma inmediata, sin retrasos por problemas logísticos o administrativos.

- Disponibilidad Operacional (Ao):

Finalmente, la disponibilidad operacional es el indicador más representativo, ya que refleja la disponibilidad real de los equipos durante las operaciones diarias de una planta. A

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

diferencia de otros tipos de disponibilidad que se basan en condiciones ideales, este concepto toma en cuenta todos los factores que afectan directamente el desempeño, como retrasos por falta de repuestos, tiempos de espera por parte del personal, fallas imprevistas y procesos administrativos, por otro lado, muestra de manera clara el nivel de recursos que la organización destina al mantenimiento y la efectividad con la que estos se gestionan.

c. Fiabilidad

La fiabilidad se refiere a la probabilidad de que un equipo cumpla adecuadamente sus responsabilidades para las cuales fue creado, durante un tiempo determinado y bajo unas condiciones operativas ya establecidas. El análisis de fallas es otra medida del rendimiento de los componentes, subsistemas o sistemas, utilizando lo que se conoce como la tasa de fallas. La media de tiempos entre fallas (MTBF) es un indicador clave de la fiabilidad de un equipo, este valor cuantifica el tiempo promedio durante el cual un equipo puede operar a plena capacidad sin interrupciones dentro de un periodo determinado.

$$D = \frac{H_{programada} - H_{parada}(por\ mantenimiento\ no\ programado)}{H_{programada}}$$

Nota: Uribe (2020)

d. Tiempo Medio Entre Paradas (TMEP)

El tiempo medio entre paradas se refiere al tiempo promedio que transcurre entre dos interrupciones de mantenimiento. Para calcularlo, se requiere el total de horas del periodo en el numerador y el número de paradas en el denominador.

$$TMEP = \frac{H_{programada}}{Número\ de\ paradas}$$

Nota: (D'Addario, 2015).

e. Tiempo Medio Hasta Puesta en Marcha (TMPM)

El tiempo medio hasta la puesta en marcha representa el tiempo promedio que duran las diversas paradas ocurridas durante el periodo y el ítem analizado

$$TMPM = \frac{H_{totales\ de\ paradas}}{Número\ de\ paradas}$$

Nota: (D'Addario, 2015).

2.3.3. Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo tiene como principal objetivo conocer y proporcionar información constante sobre el estado y funcionalidad de las instalaciones, a través del monitoreo de variables clave que reflejan su condición operativa. Para llevar a cabo este tipo de mantenimiento, es fundamental identificar ciertas variables físicas, como la temperatura,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

las vibraciones o el consumo energético, cuyo comportamiento pueda indicar la presencia de problemas emergentes en los equipos (Zambrano & Pérez, 2021). Este es el enfoque más tecnológico dentro del mantenimiento, ya que requiere herramientas avanzadas y, en muchos casos, conocimientos especializados en áreas como matemáticas, física y técnicas de ingeniería (D'Addario, 2015).

2.3.3.1. Ventajas del mantenimiento predictivo:

- Mayor fiabilidad, ya que utiliza instrumentos precisos y personal especializado, lo que asegura resultados más exactos.
- Requiere menos personal, lo que reduce los costos laborales y de contratación, aunque puede tener desventajas que deben considerarse.
- Prolonga la duración de los repuestos, ya que las revisiones se basan en datos precisos, permitiendo que los repuestos duren exactamente lo necesario.

2.3.3.2. Desventajas del mantenimiento predictivo:

- Siempre se requiere programar reparaciones, ya que incluso si surge una necesidad urgente, puede ser necesario esperar hasta la siguiente revisión programada.
- Se necesitan equipos especializados y costosos para medir con precisión, lo que implica una inversión significativa en tecnología.
- Aunque se necesita menos personal, este debe ser altamente calificado, lo que incrementa los costos y, en algunos casos, reduce la disponibilidad de talento especializado en ciertas áreas.
- La incorporación, en especial de este tipo de mantenimiento es costosa, debido a los frecuentes paros de las máquinas para inspecciones. Si se suman los costos de cada revisión, el monto total puede ser considerablemente elevado

2.3.4. Costo de mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo es el más costoso de implementar debido a su dependencia de tecnologías avanzadas, equipos de medición de alta precisión y personal altamente capacitado. Esta modalidad requiere una inversión considerable en infraestructura tecnológica para darle seguimiento continuamente a variables críticas como la vibración, temperatura, o consumo de energía, que permiten predecir cuándo es probable que se produzca una avería. A pesar de su elevado costo de implementación, este tipo de mantenimiento puede generar ahorros significativos a largo plazo al reducir al mínimo las paradas no planificadas, prolongar la vida útil de los equipos y disminuir el gasto en repuestos mediante intervenciones más precisas. (D'Addario, 2015)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.3.5. Técnicas más usadas en el mantenimiento predictivo

2.3.5.1. Análisis de vibraciones

En el análisis de vibraciones, se reconoce que todas las máquinas producen cierto nivel de vibración durante su operación, lo cual resulta normal siempre que se mantenga dentro de un rango establecido, no obstante, cuando ocurre una falla, ese nivel de vibración se modifica, lo que indica que el equipo presenta un comportamiento anómalo y requiere una inspección inmediata, esto sucede porque existe una relación directa entre las vibraciones y las fallas, ya que cada máquina posee una "firma" o patrón de vibración propio en condiciones normales, similar a cómo un electrocardiograma refleja el estado de salud de una persona, en este caso, cuando aparece una falla, el comportamiento dinámico del equipo se altera, generando un cambio en su curva de vibración, por esta razón, es indispensable disponer de información específica sobre la máquina, como su velocidad de rotación, el tipo de cojinetes, las correas utilizadas y la cantidad de álabes o palas, con estos datos, es posible determinar qué equipo requiere revisión y seleccionar el instrumento de análisis más adecuado para su diagnóstico. Así, el nivel de vibración se convierte en un indicador del "estado de salud" del equipo, sirviendo como un índice útil para predecir posibles fallas. Interpretar las señales de vibración permite identificar tanto la ubicación como el tipo de falla presente, basándose en los niveles de tolerancia establecidos por el fabricante o las normas técnicas correspondientes (Sánchez A. , 2017).

2.3.5.2. Análisis de termografía

Esta técnica permite monitorear la temperatura de los equipos para confirmar que operen dentro de los parámetros adecuados, brindando la posibilidad de conocer su estado y detectar fallas potenciales sin detener la producción ni intervenir directamente en los componentes, a su vez, ofrece resultados rápidos, ya que cualquier desviación mínima respecto a la temperatura establecida por el fabricante puede evidenciar un problema en el sistema, cabe recalcar que este tipo de medición demanda personal con formación técnica y el uso de equipos especializados, motivo por el cual muchas empresas recurren a servicios externos para llevarla a cabo, hoy en día, gracias a los avances tecnológicos, existen dispositivos capaces de captar la radiación infrarroja (que es imperceptible para el ojo humano) y transformarla en imágenes térmicas visibles, lo que facilita la identificación y diagnóstico de anomalías en los equipos. Es crucial establecer rutinas de recolección de datos y analizar la información proporcionada por estas mediciones para un mantenimiento eficaz (Sánchez A. , 2017).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.3.5.3. Análisis por ultrasonido

Este método de inspección no destructiva se fundamenta en el uso de la impedancia acústica, entendida como el resultado de multiplicar la velocidad de propagación del sonido por la densidad del material, para identificar posibles fallas en los equipos, principalmente su funcionamiento se basa en el análisis de las ondas sonoras generadas durante la operación de la maquinaria, donde la presencia de frecuencias inusualmente altas puede indicar una anomalía, teniendo en cuenta que el oído humano solo puede captar sonidos dentro del rango de 20 Hz a 20 kHz, las vibraciones ultrasónicas (que superan ese límite) son registradas mediante instrumentos especializados, los cuales a su vez, transforman las ondas detectadas en señales audibles o en representaciones visuales que permiten interpretar el estado del equipo con mayor precisión. Estas ondas de ultrasonido, aunque de corta longitud, permiten una rápida identificación de fallas al destacar en ambientes ruidosos, además, el análisis de la propagación de las ondas en los componentes de la máquina permite evaluar discontinuidades, ya que la resistencia al paso de las ondas, o impedancia acústica, revela detalles sobre el estado de cada pieza (Sánchez A. , 2017).

2.3.5.4. Análisis de aceite

En el análisis de aceite, este lubricante cumple una función esencial dentro del sistema mecánico, ya que protege las piezas contra el desgaste, regula la temperatura y contribuye a mantener el equipo libre de impurezas al eliminar residuos, por esta razón, el análisis de aceite se considera una técnica de mantenimiento predictivo, pues evalúa sus características físicas y químicas con el fin de detectar signos de contaminación o deterioro, así de esta manera, permite obtener información valiosa sobre el estado operativo de la máquina y anticiparse a posibles fallas antes de que estas se presenten. El nivel de contaminación del aceite, relacionado con la presencia de partículas de desgaste y sustancias extrañas, es un indicador clave del estado de la máquina, especialmente en equipos de producción que requieren condiciones óptimas de lubricación para evitar daños y garantizar su rendimiento (Sánchez A. , 2017).

2.4. Tecnología de la industria 4.0

La Industria 4.0 supone una transformación integral en la forma en que se desarrollan los procesos industriales y productivos, pues se basa en la digitalización de la información y en la incorporación de sistemas inteligentes capaces de comunicarse entre sí de manera continua, de manera que la conectividad y el intercambio de datos se convierten en elementos

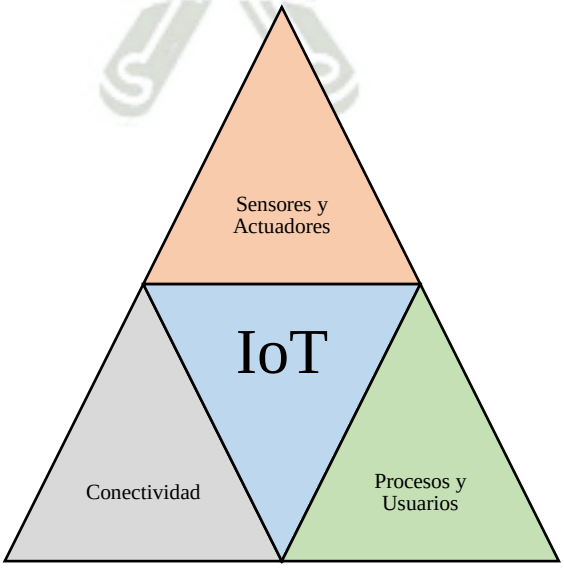
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

centrales de esta nueva etapa tecnológica; en este escenario, el Internet de las Cosas (IoT) se posiciona como uno de los pilares esenciales y constituye el punto focal de esta investigación, ya que su aplicación permite interconectar sensores, actuadores, equipos y plataformas de control, con el propósito de que estos dispositivos generen, compartan y procesen información en tiempo real a través de redes de comunicación bidireccionales, lo cual favorece la automatización de tareas, la supervisión remota de operaciones y la mejora continua de la eficiencia productiva. El IoT permite que distintos tipos de sensores se integren a objetos físicos para medir variables como temperatura, presión, movimiento y más. La información que se recopila se envía a plataformas digitales, normalmente en la nube, donde se puede almacenar, analizar y usar para tomar decisiones, ya sea de forma automática o con asistencia. Esta capacidad de recolectar y procesar datos de manera continua hace que el IoT sea un servicio muy versátil, con aplicaciones en áreas tan variadas como la manufactura, la salud, la energía, la logística y la gestión de ciudades.

A través de esta infraestructura tecnológica, se mejora sustancialmente la eficiencia operativa, se facilita el mantenimiento predictivo, y se optimiza el uso de recursos mediante procesos autónomos y conectados. En consecuencia, el IoT no solo transforma los flujos de trabajo tradicionales, sino que redefine la interacción entre los sistemas técnicos y los usuarios humanos, fomentando entornos inteligentes, adaptativos y con una alta capacidad de respuesta. Por tanto, esta investigación adopta el enfoque del Internet de las Cosas como base conceptual para analizar las posibilidades de automatización, monitoreo y control en tiempo real dentro del marco de la Industria 4.0 (Salazar & Silvestre, 2018).

Figura 10.
Concepto de Tecnología de la industria 4.0



Nota: (Salazar & Silvestre, 2018).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

En la actualidad, muchos dispositivos cotidianos, como electrodomésticos del hogar entre ellos los refrigeradores, televisores y otros, ya incluyen funciones avanzadas de comunicación y detección que les permiten interactuar con su entorno y con los usuarios. Esta tecnología continuará evolucionando a medida que se integren sistemas de comunicación más inteligentes y sensores más precisos, ampliando la manera en que los dispositivos perciben y responden a la información.

Gracias a esta evolución, los dispositivos no solo podrán conectarse entre sí, sino también ofrecer una interacción más eficiente y personalizada con las personas, mejorando la experiencia de uso y facilitando tareas diarias. Con el desarrollo de estas tecnologías, es probable que los electrodomésticos y otros objetos del hogar se conviertan en elementos fundamentales de un ecosistema más amplio, donde la automatización, el intercambio de datos y la toma de decisiones asistida o automática se vuelvan parte de la vida cotidiana.

En este contexto, el futuro de los dispositivos del hogar parece prometedor, ya que la comunicación inteligente y las herramientas de detección avanzada abrirán la puerta a nuevas posibilidades en términos de comodidad, eficiencia energética y gestión del hogar. Esto transformará la manera en que los usuarios interactúan con la tecnología diaria, ofreciendo soluciones que se adapten a sus necesidades y preferencias. En resumen, la incorporación de estas capacidades no solo mejorará la funcionalidad de los dispositivos, sino que también transformará el entorno doméstico en uno más conectado e inteligente (Salazar & Silvestre, 2018).

Tabla 5.

Capacidades inteligentes en el sistema Tecnología de la industria 4.0

Capacidades inteligentes conectados	
Monitorización	Entorno externo Condición del producto
Control	Controlar las funciones del producto Programación
Optimización	Diagnóstico predictivo Reducción de costos
Autonomía	Mejora autónoma Autodiagnóstico y reparación
Proceso de toma eficiente	Datos en tiempo real para toma de decisiones

Nota: (Salazar & Silvestre, 2018).

La Industria 4.0 se organiza en cuatro capas principales, que son la de detección de objetos, intercambio de datos, integración de la información y servicios o aplicaciones, y cada una cumple un papel importante dentro del sistema, se debe de considerar que aunque los dispositivos inteligentes ya pueden conectarse a Internet por sí solos, la Industria 4.0

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

agrega una capa de detección para aligerar el trabajo de estos equipos y mejorar su conexión entre sí, de modo que los sensores y actuadores puedan recoger datos del entorno, transmitirlos y organizarlos para que luego los sistemas y aplicaciones los utilicen en la toma de decisiones y en la optimización de los procesos industriales, teniendo en cuenta esto, los sensores que obtienen la información se comunican entre ellos o con los usuarios por medio de la capa de integración de la información, que se encarga de manejar toda la comunicación y las operaciones internas, sin embargo, a medida que aparecen nuevas necesidades en el manejo, filtrado e intercambio de datos, también surge la creación de servicios enfocados en el usuario, lo que hace que la arquitectura del sistema se vuelva cada vez más avanzada y compleja.

Por otra parte, las tecnologías basadas en la nube están teniendo un crecimiento muy rápido, pues dentro del entorno de la Industria 4.0 se están desarrollando nuevas plataformas digitales que combinan infraestructura, servicios y aplicaciones inteligentes, con el propósito de mejorar el acceso, almacenamiento y gestión de la información industrial. Gracias a este enfoque, es posible diseñar soluciones más eficientes e innovadoras, que ofrecen un mejor rendimiento y aportan un mayor valor a las operaciones, al mismo tiempo que ayudan a reducir los costos asociados a la recopilación y análisis de datos provenientes de otros servicios. Además, esta evolución genera la oportunidad de crear nuevas fuentes de ingreso y favorece modelos de negocio sostenibles, capaces de adaptarse a las necesidades cambiantes del sector productivo (Salazar & Silvestre, 2018).

Tabla 6.
Arquitectura de la Tecnología de la industria 4.0

Arquitectura de la Tecnología de la industria 4.0	
Capa de detección	Sensores, objetos físicos y obtención de datos
Capa de Intercambio de Datos	Transmisión mediante redes de comunicación
Capa de Integración de la información	Información proporcionada por redes, filtración de datos no deseados e integración de datos útiles para usuarios finales
Capa de servicio de aplicación	Brinda servicios de contenido a los usuarios

Nota: (Salazar & Silvestre, 2018).

2.4.1. Principios para una red Tecnología de la industria 4.0

Las redes de comunicación se pueden entender como la conexión e integración de sensores que están ubicados en diferentes lugares, los cuales se conectan a Internet para recopilar y procesar datos de manera remota, lo cual permite su uso en diversos sectores como el medio ambiente, la industria, la medicina y el transporte (Kumar, 2019). En este

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

contexto, las tecnologías relacionadas con la Industria 4.0 han avanzado significativamente, dando lugar a nuevos productos y soluciones inteligentes, entre ellos, encontramos sistemas automatizados para el hogar y herramientas digitales centradas en la salud, que no solo mejoran la calidad de vida, sino que también optimizan los recursos disponibles, asimismo, en el ámbito industrial, se han desarrollado tecnologías más sofisticadas relacionadas con la instrumentación y el control de sensores, que se integran directamente en el marco de la Industria 4.0, lo cual permite la interconexión de equipos, la recopilación continua de información y el análisis de los datos obtenidos, todo con el fin de aumentar la eficiencia operativa y optimizar los procesos de producción. (Iberdrola, 2021)

Principios fundamentales para una red de comunicaciones de la tecnología de la industria 4.0:

- Transmisión de datos a altas velocidades.
- Intervalos de transmisión más cortos o controlados.
- Capacidad de movilidad con servicios de localización precisos.
- Conexiones seguras y bidireccionales.
- Consumo de energía bajo.
- Cobertura de comunicación de alto alcance.

Tabla 7.
Redes de comunicación para Tecnología de la industria 4.0

Tecnología	Consumo	Alcance	Madurez	Disponibilidad	Seguridad	Usabilidad	Tasa de datos
GSM/GPRS	Muy Alto	Alto	Muy alto	Muy alto	Alto	Alto	Alto
SigFox	Bajo	Medio	Alto	Medio	Medio	Alto	Muy Bajo
LoRa	Bajo	Medio	Bajo	Muy Bajo	N.A.	Bajo	Muy Bajo
Wifi	Alto	Bajo	Muy Alto	Alto	Bajo	Alto	Muy Bajo
BLE	Muy Bajo	Muy Bajo	Alto	Muy Bajo	Bajo	Medio	Bajo
ZigBee	Medio	Bajo	Muy Alto	Muy Bajo	Alto	Bajo	Bajo

Nota: (Arce & Pérez, 2022)

2.4.2. Uso de la nube

El término "nube" abarca sistemas de bases de datos y software que se almacenan en múltiples servidores, a los cuales se puede acceder a través de Internet (Cloudflare, 2021). Estos servidores están distribuidos en diferentes regiones del mundo, lo que permite a los

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

usuarios evitar la necesidad de mantener bases de datos y software en sus propios dispositivos.

2.4.2.1. Cloud Computing

Cada sistema basado en la nube proporciona lo que se conoce como cloud computing (o computación en la nube), que se refiere a la capacidad computacional que se ejecuta dentro de la nube (RedHat, 2022). Este tipo de servicio permite a los usuarios, ya sean empresas o individuos, acceder a softwares, almacenaje y/o procesamiento de datos de forma remota a través de Internet. Así, los usuarios pueden gestionar sus datos almacenados sin depender de servidores locales.

2.4.2.2. Modelos de Servicios en la Nube

Los servicios en la nube han facilitado que las empresas implementen sistemas de bases de datos sin tener que preocuparse por la instalación de servidores o el diseño del hardware y software en sus oficinas (Cloudflare, 2021). Como se puede visualizar en la Figura 12 se ilustran las principales funciones que podrían realizar un conjunto de servicios en la nube, que con anterioridad eran responsabilidad de cada compañía.

Hoy en día, existen tres tipos de categorías principales de servicios que pueden ser prestados en la nube:

1. **Infraestructura como Servicio (IaaS)**

Este es el modelo de servicio más básico, ya que proporciona los recursos esenciales de computación, red y almacenamiento, en este esquema, los usuarios no gestionan la infraestructura física de la nube, pero tienen acceso a ella para su uso inmediato (IBM, 2021).

2. **Plataforma como Servicio (PaaS)**

Por parte de PaaS, este ofrece a los distintos usuarios un entorno completo; esto quiere decir que el proveedor suministra los componentes de infraestructura, como sus propios servidores, máquinas virtuales, bases de datos y otro tipo de sistemas requeridos para que el usuario desarrolle sus propias aplicaciones. (IBM, 2021)

3. **Software como Servicio (SaaS)**

Este modelo se basa en que el proveedor ofrece tanto las aplicaciones como el software y la infraestructura necesaria para brindar un servicio completo, como se muestra en la Figura 11, teniendo en cuenta esto, las herramientas están alojadas en la nube, lo que permite acceder a ellas fácilmente desde un navegador web a través de una cuenta de usuario, además, también se puede acceder mediante APIs que se pueden integrar en computadoras o dispositivos móviles, facilitando su uso en diferentes entornos. Entre las principales

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

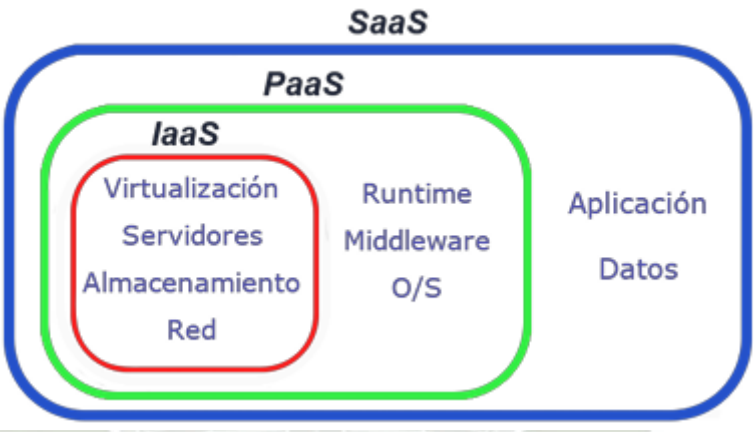
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ventajas de este enfoque se encuentran las actualizaciones automáticas, que eliminan la necesidad de instalar manualmente nuevas versiones y reducen los problemas de compatibilidad del software, optimizando así el tiempo y la eficiencia del usuario. Además, el modelo SaaS garantiza protección de datos al proporcionar copias de seguridad en caso de fallas en los dispositivos utilizados para acceder al software. (IBM, 2021)

Generalmente, el modelo SaaS ofrece un tipo de permiso del mismo software, lo cual lo vincula a una cuenta con una membresía, ya sea mensual o anual. Esta membresía permite acceder a toda la documentación del servicio y a soporte técnico, todo ello bajo un acuerdo de nivel de servicio. (RedHat, 2022)

Figura 11.
Contenido según la Nube



Nota: (Arce & Pérez, 2022)

2.4.3. Componentes estratégicos de la Industria 4.0

El paso hacia la Industria 4.0 no se limita solo a usar tecnologías digitales, si no que representa un cambio profundo en la forma en que las industrias operan y se organizan. Este cambio se basa en cinco pilares que funcionan en conjunto y que permiten que las empresas modernas sean más flexibles, resilientes y capaces de anticiparse a los problemas. Gracias a estos pilares, las industrias pueden adaptarse mejor a los cambios de su entorno, enfrentando los desafíos que se les presente con mayor fuerza y aprovechar nuevas oportunidades en un contexto altamente competitivo y en constante evolución.

2.4.3.1. Sistemas Ciberfísicos (CPS)

En el núcleo de esta revolución industrial emergen los sistemas ciberfísicos (CPS), cuya naturaleza híbrida integra de manera íntima el mundo físico y el digital. Estos sistemas consisten en una red de sensores, actuadores, dispositivos mecánicos y módulos computacionales que colaboran entre sí en tiempo real mediante algoritmos de control.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Gracias a esta simbiosis, los procesos físicos son monitoreados, ajustados y optimizados automáticamente, permitiendo respuestas adaptativas, autónomas y escalables. En entornos de manufactura avanzada o minería inteligente, los CPS representan la base técnica que posibilita una toma de decisiones descentralizada y basada en datos empíricos inmediatos (Lee, 2015).

2.4.3.2. Big Data e inteligencia artificial

A medida que se expande la implementación de sensores y dispositivos interconectados, se produce una creciente acumulación de datos provenientes del entorno industrial, los cuales pueden presentarse tanto en formatos estructurados como no estructurados, por lo que surge la necesidad de convertir esa información masiva en conocimiento aplicable a la gestión operativa; en respuesta a ello, la Industria 4.0 incorpora plataformas de Big Data, sistemas de analítica predictiva y algoritmos de inteligencia artificial, a través de los cuales se procesan grandes volúmenes de información con alta velocidad y precisión, permitiendo así la extracción de patrones significativos que facilitan la toma de decisiones estratégicas, de esta manera complementaria, la inteligencia artificial, especialmente mediante técnicas de aprendizaje automático (machine learning), posibilita la detección de correlaciones no evidentes, la predicción de fallas potenciales y la recomendación de acciones preventivas sin necesidad de supervisión humana directa, con lo cual se potencia la eficiencia de los procesos, se minimizan los tiempos improductivos asociados al mantenimiento correctivo y se promueve la evolución hacia modelos de producción más adaptativos e inteligentes.

2.4.3.3. Gemelo Digital (Digital Twin)

El concepto de *Digital Twin* introduce una nueva dimensión en la gestión de activos industriales: la existencia paralela de un modelo virtual que replica en tiempo real el comportamiento de un sistema físico. Este gemelo digital permite visualizar operaciones, detectar desviaciones, simular escenarios hipotéticos y aplicar estrategias de mejora continua sin intervenir físicamente la infraestructura. Su implementación reduce costos de experimentación, mejora la calidad del producto y fortalece la toma de decisiones con base en simulaciones precisas (Tao et al., 2019). En el caso de maquinaria pesada como perforadoras diamantinas, los gemelos digitales permiten anticipar condiciones críticas antes de que deriven en fallas operativas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.4.3.4. Ciberseguridad Industrial

La hiperconectividad que caracteriza a los entornos 4.0 amplifica los riesgos asociados a ataques cibernéticos, manipulación de datos, espionaje industrial o interrupciones maliciosas. Por esta razón, la ciberseguridad deja de ser una capa secundaria y se integra como una función transversal desde el diseño mismo de las redes. Es indispensable implementar mecanismos criptográficos robustos, protocolos de autenticación multifactorial, segmentación de redes industriales (OT vs IT) y políticas de seguridad basadas en comportamiento. La protección de la infraestructura crítica no solo asegura la continuidad operativa, sino que también resguarda la integridad de los datos que alimentan a los sistemas inteligentes (Wang, Xu & Zhang, 2020).

2.4.3.5. Interoperabilidad y Estándares

Uno de los retos más importantes para implementar de manera efectiva la Industria 4.0 es lograr que los diferentes dispositivos, sistemas y plataformas de múltiples fabricantes y tecnologías puedan comunicarse entre sí sin dificultades, ya que esta interconexión es la base para que los procesos digitales funcionen de forma coordinada, en este sentido, el uso de estándares internacionales como OPC UA (Unified Architecture) y MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), junto con marcos de referencia como RAMI 4.0 (Reference Architecture Model Industrie 4.0), resulta fundamental, pues permiten establecer una comunicación uniforme, flexible y segura entre sistemas distintos, gracias a estas normas, se consigue integrar la información a lo largo de todo el ciclo de vida del producto, lo que facilita una gestión más completa y coherente de los datos, por ende, la estandarización no solo hace posible escalar y mantener los sistemas con mayor facilidad, sino que también ayuda a reducir los costos de integración y la dependencia de tecnologías o proveedores específicos, promoviendo así un entorno industrial más colaborativo, eficiente y sostenible.

2.5. Dispositivos similares

2.5.1. Redes de sensores inalámbricos (WSN)

Una red de sensores inalámbrica (WSN) se compone de múltiples nodos sensores que están conectados entre sí para intercambiar de forma inalámbrica los datos recolectados. Esta red puede estar integrada por una cantidad de nodos que va desde unas pocas decenas hasta miles, trabajando en conjunto para monitorear un área específica y recopilar información sobre el entorno. (Escalante, 2019)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Existen dos tipos de redes inalámbricas de sensores: las estructuradas y las no estructuradas. Las redes no estructuradas comprenden una gran cantidad de nodos distribuidos de manera ad-hoc en el campo, funcionando de forma autónoma para realizar tareas de monitoreo e informes, lo cual presenta desafíos en cuanto a su mantenimiento. Por otro lado, en una red estructurada, todos o algunos de los nodos se despliegan siguiendo un plan preestablecido, lo que permite reducir el número de nodos necesarios, disminuir los costos de mantenimiento y gestión de la red, además de mejorar la cobertura. (Rueda & Talavera, 2017)

2.5.2. Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)

Un sistema SCADA consiste en un conjunto de aplicaciones de software específicamente desarrolladas para operar en computadoras que controlan la producción, permitiendo la conexión a la planta a través de comunicación digital con diversos instrumentos y actuadores, y proporcionando una interfaz gráfica avanzada para los operadores, como pantallas táctiles, ratones o lápices ópticos. (Pérez, 2015)

Inicialmente, el propósito de los sistemas SCADA era la supervisión y recopilación de datos en procesos de control. Sin embargo, en años recientes se han desarrollado y adaptado productos de hardware y buses específicos para este tipo de sistemas. La interconexión en SCADA es propia y se lleva a cabo mediante una interfaz que conecta la computadora central con la planta, formando un circuito cerrado alrededor del equipo principal de supervisión (Corella & Reyes, 2022).

El sistema se encuentra diseñado para mantener una comunicación continua con los dispositivos instalados en campo, tales como controladores programables, módulos de dosificación y equipos autónomos, de modo que sea posible automatizar los procesos operativos mediante una plataforma computacional configurable y adaptable a las necesidades del usuario, lo cual asegura un control flexible y preciso sobre las variables del sistema; además, permite que diversos usuarios accedan simultáneamente a la información generada durante el desarrollo del proceso productivo, con lo que se favorece la supervisión colaborativa, la toma de decisiones en tiempo real y la optimización de las operaciones. (Montesdeoca & Buñay, 2021)

Los sistemas SCADA son ampliamente utilizados en el control y monitoreo de oleoductos, redes de transmisión de energía eléctrica, campos de gas y petróleo, redes de distribución de gas natural y en la generación de energía, tanto convencional como nuclear (Pérez, 2015).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.5.3. Telemetría

La telemetría, en el contexto del documento proporcionado, se define como una tecnología que permite la medición y transmisión remota de datos obtenidos de sensores instalados en distintos equipos o dispositivos. Estos datos pueden incluir variables como temperatura, humedad, presión, y otros parámetros críticos en tiempo real, lo cual es esencial para aplicaciones en sectores como la agroindustria. La telemetría facilita el monitoreo y la gestión de procesos productivos sin necesidad de presencia física, lo cual es especialmente útil en entornos de difícil acceso (Valenciano, 2023).

Los sistemas de telemetría están conformados por un centro de control de operaciones (CCO) junto con un conjunto de unidades remotas, las cuales permiten la supervisión y administración de información sin requerir presencia física, asimismo, la comunicación entre estos elementos puede establecerse por diversos medios, como equipos de radio, redes móviles de tercera o cuarta generación o enlaces cableados, gracias a esta infraestructura, es posible recopilar y transmitir datos en tiempo real desde zonas geográficamente distantes hacia el CCO, lo que a su vez facilita una gestión más oportuna y decisiones mejor fundamentadas, por otra parte, esta tecnología tiene aplicaciones significativas en sectores como la gestión del agua, el monitoreo ambiental, la energía y el transporte, ya que la obtención constante de información de campo resulta esencial para optimizar procesos y mejorar la eficiencia operativa. (Angeles, 2024)

2.5.4. Sistema de control distribuidos (DCS)

Un sistema de control distribuido (DCS) es un tipo de instrumentación que incluye módulos de entrada como de salida, componentes de control y elementos de interfaz para el operador, desarrollados para elaborar acciones de control como transmisión de comandos e información. Este sistema permite que las acciones de control y los datos lleguen al operador o se envíen desde él a diferentes ubicaciones en las que se encuentran diversos elementos de la planta. La comunicación entre estos elementos se establece a través de un canal llamado vía de datos, que actúa como un puente para transmitir información en tiempo real (Aguilar & Vizcarra, 2019).

Un sistema de control distribuido (DCS) es una red compuesta por múltiples nodos autónomos, encargados de tareas como monitoreo, control, estimación o aprendizaje, y distribuidos en distintas ubicaciones geográficas. Estos nodos, que pueden incluir sensores, actuadores y controladores, se comunican entre sí mediante conexiones físicas o inalámbricas para llevar a cabo sus funciones de forma colaborativa. La versatilidad de un

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

DCS radica en que cada nodo puede asumir una tarea específica dentro de un proceso más amplio y transmitir la información necesaria a otros nodos. (Sarmiento, 2021)

La coordinación en un DCS se logra mediante algoritmos distribuidos que funcionan de forma concurrente en cada nodo, integrando tanto datos propios como información recibida de otros nodos. Sin embargo, a medida que aumenta la complejidad de la interconexión en estos sistemas, también se incrementa el riesgo de fallas, degradación y vulnerabilidades en el algoritmo de control distribuido (Gonzáles & Rodríguez, 2018).

2.6. Normas aplicadas

2.6.1. ISO 14224:2016 - Taxonomía

La ISO 14224:2016 es una norma internacional que establece cómo recolectar y organizar datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos en la industria del petróleo, gas y petroquímica, tiene como objetivo principal crear un lenguaje común que permita registrar y clasificar eventos de falla y mantenimiento de manera estandarizada, facilitando que la información sea comparable y útil para la toma de decisiones, esto es sumamente importante para construir una taxonomía de fallas y modos de falla, ya que la norma define categorías, causas, efectos y acciones correctivas que sirven como base para organizar los datos. (ISO, 2016)

Con esta norma, las empresas pueden estandarizar la forma en que registran los fallos de los equipos, asegurando que cada evento tenga un código y una descripción clara y concisa, lo cual mejora la confiabilidad de los datos y permite analizar patrones de falla, priorizar acciones de mantenimiento y desarrollar estrategias basadas en información consistente, además hay que tener en cuenta que la ISO 14224:2016 establece directrices para la calidad de los datos y su intercambio entre sistemas, lo que facilita integrarlos en software de mantenimiento, como el FMEA o AMFE. En resumen, esta norma no solo organiza los datos de mantenimiento, sino que proporciona la base para una taxonomía coherente y estandarizada, respaldando la gestión eficiente de los activos y la mejora continua de la operación (Predictiva 21, 2019).

2.6.2. CTR – Criticality Total by Risk

Criticality Total by Risk (CTR) traducido al español como Criticidad Total por Riesgo, es una metodología que tiene como función principal evaluar y priorizar los equipos según su criticidad y el riesgo de que fallen, básicamente, te indica qué sistemas o componentes son más importantes para la operación de cualquier maquinaria o automóvil y,

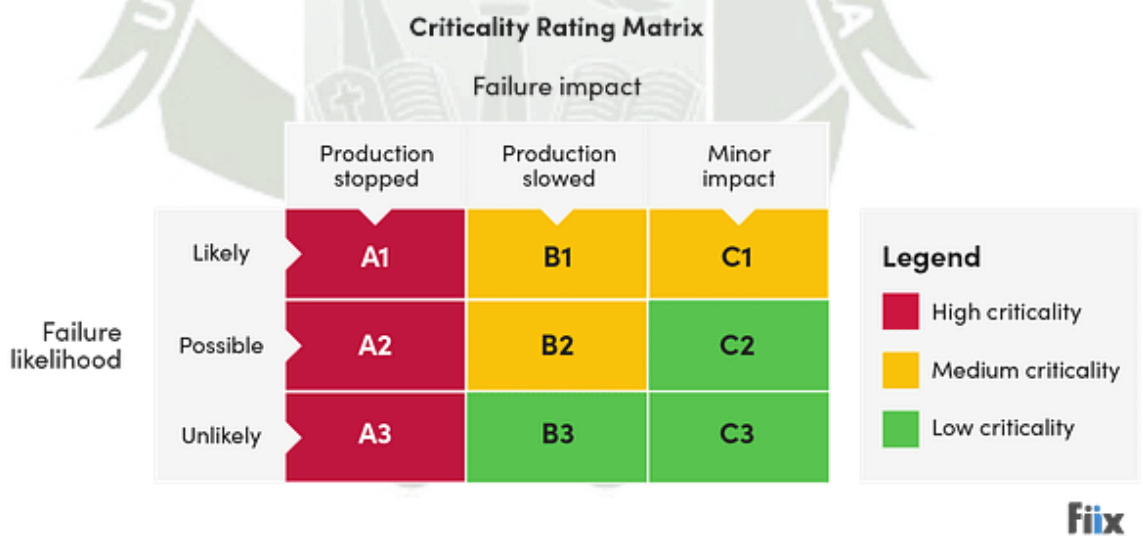
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

por eso, requieren más atención en el mantenimiento, también hay que tener en cuenta que el CTR combina la criticidad, que mide el impacto que tendría una falla, con el riesgo, que evalúa la probabilidad de que esa falla suceda, juntando estos dos factores, se obtiene una visión clara de qué equipos son más críticos y cómo distribuir mejor los recursos. (UpKeep, 2023)

El CTR es muy útil para armar una taxonomía de fallas y modos de falla, porque permite clasificar los activos según su importancia y riesgo, lo cual ayuda a detectar los modos de falla más críticos y a implementar mantenimientos preventivos o predictivos donde realmente se necesitan, además de que se puede combinar con métodos como FMEA o FMECA, para tener un análisis más completo de los riesgos y prioridades de mantenimiento (Fiix software, 2024). En resumen, el CTR ayuda a priorizar los esfuerzos de mantenimiento según criticidad y riesgo, mejorando la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, y sirve como base para organizar la taxonomía de fallas de manera práctica y efectiva (emaint, 2023).

Figura 12.
Criticality Rating Matrix



Nota: (Fiix software, 2024)

2.6.3. AMFE – Análisis de Modos de Falla y Efectos

El Análisis de Modos de Falla y Efectos, más conocido como AMFE es una metodología sistemática utilizada para identificar posibles fallas en equipos, procesos o sistemas, y evaluar sus consecuencias sobre la operación, tiene como objetivo principal anticipar problemas antes de que ocurran, permitiendo establecer acciones preventivas que minimicen riesgos y mejoren la confiabilidad de cualquier tipo de maquinaria (Stamatis,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2003). El AMFE se enfoca en tres elementos clave: los modos de falla, que describen cómo puede fallar un componente; los efectos, que muestran el impacto de esa falla; y las causas, que permiten entender por qué ocurre, esta información es esencial para organizar y mantener una taxonomía de fallas, ya que clasifica los eventos de manera clara y estructurada.

La aplicación del AMFE facilita la priorización de recursos de mantenimiento y la planificación de estrategias preventivas y predictivas, ya que cada modo de falla se evalúa según su severidad, ocurrencia y detectabilidad, lo que permite calcular un Número de Prioridad de Riesgo (NPR) para decidir qué acciones son más urgentes (IEC, 2018), una vez integrando el AMFE con metodologías como el Criticality Total by Risk (CTR), se puede obtener una visión completa de la criticidad de los equipos y de las fallas más significativas, lo que ayuda a mejorar la disponibilidad y confiabilidad de los sistemas de manera consistente.

2.6.4. ADD – Attribute-Driven Design

Como ultimo Attribute-Driven Design (ADD) es un método sistemático para diseñar la arquitectura de un sistema basado en sus atributos de calidad y requisitos funcionales, el cual tiene como enfoque principal garantizar que la arquitectura cumpla con las propiedades de calidad esperadas, como rendimiento, disponibilidad, seguridad y modificabilidad, en lugar de centrarse únicamente en funciones aisladas (Bass L., 2012). El proceso ADD divide el sistema en módulos o componentes de manera iterativa, tomando decisiones de diseño que aseguren que cada módulo cumpla con los requisitos críticos del sistema, por otro lado, este método a comparación de los demás comienza con la identificación de escenarios de calidad y requisitos funcionales prioritarios, lo que permite establecer decisiones de diseño coherentes con los objetivos del sistema, hay que tener en cuenta que cada iteración define componentes, sus responsabilidades y las interacciones entre ellos, asegurando que los atributos de calidad se satisfagan desde el principio (Bass L., 2012). Este tipo de metodología también permite vincular directamente la taxonomía de requisitos con la arquitectura, clasificando los componentes según su importancia para cumplir atributos críticos y facilitando la documentación y el análisis de decisiones de diseño.

El ADD, traducido al español Diseño Guiado por Atributos es una herramienta clave para la arquitectura de sistemas, ya que permite construir un diseño sólido como lo dice su nombre basado en atributos de calidad, priorizando decisiones críticas y la organización de los componentes de manera coherente, lo peculiar de este método es que su aplicación

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

asegura que la arquitectura no solo cumpla con las funciones esperadas, sino que también soporte el rendimiento, la confiabilidad y la escalabilidad del sistema de manera eficiente (Bass L., 2012).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Capítulo III

Recolección y análisis de datos

Para poder hacer un estudio exhaustivo de los principales componentes que requieren hincapié para el estudio y recolección de datos para la optimización de recursos; primero debemos tener en cuenta muchos factores como la importancia del componente, la frecuencia de avería del mismo y el costo de mantenimiento que este genera, por lo que se optó por hacer un análisis de criticidad para identificar las partes más críticas y relevantes de la UDR-650. Además de observar los parámetros de cada sistema o componente, tanto de sonido como de vibración y temperatura, para tener un estándar de normal funcionamiento.

3.1. Datos generales de la UDR-650

Hablando puntualmente de la perforadora diamantina UDR-650, esta máquina de perforación es especialmente por ser robusta y a su vez eficiente con respecto al combustible que esta utiliza, por otro lado, está equipada con bastantes tipos de componentes claves que logran hacer que esta máquina trabaje en condiciones extremas tanto climáticas como de terreno, entre ellos los principales componentes que tiene la perforadora es el sistema de rotación, el sistema de empuje, motor y fundamentalmente el sistema hidráulico el cual alimenta a la mayoría de la UDR-650 con 4 bombas de agua hacia los demás sistemas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.1.1. Taxonomía

Empezando con la taxonomía, esta se usa para separar y organizar cada sistema de una máquina de forma clara, por ejemplo, en una perforadora diamantina se puede dividir en sistema de elevación, sistema de refrigeración, sistema eléctrico, sistema hidráulico, etc. Esta clasificación permite identificar de manera rápida en qué parte del equipo se encuentra una falla o dónde se va a realizar una intervención para así poder evitar cualquier tipo de confusión al momento de planificar o reportar una avería.

Por otro lado, hay que tener en cuenta que la taxonomía repercute directamente en la gestión de un mejor el mantenimiento, ya que permite facilitar la identificación de sistemas más críticos, además de simplificar el análisis de causas de fallas, por ende, con una taxonomía bien definida, se pueden generar reportes más ordenados, automatizar procesos en el mantenimiento 4.0 y hasta optimizar la asignación de recursos, en resumidas cuentas, separar cada sistema mediante una taxonomía convierte el mantenimiento en un proceso más eficiente, escalable y fácil de controlar.

En el caso de la UDR-650 es una máquina perforadora diamantina diseñada para la exploración de recursos minerales en terrenos de alta complejidad geológica. Su taxonomía se describe a continuación en función de sus componentes principales, tipo de energía utilizada, capacidad operativa y sistema de control:

- **Clasificación funcional:** Perforadora de sondaje para extracción de testigos en la exploración minera.
- **Fuente de energía**: Motor diésel Cummins BTC con una potencia nominal de 260 HP @ 2,100 RPM.
- **Sistema hidráulico**: Con bombas de pistones Parker de 145 cc y 105 cc que permiten su operación electrohidráulica.
- **Capacidad de perforación:**
  - ✓ PQ: Hasta 600 metros.
  - ✓ Cuartel general: Hasta 1.200 metros.
  - ✓ NQ: Hasta 1.800 metros.
- **Transmisión y rotación:** Cabezal de doble velocidad con eje flotante API IF macho, que permite controlar el torque necesario para terrenos de diversa dureza.
- **Sistemas auxiliares**:
  - ✓ Sistema de bombeo para agua (140 l/min @ 7.000 kPa).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- ✓ Winche principal y wireline para facilitar la manipulación de herramientas y extracción de testigos.

- **Dimensiones y peso:**
  - ✓ Largo: 8.000 mm.
  - ✓ Ancho: 2,200 mm.
  - ✓ Altura total: 4.600 mm.
  - ✓ Peso: 32.000 kg.

Su diseño modular y capacidad para operar en diversas altitudes y condiciones climáticas extremas la convierte en una herramienta esencial para proyectos mineros complejos.

Como se puede observar en la figura 12, se elaboró un plano con la vista superior y lateral de la UDR-650, en el cual se diferencian de manera física los distintos tipos de sistemas que componen la máquina. Esta representación gráfica permite apreciar con mayor claridad cómo se encuentran distribuidos y organizados los componentes principales, clasificándolos según su función como el sistema de instalación, sistema de perforación, sistema de refrigeración, sistema hidráulico, sistema eléctrico, etc.

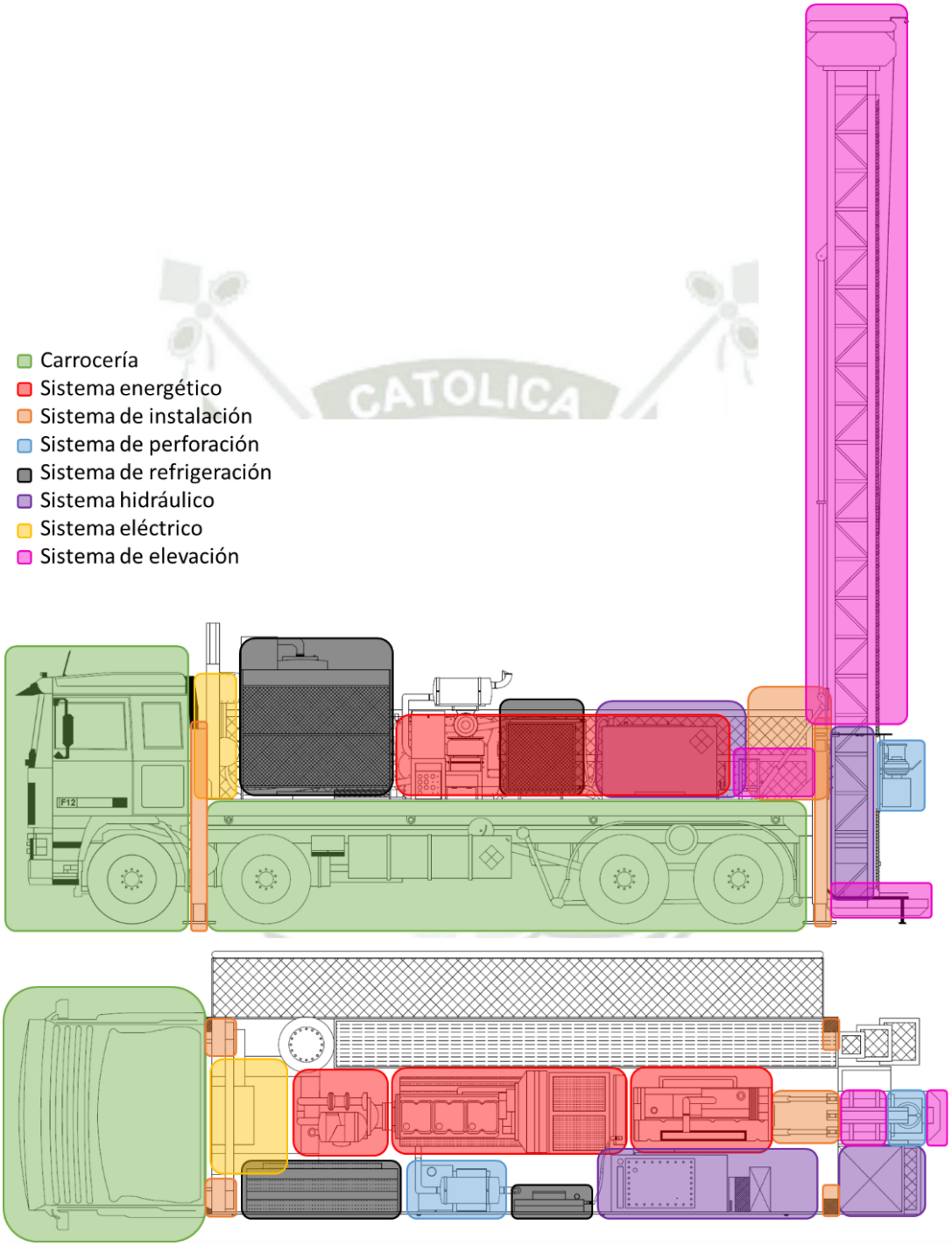
De esta forma, el plano no solo facilita la identificación visual de cada sistema, sino que también sirve como una base de apoyo para el análisis de mantenimiento, ya que permite ubicar rápidamente los puntos críticos y entender la interacción entre subsistemas. Además, esta clasificación gráfica ayuda a entender y a realizar un diagrama de Taxonomía en donde se podrá visualizar cada sistema, subsistema y componente de la UDR-650.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 13.
Sistemas de máquina perforadora UDR-650



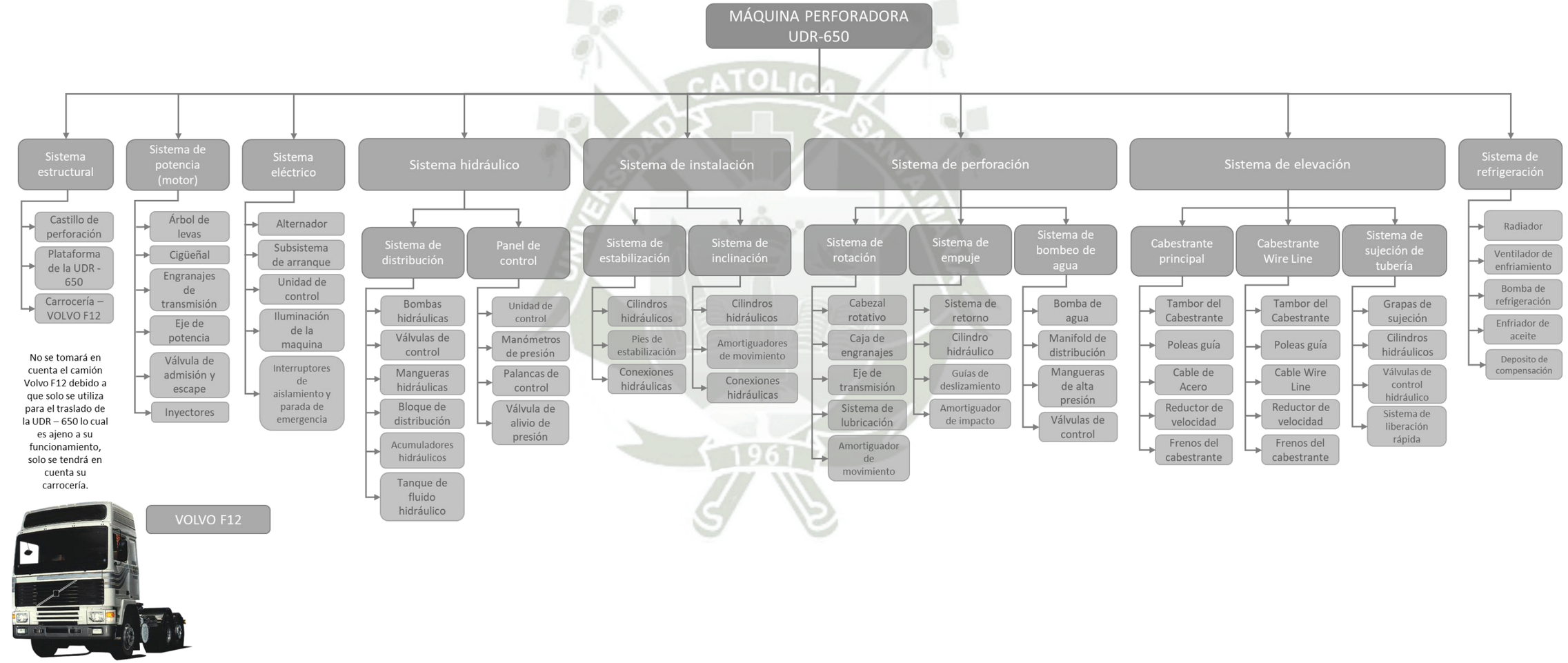
Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Una vez ya analisado el grafico visual se puede deducir el siguiente diagrama de taxonomia de la UDR-650 que se puede apreciar en la figura 13. En donde nos permite separar y organizar cada sistema que compone la máquina, entendiendo mejor su estructura y funcionamiento. La UDR-650 se divide en sistemas principales como el estructural, potencia (motor), eléctrico, hidráulico, instalación, perforación, elevación y refrigeración. Cada sistema a su vez se divide en subsistemas y componentes. Por ejemplo, en el sistema hidráulico encontramos el sistema de distribución, panel de control y acumuladores; en el de perforación se incluyen el sistema de rotación, empuje y bombeo de agua; mientras que en el de elevación se consideran cabestrantes y mecanismos de sujeción de tubería. Esta taxonomía es clave porque facilita el mantenimiento, permite identificar posteriormente las partes críticas y mejora la gestión operativa de la máquina.

Figura 14.
Taxonomía de la UDR-650 Montada sobre un Volvo F12



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.1.2. Análisis de criticidad

Por parte del análisis de criticidad para la UDR-650, esta se centra en identificar los componentes críticos cuya falla puede afectar significativamente la operación, así como los riesgos asociados con el tiempo de inactividad de la máquina. Los principales factores analizados incluyen:

1. **Componentes críticos:**
   - ✓ Sistema hidráulico: Es responsable de transmitir la potencia necesaria para las operaciones de rotación y empuje. Las fallas en este sistema pueden detener la operación por completo.
   - ✓ Motor diésel: Su correcto funcionamiento es indispensable para la generación de energía. Una avería podría implicar costos elevados y largos tiempos de reparación.
   - ✓ Cabezal de rotación: Un componente esencial para la perforación. Su desgaste prematuro afecta directamente la eficiencia y precisión del proceso.
   - ✓ Bomba de agua: Crítica para mantener la broca refrigerada y evitar su desgaste durante las perforaciones.
   - ✓ Mástil y sistema de levante: Componentes clave para alcanzar diferentes profundidades. La falla estructural de estas partes representa un alto riesgo para la seguridad y la operación.
2. **Riesgos asociados:**
   - ✓ Impacto económico: Las paradas no planificadas generan pérdidas económicas significativas debido a los costos de reparación y tiempo muerto en proyectos mineros.
   - ✓ Seguridad: Una falla en el sistema de control o en los mecanismos hidráulicos puede poner en riesgo a los operadores y al equipo.
   - ✓ Disponibilidad de repuestos: Algunos componentes tienen largos tiempos de adquisición, especialmente aquellos de fabricación específica para este modelo.
3. **Estrategias de mitigación:**
   - ✓ Implementación de monitoreo predictivo basado en IoT para detectar anomalías en tiempo real.
   - ✓ Gestión de inventarios para asegurar la disponibilidad de repuestos críticos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- ✓ Programas de capacitación para el personal en mantenimiento preventivo y correctivo.
- ✓ El análisis de criticidad de la UDR-650 refuerza la necesidad de aplicar criterios de mantenimiento 4.0 para maximizar su disponibilidad y reducir costos asociados al tiempo muerto.

3.1.2.1. Análisis de criticidad de los sistemas

El análisis de criticidad de los sistemas del equipo perforadora UDR-650 permite identificar el nivel de riesgo asociado a cada sistema, evaluando factores como la frecuencia de fallo (FF), el impacto operativo (IO), la flexibilidad operacional (FO), los costos de mantenimiento (CM) y los aspectos relacionados con la salud y seguridad (SAH). A partir de estos datos, se calcula un índice de criticidad mediante la fórmula (IO×FO) +CM+SAH, clasificando el riesgo en niveles "A" (alto), "B" (moderado) o "C" (bajo).

Como se podrá apreciar en la figura 14 el sistema estructural presenta un índice de criticidad de 26, clasificado con un riesgo bajo ("C"), lo que indica que su impacto en la operación es moderado principalmente porque la frecuencia de fallo es prácticamente nula, por otro lado hablando del sistema de potencia, tiene un índice de 46, clasificado como de alto riesgo ("A"), reflejando su alta relevancia en la operación y el impacto significativo que tendría un fallo, por parte del sistema eléctrico, cuenta con un índice de 13, tiene un riesgo moderado ("B"), lo que sugiere un menor impacto comparado con otros sistemas críticos, por parte del sistema hidráulico, el índice alcanza 31, clasificándose con un riesgo alto ("A"), lo que destaca su importancia en el funcionamiento del equipo.

Hablando del sistema de instalación, este registra un índice de 34, lo que lo clasifica como de riesgo moderado ("B"), indicando que, aunque no es el más crítico, su funcionamiento es relevante para las operaciones, por otro lado, el sistema de perforación, con un índice de 50, está clasificado como de alto riesgo ("A"), siendo uno de los sistemas más críticos debido a su rol central en las operaciones principales de la perforadora además de la seguridad que este comprende, por consiguiente, el sistema de elevación también presenta un índice elevado de 30, con un riesgo alto ("A"), lo que subraya su influencia directa en la seguridad y el rendimiento del equipo, por último, el sistema de refrigeración, con un índice de 18, tiene un riesgo moderado ("B"), lo que indica que, aunque no es el más crítico, sigue siendo importante para el desempeño global del equipo.

Teniendo una vista más panorámica, los sistemas de potencia, perforación, hidráulico y elevación son los más críticos, clasificados como de alto riesgo ("A"), y requieren

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

priorización en términos de mantenimiento preventivo y monitoreo. Mientras tanto, los sistemas estructural y eléctrico, aunque tienen menor criticidad, no deben ser descuidados para garantizar la operatividad óptima del equipo

Tabla 8.

Análisis de criticidad de los sistemas

EQUIPO	SISTEMAS	FF	IO	FO	CM	SAH	CONSECUENCIA "(IO*FO)+CM+SAH"	RIESGO
PERFORADORA UDR- 650	Sistema estructural	1	4	4	2	8	26	C
	Sistema de potencia	3	10	4	2	4	46	A
	Sistema eléctrico	3	6	2	1	0	13	B
	Sistema hidráulico	4	6	4	1	6	31	A
	Sistema de instalación	2	6	4	2	8	34	B
	Sistema de perforación	4	10	4	2	8	50	A
	Sistema de elevación	4	6	4	2	4	30	A
	Sistema de refrigeración	3	6	2	2	4	18	B

Nota: Elaboración propia

3.1.2.1.1. Análisis de criticidad de los subsistemas

En este caso se analizarán los subsistemas que son partes del sistema cumpliendo funciones más específicas como por ejemplo, en el caso del sistema de perforación, se divide en tres subsistemas donde está la rotación que es la que se encarga de generar las revoluciones necesarias para que pueda girar la broca a velocidad constante para revestir el terreno, por otro lado, está el otro subsistema que es totalmente a parte el cual es el de empuje que se encarga de generar presión al mismo suelo y en conjunto con el subsistema de rotación se pueda perforar testigos para posteriormente ser estudiados, añadiendo a estos dos subsistemas está el de bombeo de agua, el cual es sumamente importante para refrigerar la broca y la misma zona a perforar para que estos no se fatiguen herméticamente.

En este caso el sistema de distribución y el panel de control presentan un índice de 31, clasificados como de alto riesgo ("A"), lo que evidencia la relevancia crítica de estos subsistemas en el desempeño del equipo más que todo por el desempeño de la perforadora, por su parte, el sistema de estabilización tiene un índice de 34, con un riesgo moderado ("B"), lo que resalta su importancia en mantener el equilibrio del equipo durante las operaciones. De manera similar, el sistema de inclinación presenta un índice de 26, también con un riesgo moderado ("B"), indicando que, aunque crítico, no es prioritario frente a otros subsistemas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Por otro lado, el sistema de rotación y el sistema de empuje tienen índices elevados de 34 y 50 respectivamente, clasificados como de alto riesgo ("A") lo cual refleja su papel esencial en las funciones principales de perforación, donde cualquier fallo podría afectar significativamente la operación, en el caso del sistema de bombeo de agua, este muestra un índice de 48, igualmente con un riesgo alto ("A"), destacando su importancia para mantener el flujo adecuado durante las perforaciones, por parte del cabestrante principal, este cuenta con un índice de 46, el cual lo clasifica como de alto riesgo ("A"), subrayando su relevancia para las maniobras de elevación de equipos, en contraste, el cabestrante Wireline tiene un índice de 29 y un riesgo moderado ("B"), indicando una menor criticidad relativa, por último, el sistema de sujeción de tubería registra un índice de 17, clasificado como de bajo riesgo ("C"), lo que refleja su menor impacto en la operación general más que todo porque es reemplazable fácilmente dichos componentes del subsistema.

Tomando en cuenta todo lo previamente mencionado, los subsistemas de distribución, panel de control, rotación, empuje, bombeo de agua y cabestrante principal se destacan como los más críticos y requieren atención prioritaria en términos de mantenimiento preventivo y monitoreo, además en el caso de los subsistemas de estabilización, inclinación y cabestrante Wireline presentan riesgos moderados que deben ser considerados, mientras que el sistema de sujeción de tubería, con riesgo bajo, puede gestionarse con menor prioridad.

Tabla 9.

Análisis de criticidad de los subsistemas

EQUIPO	SUBSISTEMAS	FF	IO	FO	CM	SAH	CONSECUENCIA "(IO*FO)+CM+SAH"	RIESGO
PERFORADORA UDR- 650	Sistema de distribución	4	6	4	1	6	31	A
	Panel de control	3	6	4	1	6	31	A
	Sistema de estabilización	2	6	4	2	8	34	B
	Sistema de inclinación	3	4	4	2	8	26	B
	Sistema de rotación	4	6	4	2	8	34	A
	Sistema de empuje	3	10	4	2	8	50	A
	Sistema de bombeo de agua	3	10	4	2	6	48	A
	Cabestrante principal	3	10	4	2	4	46	A
	Cabestrante Wireline	2	6	4	1	4	29	B
	Sistema de sujeción de tubería	2	6	2	1	4	17	C

Nota: Elaboración propia

3.1.2.2. Análisis de criticidad de los componentes

Por otro lado, en el caso de los componentes, estos son los que representan la parte más específica de las funciones que realiza la perforadora o cualquier máquina, en este caso

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

se tomó encuentra los más importantes, a los que se tiene que hacerle mantenimiento y no reemplazarlos y fundamentalmente los que suelen mantenerse por menor tiempo a comparación de los demás componentes, tomando en cuenta uno de los componentes menos cruciales, en este caso son las palancas de control, que se pueden alterar, pero depende de que control sea, debido a que si mantienen presionada una función de la máquina esta pueden también generar consecuencias significativas, pero en si no es lo usual, así que, se puede trabajar tranquilamente si se malogra una palanca de control.

En el sistema estructural, el componente más crítico es el castillo de perforación, con un índice de 50, clasificado como riesgo alto (A), este resultado resalta la importancia de este elemento en la estabilidad y la operatividad del equipo, por parte del sistema de potencia, los componentes iluminación de la máquina y eje de potencia obtuvieron índices de 25 y 29, respectivamente, clasificados como de bajo riesgo (C), indicando que estos elementos no son prioritarios en términos de criticidad, por su parte, el sistema eléctrico muestra componentes con índices bajos, como la unidad de control e iluminación de la máquina, con 13 y 3, respectivamente, ambos clasificados como de bajo riesgo (C), reflejando su menor impacto en las operaciones críticas.

En el sistema hidráulico, las mangueras hidráulicas y las válvulas de control destacan con índices de 13 y 19, respectivamente, clasificadas como riesgo moderado (B) y (C), lo cual indica la importancia de este sistema en el desempeño del equipo y la necesidad de atención para prevenir interrupciones, en el caso de los otros componentes como el bloque de distribución y las palancas de control tienen menor criticidad, con índices de 16 y 9, hablando del sistema de instalación, el cabezal rotativo tiene un índice de 34 (riesgo B), lo que lo posiciona como un componente clave, aunque no de alto riesgo, mientras que las conexiones hidráulicas presentan un índice de 19, clasificadas como de bajo riesgo (C).

En el caso del sistema de perforación incluye al tambor del cabestrante, que sobresale con un índice de 30, clasificado como riesgo alto (A), lo que indica su importancia en las operaciones y la necesidad de un mantenimiento constante, por parte de los demás componentes como el sistema de lubricación y el manifold de distribución tienen índices de 23 y 28, respectivamente, clasificándose como de riesgo moderado (B), a su vez, en el sistema de elevación, los cables de acero y Wireline tienen índices de 17 y 19, ambos clasificados como riesgo moderado (B) y (C) destacando su importancia para garantizar seguridad y eficiencia; y por último, en el sistema de refrigeración, el radiador y el ventilador de enfriamiento tienen índices de 28 y 25, respectivamente, ambos considerados de riesgo moderado (B) y(C), esenciales para prevenir fallas térmicas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 10.

Análisis de criticidad de los componentes

EQUIPO	SISTEMAS	COMPONENTES	FF	IO	FO	CM	SAH	CONSECUENCIA "(IO*FO)+CM+SAH"	RIESGO
PERFORADORA UDR- 650	Sistema Estructural	Castillo de Perforación	1	10	4	2	8	50	A
	Sistema de Potencia	Iluminación de la máquina	1	6	4	1	0	25	C
		Eje de potencia	1	6	4	2	3	29	C
	Sistema electrico	Unidad de control	2	6	2	1	0	13	C
		Iluminación de la máquina	2	2	1	1	0	3	C
	Sistema hidraúlico	Bombas hidráulicas	3	6	2	2	6	20	C
		Válvulas de control	2	6	2	1	6	19	C
		Mangueras Hidráulicas	4	6	1	1	6	13	B
		Bloque de distribución	2	6	2	1	3	16	C
		Unidad de control	3	6	4	1	0	25	B
		Palancas de control	1	4	2	1	0	9	C
	Sistema de Instalación	Cilindros hidráulicos	2	6	2	2	8	22	B
		Conexiones hidráulicas	2	6	2	1	6	19	C
	Sistema de Perforación	Cabezal rotativo	2	6	4	2	8	34	B
		Caja de engranajes	1	6	4	1	4	29	C
		Sistema de lubricación	2	4	4	1	6	23	B
		Guías de deslizamiento	2	4	2	2	8	18	C
		Manifold de distribucion	3	6	4	1	3	28	B
	Sistema de Elevación	Tambor del Cabestrante	3	6	4	2	4	30	A
		Cable de acero	3	6	2	1	4	17	B
		Cable WireLine	2	6	2	1	6	19	C
		Grapas de sujeción	2	6	2	1	8	21	A
	Sistema de Refrigeración	Radiador	2	6	4	1	3	28	B
		Ventilador de enfriamiento	2	6	4	1	0	25	C

Nota: Elaboración propia

3.1.3. Análisis de modo efecto falla

Como consiguiente, después de haber desarrollado la taxonomía y la criticidad de toda la perforadora UDR-650 con la finalidad de poder optimizar el funcionamiento de la perforadora diamantina mediante criterios del mantenimiento 4.0, se llevó a cabo un análisis de modo efecto falla (AMFE), la cual nos ayuda a identificar los distintos modos de falla más críticos que podrían afectar la operatividad y eficiencia de la perforadora, alineándose con una estrategia más que todo predictiva.

En este caso, se seleccionó un componente representativo de cada sistema y subsistema principal previamente revisados en el análisis de criticidad, además se tomó en cuenta el componente que tiene más conexión con los demás para así poder englobar cada subsistema, adicionando a eso, también se optó por escoger al más propenso a variar rápidamente su temperatura, sonido o vibración por temas de desperfectos.

La aplicación del AMFE permitió evaluar la gravedad, frecuencia y tarea a realizar de cada posible falla, en las cuales en la gran parte de componentes aumenta la vibración, por ende, su sonido y en algunos casos se da lo que es el sobrecalentamiento dependiendo del componente que sea, por lo que esta información es necesaria para proponer acciones que puedan anticipar los mantenimientos correctivos y así poder reducir los tiempos de inactividad que se pueden generar cuando ocurra un desperfecto de la máquina de manera repentina, a su vez, ahorrar recursos como la obtención de repuestos y consumibles, y se fortalezca la confiabilidad operativa de la UDR-650.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.1.3.1. Castillo de perforación (Sistema estructural)

Empezando con el sistema estructural, como ya se vio en el análisis de criticidad el castillo de perforación es el más crucial del sistema estructural para el funcionamiento de la UDR-650 debido a que su composición es clave en las operaciones de izaje y soporte del equipo, debido a su función como soporte estructural del cabezal rotatorio y el constante esfuerzo que hace mientras la máquina está en operación, cualquier fallo en este componente puede generar riesgos tanto operativos como de seguridad.

Para llevar a cabo el análisis, se identificaron los modos de falla más representativos en base al historial operativo y condiciones reales de trabajo que se tuvieron en campo, lo que se busca en este análisis es que nos permita no solo identificar posibles fallos estructurales o funcionales, sino anticiparlos de la manera más eficiente posible, sabiendo también cuales son los síntomas que sufre antes de llegar a un desperfecto.

Tabla 11.
Análisis AMFE de castillo de perforación

Hoja de información RCM	ANALISIS DE MODO EFECTO FALLA							
Equipo: Perforadora Diamantina UDR 650	Sistema: Sistema estructural	Realizado: Mario Gabriel Nina Vilca	Fecha de inicio: 11/06/2025	TAREAS PROPUESTAS PARA LA OPTIMIZACION DEL MANTENIMINETO				
Código: 650	Componente: Castillo de Perforación		Fecha de culminacion: 15/06/2025					
Función Principal	**Falla Total**	**Modo de Falla**	**Efecto y consecuencia de falla**	**Tipo de Mantenimiento**	**Tarea**	**Frecuencia**	**Operando**	**A realizarse por:**
Soportar y guiar verticalmente el sistema de perforación garantizando estabilidad, alineación y desplazamiento.	Deformación o colapso estructural del castillo	Fisuras y/o grietas por fatiga en la estructura metálica	Pérdida de estabilidad, posible riesgo de colapso, posibles accidentes y parada de la perforación	Predictivo / Correctivo	Inspección con líquidos penetrantes	Cada 250 horas	NO	Técnico de mantenimiento
		Aflojamiento de pernos o uniones estructurales	Vibraciones excesivas, desalineación del sistema y desalinamiento de componentes	Preventivo	Verificación y ajuste de pernos y uniones	Cada semana	SI	Operador o técnico
		Desalineación del sistema por impacto o sobrecarga	Perforación desviada, menor duracion de la carroseria de la UDR 650, esfuerzo excesivo en el sistema	Preventivo o Correctivo	Revisión de alineación estructural	Cada 120 horas o tras un impacto	NO	Técnico de mantenimiento

Nota: Elaboración propia

3.1.3.2. Eje de potencia (Sistema de potencia)

Por parte del sistema de potencia está el eje de potencia debido a que es un componente fundamental en la transmisión de energía desde el sistema motriz hacia el cabezal rotatorio por lo que su correcto funcionamiento es muy importante para el proceso

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

de perforación, ya que cualquier falla en este eje puede generar detenciones operativas, pérdidas de torque, o incluso daños colaterales en otros elementos del tren de potencia.

El análisis se basó en la identificación de los modos de falla más relevantes considerando las condiciones de sonido, vibración, temperatura y desgaste a las que está expuesto el eje durante el trabajo en campo, este enfoque logra determinar medidas de mantenimiento predictivo, contribuyendo asi a poder mejorar la confiabilidad del sistema de transmisión y a reducir el riesgo de fallas críticas durante la operación ayudando a la reducción de recursos de la empresa.

Tabla 12.

Análisis AMFE de eje de potencia

Hoja de información RCM	**ANALISIS DE MODO EFECTO FALLA**							
Equipo: Perforadora Diamantina UDR 650	Sistema: Sistema de potencia	Realizado: Mario Gabriel Nina Vilca	Fecha de inicio: 11/06/2025	TAREAS PROPUESTAS PARA LA OPTIMIZACION DEL MANTENIMINETO				
Código: 650	Componente: Eje de potencia		Fecha de culminacion: 15/06/2025					
Función Principal	**Falla Total**	**Modo de Falla**	**Efecto y consecuencia de falla**	**Tipo de Mantenimiento**	**Tarea**	**Frecuencia**	**Operando**	**A realizarse por:**
Transmitir el torque y movimiento rotacional desde el motor hacia los demas sistemas	Rotura o desconexión completa del eje	Desalineación del eje por desgaste	Pérdida de potencia, vibraciones severas, riesgo de daño a los demas componentes	Predictivo y/o Preventivo	Verificación de alineación con reloj comparador	Cada 250 horas	NO	Técnico de mantenimiento
		Desgaste de acoples o estrías	Juego excesivo, pérdida de eficiencia en la transmisión, ruidos anómalos	Preventivo	Inspección y lubricación de acoples y/o reemplazo si hay desgaste	Cada 100 horas	SI	Técnico u operador entrenado
		Fisura o fractura del eje por sobrecarga o fatiga	Paro total de transmisión, daño colateral a engranajes o caja	Correctivo	Reemplazo del eje de potencia	Según condicion	NO	Técnico de mantenimiento

Nota: Elaboración propia

3.1.3.3. Unidad de control (Sistema eléctrico)

Por parte del sistema eléctrico, a pesar de que la perforadora no utiliza tanto este sistema como muchas otras es importante para su funcionamiento debido a que en el caso de la unidad de control esta tiene como función central la gestión de señales, la iluminación, la señalización del panel de control, etc. Esta unidad actúa como el cerebro electrónico del sistema, permitiendo la correcta interacción entre los distintos subsistemas a través de sensores, actuadores y controladores.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Dado su rol fundamental en la UDR-650 y en cualquier tipo de maquinaria, una falla en esta unidad puede provocar desde interrupciones puntuales hasta la paralización total de la máquina por lo que, se identificaron y evaluaron los principales modos de fallo en función de su severidad, frecuencia de ocurrencia y capacidad de detección, este análisis permite proponer mejoras en el monitoreo de la electrónica, considerando también la integración de tecnologías asociadas al mantenimiento 4.0 como herramientas de diagnóstico predictivo y análisis remoto, en este caso como es un componente eléctrico este tiende a sobrecalentarse por cortes circuitos o relés lo cual ayudaría el sensor de temperatura para poder anticipar algún tipo de avería.

Tabla 13.

Análisis AMFE de unidad de control

Hoja de información RCM	**ANALISIS DE MODO EFECTO FALLA**								
Equipo: Perforadora Diamantina UDR 650	Sistema: Sistema eléctrico	Realizado: Mario Gabriel Nina Vilca	Fecha de inicio: 11/06/2025	TAREAS PROPUESTAS PARA LA OPTIMIZACION DEL MANTENIMINETO				
Código: 650	Componente: Unidad de control		Fecha de culminacion: 15/06/2025					
Función Principal	**Falla Total**	**Modo de Falla**	**Efecto y consecuencia de falla**	**Tipo de Mantenimiento**	**Tarea**	**Frecuencia**	**Operando**	**A realizarse por:**
Gestionar y coordinar eléctricamente el arranque, paro y operación de los diferentes sistemas de la máquina	Fallo total del sistema de control eléctrico	Daño en componentes electrónicos internos como circuitos, relés, etc.	Fallas al encender o controlar la perforadora, detención total del sistema	Correctivo y/o Predictivo	Diagnóstico electrónico con multímetro	Según condición o cada 500 horas	NO	Técnico de mantenimiento eléctrico
		Fallo de conexión eléctrica o falsos contactos	Pérdida intermitente de señales, fallos esporádicos en el arranque o control de sistemas	Preventivo	Revisión y ajuste de conectores, limpieza de terminales	Cada 200 horas	SI	Técnico de mantenimiento eléctrico

Nota: Elaboración propia

3.1.3.4. Bomba hidráulica principal (Sistema hidráulico – distribución)

Adentrándonos al sistema hidráulico, y más que todo al subsistema de distribución nos encontramos con la bomba hidráulica principal, la cual personalmente creo que es el componente más importante de esta máquina debido a que es esencial para el funcionamiento de los actuadores hidráulicos distribuidos en toda la perforadora, por otro lado, esta bomba es responsable de generar el caudal y la presión necesarios para alimentar los sistemas de empuje, sujeción, izaje y rotación, por lo que su desempeño tiene un impacto directo en la productividad y seguridad de la operación, en el caso que se malogre, comprometería todos los sistemas, sin embargo, debido a la gran importancia de este componente ya se tienen repuestos y componentes sustituyentes, por lo que en la criticidad no se le dio un valor tan alto.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

El análisis se centró en identificar los modos de fallo más comunes, considerando factores como el desgaste por uso, contaminación del fluido, cavitación y fallos en los sellos, una vez determinados los resultados, se propusieron medidas preventivas y estrategias de monitoreo orientadas a prolongar la vida útil del componente y minimizar los tiempos de parada no planificada, y en conjunto a la estrategia de mantenimiento predictivo que se tiene pensado implementar y con la ayuda de la tecnología IoT se puede planificar un modelo de acción para así reducir el tiempo de parada causando una optimización de recursos.

Tabla 14.

Análisis AMFE de bomba hidráulica principal

Hoja de información RCM	**ANALISIS DE MODO EFECTO FALLA**							
Equipo: Perforadora Diamantina UDR 650	Subsistema: Sistema distribucion	Realizado: Mario Gabriel Nina Vilca	Fecha de inicio: 11/06/2025	TAREAS PROPUESTAS PARA LA OPTIMIZACION DEL MANTENIMINETO				
Código: 650	Componente: Bomba principal		Fecha de culminacion: 15/06/2025					
Función Principal	**Falla Total**	**Modo de Falla**	**Efecto y consecuencia de falla**	**Tipo de Mantenimiento**	**Tarea**	**Frecuencia**	**Operando**	**A realizarse por:**
Generar y suministrar presión hidráulica para alimentar los cilindros, motores y válvulas de la UDR 650	Pérdida total de presión hidráulica en el sistema	Desgaste de los engranajes internos	Caída de presión y bloqueo de funciones hidráulicas	Predictivo y/o Correctivo	Medición de presión con manómetro y revisión de caudal	Cada 500 horas	NO	Técnico hidráulico
		Fugas internas por desgaste de sellos o válvulas	Pérdida de eficiencia y sobrecalentamiento	Predictivo	Revisión de sellos, limpieza interna y reemplazo si es necesario	Cada 500 horas	NO	Técnico hidráulico
		Cavitación por ingreso de aire o bajo nivel de aceite	Ruidos anormales, daño progresivo a la bomba y vibraciones	Predictivo	Verificación del nivel de aceite y revisión de líneas de succión	Cada semana	SI	Operador o técnico
		Obstrucción de filtros o líneas de succión	Reducción de caudal, sobrepresión, riesgo de daño a la bomba	Predictivo	Limpieza o reemplazo de filtros	Cada 100 horas	SI	Técnico hidráulico

Nota: Elaboración propia

3.1.3.5. Bloque de distribución (Sistema hidráulico – Distribución)

Siguiendo con el sistema hidráulico se tomó en cuenta otro componente del subsistema de distribución, en este caso estamos hablando del bloque de distribución ya que este componente cumple un rol clave en la gestión del flujo y la presión del aceite hidráulico hacia los distintos actuadores, permitiendo el funcionamiento coordinado de sistemas como el de empuje, sujeción, rotación e izaje.

Dada su función como nodo central de distribución de la bomba hidráulica y del sistema hidráulico, una falla en el bloque puede provocar múltiples fallas simultáneas en la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

operación de la perforadora lo cual podría casuar paradas prolongadas de la misma perforadora, por lo que, se identificaron los modos de fallo más relevantes, tales como obstrucciones internas, fugas por fisuras o desgaste de válvulas integradas, por otro lado, se optó por este componente porque este tiende a vibrar y sobrecalentarse en el caso que ya sea un caso un poco más grave, lo cual es crucial para el análisis de la estrategia de mantenimiento predictivo que se está proponiendo.

Tabla 15.

Análisis AMFE de bloque de distribución

Hoja de información RCM	**ANALISIS DE MODO EFECTO FALLA**							
Equipo: Perforadora Diamantina UDR 650	Sistema: Sistema de distribucion	Realizado: Mario Gabriel Nina Vilca	Fecha de inicio: 11/06/2025	TAREAS PROPUESTAS PARA LA OPTIMIZACION DEL MANTENIMINETO				
Código: 650	Componente: Bloque de distribucion		Fecha de culminacion: 15/06/2025					
Función Principal	**Falla Total**	**Modo de Falla**	**Efecto y consecuencia de falla**	**Tipo de Mantenimiento**	**Tarea**	**Frecuencia**	**Operando**	**A realizarse por:**
Controlar la dirección, flujo y presión del fluido hidráulico para activar los actuadores según la operación	Pérdida total de control sobre los actuadores	Fallo interno en una válvula direccional (pegada o trabada)	Actuadores no se mueven o se traban en una posición lo que causa pérdida de su función	Correctivo y/o Predictivo	Desmontaje, inspección y limpieza interna de válvulas	Cada 300 horas o por síntomas	NO	Técnico hidráulico
		Falla en el mando manual o solenoide (en válvulas pilotadas)	No llega señal para activar la válvula y provoca una operación interrumpida	Preventivo	Verificación de funcionamiento de solenoides, palancas o señales hidráulicas	Cada 200 horas	SI	Técnico hidráulico

Nota: Elaboración propia

3.1.3.6. Cilindros hidráulicos (Sistema de instalación – Estabilización)

Cambiando de sistema, en el caso de la instalación, siendo más específicos en el caso del subsistema de estabilización, están los cilindros hidráulicos, los cuales tienen la función de asegurar la nivelación y el soporte estructural de la perforadora durante las operaciones, viéndolo desde una vista general son los primeros actuadores al empezar un trabajo de perforación, por lo que se debe tener en cuenta que su correcto funcionamiento es esencial para garantizar la estabilidad de la máquina en distintos tipos de terreno y evitar movimientos no deseados que puedan comprometer la seguridad del personal o la precisión del proceso de perforación.

En el desarrollo del análisis se identificaron los modos de falla más comunes, como fugas internas o externas, pérdida de presión por desgaste de sellos, deformaciones por sobrecarga, etc. Con base en estos resultados, se propusieron acciones preventivas con la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

finalidad de disminuir la probabilidad de falla y mejorar la disponibilidad operativa del sistema.

Dado que en este caso son los cilindros que se encargan de estabilizar la perforadora, se toma en cuenta uno por uno, debido a que su funcionamiento es considerado independiente, debido a que en los terrenos donde labora una perforadora diamantina son demasiado variados y el terreno no siempre es llano.

Tabla 16.
Análisis AMFE de cilindros hidráulicos de estabilización

Hoja de información RCM	**ANALISIS DE MODO EFECTO FALLA**							
Equipo: Perforadora Diamantina UDR 650	Subsistema: Sistema de estabilizacion	Realizado: Mario Gabriel Nina Vilca	Fecha de inicio: 11/06/2025	TAREAS PROPUESTAS PARA LA OPTIMIZACION DEL MANTENIMINETO				
Código: 650	Componente: Cilindros hidráulicos		Fecha de culminacion: 15/06/2025					
Función Principal	**Falla Total**	**Modo de Falla**	**Efecto y consecuencia de falla**	**Tipo de Mantenimiento**	**Tarea**	**Frecuencia**	**Operando**	**A realizarse por:**
Permitir el ajuste angular del castillo de perforación	Imposibilidad total de inclinar o posicionar el mástil	Fugas internas por sellos dañados	El cilindro pierde presión y el castillo se desinclina o no mantiene el ángulo especifico indicado	Preventivo y/o Correctivo	Prueba de estanqueidad, cambio de kit de sellos	Cada 500 horas o si hay síntomas	NO	Técnico hidráulico
		Vástago doblado o rayado por sobrecarga o impacto	Movimiento irregular y riesgo de trabado o daño a otros componentes	Preventivo y/o Correctivo	Inspección visual y reemplazo si está deformado	Cada 500 horas o si hay síntomas	NO	Técnico hidráulico
		Aire en el sistema (sin purgar)	Golpeteo, movimientos imprecisos, riesgo de desalineación del castillo	Preventivo	Purgado del sistema hidráulico	Tras intervenciones o síntomas	NO	Técnico hidráulico
		Fugas externas en sellos o racores	Baja presión, pérdida de eficiencia, posibles derrames y riesgos de seguridad	Preventivo	Revisión de fugas, ajuste o reemplazo de conexiones	Cada 100 horas	SI	Técnico hidráulico

Nota: Elaboración propia

3.1.3.7. Cilindros hidráulicos (Sistema de instalación – Inclinación)

Siguiendo con el sistema de instalación, pero centrándonos en la inclinación, también se encuentran los cilindros hidráulicos de inclinación del castillo, componentes encargados de posicionar el mástil en los ángulos requeridos para cada operación de perforación, estos cilindros son fundamentales para garantizar tanto la versatilidad del equipo como la precisión en la orientación del barreno, especialmente en terrenos irregulares o en operaciones inclinadas, por eso se es parte del mismo sistema de los cilindros estabilizadores y se le nombro al conjunto sistema de instalación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

El análisis de modo efecto falla se enfocó en identificar las fallas más representativas, como pérdida de presión, fisuras en el cuerpo del cilindro, o fallas en los pernos de fijación, para así tener como resultado un análisis que contribuye directamente a mejorar la fiabilidad del mecanismo de inclinación y a reducir los riesgos de mal posicionamiento del castillo, debido a que, si los cilindros de inclinación fallan, se va a tener un ángulo no deseado de perforación y esto perjudique al estudio del terreno.

Tabla 17.

Análisis AMFE de cilindros hidráulicos de inclinación

Hoja de información RCM	**ANALISIS DE MODO EFECTO FALLA**							
Equipo: Perforadora Diamantina UDR 650	Subsistema: Sistema de inclinacion	Realizado: Mario Gabriel Nina Vilca	Fecha de inicio: 11/06/2025	TAREAS PROPUESTAS PARA LA OPTIMIZACION DEL MANTENIMINETO				
Código: 650	Componente: Cilindros hidráulicos		Fecha de culminacion: 15/06/2025					
Función Principal	**Falla Total**	**Modo de Falla**	**Efecto y consecuencia de falla**	**Tipo de Mantenimiento**	**Tarea**	**Frecuencia**	**Operando**	**A realizarse por:**
Extenderse o retraerse para estabilizar y nivelar la plataforma de la perforadora durante la operación.	Incapacidad total de estabilizar la máquina	Fugas internas por desgaste de sellos	Cilindro pierde presión, no mantiene la posición y tiene riesgo de inestabilidad	Preventivo y/o Correctivo	Revisión de presión interna, cambio de kit de sellos	Cada 500 horas o si hay síntomas	NO	Técnico hidráulico
		Daño en el vástago por impacto o corrosión	Movimiento trabado o riesgo de atasco por desgaste prematuro de componentes	Preventivo	Inspección visual del vástago, limpieza y lubricación	Cada 200 horas	SI	Técnico u operador
		Fugas externas en racores o mangueras	Caída de presión, pérdida de aceite y operación intermitente lo cual causaria contaminacion al medio ambiente	Preventivo	Revisión de conexiones, ajuste o cambio de mangueras	Cada 200 horas	SI	Técnico hidráulico
		Fugas externas en racores o mangueras	Movimiento errático del cilindro, falta de fuerza o golpeteo hidráulico	Preventivo	Purgado del sistema y revisión de nivel de aceite	Cada vez que se interviene el sistema o al detectar síntomas	NO	Técnico hidráulico

Nota: Elaboración propia

3.1.3.8. Cabezal rotativo (Sistema de perforación – Rotación)

Por parte del sistema de perforación, iniciando por el subsistema de rotación se escogió el cabezal rotativo debido a que es el más crítico de todo el sistema con un puntaje de 34 de consecuencia en la tabla de criticidad, además que es el componente encargado de transmitir el torque necesario para la rotación para poder realizar la perforación, es indispensable su correcto funcionamiento para la eficiencia de la UDR-650 y del proyecto llevado a cabo, ya que cualquier anomalía puede generar desviaciones en la perforación,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

sobreesfuerzos mecánicos o incluso la detención completa de la operación lo cual causaría varios días de parada.

Durante el análisis de efecto falla se identificaron las principales fallas asociadas a este componente, como el desgaste de los rodamientos, pérdidas de presión hidráulica, desalineación del eje, fallas en el sistema de sellado, etc. De los cuales se colocaron los más importantes, por otro lado, se establecieron recomendaciones técnicas orientadas al mantenimiento correctivo que pueden ser optimizadas con la tecnología IoT ahorrando recursos y poder convertirse en mantenimiento predictivo.

Tabla 18.

Análisis AMFE de cabezal rotativo

Hoja de información RCM	**ANALISIS DE MODO EFECTO FALLA**							
Equipo: Perforadora Diamantina UDR 650	Subsistema: Sistema de rotacion	Realizado: Mario Gabriel Nina Vilca	Fecha de inicio: 11/06/2025	TAREAS PROPUESTAS PARA LA OPTIMIZACION DEL MANTENIMINETO				
Código: 650	Componente: Cabezal rotativo		Fecha de culminacion: 15/06/2025					
Función Principal	**Falla Total**	**Modo de Falla**	**Efecto y consecuencia de falla**	**Tipo de Mantenimiento**	**Tarea**	**Frecuencia**	**Operando**	**A realizarse por:**
Transmitir el movimiento rotativo a las varillas de perforación para cortar el terreno durante la perforación.	El cabezal no gira o se traba completamente	Falla del motor hidráulico que acciona el cabezal	Pérdida total del giro y detención de la perforación	Correctivo	Diagnóstico hidráulico y reemplazo del motor si es necesario	Según condición o si hay síntomas	NO	Técnico de mantenimiento
		Desgaste o rotura de rodamientos internos	Ruidos, vibraciones, pérdida de alineación y daño progresivo	Preventivo y/o Correctivo	Inspección y lubricación de rodamientos, reemplazo si es necesario	Cada 300 horas	NO	Técnico de mantenimiento
		Fuga de aceite en los retenes o sellos del cabezal	Pérdida de presión, contaminación del entorno y bajo rendimiento	Preventivo	Revisión visual de fugas y cambio de sellos	Cada 300 horas	SI	Técnico de mantenimiento
		Desalineación del cabezal por sobrecarga o instalación incorrecta	Vibraciones excesivas, desgaste de componentes y perforación desviada	Correctivo	Alineación del sistema y ajuste de montaje	Cada vez que se realiza desmontaje o tras impactos	NO	Técnico de mantenimiento

Nota: Elaboración propia

3.1.3.9. Cilindro hidráulico (Sistema de perforación – Empuje)

Siguiendo con el sistema de perforación para el subsistema de empuje el componente más importante y se conecta tanto con las guías de deslizamiento y los demás componentes es el cilindro hidráulico de empuje, el cual se encarga de generar el movimiento lineal necesario para que el cabezal rotativo avance durante la perforación, teniendo en cuenta esto,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

este componente es fundamental para mantener una presión constante sobre la broca y garantizar la eficiencia del proceso de corte en distintos tipos de terreno, en el caso que falle este componente se verá afectado el avance significativamente del proyecto por lo que es crucial su buen funcionamiento.

Para el desarrollo del análisis de modo efecto falla se consideró las fallas más comunes del componente como fugas internas o externas, desgaste de los sellos, pérdida de presión, deformación del vástago, etc. En los cuales se puede analizar que la gran parte son preventivos, sin embargo, al ser una perforadora, la cual varia su rendimiento según el terreno, la profundidad y la ubicación del trabajo varia demasiado, además, como la perforadora tiene que estar en constante trabajo lo más factible seria que su mantenimiento sea predictivo para así optimizar el tiempo de análisis preventivo de la UDR-650.

Tabla 19.

Análisis AMFE de cilindro hidráulico de empuje

Hoja de información RCM	**ANALISIS DE MODO EFECTO FALLA**							
Equipo: Perforadora Diamantina UDR 650	Subsistema: Sistema de empuje	Realizado: Mario Gabriel Nina Vilca	Fecha de inicio: 11/06/2025	TAREAS PROPUESTAS PARA LA OPTIMIZACION DEL MANTENIMINETO				
Código: 650	Componente: Cilindro hidraulico		Fecha de culminacion: 15/06/2025					
Función Principal	**Falla Total**	**Modo de Falla**	**Efecto y consecuencia de falla**	**Tipo de Mantenimiento**	**Tarea**	**Frecuencia**	**Operando**	**A realizarse por:**
Aplicar fuerza lineal sobre el cabezal o varillaje para avanzar la perforación en profundidad.	El cilindro no genera empuje o se queda inmóvil	Fugas internas por desgaste de sellos	Pérdida de presión, pérdida de empuje por lo que la perforación se hace ineficiente	Correctivo y/o Predictivo	Revisión de presión, cambio de kit de sellos	Cada 500 horas o si hay síntomas	NO	Técnico de mantenimiento
		Doblado o rayado del vástago por sobreesfuerzo o impacto	Movimiento trabado o inestable, riesgo de daño a guías o estructuras	Correctivo	Inspección y reemplazo del vástago	Según condición o tras un impacto	NO	Técnico de mantenimiento
		Fugas externas por conexiones sueltas o mangueras rotas	Pérdida de aceite, caída de rendimiento y riesgo ambiental	Preventivo	Verificación de racores y ajuste o cambio de mangueras	Cada 200 horas	SI	Técnico de mantenimiento
		Cavitación por aire en el sistema	Golpeteo hidráulico, empuje errático y bastante pérdida de fuerza	Preventivo	Purgado del circuito y revisión de nivel de aceite	Cada intervención o por síntomas	NO	Técnico de mantenimiento

Nota: Elaboración propia

3.1.3.10. Bomba de agua (Sistema de perforación – Bombeo de agua)

Como ultimo componente del sistema de perforación, sin embargo, uno de los más importantes, está la bomba de agua para lodos la cual está encargada de suministrar fluido al interior de la tubería con el fin de refrigerar la broca para que esta no termine quemada y

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

se consuma más rápido, por otro lado, también se encarga de facilitar la evacuación del detrito y estabilizar el taladro para evitar atrapamientos de tubería a altas profundidades, una vez determinada la importancia de este componente, cualquier falla en esta bomba puede provocar la detención de la operación, sobrecalentamiento de la herramienta de corte o colapsos en el barreno, lo cual perjudicaría sobre todo de manera económica debido al alto precio que tienen las brocas diamantadas de perforación.

En el desarrollo del análisis se logró identificar las fallas más frecuentes, como fugas internas por desgaste, obstrucción en la succión o impulsión y falla del motor inducido a la bomba lo cual usualmente se da por la falta del agua en el sistema y esto se puede identificar fácilmente analizando la vibración y el sonido del motor, debido a que cuando este trata de circular el líquido con aditivos que va a la profundidad del sondaje, esta absorbe agua y al no hacerla tiene vibraciones abruptas lo cual afecta a la misma bomba y tiene efectos secundarios a los demás componentes relacionados con esta, lo cual se puede detectar fácilmente con un sensor de vibración acoplado a la misma bomba e identificar fácil y rápidamente el desperfecto en el sistema.

Tabla 20.

Análisis AMFE de bomba de agua de perforación

Hoja de información RCM	**ANALISIS DE MODO EFECTO FALLA**							
Equipo: Perforadora Diamantina UDR 650	Subsistema: Sistema de bombeo de agua	Realizado: Mario Gabriel Nina Vilca	Fecha de inicio: 11/06/2025	TAREAS PROPUESTAS PARA LA OPTIMIZACION DEL MANTENIMINETO				
Código: 650	Componente: Bomba de agua		Fecha de culminacion: 15/06/2025					
Función Principal	**Falla Total**	**Modo de Falla**	**Efecto y consecuencia de falla**	**Tipo de Mantenimiento**	**Tarea**	**Frecuencia**	**Operando**	**A realizarse por:**
Bombear agua hacia el interior del sistema de perforación para refrigeración, lubricación y limpieza de la broca y el material a perforar	No suministra agua al sistema	Fugas internas por desgaste de válvulas o sellos	Caída del caudal, sobrecalentamiento de la broca, obstrucción del barreno	Correctivo y/o Predictivo	Revisión y reemplazo de válvulas y/o sellos internos	Cada 400 horas o si hay síntomas	NO	Técnico de mantenimiento
		Obstrucción en la succión o impulsión por partículas o residuos	Flujo interrumpido, cavitación y aumento de presión en línea	Preventivo	Limpieza de filtros, mangueras y tuberías	Cada 100 horas	SI	Técnico u operador
		Falla del motor acoplado a la bomba	Paro total del sistema de bombeo, detención de perforación	Correctivo	Diagnóstico del motor y reemplazo si es necesario	Según condición o al fallar	NO	Técnico de mantenimiento

Nota: Elaboración propia

3.1.3.11. Tambor de cabestrante (Sistema de elevación – Principal)

Por parte del sistema de elevación, empezando por el subsistema del cabestrante principal, como lo dice el sistema, el componente más crucial por una gran diferencia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

teniendo un puntaje de consecuencia de 30 en la tabla de análisis de criticidad es el tambor de cabestrante principal, componente encargado de enrollar y desenrollar el cable de acero utilizado para el levantamiento y descenso del cabezal rotativo y la tubería de perforación, también se debe de considerar que este tambor soporta cargas dinámicas considerables, por lo que su funcionamiento confiable es vital para la seguridad y continuidad del proceso de perforación debido a que este tiene un desperfecto al momento del izaje de la tubería, puede que esta se quede atrapada en la profundidad del terreno de investigación.

Al analizar las fallas más relevantes del componente, tales como desgaste de la superficie del tambor, deformación por sobrecarga, desalineación del eje y falla en los frenos de retención, se plantearon acciones preventivas alineadas con una estrategia de mantenimiento predictivo, incluyendo inspecciones periódicas, lubricación controlada y monitoreo de carga para disminuir el riesgo de avería del componente optimizando así lo recursos dirigidos al mantenimiento de la UDR-650.

Tabla 21.

Análisis AMFE de tambor de cabestrante principal

Hoja de información RCM	**ANALISIS DE MODO EFECTO FALLA**							
Equipo: Perforadora Diamantina UDR 650	Subsistema: Cabestrante principal	Realizado: Mario Gabriel Nina Vilca	Fecha de inicio: 11/06/2025	TAREAS PROPUESTAS PARA LA OPTIMIZACION DEL MANTENIMINETO				
Código: 650	Componente: Tambor del Cabestrante		Fecha de culminacion: 15/06/2025					
Función Principal	**Falla Total**	**Modo de Falla**	**Efecto y consecuencia de falla**	**Tipo de Mantenimiento**	**Tarea**	**Frecuencia**	**Operando**	**A realizarse por:**
Enrollar y desenrollar el cable de acero para levantar o descender el equipo de perforación de forma uniforme	Imposibilidad para levantar y bajar la carga	Freno dañado o no funcional	Caída libre o deslizamiento de carga y riesgo de accidente grave	Correctivo	Inspección y ajuste del freno del tambor	Según condición o si hay síntomas	NO	Técnico de mantenimiento
		Desgaste o deformación del tambor por uso excesivo	Enrollado irregular del cable y posible atrapamiento o rotura del cable	Preventivo	Inspección visual del tambor, verificación de desgaste	Cada 300 horas	SI	Técnico de mantenimiento
		Desalineación o juego excesivo en rodamientos laterales	Vibraciones, ruidos, desgaste prematuro y posible bloqueo	Correctivo y/o Predictivo	Revisión de rodamientos y alineación del tambor	Cada 500 horas	NO	Técnico de mantenimiento
		Acumulación inadecuada del cable por mal guiado	Enrollado desordenado, riesgo de nudos y desgaste del cable	Preventivo	Verificación del sistema guía-cable y corrección de recorrido	Cada semana	SI	Operador o técnico entrenado

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.1.3.12. Tambor de cabestrante (Sistema de elevación – Wire Line)

Siguiendo con el sistema de elevación, el segundo componente no tan crucial, pero si muy importante para el desarrollo de perforación es el tambor del cabestrante Wire Line, el cual tiene la función de manipular herramientas livianas, equipos de medición o realizar tareas de recuperación dentro de la tubería, a pesar de manejar cargas menores en comparación con el cabestrante principal que es el más crucial, su funcionamiento es crítico para operaciones específicas de precisión y mantenimiento debido a que este se encarga de recuperar las muestras de logeo para su estudio.

Durante el análisis se identificaron los modos de falla más frecuentes, como el desgaste del tambor por fricción constante del cable, aflojamiento de fijaciones, acumulación de suciedad en la superficie de enrollado y fallas en el sistema de freno o retención, considerando estos resultados, como se puede visualizar en su cuadro de análisis de modo efecto falla el cincuenta por ciento del mantenimiento que se le hace a este componente es correctivo, por lo que se busca que en un futuro se convierta en mantenimiento predictivo para así reducir el periodo de reparación y así tener más tiempo de perforación.

Tabla 22.
Análisis AMFE de tambor de cabestrante Wire Line

Hoja de información RCM	**ANALISIS DE MODO EFECTO FALLA**							
Equipo: Perforadora Diamantina UDR 650	Subsistema: Cabestrante Wireline	Realizado: Mario Gabriel Nina Vilca	Fecha de inicio: 11/06/2025	TAREAS PROPUESTAS PARA LA OPTIMIZACION DEL MANTENIMINETO				
Código: 650	Componente: Tambor del Cabestrante		Fecha de culminacion: 15/06/2025					
Función Principal	**Falla Total**	**Modo de Falla**	**Efecto y consecuencia de falla**	**Tipo de Mantenimiento**	**Tarea**	**Frecuencia**	**Operando**	**A realizarse por:**
Enrollar y desenrollar el cable de línea fina para bajar y subir el tubo interior para la recuperación de testigos	No permite bajar ni subir el tubo interior (bloqueo total)	Freno defectuoso y/o desgastado del tambor	Caída libre del tubo interior, riesgo de daño interno en la sarta y pérdida de testigo	Correctivo	Revisión y ajuste o cambio del freno del tambor	Según condición o si hay síntomas	NO	Técnico de mantenimiento
		Desgaste del tambor por uso continuo	Enrollado deficiente, atrapamiento del cable y riesgo de corte	Preventivo	Inspección visual del tambor Y medición del desgaste	Cada 250 horas	SI	Técnico de mantenimiento
		Desalineación o juego del eje del tambor	Ruidos, vibración, desgaste del cable y/o del tambor	Correctivo	Revisión y ajuste de ejes, rodamientos y/o bujes	Cada 500 horas	NO	Técnico de mantenimiento
		Enrollado irregular por falta de guía o cable dañado	Formación de nudos, cable atorado o enredado, posible rotura	Preventivo	Inspección del cable, guía-cable y reemplazo si es necesario	Cada semana	SI	Operador o técnico entrenado

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.1.3.13. Cilindros hidráulicos (Sistema de elevación – Sujeción de tubería)

Por parte del subsistema de sujeción de tubería el segundo componente más crítico del sistema de elevación con un puntaje de 21 son los cilindros hidráulicos de sujeción de tubería, los cuales cumplen la función de fijar y liberar los tubos de perforación durante las maniobras de conexión, desconexión y reposicionamiento de estos, por lo que, su correcto funcionamiento es fundamental para poder garantizar la seguridad de los operarios al momento de la operación, la alineación de la tubería y la continuidad del proceso de perforación al añadir nueva tubería o al retirar tubería.

En el proceso del análisis de modo efecto falla se logró descubrir que sus fallas más comunes son las fugas por desgaste de sellos, pérdida de presión hidráulica, deformación del vástago y fallas en los pernos de anclaje que se puede dar en el caso de soportar cargas muy pesadas, teniendo en cuenta dichas fallas, como se logrará apreciar en el siguiente cuadro, la mayor parte son fallas que se pueden solucionar con mantenimiento correctivo en los cuales los dos se tienen que hacer cuando la perforadora no esté operando, por lo que la tubería tendría que subir antes de hacer dicho mantenimiento, lo cual dependiendo de la profundidad podría variar entre 2 horas o incluso hasta un turno entero para recién hacer el mantenimiento y realizar la reparación correspondiente.

Tabla 23.

Análisis AMFE de cilindros hidráulicos de sujeción

Hoja de información RCM	**ANALISIS DE MODO EFECTO FALLA**							
Equipo: Perforadora Diamantina UDR 650	Subsistema: Sistema de sujecion de tuberia	Realizado: Mario Gabriel Nina Vilca	Fecha de inicio: 11/06/2025	TAREAS PROPUESTAS PARA LA OPTIMIZACION DEL MANTENIMINETO				
Código: 650	Componente: Cilindros hidraulicos		Fecha de culminacion: 15/06/2025					
Función Principal	**Falla Total**	**Modo de Falla**	**Efecto y consecuencia de falla**	**Tipo de Mantenimiento**	**Tarea**	**Frecuencia**	**Operando**	**A realizarse por:**
Aplicar fuerza de cierre para sujetar firmemente la tubería de perforación y evitar su movimiento durante las maniobras	No sujeta la tubería, se desliza o gira	Fugas internas por desgaste de sellos	Pérdida de presión, el cilindro no aplica suficiente fuerza de sujeción, riesgo de caída de tubería	Correctivo y/o Predictivo	Revisión del cilindro, cambio de kit de sellos	Cada 500 horas o si hay síntomas	NO	Técnico de mantenimiento
		Fugas externas por racores, mangueras o empaques	Caída de presión hidráulica, pérdida de eficiencia y riesgo de derrame	Preventivo	Revisión de conexiones, ajuste o reemplazo de mangueras y/o sellos	Cada 200 horas	SI	Técnico de mantenimiento
		Desgaste o rayadura del vástago por uso prolongado o contaminación	Movimiento trabado, pérdida de alineación, fallas en la sujeción	Correctivo	Inspección del vástago, pulido o reemplazo	Según condición	NO	Técnico de mantenimiento

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.1.3.14. Radiador (Sistema de refrigeración)

Finalmente por parte del sistema de refrigeración, como ya se sabe el componente más crucial es el radiador, componente encargado de disipar el calor generado por el sistema hidráulico y el motor durante la operación continua de perforación, como toda máquina requiere de una buena armonía calorífica para su correcto funcionamiento, su función es clave para mantener la temperatura dentro de rangos operativos seguros y evitar el sobrecalentamiento de los sistemas, lo que podría derivar en fallos mecánicos, pérdida de eficiencia o paradas no programadas que podrían afectar a los demás componentes de forma crucial.

El análisis de este radiador se centró en los modos de falla más probables, tales como obstrucción por suciedad o sedimentos, fugas en el núcleo, fallas en el ventilador o deterioro de conexiones, teniendo en cuenta el análisis del siguiente cuadro y debido a la función fundamental de este componente, se puede monitorear su funcionamiento con el uso de un sensor de temperatura y sonido el cual puede predecir una futura avería o notificar una avería pequeña que se está acrecentando y poderla anticipar como establecer medidas preventivas, entre ellas, la limpieza programada y el cambio de líquido de refrigeración que se pueden denotar con el aumento de temperatura del radiador o el aumento de sonido que este genera.

Tabla 24.
Análisis AMFE de radiador

Hoja de información RCM	ANALISIS DE MODO EFECTO FALLA							
Equipo: Perforadora Diamantina UDR 650	Sistema: Sistema de refrigeración	Realizado: Mario Gabriel Nina Vilca	Fecha de inicio: 11/06/2025	TAREAS PROPUESTAS PARA LA OPTIMIZACION DEL MANTENIMINETO				
Código: 650	Componente: Radiador		Fecha de culminacion: 15/06/2025					
Función Principal	**Falla Total**	**Modo de Falla**	**Efecto y consecuencia de falla**	**Tipo de Mantenimiento**	**Tarea**	**Frecuencia**	**Operando**	**A realizarse por:**
Disipar el calor del refrigerante para mantener el motor y los demas componentes a una temperatura operativa adecuada	Sobrecalentamiento del motor y demas componentes por pérdida de capacidad de enfriamiento	Obstrucción interna por sedimentos o sarro	Reducción en la circulación del refrigerante e incremento de temperatura	Preventivo y/o Correctivo	Lavado interno con químicos desincrustantes	Cada 500 horas	NO	Técnico de mantenimiento
		Fugas por corrosión o perforaciones en el núcleo	Pérdida de refrigerante, baja presión en el sistema y sobrecalentamiento	Preventivo y/o Correctivo	Inspección visual y reparación con soldadura o cambio de radiador	Cada 250 horas	NO	Técnico de mantenimiento
		Fallo del tapón del radiador (válvula de presión)	No mantiene una presión adecuada y generacion de burbujas	Preventivo	Revisión y reemplazo del tapón	Cada 250 horas	SI	Técnico u operador entrenado
		Acumulación de suciedad externa como barro, polvo, aceite en el panal	Reducción de intercambio térmico, enfriamiento ineficiente	Preventivo	Limpieza externa con aire comprimido o agua a presión	Cada semana	SI	Técnico u operador entrenado

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.2. Datos de monitoreo

Con el propósito de aplicar principios del mantenimiento predictivo dentro del marco del Mantenimiento 4.0, se llevó a cabo una recolección exhaustiva de variables operativas de la perforadora diamantina UDR-650 en condiciones reales de trabajo, estas mediciones se realizaron durante la ejecución de un proyecto para una empresa australiana, en la ubicación de Ite Tacna, capturando información esencial sobre temperatura, vibración y presión sonora, posteriormente se contrasto esta data con los umbrales técnicos de referencia por subsistema, lo cual permitió identificar desviaciones, anticipar potenciales fallas y validar los parámetros críticos para el disparo automático de alertas.

En este caso se utilizaron dispositivos independientes de temperatura, sonido y vibración para poder hacer el análisis el parámetro de monitoreo, para tener una medición más exacta se hicieron 3 medidas cada 6 horas de las cuales se realizó su respectivo promedio, en total por día se tienen 4 medidas que comprenden el promedio de las tres medidas antes mencionadas, en donde se pudo analizar el comportamiento de estos parámetros y para ver si estos coincidían con alguna avería y con los parámetros técnicos de cada componente, en total se obtuvieron 361 medidas de cada señal sensorial de los 10 componentes que tienen un alto grado de criticidad como una gran variación con respecto a la temperatura, sonido y vibración respecto a su estado, de todos modos, con el fin de englobar todos los sistemas, tomando en consideración el análisis de criticidad y el análisis modal de fallos y efectos (AMFE) se lograron seleccionar los componentes con mayor interacción dentro del sistema, incluyendo a los demás de manera complementaria. El monitoreo realizado a cada componente se detalla en el Anexo 8; sin embargo, los componentes escogidos se presentan a continuación:

- Eje de potencia (Sistema de potencia (Motor))
- Bomba hidráulica principal (Sistema hidráulico)
- Bloque de distribución (Sistema hidráulico)
- Cabezal rotativo (Sistema de perforación)
- Cilindro hidráulico de empuje (Sistema de perforación)
- Bomba de agua para lodos (Sistema de perforación)
- Tambor del cabestrante principal (Sistema de elevación)
- Tambor del cabestrante Wire Line (Sistema de elevación)
- Cilindros hidráulicos de sujeción de tubería (Sistema de elevación)
- Radiador (Sistema de refrigeración)

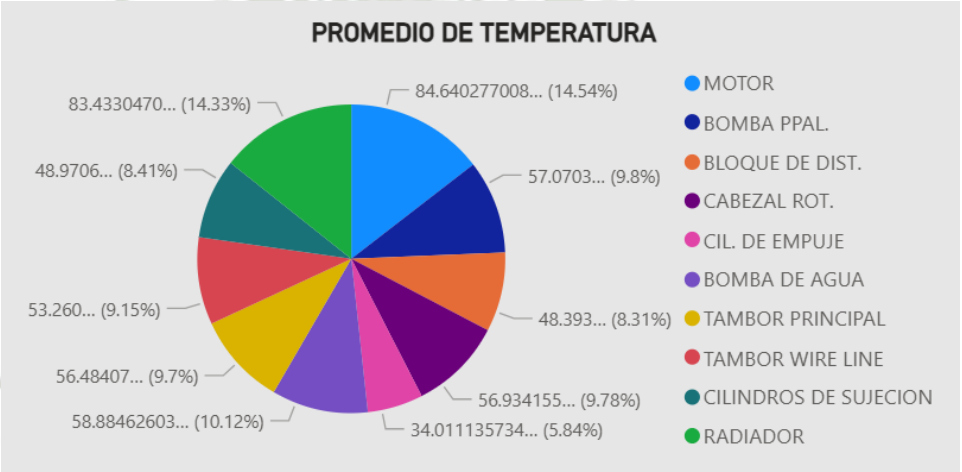
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.2.1. Datos de temperatura de cada sistema

En el caso de la temperatura, para obtener una vista general y un resumen del comportamiento en los tres meses de monitoreo, se elaboró el cuadro en la Figura 31, en el cual se presentan los promedios de todos los componentes, en el cual se observa que el radiador registra una de las temperaturas más elevadas; de hecho, dentro de los cuatro mantenimientos realizados en ese periodo, uno correspondió a este componente. La medición de la temperatura en la perforadora UDR-650 resulta fundamental, ya que permite detectar sobrecalentamientos que podrían afectar la eficiencia operativa de la perforadora.

Figura 15.
Promedio de temperatura



Nota: Elaboración propia

- Bomba hidráulica principal (Sistema hidráulico)

Temperatura media: 60.24 °C

Aunque durante el monitoreo se registró que opera dentro del rango permitido (≤ 85 °C), la temperatura se encuentra por encima del umbral óptimo de 55 °C necesario para mantener la integridad del aceite hidráulico, por este motivo, se recomienda verificar la viscosidad del fluido, revisar el estado del filtro e inspeccionar posibles obstrucciones o restricciones en el flujo, ya que estos factores podrían estar anticipando una pérdida progresiva de eficiencia térmica.

- Bloque de distribución (Sistema hidráulico)

Temperatura media: 51 °C

El valor registrado es aceptable, sin embargo, la tendencia creciente sugiere una posible acumulación de presión interna o desgaste en las válvulas direccionales; por lo que se aconseja realizar una inspección técnica preventiva y, de ser necesario, una recalibración

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

para evitar pérdidas de caudal o generación excesiva de calor por fricción hidráulica sin embargo su mantenimiento no es crucial.

- Cabezal rotativo (Sistema de perforación)

Temperatura media: 60 °C

Este nivel térmico medido, aunque está aún lejos del límite crítico (90 °C), debe de tener un seguimiento constante dado que el cabezal trabaja bajo esfuerzos mecánicos intensos; por lo que es recomendable revisar el engranaje planetario, verificar el sistema de lubricación interna y examinar los sellos térmicos, ya que una acumulación de calor podría comprometer la eficiencia del torque y generar deformaciones estructurales, para predecir la avería de este componente son más eficientes los sensores de vibraciones y sonido.

- Cilindro hidráulico de empuje (Sistema de perforación)

Temperatura media: 35.90 °C

Este valor se encuentra dentro del rango óptimo de operación; y, no obstante, se sugiere verificar el retorno de fluido y posibles presiones residuales que podrían afectar la disipación térmica, además de una mala lubricación o la presencia de partículas contaminantes pueden provocar elevaciones innecesarias de temperatura en el mediano plazo, lo cual si podría afectar mucho a la máquina perforadora.

- Bomba de agua para lodos (Sistema de perforación)

Temperatura media: 62.15 °C

Aunque se mantiene por debajo del umbral de riesgo (82–86 °C), el valor indica un comportamiento térmico ascendente; por lo que se recomienda una inspección programada del sistema, poniendo énfasis en el estado de los rodamientos, impulsores y posibles signos de cavitación; además de que una caída en el caudal también puede elevar la fricción interna y contribuir a un sobrecalentamiento progresivo.

- Tambor del cabestrante principal (Sistema de elevación)

Temperatura media:59.62 °C

Su temperatura se encuentra dentro del rango de trabajo seguro, pero próximo al límite térmico operativo para componentes de elevación, por lo que es recomendable intensificar la lubricación preventiva del tambor y verificar el sistema de freno y el motor de elevación, especialmente en ciclos prolongados o bajo carga pesada, a este componente se le tiene que tener sumo cuidado ya que es muy importante cuando se está en plena operación.

- Tambor del cabestrante wire line (Sistema de elevación)

Temperatura media: 56 °C

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

El desempeño térmico es aceptable, pero requiere vigilancia, especialmente si la máquina opera en jornadas extendidas; por lo que se aconseja reforzar el mantenimiento semanal con énfasis en el estado de los cables, las poleas guía y el sistema de frenado para prevenir acumulaciones de temperatura por fricción, lo bueno del uso de este tambor es que mientras aumenta su trabajo a su vez aumenta su descanso, por la profundidad de muestras que se obtengan.

- Cilindros hidráulicos de sujeción de tubería (Sistema de elevación)

Temperatura media: 51 °C

Operan en condiciones térmicas ideales (40–60 °C); donde este registro sugiere un funcionamiento eficiente del sistema de sellado, válvulas y pistones, por lo que se recomienda mantener el plan de mantenimiento vigente para preservar este buen desempeño.

- Radiador (Sistema de refrigeración)

Temperatura media: 88.06°C

Operando perfectamente dentro del rango de 82–96 °C después del mantenimiento previamente hecho. Su rendimiento asegura que el flujo de aire y circulación de fluido refrigerante están en condiciones óptimas después de su reparación, sin embargo, se sugiere mantenimiento mensual para evitar la acumulación de polvo o residuos en las aletas disipadoras, este sistema es el más importante para la recolección de temperatura, ya que este se encarga de mantener la temperatura no tan alta y afecte a los demás sistemas.

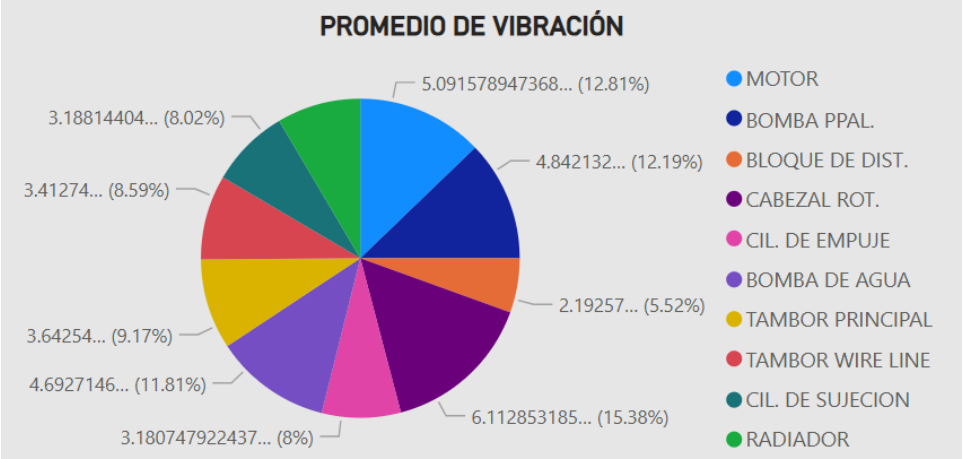
3.2.2. Datos de vibración de cada sistema

Por parte de la vibración, también, para obtener una vista general y un resumen del comportamiento en los tres meses de monitoreo, se elaboró el cuadro de la Figura 32, en el cual se presentan los promedios de todos los componentes, en el cual se puede evidenciar que el cilindro hidráulico de empuje y el tambor del cabestrante principal registraron niveles de vibración más elevados de lo normal, lo cual coincide con los mantenimientos realizados a ambos durante este periodo, la medición de vibración en la perforadora UDR-650 es esencial, ya que permite identificar desalineaciones, desgastes o desbalances que en el caso que no se le da el monitoreo o la importancia pertinente, pueden generarse fallas graves o paradas no programadas que producirían más gastos operativos dentro del proyecto, por consiguiente, se muestran los promedios de cada componente junto con un resumen de su estado actual, cabe recalcar que el siguiente cuadro representa a las medidas de los tres meses de análisis, en donde hubieron también momentos donde no vibro ningún componente por temas de mantenimiento.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 16.
Promedio de vibración



Nota: Elaboración propia

- Cabezal rotativo

Vibración promedio: 6.45 mm/s

Es el componente más exigido y con mayor vibración registrada, siempre se sugiere realizar alineamiento láser, revisión de acoplamientos, balanceo dinámico del eje y sustitución de elementos de desgaste si se detecta inestabilidad rotacional.

- Cilindro hidráulico de empuje

Vibración promedio: 3.35 mm/s

Con un rango aceptable, sin embargo, este valor debe mantenerse vigilado, especialmente si hay fluctuaciones durante ciclos de carga, por lo general se recomienda usar sensores de vibración de mayor sensibilidad para predecir posibles fallas por flexión del vástago, el análisis vibracional de este componente es crucial porque en el caso que falle el cilindro de empuje se puede quedar atascada la tubería.

- Bomba de agua para lodos

Vibración promedio: 4.95 mm/s

Ligeramente elevado, usualmente para el mantenimiento de este sistema se suele revisar el eje impulsor y verificar la alineación con el motor, en el caso que este persista con el nivel vibratorio, se debe analizar la posibilidad de desequilibrio interno del rotor o formación de burbujas de aire en el fluido lo cual es preocupante a grandes profundidades y puede afectar al lado que se está efectuando dentro del sondaje.

- Tambor del cabestrante principal y wire line

Vibración promedio: 3.84 y 3.60 mm/s respectivamente

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Ambos valores dentro de lo esperado, no obstante, se recomienda ajuste de tensores y verificación estructural de las bases de soporte, sobre todo si se usan con carga elevada o en ciclos repetitivos de tensión.

- Cilindros de sujeción

Vibración promedio: 3.36 mm/s

Conteniendo un comportamiento vibratorio normal, lo que sugiere monitoreo trimestral para validar la alineación del bastidor y anclaje firme al chasis principal, usualmente no es tan necesario analizar la vibración en este sistema, con el que se puede analizar más su posible mantenimiento es el sensor de sonido en el cual puede verificar el desgaste de sus pistones y de agarre de sus grapas con los tubos de perforación.

- Radiador

Vibración promedio: 3.56 mm/s

Este contempla una estabilidad confirmada, ya que contiene bajas vibraciones las cuales indican que los ventiladores y bomba de circulación no presentan anomalías rotativas, sin embargo, se recomienda mantener lubricación de los cojinetes, en este caso también es muy necesaria la utilización de sensores de vibración debido a la falla de los ventiladores que usualmente no pueden ser percatadas por los operadores ya que no son visibles al momento de operar la UDR-650.

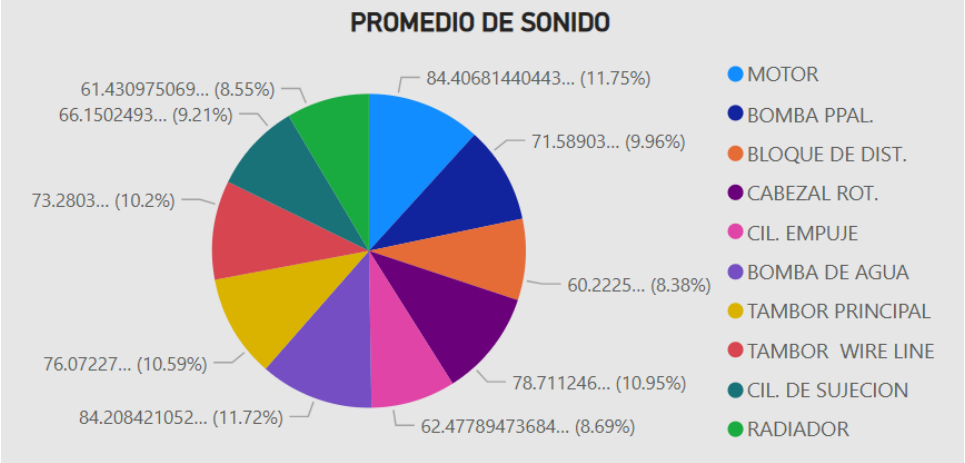
3.2.3. Datos de sonido de cada sistema

En el análisis de sonido realizado durante los tres meses de monitoreo, se elaboró el cuadro de la Figura 33 con los promedios registrados en cada componente, entre ellos, la bomba de agua para lodos genero más ruido de lo normal, y este suceso coincidió con el mantenimiento que se le hizo, su mantenimiento se debió a que los rodamientos empezaron a generar un zumbido o chirrido que se dieron más que todo por el desgaste, se debe de considerar que la medición del sonido en una perforadora resulta clave porque ayuda a identificar desgastes en cojinetes, cavitación o fricciones internas que, de no corregirse, pueden anticipar fallas mayores y pérdidas de eficiencia; por lo general por la cantidad de ruido externo de otros componentes o del mismo motor no le podemos dar seguimiento auditivamente a todos los componentes por eso es importante tener un sensor que pueda darle un monitoreo constante, por otro lado, en el caso del análisis auditivo de los componentes se pudo llegar a la conclusión que debido a los sonidos externos, tanto del ambiente de trabajo como de los demás componentes, es un poco complicado tener medidas exactas, sin embargo con espuma aislante se pueden mitigar este tipo de percance.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 17.
Promedio de sonido



Nota: Elaboración propia

- Cabezal rotativo

Sonido promedio: 83.08 dB

Se encuentra en el límite de advertencia, es necesario en el caso de este sistema inspeccionar constantemente la carcasa rotatoria, engranajes y sellos, se debe de considerar que un sonido excesivo indica posible desgaste por fricción o desajuste estructural interno lo cual podría ocupar bastante tiempo de mantenimiento.

- Bomba de agua para lodos

Sonido promedio: 88.88 dB

Alto nivel sonoro, se recomienda verificar problemas por cavitación o circulación irregular del fluido, en este caso como la bomba de lodos se encuentra cerca al mismo motor no es significativo que este mal, a menos que los otros dos sensores coincidan que la bomba está teniendo un sobre esfuerzo o una anomalía en su funcionamiento.

- Cilindro de empuje

Sonido promedio: 65.95 dB

Dentro del rango permisible, siempre se debe verificar la fuente del sonido si presenta cambios súbitos, a su vez, en el caso que se genere una variación de decibeles es recomendable revisar si los retenes hidráulicos están generando fricción al límite del ciclo ya que es la avería más usual que se puede dar, las demás son por exceso de suciedad del cilindro y tenga que darse un mantenimiento preventivo.

- Tambor principal y wire line

Sonido promedio: 80.29 y 77.35 dB respectivamente

El ruido que estas generan es totalmente paralelo a la carga que estos levantan, se debe de tener en cuenta que por lo general para analizar el ruido y regularizarlo se

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

recomienda aplicar análisis espectral por FFT para descartar microfracturas que se generan internamente, por lo que no se puede percibir con el mismo funcionamiento.

- Bomba hidráulica principal y bloque de distribución

Sonido promedio: 75.56 y 63.56 dB

Estos fueron los valores más estabilizados en el caso del análisis de sonido, sin embargo, cualquier incremento repentino puede indicar fugas internas o estrangulamiento de válvulas lo cual esto puede percibirse antes con el análisis de vibración, se debe de considerar que por lo general en el caso de la bomba hidráulica principal y el bloque de distribución pueden ser reemplazados fácilmente, sin embargo, el repuesto no está en campo más que todo por el peso y espacio que estos tienen.

- Cilindros de sujeción y radiador

Sonido promedio: 69.85 dB y 64.84 dB

Ambos dentro del rango óptimo de funcionamiento, por otro lado, las condiciones acústicas estables indican que no hay fricción anormal ni deficiencia en los sellos en el caso de los cilindros de sujeción y por parte del radiador en el caso que este varie el ruido que genera es preocupante porque da indicios a sobre esfuerzo lo cual podría afectar a la refrigeración de los demás componentes.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Capítulo IV

Desarrollo de la solución tecnológica

Para el desarrollo de este capítulo, primero se definirá el tipo de conexión inalámbrica que se utilizará para la transmisión de datos desde la perforadora UDR-650, evaluando las opciones más adecuadas para el entorno de operación, para posteriormente proceder con el diseño físico, donde se seleccionarán los componentes eléctricos y electrónicos, como sensores de temperatura, sonido y vibración, además de los elementos necesarios para la alimentación de todos los componentes.

Una vez definidos los componentes, se establecerá la arquitectura física, la cual representará la forma en que estos dispositivos se conectarán entre sí para garantizar una correcta recepción y transmisión de información, y finalmente, para enlazar la parte física con la recolección de datos se desarrollará la arquitectura cibernética, que abarcará la definición de la red IoT, los servicios en la nube requeridos y el esquema de almacenamiento de los datos recolectados, asegurando su gestión y análisis para el monitoreo de la perforadora UDR-650.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4.1. Sistema conexión inalámbrica

Para el diseño de cualquier equipo IoT, es necesario escoger primero el diseño del sistema de conexión, ya que este define si se va a garantizar una comunicación eficiente y confiable entre los sensores de la perforadora UDR-650 y la nube, por lo que la correcta selección de la red IoT asegura la transmisión continua de datos de monitoreo entre ellos los ya mencionados que son la temperatura, vibración y sonido.

Por otro lado, elegir una topología adecuada permite optimizar la recolección y envío de información, asegurando así que el sistema se adapte a las necesidades operativas y a las condiciones en las que se encuentra el equipo, además que una correcta elección de red ayuda a no hacer gastos demás ni tener un alcance limitado de red.

4.1.1. Selección de red IoT

El diseño conceptual del sistema de monitoreo predictivo de la perforadora diamantina UDR-650 requiere una cuidadosa elección de la red IoT, dado que esta decisión condicionará tanto la estructura lógica como la implementación física, tanto sensorial como del sistema cibernético. Primeramente, antes de elegir una red IoT, se debe considerar la distancia entre los dispositivos, ya que esto define la tecnología a usar, el consumo de energía y los costos que pueden generar, por lo cual las redes se dividen en tres distintos tipos de alcances los cuales se pueden apreciar en la tabla 8.

Tabla 25.
Tipos de red IoT

Tipo de red	Distancia	Tecnologías comunes	Uso típico
Corto alcance	< 100 m	BLE, Zigbee, WiFi	Hogares, wearables
Medio alcance	100 m – 1 km	Thread, WirelessHART	Fábricas, almacenes
Largo alcance (LPWAN)	1 – 50 km	LoRaWAN, Sigfox, NB-IoT	Agricultura, minería, ciudades inteligentes

Nota: Elaboración propia

Considerando las exigencias operativas del entorno minero, donde no siempre se dispone de conectividad Wifi y las condiciones ambientales son extremas, se debe de priorizar una red de largo alcance porque en este caso se usará la red LPWAN, debido a que no siempre se contará con una red cercana en el campo de acción del proyecto y, además, la mayoría de los proyectos de exploración se desarrollan en zonas remotas y de difícil acceso, donde no existen infraestructuras de telecomunicaciones ni presencia de civilización.

Una vez escogida la red de largo alcance, se procede a definir el tipo específico de red a utilizar, considerando factores como el consumo energético, la cantidad de dispositivos

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

y las condiciones ambientales. Para ello, se elaboró un cuadro comparativo con las redes más adecuadas para este tipo de situación, evaluando sus características y ventajas.

Tabla 26.
Selección de red IoT

Factor	LoRaWAN	NB-IoT	Sigfox
Distancia de cobertura	2 – 15 km (urbano/rural)	1 – 10 km (depende de cobertura celular)	10 – 50 km
Costo de implementación	Bajo (requiere gateways propios, sin pago mensual)	Medio-Alto (pago mensual a operadora)	Bajo (pago a operador, tarifas económicas)
Costo operativo	Solo mantenimiento del gateway	Pago recurrente por SIM/datos	Pago recurrente por dispositivo
Consumo energético	Muy bajo, ideal para baterías que duren 5-10 años	Bajo, pero mayor que LoRaWAN	Ultra bajo, muy eficiente
Velocidad de transmisión	0.3 – 50 Kbps (baja)	Hasta 250 Kbps	100 bps (extremadamente baja)
Adaptabilidad	Muy alta, red privada o pública	Depende de la cobertura del operador	Depende totalmente del operador
Infraestructura necesaria	Gateway propio o acceso a red pública	Cobertura de red LTE/NB-IoT existente	Cobertura Sigfox existente
Escalabilidad	Alta, soporta miles de nodos	Muy alta, aprovecha infraestructura celular	Limitada según capacidad del operador
Fiabilidad de la red	Depende de tu propio diseño	Alta, red celular establecida	Media, depende de operador
Ventajas	- Sin pago mensual - Bajo consumo - Control total de la red - Ideal para zonas rurales y minería	- Red estable y confiable - Buena seguridad - Integración con infraestructura existente	- Costos iniciales bajos - Excelente para mensajes simples - Cobertura amplia en algunas zonas
Desventajas	- Baja velocidad - Necesita gateways propios - Requiere gestión técnica	- Pago mensual - Depende de cobertura celular - Mayor consumo que LoRaWAN	- Velocidad muy baja - Poca flexibilidad - Dependencia total de operador

Nota: Elaboración propia

En este caso, para el proyecto de monitoreo predictivo que se tiene pensado elaborar, se escogió la opción 1 que es la red LoRaWAN debido a varios factores importantes,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

primeramente, por parte de la distancia de comunicación, en este caso LoRaWAN ofrece un alcance de hasta 15 km en zonas rurales, lo que permite cubrir toda el área de operación sin necesidad de instalar torres celulares adicionales, algo que NB-IoT no garantiza si no existe cobertura en lugares recónditos donde no hay población; por otro lado, LoRaWAN no requiere pagos mensuales a operadoras, lo que reduce significativamente los costos operativos, el único costo adicional seria la implementación de uno o más gateways, los cuales como son para uso netamente privado estos brindan un control total de la red y mayor flexibilidad para integrarla con el sistema de monitoreo y análisis en la nube.

Otro aspecto importante para el sistema de monitoreo es el consumo energético, ya que como los nodos de monitoreo deben funcionar durante largos periodos de tiempo para realizarle un monitoreo constante a la UDR, por lo que LoRaWAN es ideal para este escenario, ya que su consumo es extremadamente bajo, lo que extiende la vida útil de las baterías de respaldo y asegura que los dispositivos puedan operar incluso en condiciones donde el suministro eléctrico es intermitente.

Además de todos los factores antes mencionados, por temas económicos se descartó NB-IoT y se decidió decantarse por LoraWAN y Sigfox, sin embargo, Sigfox quedó descartado por su baja velocidad de transmisión y dependencia total de la infraestructura de su operador, lo cual causaría gastos operativos para la contratación de un personal pendiente de la red IoT, además todo el monitoreo estaría supeditado al personal que se encargara de operar la red IoT.

4.1.1.1. Topología LoRaWAN:

La red LoRaWAN emplea una variante mejorada del esquema de red tipo estrella, conocida como topología estrella de múltiples estrellas o estrella-estrella, esta configuración se caracteriza por la utilización de diversos Gateways distribuidos estratégicamente, los cuales tienen la función de captar simultáneamente los mensajes emitidos por los nodos sensores y reenviarlos hacia un servidor central alojado en la nube.

A diferencia de las redes donde cada nodo final se vincula únicamente con un punto de acceso determinado, en este modelo de comunicación los datos generados por un único nodo pueden ser captados por múltiples Gateways en paralelo, lo que causa que esta capacidad de redundancia fortalece la robustez de la red, ya que permite mantener la integridad de la información incluso si alguno de los enlaces falla.

El procesamiento más exigente dentro de esta arquitectura ocurre en el servidor de red, ya que allí se filtran los paquetes duplicados provenientes de los Gateways, se regula la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

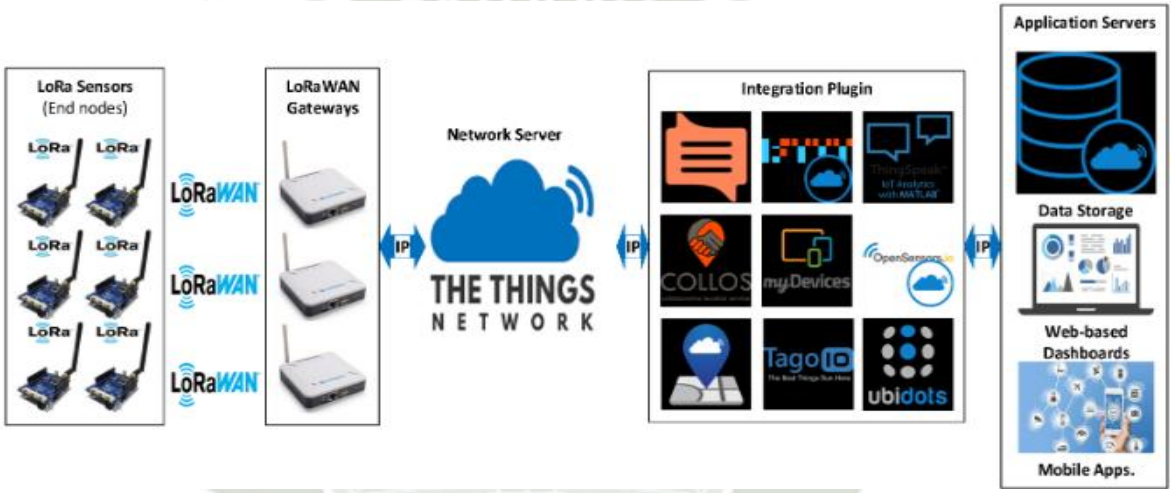
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

asignación de parámetros de comunicación como las tasas de transferencia adaptativas (ADR), y se implementan los protocolos de seguridad que garantizan la autenticidad y protección de los datos transmitidos, que en este caso como solo se trata de mantenimiento de maquinaria propia no es muy importante el uso de protocolos de seguridad.

En la figura 33, se ilustra visualmente esta disposición topológica, mostrando la interacción entre los nodos finales, los Gateways intermedios y el servidor central, lo cual sustenta la infraestructura lógica del sistema cibernético planteado en este proyecto de monitoreo.

Figura 18.
Arquitectura de red LoRaWAN



Nota: Mukarram et al. (2022)

4.2. Diseño del sistema físico

Para poder elaborar el diseño del sistema físico de los dispositivos propuestos que se van a implementar se debe considerar que en realidad no será solo uno, sino en este caso serán dos equipos distintos que trabajarán de manera conjunta, primeramente se iniciara con el nodo de monitoreo, el cual se encargará de adquirir las señales sensoriales, en este caso la temperatura, el sonido y la vibración, procesarlas y prepararlas para su transmisión, más que todo, este dispositivo está pensado para trabajar directamente en campo, en condiciones alejadas y con factores externos que pueden variar bastante, por lo que su diseño tiene que ser compacto, confiable y de bajo consumo energético.

El segundo dispositivo propuesto será el Gateway debido a que se escogió el tipo de red LoRaWAN, que tendrá la función de recolectar toda la información enviada por el nodo de monitoreo y posteriormente transmitirla hacia la nube, gracias a esto, los datos podrán ser

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

visualizados, almacenados y analizados de forma remota, sin necesidad de estar físicamente en el lugar donde se encuentran los equipos, gracias a esto se plantearon dos diseños distintos, cada uno con sus propias características y funcionalidades específicas, pero que en conjunto logran conformar el sistema completo de monitoreo que es lo que se busca.

Nodo de Monitoreo

Por parte del nodo de monitoreo, desglosando las partes más importantes, este debe contener principalmente la fuente de energía, la cual se piensa extraer directamente de la batería del sistema de la perforadora UDR-650, sin embargo, como ya se sabe, la máquina puede tener momentos de parada, aunque sean pequeños, el dispositivo propuesto contará con una batería de respaldo que permita mantenerlo activo en todo momento sin interrupciones, a esto hay que sumarle que, debido a la batería de la misma perforadora, se ha considerado integrar un seleccionador de paso de corriente para evitar que el nodo se vea afectado por posibles picos o caídas eléctricas, lo que realiza este seleccionador es trabajar de la mano con un acondicionador de energía, que garantizará que todos los componentes internos reciban un voltaje estable y dentro de los parámetros y se evite quemar algún componente.

En cuanto a los sensores, este nodo contará con los ya mencionados anteriormente que son el sensor de temperatura, el sensor de sonido y el sensor de vibración, sin embargo, en este caso también se decidió añadir un sensor adicional, que será el medidor de corriente, el cual permitirá analizar con mayor detalle qué fuente de energía se está utilizando y cómo se está distribuyendo en el dispositivo, aparte de los sensores, para hacer que estos laboren de manera óptima se requiere de un procesador el cual tiene que analizar toda la información analógica y pasarla a un módulo de comunicación, encargado de enviar la información recolectada hacia el Gateway, al mismo tiempo, recolectar solicitudes de este, como ya se explicó, esta comunicación será mediante tecnología LoRa por su confiabilidad en distancias largas y en zonas alejadas.

Finalmente, desde el punto de vista mecánico, se pensó en una carcasa de acero A36, el cual le dará la resistencia necesaria frente a colisiones, manipulación brusca y factores ambientales como lluvia, polvo o incluso exposición prolongada al sol, adicionalmente esta carcasa contará con sujeciones tipo mordaza para asegurar su instalación en el lugar de trabajo, además de una espuma aislante tanto térmica como sónica para proteger al sensor de sonido y de temperatura en caso de condiciones adversas, por otro lado, se decidió no detallar los componentes de conexión como el cableado o las placas de unión, ya que son universales y no varían según la marca o fabricante y pueden adaptarse sin problema a

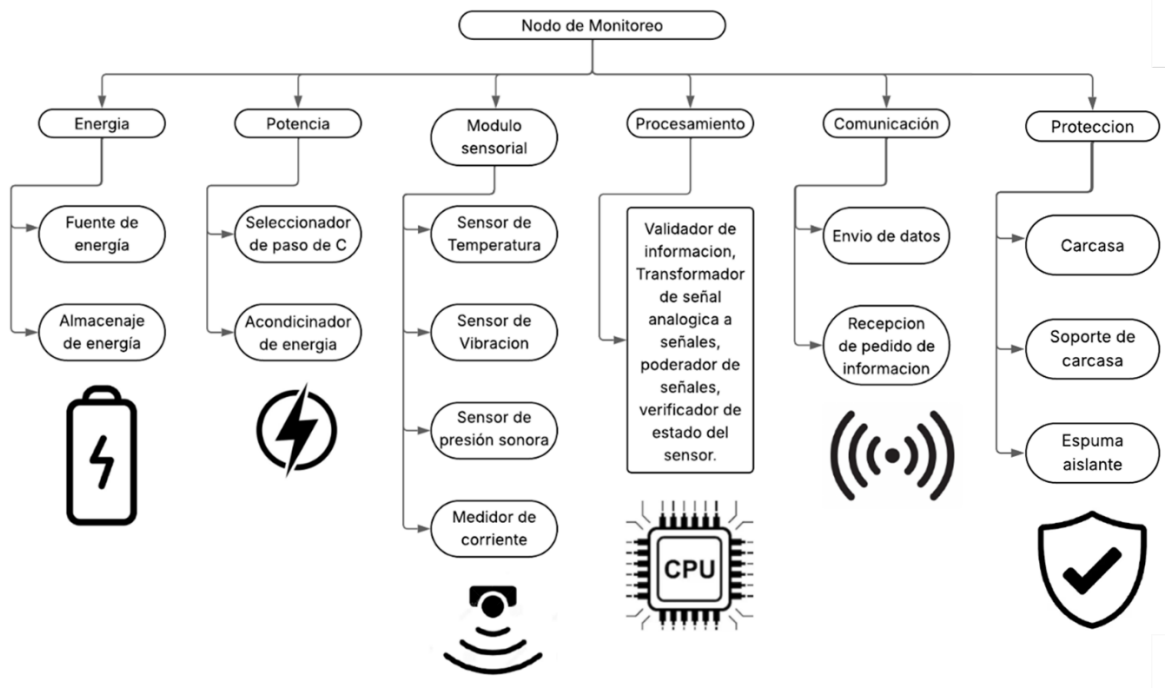
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

cualquier entorno. Para tener una mejor comprensión de todo lo descrito, se elaboró un cuadro representativo en donde se muestran los componentes principales que se consideraron en este prototipo, facilitando así su análisis dentro del diseño general.

Figura 19.
Principales componentes de Nodo de Monitoreo



Nota: Elaboración propia

Gateway

En el caso del Gateway, los componentes que lo conforman son similares a los del nodo de monitoreo en lo que respecta a la parte de energía y potencia, aunque presentan ciertas diferencias debido al lugar en donde se ubicarán y la función que cumplirán, a diferencia del nodo de monitoreo, que trabaja directamente en la máquina perforadora, los Gateways no estarán instalados cerca del equipo, sino que se colocarán en puntos más estables y protegidos, como en el campamento del personal o, en casos muy especiales, en lugares estratégicos definidos únicamente por la necesidad de asegurar una buena cobertura de señal, lo cual genera que su fuente de alimentación sea más flexible, pudiendo ser directa de la red eléctrica que se cuenta en campamento con una batería de respaldo por alguna eventualidad, o en escenarios donde no exista acceso a energía convencional, utilizar un sistema de panel solar que también trabaje junto con una batería para garantizar la autonomía del dispositivo propuesto en todo momento.

En cuanto al procesamiento, el Gateway tiene como tarea principal recolectar los datos que provienen del nodo, los cuales son generados por los sensores en campo, una vez

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

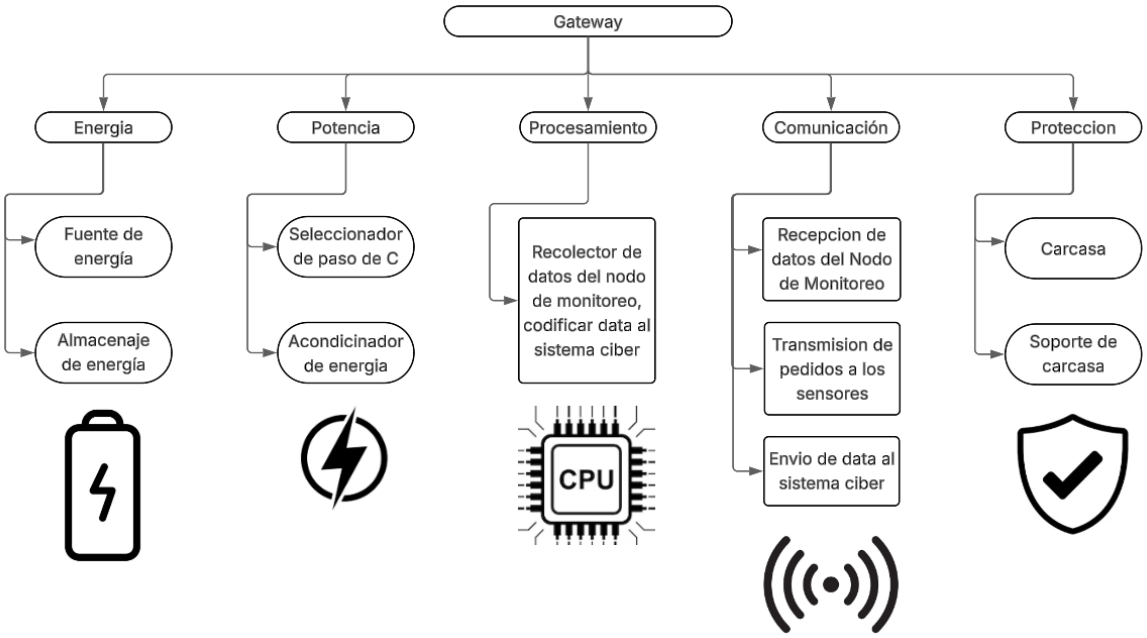
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

recibida la información, este dispositivo propuesto se encarga de organizarla, codificarla y transmitirla al sistema cibernético. Dentro de la parte de comunicación, el Gateway no solo recibe los datos de los nodos, sino que también lo transmite y envía al sistema central en la nube, estableciendo un puente entre lo que ocurre en la perforadora y lo que se registra digitalmente para su monitoreo y análisis.

Finalmente, en cuanto a la protección física, como este dispositivo no estará expuesto directamente a las condiciones del campo de trabajo, no requiere de una estructura tan robusta como la del nodo de monitoreo, aun así, se contempla que disponga de una carcasa simple, que puede ser fabricado en metal ligero, siempre acompañado de un soporte adecuado que garantice su estabilidad, de esta manera, el Gateway se asegura de permanecer operativo bajo condiciones más tranquilas, sin dejar de lado la protección básica necesaria para alargar su vida útil y facilitar su mantenimiento.

Figura 20.
Principales componentes de Gateway



Nota: Elaboración propia

4.2.1. Selección de componentes a utilizar

Para la selección de componentes se tomó en cuenta entre dos o tres opciones de cada uno, analizando que estos tengan especificaciones que se adapten mejor al trabajo dentro del sistema, en el cual no solo se buscó cumplir con la función básica, sino también asegurar compatibilidad, bajo consumo energético, resistencia al entorno, precio accesible y, sobre todo, una mayor durabilidad para evitar fallas frecuentes.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

De esta manera, la elección de cada componente se hizo con un criterio comparativo, priorizando confiabilidad y facilidad de integración, de modo que el dispositivo final sea más eficiente y con menor necesidad de mantenimiento en campo.

4.2.1.1. Nodo de Monitoreo

Por parte del Nodo de monitoreo, primero se tomará en cuenta lo que son los sensores, los cuales son los más importantes dentro del sistema ya que estos se encargaran de recolectar toda la información de la UDR-650, posteriormente, tomando en cuenta la cantidad de entrada de cada sensor, se escogerá lo que sería el controlador que se encargara del procesamiento una vez ya se tenga el número de entradas que tendrá cada sensor, posteriormente por parte de la comunicación se procederá a escoger el transceptor LoRa, y al ya tener todos los componentes junto al procesador, se procederá a realizar los cálculos correspondientes y la elección de los componentes de energía y potencia como las placa UPS, la protección contra carga y la batería de litio a utilizar; no se están considerando conexiones, placas universales, consumibles y materiales de ensamble porque tienen las mismas especificaciones y no varía en gran parte el fabricante o modelo.

Sensor de Temperatura

En el caso de la temperatura, es necesario contar con un sensor que pueda reflejar de manera confiable las variaciones térmicas que se presentan en cada componente, cabe recalcar que no basta con que mida, sino que además debe ser capaz de adaptarse correctamente al entorno de trabajo, soportando las condiciones ambientales, vibraciones y posibles interferencias electromagnéticas propias del campo de perforación, para esto se toman en cuenta puntos clave como:

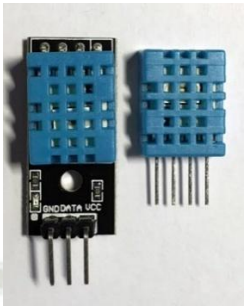
- Un consumo reducido de energía
- Una alimentación mediante microcontrolador en el rango de 3.3v a 5v
- Una alta exactitud en la señal analógica de salida

Bajo estas condiciones, se decidió realizar un análisis comparativo de diferentes alternativas de sensores de temperatura disponibles en el mercado, con el propósito de determinar cuál ofrece un mejor desempeño frente a las exigencias del campo de acción, por tal motivo, se buscó seleccionar un sensor que combine precisión, bajo consumo energético y facilidad de integración, para así poder garantizar al mismo tiempo una solución técnica confiable, duradera y económicamente para que esta sea viable para el sistema de monitoreo que se pretende implementar.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 27.
Selección de sensor de Temperatura

	Opción 1	**Opción 2**	**Opción 3**
Sensor de Temperatura	DHT11 	MLX90614ESF (Sin contacto) 	TMP36 
Marca	ASAIR	Melexis	Analog Devices
Medidas en mm	15.5 × 12 × 5.5 mm (solo el módulo sensor)	4.9 × 3.91 × 1.6 mm (SOT-23) / TO-92	4.9 × 3.91 × 1.6 mm
Entrada de energización	3.3 V a 5.5 V DC	3.6 V a 5 V DC	2.7 V a 5.5 V DC
Rango	0 °C a 50 °C	-70 °C a 380 °C (objetos)	-40 °C a 125 °C
Sensibilidad de lectura	±2 °C de precisión	Precisión ± 0.5 °C	Precisión ±2 °C
Rango de temperatura de trabajo	0 °C a 50 °C	-40 °C a 125 °C	-40 °C a 125 °C
Data analógica	Entrega señal digital de un solo hilo	Digital (I²C, PWM opcional)	Analógica (salida de voltaje proporcional a °C)
Precio comercial internacional	2 - 5 USD	15 - 30 USD	2 - 5 USD

Nota: Elaboración propia

En este caso se escogió la opción dos con el componente MLX90614ESF debido que además de cumplir con los consumos solicitados y que tiene una precisión más exacta este componente tiene la capacidad de medir sin la necesidad de tener contacto con el sistema a monitorear lo cual es algo clave en equipos que vibran y tienen partes calientes o en movimiento, además, al estar fijo solo necesita apuntar a la pieza, sin riesgo de soltarse ni desgastarse, el único contra de este componente es que es más caro a comparación de los demás, pero a su vez tiende a desgastarse menos y nos da más disponibilidad lo cual compensa su costo más elevado, resumiendo, es más confiable para detectar desvíos de temperatura y anticipar fallas en condiciones duras de perforación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

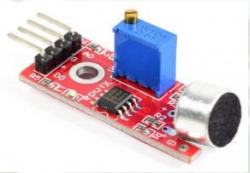
Sensor de Presión sonora

Para poder analizar el tiberio que genera cada componente se requiere de un sensor de sonido, el cual no solo debe captar de manera precisa los niveles de ruido, sino también adaptarse al campo de acción, que en este caso son terrenos alejados y con condiciones muy distintas entre sí que requiere lo siguiente:

- Un consumo reducido de energía
- Una alimentación mediante microcontrolador en el rango de 3.3v a 5v
- Una alta exactitud en la señal analógica o digital de salida

Tomando en cuenta estas tres características, se decidió evaluar tres opciones distintas de sensores de sonido, con la idea de comparar cuál se adapta mejor a las condiciones del proyecto.

Tabla 28.
Selección de sensor de Sonido

	Opción 1	**Opción 2**	**Opción 3**
Sensor de Sonido	KY-037 	MAX9812L 	SEN-12642 
Marca	Genérico (módulo chino)	Maxim Integrated	SparkFun
Medidas en mm	35 × 16 × 15 mm	~14 × 11 mm (módulo breakout típico)	43 × 30 mm
Entrada de energización	3.3 V – 5 V DC	2.7 V – 5.5 V DC	3.5 V – 5.5 V DC
Rango	100 Hz – 10 kHz aprox.	20 Hz – 20 kHz	20 Hz – 20 kHz
Sensibilidad de lectura	Ajustable con potenciómetro (detector digital + salida analógica)	Alta sensibilidad con ganancia fija de +20 dB	Alta sensibilidad con tres salidas: analógica, digital y envolvente
Rango de temperatura de trabajo	-20 °C a 70 °C	-40 °C a 85 °C	-40 °C a 85 °C
Data analógica	Ambas: salida analógica (nivel de micrófono) y digital (comparador con umbral)	Analógica (señal de audio amplificada)	Analógica (audio), Digital (umbral), Envolvente (nivel de sonido)
Precio comercial internacional	1 – 3 USD	3 – 6 USD	10 – 15 USD

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

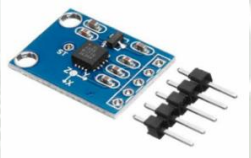
Por parte del sensor de sonido se optó decantarse por la opción tres la cual es el SEN-12642 debido que a comparación de los demás componentes es mucho más preciso y estable para un monitoreo, a su vez el KY-037 es muy básico, solo detecta si hay sonido fuerte o no, sin darte un dato confiable para análisis, por su parte el MAX9812L tiene amplificación integrada, pero está más pensado para audio y no tanto para registrar niveles de ruido en un entorno industrial, en cambio, el SEN12642 usa un micrófono MEMS de buena calidad, te da salida digital clara.

Sensor de Vibración

Para el análisis vibratorio de la UDR-650 en este caso se utilizarán osciloscopios para poder realizar su respectivo monitoreo, y como ya se vio en los anteriores sensores las características que más se requieren en estos sensores es que tengan un consumo reducido de energía, una alimentación entre 3.3v a 5v y alta exactitud en la señal analógica de salida, teniendo en cuenta estas tres características se escogieron 3 distintos osciloscopios.

Tabla 29.

Selección de sensor de Vibración

	Opción 1	**Opción 2**	**Opción 3**
Sensor de Vibración	SW-420 	ADXL335 	GY-521 
Marca	Genérico (China)	Analog Devices	InvenSense
Medidas en mm	30 × 15 × 12 mm (módulo)	4 × 4 × 1.45 mm (chip)	20 × 15 × 2 mm (módulo)
Entrada de energización	3.3 V – 5 V DC	1.8 V – 3.6 V DC	3.3 V – 5 V DC
Rango	Detecta vibraciones mecánicas	±3 g en los tres ejes (X, Y, Z)	±2 g, ±4 g, ±8 g, ±16 g (acelerómetro)
Sensibilidad de lectura	Digital (0/1) según vibración supere el umbral	300 mV/g (aprox.)	16 bits por eje (acelerómetro y giroscopio)
Rango de temperatura de trabajo	-20 °C a 70 °C	-40 °C a 85 °C	-40 °C a 85 °C
Data analógica	Digital (salida HIGH/LOW) + salida analógica simple	Analógica (salida continua en 3 pines: X, Y, Z)	Digital (I²C, opcional SPI)
Precio comercial internacional	1 – 3 USD	5 – 8 USD	3 – 7 USD

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

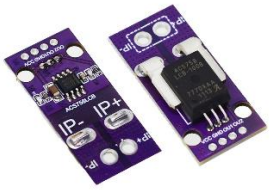
REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Se decidió optar por la opción tres la cual es el GY-521 más que todo porque no solo detecta vibraciones como un interruptor simple, sino que también mide con precisión aceleración en tres ejes y hasta giroscopio lo cual ayuda a mediciones más precisas, además de que este es el componente mejor calificado por calidad precio, y como se puede observar tiene una buena resistencia térmica que se requiere bastante en este tipo de monitoreo.

Sensor de corriente

Por parte del sensor de corriente, específicamente para la detección de perdida de energía se tendrá un componente para poder avisar cuando se apague la UDR-650 y no apagar el sistema cuando pase eso, en cambio se pase a usar la energía de la batería que tiene el mismo dispositivo incorporado.

Tabla 30.
Selección de sensor de Corriente

	Opción 1	**Opción 2**
Sensor de sonido	ACS712-05 	ACS758 
Marca	Allegro Microsystems	Allegro Microsystems
Medidas en mm	21 × 13 × 5 mm (módulo típico)	28 × 12 × 10 mm (módulo)
Entrada de energización	5 V DC	3.0 – 5.5 V DC
Rango	±5 A (ACS712-05B)	±50 A, ±100 A, ±150 A o ±200 A (según modelo)
Sensibilidad de lectura	185 mV/A	~40 mV/A
Rango de temperatura de trabajo	-40 °C a 85 °C	-40 °C a 150 °C
Data analógica	Analógica (salida proporcional a la corriente)	Analógica (salida proporcional a la corriente)
Precio comercial internacional	2 – 4 USD	8 – 15 USD

Nota: Elaboración propia

En este caso se tuvieron dos opciones, en la cual se escogió la opción uno que es el ACS712-05 principalmente porque es más sencillo, compacto y económico cuando se necesita medir corrientes relativamente bajas como el dispositivo que se piensa proponer,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

además, tiene una salida de voltaje fácil de leer con un Arduino o Raspberry Pi, sin requerir acondicionamiento extra a comparación del otro dispositivo que es un poco más complejo de integrar.

Controlador (procesamiento)

En este caso por parte del controlador se tuvo bien claro que componente se iba a utilizar, primeramente, empezando con el fabricante; en este caso se escogió a Arduino AG debido a que es un microcontrolador de bajo consumo y fácil de programar no como Raspberry Pi que es un sistema operativo, además, Arduino está pensado para trabajar directamente con sensores, adicionando a eso su bajo costo permite implementar varios nodos sin elevar demasiado el presupuesto.

Una vez escogido el fabricante, por temas de sensores y otros componentes que incluyen el dispositivo a proponer se va a requerir una cantidad mesurada de pines y memoria, por lo cual se optó por escoger el Arduino UNO R3 Atmega328P el cual aparte de ser el Arduino más comercial, su tamaño es ideal para este tipo de trabajos, contando con su versatilidad de pines contando con 14 digitales teniendo 6 PWM y 6 analógicos los cuales nos servirán bastante para el dispositivo a proponer.

Tabla 31.
Especificaciones Arduino Atmega328p

Característica	Arduino UNO R3 Atmega328p
	
Velocidad de reloj	16 MHz
Pines digitales I/O	14 (6 con PWM)
Entradas analógicas	6
Voltaje de operación	5 V
Corriente por pin I/O	20 mA
Dimensiones aprox.	68.6 × 53.4 mm
Precio comercial internacional	15 – 25 USD

Notas Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Transceptor LoRa (comunicación)

En el caso la comunicación inalámbrica, como ya se vio en el apartado de red se utilizará LoRaWAN por lo que es necesario contar con un transceptor LoRa que pueda garantizar un enlace estable y de largo alcance entre el nodo y el Gateway, hay que tener en cuenta que no basta con que transmita, sino que además debe adaptarse al entorno de trabajo y mantener compatibilidad con los demás componentes del sistema. Para esto se tiene que tener en consideración los siguientes puntos:

- Un bajo consumo energético
- Una alimentación dentro del rango estándar de microcontroladores (3.3v a 5v)
- Una alta sensibilidad y estabilidad en la recepción de la señal
- Un rango de operación adecuado a la frecuencia definida (915 MHz en este caso)

Teniendo en cuenta estos puntos, se decidió analizar diferentes alternativas de transceptores LoRa, para así determinar cuál ofrece el mejor desempeño frente al campo de acción, y a la vez garantice una integración sencilla, confiable y sin elevar demasiado los costos de implementación.

Tabla 32.
Selección de Transceptor Lora

	Opción 1	**Opción 2**	**Opción 3**
Transceptor LoRa	RFM95W-915S2	SX1276	RAK4200 (Módulo LoRa)
			
Fabricante	HopeRF	Semtech	RAKwireless
Rango de temperatura	868 / 915 MHz	137 – 1020 MHz (multibanda)	868 / 915 MHz
Potencia de transmisión	-40 °C a +85 °C	-40 °C a +85 °C	-40 °C a +85 °C
Tasa de datos LoRa	0.018 – 37.5 kbps	0.018 – 37.5 kbps	0.3 – 62.5 kbps
Consumo en RX	~10.3 mA	~12 mA	~11.5 mA
Voltaje de operación	1.8 V – 3.7 V	1.8 V – 3.7 V	2.0 V – 3.6 V
Dimensiones aprox.	16 × 16 mm	Chip: 7 × 7 mm QFN	15 × 15 × 2.2 mm
Precio comercial internacional	6 – 10 USD	5 – 8 USD	8 – 12 USD

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Por parte del transceptor LoRa se optó por la opción 1 la cual es el RFM95W-915S2 esto se debe por su fácil integración con microcontroladores, además de que contiene un bajo consumo de energía, un amplio rango de comunicación, una buena sensibilidad de recepción y un costo accesible, lo que lo convierte en una opción confiable y práctica para realizarle monitoreo predictivo a la UDR-650.

Por consiguiente, se sabe que en una red IoT basada en comunicación inalámbrica, la antena es indispensable para asegurar el enlace entre el nodo y el Gateway, en este caso por parte del nodo de monitoreo, este necesita transmitir sus datos de manera estable y con el menor consumo de energía posible, por lo que se le añadió una antena al diseño del dispositivo que a continuación, se muestran las especificaciones de la antena seleccionada:

Tabla 33.
Especificaciones antena WRL-14

Característica	**WRL-14876 (915 MHz LoRa Antenna – ½ Wave)**
	
Tipo de antena	Dipolo de ½ onda ("duck antenna")
Frecuencia de operación	868 – 960 MHz (ideal para LoRa en bandas ISM)
Potencia máxima	50 W
Dimensiones	200 x 13.7 x 13.7 mm
Peso aproximado	30 g
Precio comercial	17.95 USD

Nota: Elaboración propia

COMPONENTES DE POTENCIA/ENERGIA

Primeramente, para la elección de los componentes de potencia se requieren hacer cálculos en los cuales se determine la energía de alimentación, en donde la fuente primaria como ya se sabe, es la batería de la misma perforadora que es de 24V y la fuente secundaria se estima que será una fuente de Litio de 3.7V que será cargada por la misma batería de la UDR-650.

Antes de poder decantarse por cualquier componente tanto de potencia como de energía, primero se debe de calcular el consumo máximo de potencia que puede generar cada componente previamente seleccionado como los sensores y el controlador, lo cual se realizó en la tabla 17.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 34.
Tabla de potencias de nodo de monitoreo

Dispositivo	Componente	Voltaje Max (V)	Amperaje Max (mA)	Potencia Max (W)
Nodo de monitoreo	**MLX90614ESF**	**5.0**	**2 mA**	0.010
	SEN-12642	**5.0**	**8 mA**	0.040
	GY-521	**5.0**	**5 mA**	0.025
	ACS712-05	**5.0**	**13 mA**	0.065
	Arduino ATmega328P	**5.0**	**200 mA**	1.000
	RFM95W-915S2 (LoRa)	**3.7**	**120 mA**	0.444

Nota: Elaboración propia

Sumando la potencia de todos los componentes que conforman al nodo de monitoreo, se tiene un total de 1.584 W, sin embargo, no es recomendable trabajar exactamente al límite de consumo, ya que siempre pueden presentarse variaciones o picos de energía cuando el sistema está en funcionamiento. Por lo cual, es necesario aplicar un factor de seguridad de 1.2, lo cual permite tener un margen adicional que asegure la estabilidad y confiabilidad del nodo, lo cual tendríamos una potencia total de 1.9008 W, que redondeando es 2 W.

Placa UPS

En este caso, la placa UPS es un componente crucial para el apartado de potencia y energía, principalmente porque esta se encarga de usar la energía suministrada principal para alimentar las baterías auxiliares que tienen, y en el caso que se produjera un corto de energía de la fuente principal esta aproveche la energía auxiliar y no se apaguen los demás componentes del circuito, al momento de buscar una placa hubieron bastantes opciones de todos los precios y voltajes, los cuales los que más se asemejan a la calidad y precio esperado son las siguientes.

Tabla 35.
Selección de Placa UPS

	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Placa UPS	DD05CVSA_5V 	DD06CVSA_5V 	PowerBoost 1000C 
Funciones	Carga + boost 5 V	Carga + boost + protección + indicador	Carga, boost, UPS (load sharing)
Rango de entrada (Vin)	4.5–8 V	4.5–5.2 V	3.7–4.2 V (Li-Ion)
Eficiencia	78–90 %	Hasta 96 %	chip TI TPS61090
Dimensiones (mm)	23 × 15.4 × 5.7	26.7 × 18.1 × 5.7	50 × 25 × 7 (PCB)
Precio aprox.	1.8 USD	3 USD	20 USD

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

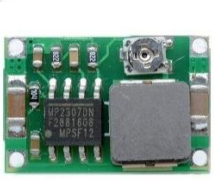
En este caso, por temas de precio y de eficiencia de la placa UPS se optó por la opción 2 la cual es el DD06CVSA_5V; otro factor por el cual se escogió este componente es que su rango de entrada oscila entre 4.5v y 5.2v los cuales son los rangos más aproximados que se buscan para recibir de la fuente principal, además de que este tiene la mayor cantidad de corriente máxima de salida de las tres opciones, incluso que la opción con un precio más elevado.

Convertidor Buck de 24V a 5V

Debido a que se utilizará la fuente de alimentación de la perforadora diamantina UDR-650, la cual funciona con dos baterías de 12 voltios conectadas en serie, obteniendo un total de 24 voltios, es necesario reducir este valor a 5 voltios, ya que el microcontrolador solo puede operar con dicho voltaje, para esto, se emplea un convertidor que, además de disminuir la tensión, regula las fluctuaciones eléctricas propias de la perforadora y protege al microcontrolador y a los demás componentes frente a posibles picos de voltaje que podrían dañarlos.

Tabla 36.

Selección de convertidor Buck

	Opción 1	**Opción 2**	**Opción 3**
Convertidor Buck	LM2596HV	MP1584EN	MP2307
			
Rango de Entrada	5–60 V DC / 5–30 V AC	4.5–28 V	4.75–23 V
Rango de Salida	1.25–26 V	0.8–20 V	1.25–17 V
Corriente Máx.	2.2 A	3 A	2 A
Eficiencia	~92%	~96%	~93%
Dimensiones	51 × 26 mm	22 × 17 × 4 mm	22 × 17 × 4 mm
Precio Aproximado	1.50 – 2.50 USD	0.50 – 1.00 USD	0.95 – 1.50 USD

Nota: Elaboración propia

Teniendo en cuenta las distintas opciones de convertidores Buck de 24v a 5v se optó por la opción 1 que es el LM2596HV, a pesar de que es el convertidor Buck más caro del cuadro comparativo, este componente es una mejor opción debido a que este contiene un mayor rango de voltaje lo cual permite que también soporte los picos de voltaje que puede generar la UDR-650 al prenderse y apagarse, lo cual puede afectar el circuito y a todos los componentes del nodo de monitoreo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Alimentación auxiliar

Para poder escoger la batería de litio adecuada primero se tiene que saber el tipo de capacidad que va contener; en este caso, al ya tener los datos de la cantidad de potencia aproximada que gastara cada dispositivo propuesto y a que voltaje trabajan podemos inferir la intensidad, otro dato relevante es el aproximado de tiempo que queremos de duración de la batería, por lo general este tipo de perforadoras no suelen pararse por tiempos prolongados, por lo general paran en un cambio de turno un aproximado de 30 minutos máximo y por temas de mantenimiento pueden llegar a parar hasta 2 horas, por lo que se decidió darle una duración de 5 horas a la batería de cada dispositivo.

Sabiendo que:

$$P = 2W$$

$$V = 5V$$

$$t = 5\ Horas$$

Entonces:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{2W}{5V} = 0.4A$$

$$Capacidad\ (Ah) = I\ x\ t = 0.4A\ x\ 5h = 2.0Ah$$

Una vez teniendo la capacidad por hora, se debe tener en cuenta la eficiencia de la misma batería ya que estas se degradan por cada carga realizada, tomando en cuenta la durabilidad, calidad y el tipo de batería que en este caso se requerirá una batería Li-ion, la eficiencia típica será de un aproximado del 90% de la batería, por lo tanto:

$$Capacidad\ Ajustada = \frac{2.0Ah}{0.9} \approx 2.22Ah$$

Una vez teniendo la capacidad ajustada se debe de considerar el voltaje de una batería de Li-ion de 3.7 V, para pasar la capacidad de 5 V de salida, usamos la relación de energía:

$$Ah\ en\ 3.7V = \frac{5V\ x\ 2.22Ah}{3.7V} \approx 3Ah\ \approx 3000mAh$$

Entonces, para 5 horas de respaldo energético que se necesita para un dispositivo que consume 2 W a 5 V, se necesitara una batería Li-ion de 3.7 V con un aproximado de 3000 mAh.

En el caso de la batería se escogió la batería Li-ion 18650 de 3000 mAh debido a su reducido espacio, su capacidad de recargarse y a su practicidad que tiene con los circuitos, además de otros factores como su precio y su facilidad de obtención en Perú.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 37.
Especificaciones Batería Li-ion 18650

Característica	Detalle
Producto	Batería Li-ion 18650 3000 mAh
	
Precio Aproximado	28.00 PEN
Dimensiones	18.5 mm (diámetro) × 67.5 mm (largo)
Tipo de Batería	Li-ion 18650
Voltaje Nominal	3.7 V

Nota: Elaboración propia

4.2.1.2. Gateway

Por parte del Gateway, primero se considerará el controlador principal, ya que este será el encargado de procesar y gestionar la información que proviene de los nodos de monitoreo. Posteriormente, se evaluará el módulo de comunicación, en este caso el transceptor LoRa, que permitirá recibir los datos enviados por los nodos y transmitirlos hacia la nube, una vez definido esto, se determinarán los elementos de energía y potencia, como la fuente de alimentación que en este escenario se usara un panel solar, la batería de respaldo y los sistemas de protección, hay que tener en cuenta que no se están considerando accesorios menores como cables, adaptadores o materiales de ensamble, como ya se explicó en el nodo de monitoreo no representan una variación significativa en las especificaciones ni en la elección del fabricante o modelo.

Controlador/microcomputadora (procesamiento)

En el caso de la plataforma de desarrollo del Gateway iniciando por el fabricante se tomó la decisión de escoger un Raspberry Pi ya que sus microcomputadoras ofrecen mayor capacidad de procesamiento y memoria en comparación con un microcontrolador, lo que le permite manejar la recepción y envío de datos de múltiples nodos de forma más eficiente, por otro lado, estos controladores son compatibles con librerías y softwares de red como LoRaWAN y MQTT, y brinda la flexibilidad de trabajar con sistemas operativos completos, lo que facilita la gestión, visualización y envío de datos hacia la nube.

En este caso debido a que la cantidad de pines como lo fue en el caso del nodo de monitoreo no repercute en la elección del componente, Raspberry tiene bastantes opciones de microcomputadoras las cuales se escogieron las siguientes tres opciones:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 38.
Selección de Raspberry

	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Modelo	Raspberry Pi 5 (8 GB) 	Raspberry Pi 3B+ 	Raspberry Pi Zero 2W 
CPU	Cortex-A76, 4 núcleos, 2.4 GHz	Cortex-A53, 4 núcleos, 1.4 GHz	Cortex-A53, 4 núcleos, 1 GHz
RAM	8 GB	1 GB	512 MB
Video	2× HDMI 4K	1× HDMI (1080p)	1× mini HDMI (1080p)
Puertos USB	2× USB 3.0 + 2× USB 2.0	4× USB 2.0	1× micro USB OTG
Red	Ethernet Gigabit, Wi-Fi 5, BT 5.0	Ethernet (≈300 Mbps), Wi-Fi Dual-Band, BT 4.2	Wi-Fi 2.4 GHz, BT 4.2
Consumo	5–12 W	3–5 W	1–2 W
Alimentación	USB-C 5V/5A (mín. 27W)	Micro-USB 5V/2.5A	Micro-USB 5V/2A
Ideal para	Servidor casero, mini-PC, IA ligera, proyectos exigentes	Proyectos educativos, retro gaming, IoT básico	IoT portátil, sensores, dispositivos embebidos
Precio comercial internacional	106 USD	47 USD	21 USD

Nota: Elaboración propia

Para el desarrollo de Gateway se optó por la opción 2 la cual es el Raspberry Pi 3B+ debido a que esta microcomputadora ofrece un equilibrio adecuado entre capacidad de procesamiento, consumo energético y facilidad de integración que es lo que principalmente se busca en este componente.

Concentrador (comunicación)

Por parte de la comunicación, la elección del transceptor LoRa resulta un punto clave, ya que este componente es el encargado de establecer la comunicación directa con los nodos de monitoreo, teniendo en cuenta su desempeño, este impacta de manera directa en el alcance, la estabilidad de la señal y la confiabilidad de los datos que llegan al sistema, en este caso son distintos a los de los nodos de monitoreo debido a que utilizan otro procesador, por lo cual, es necesario comparar distintas alternativas y analizar cuál se adapta mejor a los requerimientos del proyecto, garantizando un enlace eficiente y seguro dentro de la red IoT que se piensa proponer.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 39.
Selección de Concentrador

	Opción 1	**Opción 2**	**Opción 3**
Concentrador	Seeed WM1302 	RAK2245 	Kerlink iFemtoCell 
Canales	8 simultáneos	8 simultáneos	8 simultáneos
Conectividad	SPI	SPI + UART	Ethernet, WiFi, 3G/4G opcional
Consumo energético	Muy bajo	Moderado	Alto (gateway completo)
Formato	Módulo compacto	HAT/módulo Pi	Caja industrial
Facilidad de uso	Requiere integración HW+SW	Fácil con Raspberry Pi	Plug & play
Precio comercial internacional	60–80 USD	120–150 USD	250–350 USD

Nota: Elaboración propia

Por parte de los transceptores LoRa se escogió la opción 2 la cual es el RAK2245 porque se integra fácil con una Raspberry Pi 3B+, ya que este viene en formato HAT y tiene librerías listas, lo que simplifica mucho a armar un gateway LoRaWAN sin mucha configuración, a su vez con sus 8 canales puede manejar varios nodos a la vez, suficiente para un despliegue de monitoreo como el de mantenimiento predictivo.

Además, está en un buen balance entre costo y rendimiento porque no es tan caro como un gateway industrial completo, pero es más confiable y estable que opciones caseras muy básicas como el speed WM1302.

Adicionando al Transceptor LoRa se le añadirá la misma antena WRL-14876, que se le añadió al nodo de monitoreo para transmitir y recibir las señales de los sensores y así poder subir la información a la nube en la cual se almacenarán todos los datos recolectados sobre el estado de la máquina.

COMPONENTES DE POTENCIA/ENERGIA

Por parte del Gateway, para la elección de los componentes de potencia primero se requiere de hacer cálculos para escoger los más adecuados, teniendo en cuenta que se está considerando alimentar al Gateway con un panel solar de 5V de salida y para almacenar la energía unas baterías de Litio de 3.7V.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Antes de poder decantarse por cualquier componente eléctrico tanto de potencia como de energía, primero se debe de calcular el consumo máximo de potencia que puede generar cada componente previamente seleccionado entre ellos el Rapsberry Pi 3B+ y su RAK2245, lo cual se hará en la tabla 23.

Tabla 40.

Tabla de potencias de Gateway

Dispositivo	Componente	Voltaje Max (V)	Amperaje Max (A)	Potencia Max (W)
Gateway	**Raspberry Pi 3B+**	**5.0**	**0.5**	2.5
	RAK2245	**5.0**	**0.2**	1.0

Nota: Elaboración propia

Sumando la potencia de todos los componentes que conforman al Gateway estos no son un poco más elevados que el nodo de monitoreo, ya que se tiene un total de 3.5 W, sin embargo, no es recomendable trabajar exactamente al límite de consumo, ya que siempre pueden presentarse variaciones o picos de energía cuando el sistema está en funcionamiento, por lo cual, es necesario aplicar un factor de seguridad de 1.2, lo cual permite tener un margen adicional que asegure la estabilidad y confiabilidad del Gateway, lo cual tendríamos una potencia total de 4.2 W.

Panel solar

Una vez analizado el consumo energético de los componentes que utilizará el Gateway, se determinó que lo primero es contar con una fuente capaz de suministrar la energía necesaria al sistema, principalmente porque se trabaja en zonas alejadas, donde cerca de la perforadora no hay señal ni disponibilidad eléctrica, la opción más conveniente es implementar un Gateway alimentado mediante un panel solar, en este caso, se optó por un panel con salida de 5 V y una potencia de 5 W, el cual proporciona aproximadamente 1.5 W adicionales a lo que consume el Gateway, garantizando así un margen de energía para un funcionamiento más estable.

Por otro lado, también se consideró un aspecto muy importante, el cual es la resistencia frente a condiciones climáticas adversas, ya que, en campo el equipo puede estar expuesto a lluvia, polvo o radiación solar constante, por lo que se eligió este panel, el cual cuanta con una protección IP65, asegurando que el componente no se deteriore con facilidad y mantenga un buen rendimiento a lo largo del tiempo. De esta forma, se garantiza no solo la autonomía energética del sistema, sino también su durabilidad en climas complicados como son la costa, sierra y selva del Perú.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 41.
Especificaciones de panel solar

Especificación	Detalle
Modelo	Fesjoy 5W 5V USB Solar Panel 
Potencia máxima	5 W
Voltaje de salida	5 V (USB estándar)
Corriente máxima	Hasta 1000 mA (1 A)
Protección	IP65
Dimensiones	20.5 cm × 14 cm × 2 cm
Peso	98 g
Precio aproximado	13.4 USD

Nota: Elaboración propia

Módulo de carga

Al ya tener el panel solar, se debe tener una batería para almacenar la energía, por ello se requiere de un módulo de carga porque este actúa como puente y protector entre el panel solar y la batería de litio, ya que como la energía del panel solar es inestable, el módulo de carga se encarga en controlar la carga para que la corriente entre de manera segura a la batería, prolongando así la vida útil de esta.

Tabla 42.
Selección de Módulo de carga

	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Modelo	TP4056 	MCP73831 	CN3058E 
Tensión de entrada	4.5V – 8V	3.75V – 6V	4.4V – 6V
Corriente de carga	Hasta 1A (ajustable)	Hasta 500 mA	Hasta 1A
Número de celdas	1 celda (3.7V Li-ion)	1 celda (3.7V Li-ion)	1 celda (3.7V Li-ion)
Protecciones	Sobrecarga, sobrecorriente, sobrecalentamiento	Limitación térmica y sobrecorriente	Protección térmica y sobrecorriente
Costo aprox.	0.20 – 0.60 USD	0.80 – 1.50 USD	0.30 – 0.70 USD

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

En este caso, se escogió la opción 1 que es el TP4056 debido a su reducido costo, su gran capacidad de corriente de carga y las protecciones con las que cuenta, entre ellas la sobre carga, sobre corriente y sobre todo el sobrecalentamiento que es fundamental para este circuito que estará en un campo de acción muy complicado.

Alimentación auxiliar

Por parte del Gateway se escogió la misma batería Li-ion 18650 de 3000 mAh que usa el nodo de monitoreo, sin embargo, debido que se usara un panel solar como fuente de alimentación se necesitara más almacenaje de corriente por lo que se usaran más baterías, el objetivo es que las baterías almacenen por lo menos 24 horas al Gateway para que el panel solar dé energía en el día y se use la energía almacenada de las baterías en la noche, por lo tanto.

Sabiendo que:

$$I = 700 \text{ mA (Intensidad total que gasta el rapsberry + RAK)}$$

$$I_{bateria} = 3{,}000 \text{ mAh}$$

$$t = 24\ Horas$$

Entonces:

$$Ih = I\ x\ H = 700\ mA\ x\ 24h = 16{,}800 mAh$$

$$Cantidad\ de\ baterias = \frac{Ih}{I_b} = \frac{16{,}800\ mAh}{3{,}000 \text{ mAh}} = 5.6 \approx 6\ Baterías$$

Una vez teniendo la cantidad de baterías, como ya se sabe lo que se requiere es aumentar la duración de la batería lo que significa que se tienen que poner las baterías en paralelo para así aumentar el amperaje del sistema; en la tabla 26 se añadirá las especificaciones de las 6 baterías en conjunto.

Tabla 43.

Especificaciones de baterías Li-ion 18650

Característica	Detalle
Producto	Baterías Li-ion 18650 18,000 mAh 
Precio Aproximado	160.00 PEN
Dimensiones	37 mm (ancho) × 67.5 mm (largo) × 55.5 mm (alto)
Tipo de Batería	Li-ion 18650
Voltaje Nominal	3.7 V

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Regulador de Batería de Litio de 3.7 V a 5V

Debido al uso de las baterías de litio que se van a usar para almacenar la energía, estas tienen una de salida de 3.7 voltios el cual no es el voltaje adecuado para el trabajo que se hará y se mantenga en correcto funcionamiento el Raspberry Pi 3B+ lo cual se requiere de un regulador de voltaje que lo suba a 5 voltios de manera constante, por lo que se tuvieron distintas opciones de reguladores, sin embargo, los componentes que más se aproximaron a las necesidades del circuito son los siguientes.

Tabla 44.

Selección de Regulador de batería de Litio de 3.7V a 5V

	Opción 1	**Opción 2**	**Opción 3**
Modelo	MT3608 	XL6009 	LM2577 
Tensión de entrada	2V – 24V	3.5V – 32V	3.5V – 40V
Tensión de salida	5V – 28V (ajustable)	5V – 35V (ajustable)	5V – 50V (ajustable)
Dimensiones	36 × 17 × 14 mm	43 × 21 × 14 mm	45 × 20 × 14 mm
Ventajas	Muy barato, pequeño, ideal para 5V estables	Más rango de entrada/salida, más robusto	Maneja más potencia y mayor voltaje de salida
Costo aprox.	0.50 – 1.50 USD	2 – 4 USD	3 – 6 USD

Nota: Elaboración propia

Debido a su bajo costo y que es el componente más adecuado para una regulación de 5 voltios de manera estable se decidió escoger la opción 1 que es el MT3608, ya que, a parte de su reducido tamaño, es el componente que explícitamente esta creado para esa función (rango de regulación de 3.7v a 5v).

4.2.2. Arquitectura de los prototipos

Una vez establecidos todos los componentes que llevará tanto el nodo de monitoreo como el Gateway, el siguiente paso consiste en definir de manera clara cómo se unirán físicamente cada uno de los dispositivos a proponer facilitando el análisis de su función dentro del sistema. Esto es fundamental porque no solo se trata de conectar piezas, sino de asegurar que exista una correcta comunicación entre ellas, para así hacer que el flujo de datos sea eficiente y confiable, logrando tener una visión mucho más completa y general del comportamiento que tendrán los componentes al trabajar en conjunto, anticipando posibles

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

limitaciones para así poder subsanarlas y asegurando que cada parte cumpla adecuadamente con su rol.

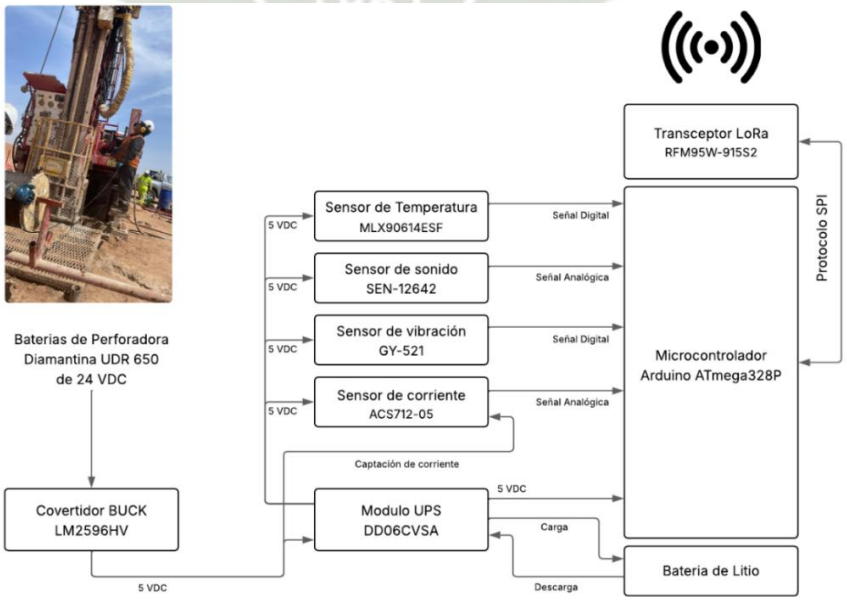
4.2.2.1. Nodo de monitoreo

Empezando por el prototipo que estará en campo, la figura 36 muestra la integración general de los diferentes módulos electrónicos que conforman el nodo de monitoreo para la perforadora diamantina UDR-650, como se puede apreciar, en este esquema se observa cómo la energía proveniente de la misma máquina que es regulada, estabilizada y posteriormente distribuida de manera adecuada para garantizar el correcto funcionamiento de cada uno de los sensores y componentes electrónicos.

Dentro del nodo, se encuentran los tres sensores de monitoreo (temperatura, sonido y vibración), a estos se suma un sensor de corriente, cuya función es determinar el tipo de energía disponible y gestionar su uso de manera eficiente, posteriormente, la información recolectada es procesada por el microcontrolador el cual asegura que las señales captadas sean interpretadas correctamente, también hay que tener en cuenta que el diseño contempla sistemas de respaldo energético que es la batería auxiliar y el módulo UPS, que trabajan en conjunto para mantener activo el dispositivo y evitar pérdidas de información.

Este esquema referencial asegura no solo la confiabilidad de este sistema, sino también su autonomía y capacidad de adaptación a las condiciones extremas del campo de acción de perforación, donde la continuidad del monitoreo es primordial para el éxito del mantenimiento predictivo.

Figura 21.
Diagrama de interacción de Nodo de Monitoreo



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

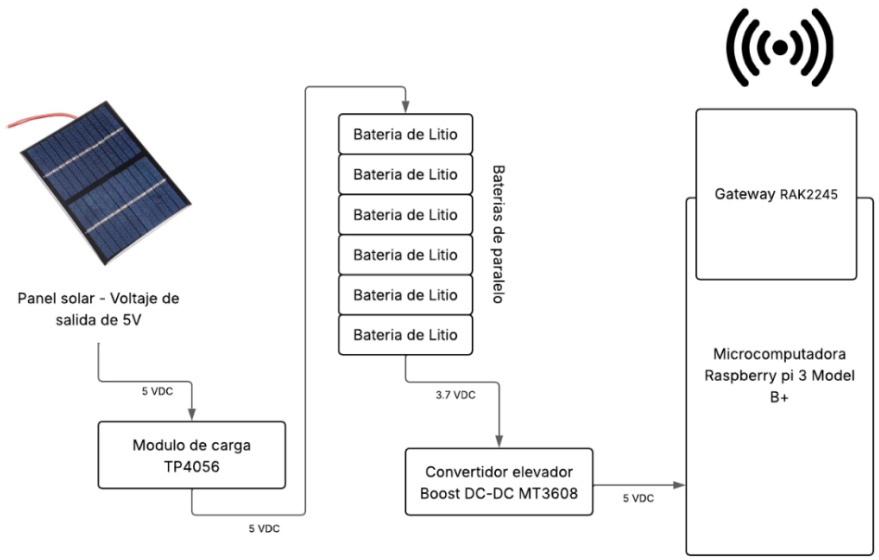
4.2.2.2. Gateway

Por parte del Gateway, en el siguiente diagrama se observa la manera en que la microcomputadora Raspberry Pi 3B+ se encuentra interconectada con los diferentes elementos del sistema, cumpliendo el rol principal de procesamiento y gestión de datos, por otro lado, dentro del diagrama se distinguen claramente los componentes de protección y regulación eléctrica, tales como el módulo de carga TP4056, el convertidor elevador DC-DC MT3608, el panel solar y el conjunto de seis baterías de litio que alimentaran al Raspberry.

El panel solar de 5 V carga las baterías de litio mediante un módulo de control, garantizando un almacenamiento seguro y estable durante el tiempo que no hay disponibilidad de luz solar, ademas de contar con el convertidor DC-DC que eleva la salida a 5 V para alimentar la Raspberry Pi 3B+ y el Gateway RAK2245, logrando un sistema autónomo y confiable en campo.

De esta manera, la integración de todos estos componentes no solo una perfecta comunicación del Gateway en condiciones de ambientes complicados, sino que también contribuye a la eficiencia energética y sostenibilidad del sistema de monitoreo, siendo un aspecto clave para el monitoreo IoT en la UDR-650.

Figura 22.
Diagrama de interacción de Gateway



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4.2.3. Diagrama de conexiones entre componentes

Una vez ya definidos los diagramas de interacción, el siguiente paso es establecer los diagramas de conexiones, tanto para el nodo de monitoreo como para el Gateway, los cuales permitirán tener una referencia clara de cómo se organizará la distribución de energía y comunicación en cada dispositivo propuesto, mostrando específicamente las entradas y salidas que corresponden a cada componente, gracias a estos esquemas será posible proyectar la arquitectura física de todo el sistema, considerando aspectos como el cableado, la posición de cada módulo y el espacio que ocuparán dentro de la estructura, con esto se busca asegurar una integración ordenada y eficiente, que garantice un funcionamiento confiable facilitando también su mantenimiento en caso se dé por conveniente.

4.2.3.1. Nodo de monitoreo

Por parte del nodo de monitoreo, tal como se aprecia en la figura 38, la fuente principal de energía proviene de las dos baterías de la perforadora UDR-650, que en conjunto generan un voltaje de 24 V, esta energía es derivada hacia un convertidor Buck, cuya función es reducir y estabilizar el voltaje a 5 V, una vez obtenida esta línea de 5 V, la corriente pasa en primera instancia por el módulo UPS, el cual no solo regula el suministro energético, sino que también, en conjunto con el sensor de corriente ACS712-05, permite monitorear y determinar el flujo de energía que será utilizada por el Arduino.

El módulo UPS, además, cumple un papel fundamental al gestionar de manera simultánea dos fuentes de energía, por un lado, la proveniente de las baterías de la UDR-650, y por otro, la de la batería de litio de respaldo, garantizando así la continuidad de operación del sistema aun en caso de interrupciones en la fuente principal. El microcontrolador Arduino, como unidad central de procesamiento, se encuentra enlazado tanto con los sensores como con las fuentes de energía y es el encargado de administrar la información recibida y transmitirla a través del transceptor LoRa que requiere 5 pines para una correcta comunicación con el Arduino.

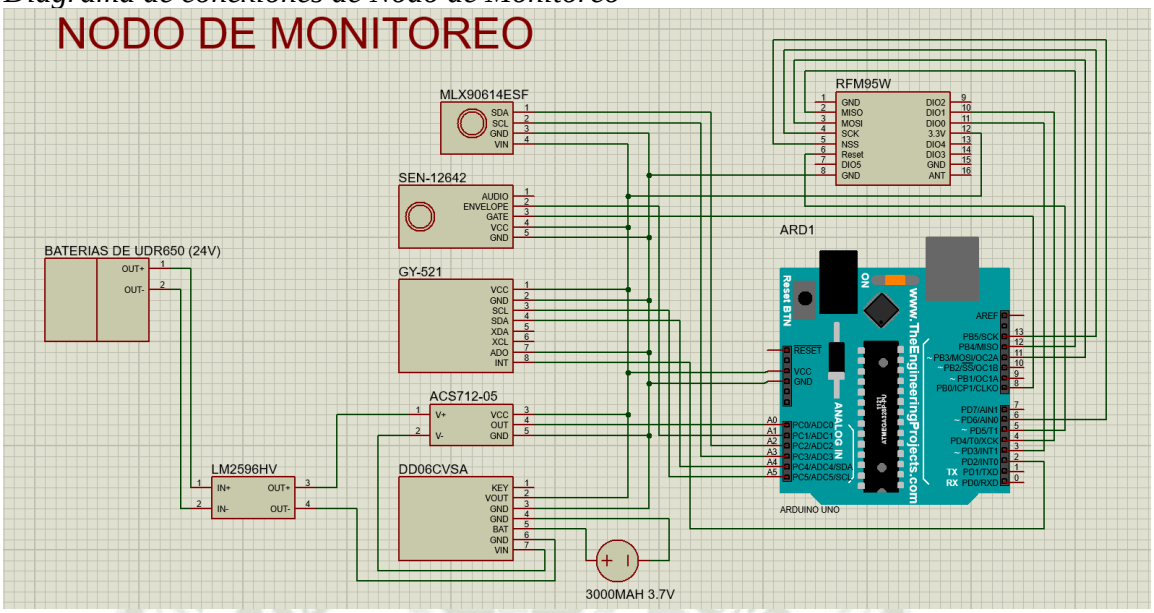
En cuanto a la conexión de los sensores, la mayoría emplea dos pines para sus entradas y salidas, a excepción del sensor de vibración que demanda cuatro pines debido a necesita captar con mayor precisión las señales, una vez definido el diagrama de conexiones y asignada la función de cada pin del Arduino UNO, se procede al desarrollo del código correspondiente, el cual asegura la correcta gestión de los datos de los sensores y la comunicación del nodo de monitoreo, la cual se puede apreciar en el Anexo 13.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 23.

Diagrama de conexiones de Nodo de Monitoreo



Nota: Elaboración propia

4.2.3.2. Gateway

En el caso del Gateway, este cuenta con una fuente de energía renovable que es el panel solar, el cual dispone de dos salidas (positivo y negativo) que entregan una corriente de 5 V, dicha energía no es utilizada de forma directa, sino que primero atraviesa el módulo de carga TP4056, encargado de administrar y regular el flujo hacia las seis baterías de litio puestas en paralelo, para así poder garantizar la autonomía del circuito durante periodos prolongados, incluso en situaciones en las que la radiación solar disminuye o presenta intermitencias.

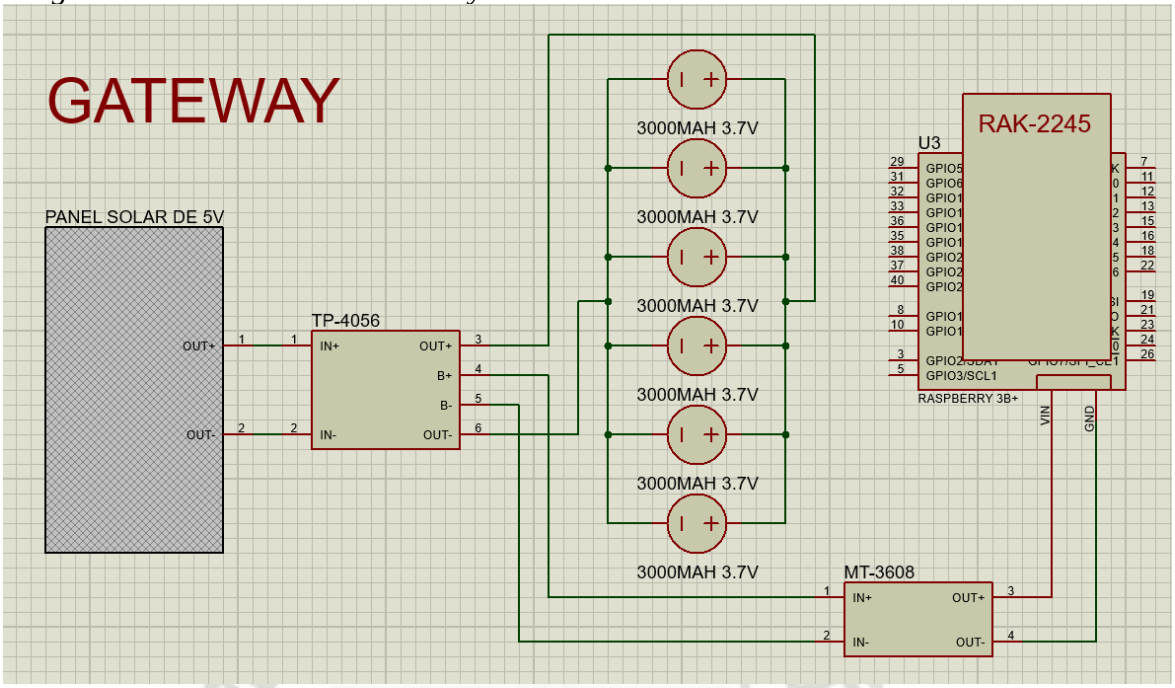
Una vez almacenada, la energía es conducida hacia el convertidor elevador DC-DC MT3608, que cumple la función de estabilizar y mantener la salida en 5 V, en el cual se encuentra la microcomputadora Raspberry Pi 3B+, la cual constituye el núcleo de procesamiento del Gateway ya que se encarga de organizar los datos recibidos y establecer la comunicación con el módulo de transmisión.

Finalmente, esta, en conjunto con el módulo RAK que ya tiene predefinida la cantidad y disposición de pines, se encarga de recibir la información del nodo de monitoreo y transmitir la información hacia la nube para el análisis de mantenimiento predictivo; por otro lado, igual que en el caso del nodo de monitoreo, una vez elaborado el diagrama de conexiones y definida la lógica de interacción entre cada uno de los módulos, se procede con el desarrollo del código correspondiente al Gateway el cual también se puede visualizar en el Anexo 14.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 24.
Diagrama de conexiones de Gateway



Nota: Elaboración propia

4.2.4. Modelo 3D del diseño

Una vez definidos y considerados todos los implementos electrónicos y eléctricos necesarios para el funcionamiento del sistema, es importante determinar el tamaño aproximado del prototipo, así como los distintos componentes encargados de proteger y recubrir el circuito, hay que considerar que este diseño primeramente debe de ser armonioso, funcional y sencillo, con el objetivo de evitar cualquier tipo de percance durante el proceso de monitoreo para así garantizar la seguridad de los elementos internos.

En este proyecto se desarrollaron dos modelos físicos, el primero que corresponde al nodo de monitoreo y el segundo al Gateway, los cuales cumplen funciones totalmente distintas y operan en campos de acción diferentes, por lo que su arquitectura no será la misma, lo que se busca es que el diseño de ambos dispositivos optimice el espacio disponible de cada uno y a su vez, minimizar interferencias y ofrecer una protección adecuada frente a factores externos como polvo, humedad o vibraciones mediante su propio campo de acción.

4.2.4.1. Nodo de monitoreo

En lo que respecta al nodo de monitoreo, su diseño empieza con el análisis de su campo de acción, el cual estará ubicado directamente en la zona donde se encuentre la perforadora, por ende, debido a las condiciones de trabajo, este dispositivo debe de ser altamente resistente y brindar protección completa a todos los componentes eléctricos y

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

electrónicos, evitando así posibles fallas en el prototipo. Además, debe ser compacto para no perjudicar las funciones que realizan los subsistemas o componentes de la perforadora.

Teniendo en cuenta estos factores, se decidió fabricar un armazón de acero A36 con dimensiones de 250 mm x 250 mm x 250 mm con un espesor de 1/16”, lo cual es un tamaño amplio en comparación con el circuito interno, el cual ocupará aproximadamente un 10% del volumen total, cabe recalcar que, junto con el armazón metálico, se consideró la inclusión de espuma aislante que recubra todo el interior del prototipo, la cual cumple tres funciones principales:

1. **Protección contra colisiones y amortiguación de vibraciones:** la espuma actuara como amortiguador, absorbiendo los impactos y evitando que los movimientos externos alteren las lecturas del sensor de vibración, asegurando así que este tome medidas más precisas.
2. **Aislamiento térmico y hermético:** ayuda a mantener una temperatura estable dentro del nodo, lo cual es fundamental para que el sensor infrarrojo detecte de manera exacta el calor de los subsistemas monitoreados, evitando que factores externos como lo es el mismo clima alteren sus lecturas.
3. **Aislamiento eléctrico:** en caso de que algún cable se suelte o se produzca un inconveniente, la espuma evita que los componentes eléctricos entren en contacto con el armazón metálico, el cual es conductor, previniendo cortocircuitos y daños durante el monitoreo.

En cuanto al diseño estructural, el nodo estará sellado por cinco de sus lados, dejando un solo lado abierto, que será el punto de contacto directo con el subsistema o componente a monitorear, esta zona estará recubierta con caucho de aproximadamente 1” de ancho y alto principalmente por tres motivos:

1. **Evitar la entrada de fluidos externos:** el caucho funciona como barrera para que cualquier tipo de líquido no ingrese al interior del prototipo, como la UDR trabaja con bastante agua esto puede ser muy peligroso para el nodo, por lo cual es una buena solución para este.
2. **Amortiguar vibraciones durante el montaje:** al ensamblar el nodo en la perforadora, el caucho permite que el dispositivo se adhiera firmemente, evitando que la vibración se amplifique y así se asegure que el sensor de vibración registre únicamente el movimiento real del subsistema, mejorando la precisión de los datos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3. **Mitigar ruidos externos:** el caucho también ayuda a reducir la transmisión de sonidos del entorno, esto nos sirve bastante ya que nos ayuda disminuyendo la incertidumbre en las lecturas del sensor de sonido.

Con respecto a la distribución de los componentes electrónicos y eléctricos, estos estarán organizados sobre una placa universal de un aproximado de 800 mm de lado la cual tendrá como función principal unir a todos los componentes electrónicos de una forma que estos no se desensamblen fácilmente, la cual se ubicará verticalmente en uno de los costados internos del armazón que serán adheridos con tornillos en las puntas de la placas fabricar, más que todo para evitar que de despegue del armazón por la vibración de los componentes o subsistemas a analizar, por ende, esta disposición permitirá que los sensores de temperatura, vibración y sonido tengan una correcta orientación para obtener lecturas precisas, por parte de la batería, se colocará en la parte inferior interna del prototipo, debido que en el caso que una falla cause una explosión u otro desperfecto, no afecte a los demás componentes del circuito, en el caso de la alimentación eléctrica proveniente de las baterías de la UDR-650, se realizará un pequeño agujero en la parte inferior del armazón por donde ingresará el cable de energía, sin embargo, este hueco será tapado con silicona la cual sire como aislante en el caso que se pudiera ingresar agua al interior del armazón, adicionando a esto, como el dispositivo necesita comunicarse con el Gateway, contará con una antena la cual estará ubicada en uno de los costados del armazón (que también una vez instalada será pegada y aislada con silicona por temas de seguridad), en este caso para proteger la antena de la lluvia y otros agentes externos, se instalará un pequeño techo que evite la entrada de cualquier tipo de líquido que dañe el interior del nodo de monitoreo.

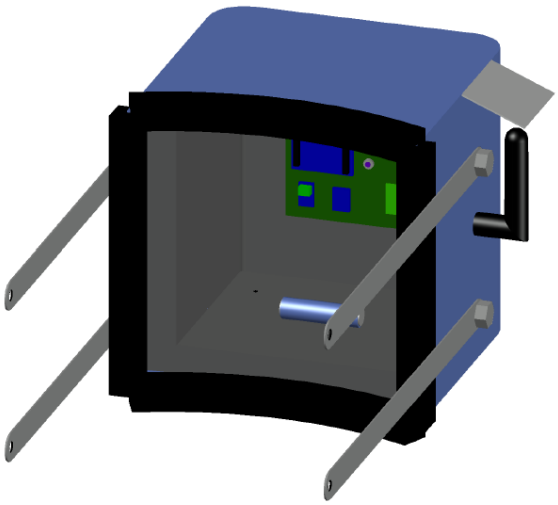
Finalmente, para fijar el nodo a la perforadora, se implementarán platinas metálicas en los laterales del armazón, con dos platinas por cada costado, estas se empernarán directamente al componente a monitorear, su tamaño puede variar según la aplicación, en algunos casos pueden ser más largas o incluso cubrir por completo el componente para una mejor sujeción, de este modo, la abertura frontal del armazón se podrá adaptar dependiendo de la forma y tamaño del subsistema a analizar, asegurando un acoplamiento estable y seguro, en el caso que estas no puedan ser factibles por adhesión al componente o subsistema a analizar se utilizaran fajas tipo correa resistentes a temperaturas altas.

Para comprender mejor la propuesta, en la figura 40 se muestra cómo sería la implementación física del prototipo, evidenciando la distribución de sus elementos y la manera en que se integrará a la UDR-650.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 25.
Prototipo físico de nodo de monitoreo



Nota: Elaboración propia

4.2.4.2. Gateway

Por parte del Gateway, este es un poco más sencillo de diseñar debido a que su campo de acción no es tan riesgoso como el del nodo de monitoreo, primeramente, como este equipo contiene menos componentes eléctricos y electrónicos, se optó por hacerle un armazón más pequeño, no obstante, por temas de seguridad y para que sea universal en cualquier tipo de situación, también se decidió fabricarlo en acero A36, con dimensiones de 200 mm x 200 mm x 200 mm con un espesor de 1/16”, considerando esto, al igual que en el nodo, para proteger los componentes herméticamente, se decidió colocarle un recubrimiento interno de espuma de 1”, que brindará protección a los componentes internos, teniendo en cuenta que como en este caso no habrá un componente que se esté monitoreando directamente, en vez del lado abierto que tiene el nodo de monitoreo se diseñó una puerta lateral para poder realizar inspecciones y mantenimiento cuando sea necesario.

En cuanto a la distribución interna, se seguirá el mismo modelo que en el nodo:

- Los componentes eléctricos estarán ubicados en un costado vertical del armazón, adheridos con pernos a los costados de la tabla que unificara todos los componentes.
- Las baterías estarán colocadas en la parte inferior interna, asegurando que, en caso de un problema, no afecten a los demás elementos.

El Gateway también contará con una antena, la cual estará instalada en uno de los costados del armazón, en este caso, se decidió colocarle un techo protector un poco más amplio que el del nodo de monitoreo, ya que, al no estar adherido a otro componente, estará

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

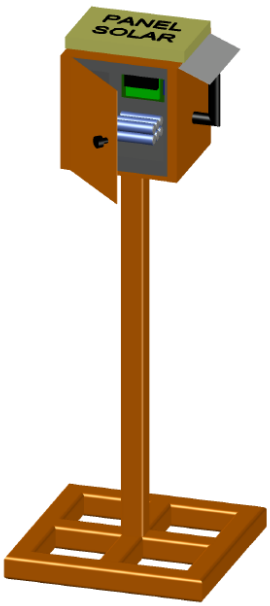
más expuesto a la lluvia y otros factores ambientales, evitando que el agua ingrese al interior del armazón y pueda afectar los circuitos.

Otro aspecto importante es la alimentación de energía, ya que el Gateway será alimentado por un panel solar, este panel se instalará en la parte superior externa del armazón y se fijará directamente a este, dejando un pequeño orificio por donde pasará el cable de alimentación, por su parte el panel no tendrá un recubrimiento adicional, pues por sí mismo ya es resistente a la lluvia y al polvo, gracias a que cuenta con certificación IP65.

Finalmente, para evitar que el Gateway esté directamente sobre el piso, se decidió colocarle un atril con dimensiones de 700 mm x 300 mm x 300 mm, el cual mantendrá el equipo elevado, facilitando su mantenimiento y evitando que se deteriore por humedad o suciedad del terreno, este atril será fabricado con tubos cuadrados de 40 mm y un espesor de 2 mm, brindando la resistencia necesaria, también, la base del atril será cuadrada y hueca, permitiendo colocar rocas, arena o tierra, dependiendo del tipo de terreno en el que se encuentre, haciendo que esto serva para anclar firmemente el Gateway al suelo, evitando que se caiga o se desplace por vientos fuertes u otros factores ambientales.

Para comprender mejor la propuesta, en la figura 41 se muestra cómo sería la implementación física del prototipo del Gateway, evidenciando la distribución de sus elementos y la manera en que se integrarán.

Figura 26.
Prototipo físico de Gateway



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

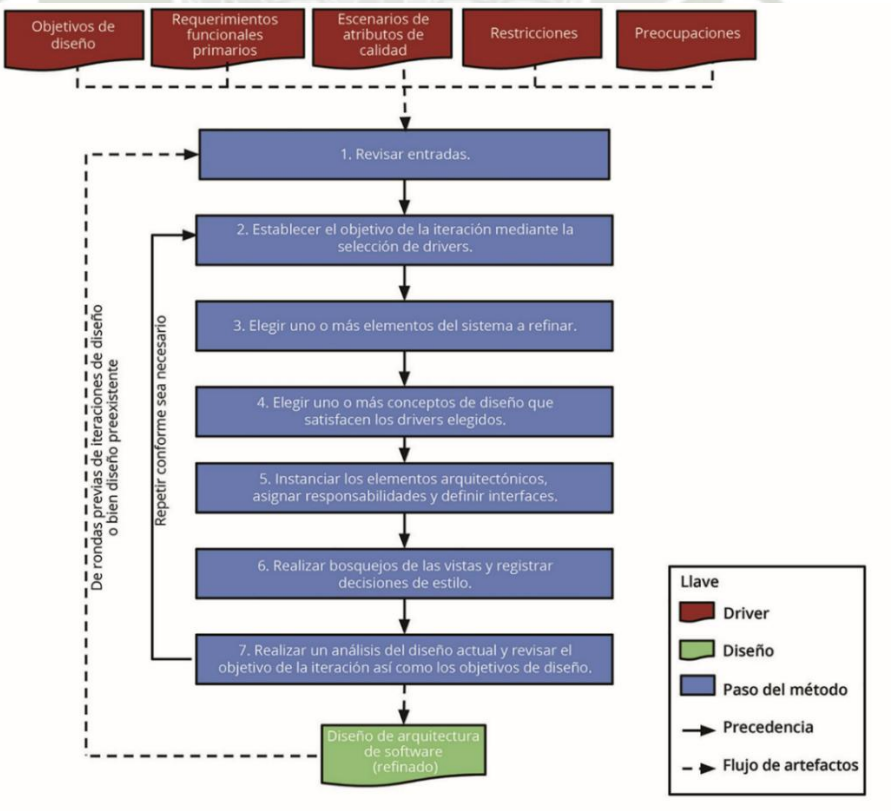
REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4.3. Arquitectura del sistema cibernético

En esta sección se desarrollará la propuesta de diseño arquitectónico del sistema cibernético, en este caso, se optó por utilizar el método ADD (Attribute-Driven Design) porque ofrece un enfoque estructurado para definir arquitecturas alineadas con los objetivos del proyecto, cabe recalcar que este método es ideal para el sistema de monitoreo de la perforadora UDR-650, ya que nos permite priorizar atributos clave como disponibilidad, seguridad y escalabilidad, fundamentales en un sistema IoT industrial; como ya se mencionó antes ADD facilita una definición ordenada de la arquitectura para personas que recién se están introduciendo al mundo de la tecnología IoT, guiando el proceso desde la selección de los componentes y la conexión entre ellos que ya se elaboraron, hasta su integración con la nube que es la parte faltante del sistema.

Por otro lado, cabe recalcar que este método contribuye a la gestión de riesgos, identificando posibles fallas como pérdida de conectividad o problemas de energía, y planteando soluciones como baterías de respaldo y comunicación segura, garantizando un diseño robusto y confiable para la operación en campo; para entender un poco más sobre el método ADD, se puede apreciar en la figura 42 la forma en cómo actúa su arquitectura.

Figura 27.
Diagrama método ADD



Nota: (Cervantes, 2015)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4.3.1. Etapas del diseño - ADD 3.0

Para llevar a cabo el método ADD 3.0, primero es importante conocer cómo se desarrolla este proceso y las etapas que lo conforman, en este caso, para diseñar una arquitectura enfocada en el monitoreo de cualquier maquinaria con ADD, se debe de considerar la selección de componentes, la definición de la red de comunicación y la integración con la nube. Esto permitirá construir una solución robusta y eficiente para la gestión de datos y la toma de decisiones para nuestro sistema.

El proceso consta de siete etapas principales:

1. Definir objetivos y restricciones: Se identifican los atributos de calidad y metas del sistema, como disponibilidad, rendimiento o seguridad.
2. Elegir elementos iniciales: Se determinan los componentes o módulos principales que estructurarán la solución.
3. Seleccionar tácticas y patrones: Se establecen estrategias de diseño que respondan a los atributos priorizados.
4. Asignar responsabilidades: Se escoge, define el rol y función de cada componente dentro de la arquitectura.
5. Definir interfaces: Se detallan las formas de comunicación e interacción entre los distintos elementos.
6. Verificar y ajustar: Se revisa el diseño frente a los objetivos planteados y se realizan mejoras de ser necesario.
7. Documentar y refinar: Se registra la arquitectura final para asegurar claridad y servir como guía en futuras etapas del proyecto.

4.3.1.1. Evaluación de entradas (Sección 1)

La primera fase del proceso ADD nos indica definir el concepto general del sistema a implementar. Para ello, es necesario realizar una revisión minuciosa de las entradas clave previamente determinadas, abarcando el propósito de diseño, los requerimientos funcionales, atributos de calidad, restricciones y preocupaciones arquitectónicas.

Objetivo de diseño

El sistema debe adoptar una arquitectura de referencia IoT que sustente adecuadamente el uso de los datos de los sensores de sonido, temperatura y vibración del prototipo. Esta arquitectura deberá responder a criterios funcionales, de rendimiento, disponibilidad y calidad de información para así poder asegurar que se aplique en distancias alejadas de poblaciones en cualquier parte del Perú.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Requerimientos de funcionalidad

Los requerimientos funcionales definen lo que el sistema debe hacer para cumplir con los objetivos del proyecto, es decir, las funciones, tareas o comportamientos que se esperan, sin detallar cómo se implementan.

Tabla 45.
Funcionalidades del sistema Ciber

ID	Requerimiento	Descripción
UC-1	Recolección de datos de sensores	El sistema debe capturar, identificar y procesar paquetes de datos transmitidos por los sensores de sonido, temperatura y vibración.
UC-2	Seguimiento del estado de sensores	Se requiere un monitoreo continuo y automatizado del estado operativo de los sensores instalados.
UC-3	Actualización de información.	La información sobre los niveles de ruido, temperatura y vibración debe actualizarse en tiempo real, con una frecuencia mínima de 15 minutos.
UC-4	Registro de datos	Todo dato recibido debe almacenarse de forma organizada para su posterior análisis.
UC-5	Supervisión del sistema cibernético	El administrador debe tener acceso al estado funcional de los distintos componentes que conforman la arquitectura cloud del sistema.

Nota: Elaboración propia

Atributos de calidad

Estos atributos describen cómo debe comportarse el sistema, en otras palabras, son las características que determinan su desempeño, confiabilidad, seguridad y facilidad de mantenimiento, entre otros aspectos.

Tabla 46.
Atributos de calidad del sistema Ciber

ID	Atributo	Escenario de evaluación
QA-1	RENDIMIENTO	El sistema debe manejar el envío concurrente de datos desde un mínimo de 10 nodos
QA-2	RENDIMIENTO	La interfaz de usuario deberá actualizar los datos visualizados con una latencia máxima de 5 segundos.
QA-3	MODIFICABILIDAD	La incorporación de nuevos sensores o Gateways no deberá requerir cambios estructurales en la arquitectura.
QA-4	DISPONIBILIDAD	En caso de falla de un Gateway, los sensores asociados deben continuar transmitiendo información mediante rutas alternativas.
QA-5	TESTEABILIDAD	La solución debe ser evaluable mediante métricas de velocidad de respuesta y capacidad de manejo de datos.
QA-6	SEGURIDAD	El sistema debe registrar logs (registros de datos) completos de los eventos operativos.
QA-7	SEGURIDAD	El acceso como administrador deberá estar protegido mediante autenticación con usuario y contraseña.

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Restricciones del diseño

En la arquitectura cibernética existen limitaciones que condicionan cómo se puede construir el sistema, estableciendo parámetros que deben cumplirse durante el desarrollo, pueden incluir tecnologías obligatorias, protocolos, compatibilidad con infraestructura existente, requisitos de hardware o software, y cualquier factor que limite las opciones de diseño, garantizando que el sistema se ajuste a criterios técnicos, normativos y operativos.

Tabla 47.
Restricciones del diseño del sistema Ciber

ID	Restricción
CON-1	El protocolo de transmisión entre nodos y servidor debe basarse en LoRaWAN.
CON-2	Es obligatorio el uso del servidor TTN (The Things Network) como intermediario en la red IoT (porque está basado en la tecnología LoRaWAN)
CON-3	La solución debe operar en una plataforma de Cloud Computing para el procesamiento y visualización de datos.
CON-4	El acceso administrativo será gestionado a través de una plataforma web.
CON-5	Los usuarios interactuarán con el sistema por medio de una aplicación móvil.
CON-6	Los Gateways deberán contar con conexión a internet constante.
CON-7	El diseño del sistema debe ser compatible con la infraestructura física ya establecida.
CON-8	La arquitectura general debe estar basada en un modelo de referencia IoT.

Nota: Elaboración propia

Preocupaciones arquitectónicas

Finalmente, se encuentran los aspectos críticos que deben considerarse al diseñar la arquitectura del sistema, ya que afectan su desempeño, seguridad, disponibilidad, escalabilidad y mantenimiento, estas preocupaciones guían las decisiones de diseño para asegurar que el sistema cumpla con los objetivos de calidad, los requerimientos funcionales y las restricciones.

Tabla 48.
Preocupaciones arquitectónicas del sistema Ciber

ID	Preocupaciones de Arquitectura
CRN-1	Priorizar el uso de tecnologías de código abierto para reducir los costos.
CRN-2	La aplicación móvil debe ser compatible con Android, iOS y Windows.
CRN-3	Se recomienda utilizar APIs claras que faciliten la comprensión del código.
CRN-4	La base de datos debe contar con un mecanismo de respaldo automático para evitar pérdida de información ante fallas.
CRN-5	Los protocolos de comunicación utilizados deben consumir un ancho de banda reducido.

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4.3.1.2. FASE 1: Definición de la arquitectura base (Sección 2 - 7)

Sección 2: Definición de la fase y selección de entradas clave

En esta primera fase del método ADD, se establece como meta principal la selección de la **arquitectura tecnológica** que servirá como columna vertebral para el desarrollo del sistema cibernético. Dado que el sistema contempla una diversidad de requisitos, tanto funcionales como no funcionales, se prioriza la integración de aquellos más relevantes para definir una base sólida. Para este proceso se consideran los siguientes elementos:

- **UC-1:** Recolección de datos de sensores.
- **UC-4:** Registro de datos.
- **UC-5:** Análisis estadístico.
- **QA-3:** Modificabilidad.
- **QA-6 y QA-7:** Seguridad con respecto al registro de datos y autenticación de acceso mediante el ingreso de usuarios
- **CON-1:** Protocolo LoRaWAN.
- **CON-3:** Plataforma Cloud Computing.
- **CON-4 y CON-5:** Accesos diferenciados vía plataforma web y aplicación móvil.
- **CON-7:** Compatibilidad con infraestructura física existente.
- **CON-8:** Basada en modelo de referencia IoT.
- **CRN-5:** Protocolos de comunicación de bajo ancho de banda.

Sección 3: Selección del componente principal para descomposición

Dado que la arquitectura será definida en su totalidad en esta etapa, el componente elegido para descomposición es la **arquitectura de referencial**, es decir, se descomponen todas sus funcionalidades y servicios principales.

Sección 4: Elección de una arquitectura de referencia

La arquitectura de referencia es de suma importancia porque funciona como un modelo guía que establece cómo deben conectarse y comunicarse los distintos componentes de un sistema IoT; principalmente te sirve para asegurar que todos los elementos, desde los sensores que enviaran la información vía LoRaWAN al Gateway y este subirá dicha información a la nube, en donde se espera que la interfaz de usuario, trabaje de manera coherente, segura y sobre todo de manera eficiente.

De los cuales, los que más se asemejan a los alcances planteados en este proyecto son los siguientes:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 49.
Selección de arquitectura referencial

Característica	RAMI 4.0	Microsoft Azure IoT	IoT-A (Internet of Things Architecture)
Tipo	Modelo de referencia arquitectónico para la Industria 4.0.	Plataforma tecnológica en la nube (IoT).	Modelo de referencia para arquitecturas de IoT flexible
Propósito	Estandarizar la integración de sistemas industriales	Proporcionar servicios en la nube para conectar, gestionar y analizar dispositivos IoT	Definir una arquitectura coherente y escalable para IoT
Interoperabilidad	Facilita la interoperabilidad entre sistemas heterogéneos	Ofrece conectividad y compatibilidad con una amplia gama de dispositivos y protocolos.	Promueve la interoperabilidad entre diferentes sistemas y plataformas
Casos de uso típicos	Integración de sistemas de control, automatización de fábricas, gestión de la producción.	Monitoreo de dispositivos, mantenimiento predictivo, análisis de datos en tiempo real.	Gestión de dispositivos IoT, análisis de datos, control de acceso y monitoreo de seguridad en entornos IoT.
Implementación	Requiere adaptación y desarrollo personalizado según las necesidades específicas de la industria.	Implementación rápida mediante servicios gestionados y herramientas preconfiguradas.	Implementación flexible que permite la adaptación a diferentes dominios y requisitos específicos de cada aplicación IoT.

Nota: Elaboración propia

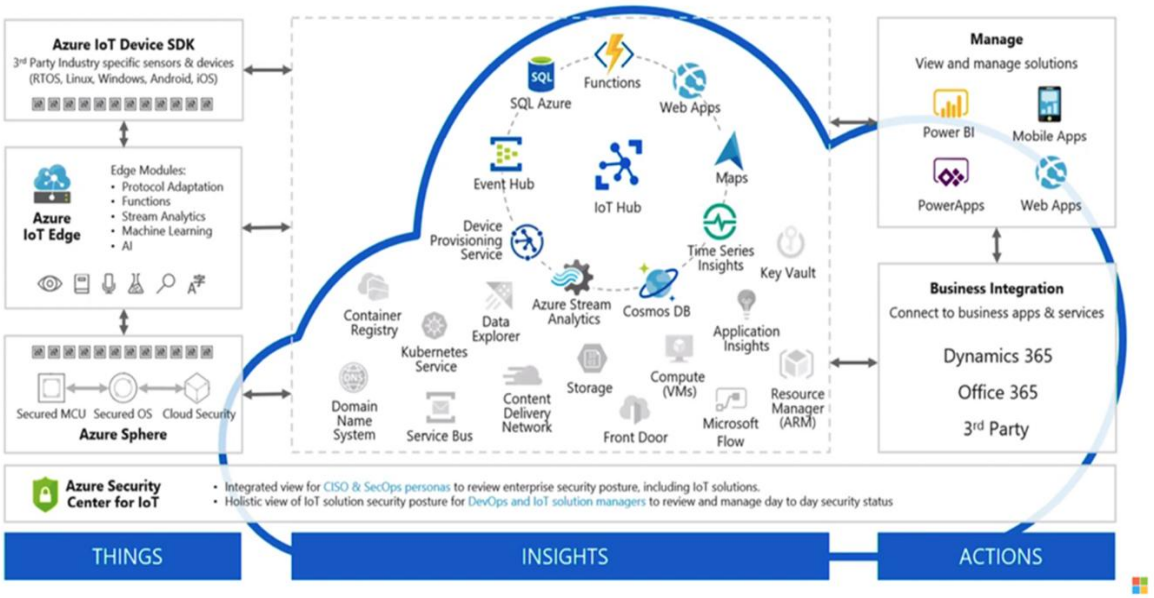
ELECCIÓN: En este caso Microsoft Azure IoT resulta ser más conveniente que RAMI 4.0 e IoT-A para este tipo de solución IoT de manera rápida y práctica, sin embargo, RAMI 4.0 e IoT-A son modelos de referencia que definen cómo estructurar y estandarizar sistemas o arquitecturas, Azure IoT proporciona directamente los servicios en la nube necesarios para conectar, gestionar y analizar dispositivos a gran escala, con alta seguridad integrada y soporte para múltiples protocolos, por otro lado, permite escalar fácilmente, monitorear datos en tiempo real y aplicar mantenimiento predictivo, funciones que los modelos de referencia por sí solos no ofrecen, haciendo que la implementación sea más eficiente y directa. Por otro lado, Microsoft Azure IoT permite convertir los datos recolectados (Things) en información útil (Insights) y generar respuestas automáticas o

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

acciones (Actions) para mejorar la operación y el mantenimiento predictivo, algo que los modelos de referencia como RAMI 4.0 o IoT-A no ofrecen directamente.

Figura 28.
Arquitectura Microsoft Azure IoT



Nota: (Hendriks, Van der Hooft, & Clements, 2020).

Sección 5: Ajustes arquitectónicos y definición de responsabilidades

Con base en las necesidades del proyecto, se implementan las siguientes adaptaciones a la arquitectura:

- Eliminación del subsistema "Machine Learning", al no requerirse análisis predictivo sobre grandes volúmenes de datos.
- Inclusión del subsistema "Physical Gateway", el cual representa el nodo físico que intermedia entre los sensores y el gateway en la nube, cumpliendo con la arquitectura LoRaWAN (CON-1).
- Sustitución de "IoT Devices" por "IoT Edge Devices", en vista de que los sensores utilizados ya procesan información localmente (CON-7).
- Adición de una capa de "Output Devices", que permitirá distinguir entre dos tipos de visualización: Real Time Interface (Información en tiempo real para usuarios móviles (CON-5)) y Batch Interface (Acceso a registros históricos para administradores (CON-4)).
- Selección del protocolo de comunicación MQTT, por sus ventajas: baja latencia, bajo consumo energético, compatibilidad con LoRaWAN y orientación a sistemas IoT (CRN-5)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

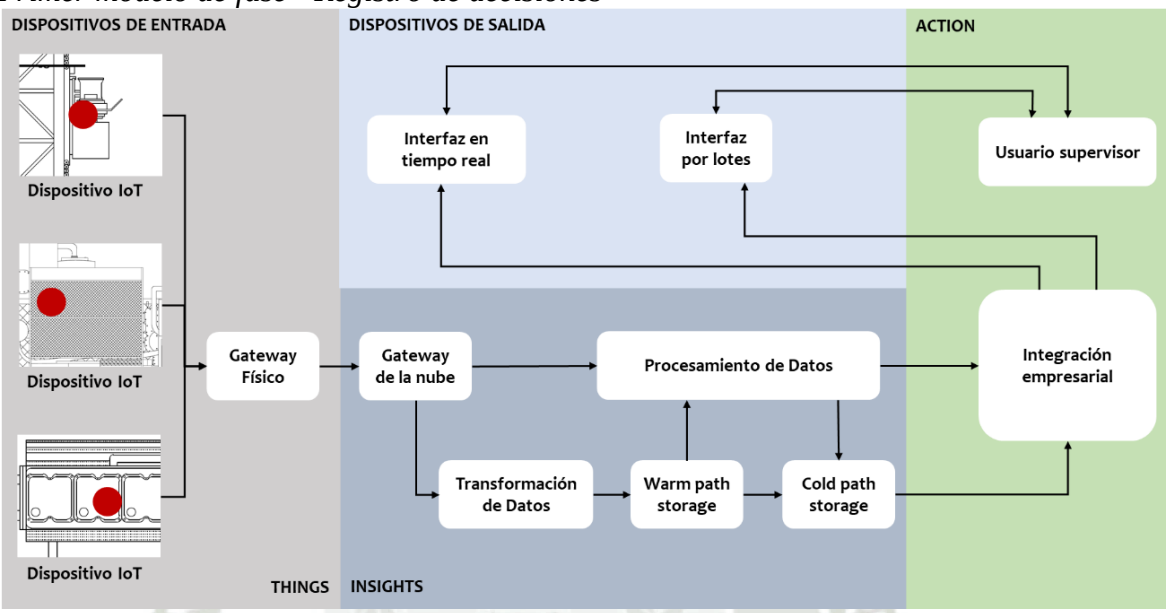
REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Sección 6: Representación gráfica de la arquitectura y registro de decisiones

La arquitectura revisada se esquematiza en la figura 44, donde se incorporan los subsistemas seleccionados en función de las decisiones tomadas.

Figura 29.

Primer modelo de fase - Registro de decisiones



Nota: Elaboración propia

Sección 7: Evaluación de los logros obtenidos en la fase

Para la evaluación de logros se utilizó una matriz de revisión basada en la metodología Kanban, un método creado por Toyota que permite evaluar la información y los resultados para ajustar estrategias y cumplir con los objetivos planteados, lo que hace esta herramienta es ayudar fundamentalmente a mantener un control visual y organizado de las tareas en cada etapa del proyecto, mostrando de forma clara qué actividades estaban en proceso, cuáles se habían completado y cuáles presentaban retrasos o bloqueos.

Gracias a este enfoque, fue posible identificar los avances de manera oportuna, tomar decisiones rápidas ante cualquier inconveniente y priorizar las tareas más críticas, además en conjunto con el uso del tablero Kanban facilitó la coordinación general del trabajo, asegurando que cada actividad se gestionara de manera eficiente y siguiendo el ritmo planificado del proyecto, en este caso como se logra apreciar en la tabla 33 hay un objetivo no ejecutado, en este caso se habla de QA-6 el cual es referente a la gestión de monitoreo del sistema y hay varios objetivo parcialmente completados, lo que motiva la necesidad de tener otra fase en la cual se puedan abarcar este tipo de objetivos y poder tener una red iot más adaptable a la necesidad que se requiere.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 50.
Revisión de Objetivos – Método Kanban (Fase 1)

Justificación	No ejecutado	Parcialmente completado	Elaborado
Subsistemas de captura, almacenamiento y análisis de datos de manera eficiente implementados.			UC-1 UC-4 UC-5
Arquitectura con subsistemas independientes y escalables.		QA-3	
La gestión del monitoreo del sistema se tocará en fases posteriores	QA-6		
Implementación del módulo User Management para autenticación.		QA-7	
División lógica y física del gateway respetando el modelo LoRaWAN.		CON-1	
Adopción de arquitectura en la nube (Cloud Computing).		CON-3	
Definición de interfaz web y móvil en la capa Output Devices.			CON-4 CON-5
Diseño adaptado al hardware ya implementado.			CON-7
Elección de arquitectura IoT de referencia			CON-8
Uso de MQTT como protocolo eficiente y ligero.			CRN-5

Nota: Elaboración propia

4.3.1.3. FASE 2: Procesamiento de información y monitoreo (Sección 2 - 7)

Sección 2: Definición del propósito de la fase y selección de entradas clave

Con la arquitectura general ya definida en la iteración anterior, esta segunda etapa del proceso ADD tiene como finalidad establecer la **estructura lógica** del flujo de datos y la incorporación de mecanismos de monitoreo del sistema. Para lograrlo, se consideran los siguientes elementos extraídos de la etapa de revisión de entradas:

- **UC-2**: Supervisión continua del estado de los sensores.
- **UC-3**: Actualización de datos en tiempo real para los usuarios.
- **QA-2**: Rendimiento en la entrega y visualización de datos sin demoras perceptibles.
- **QA-6**: Seguridad y trazabilidad del sistema

Sección 3: Selección del componente principal para descomposición

La atención en esta fase se centra en la capa de **procesamiento de flujos de datos** de la arquitectura general, así como en otros subsistemas dependientes que participan activamente en la recepción, análisis, visualización y monitoreo de la información sensorial

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Sección 4: Elección de una arquitectura conceptual

Para satisfacer los requerimientos mencionados, es importante tener una elección del procesamiento de flujo de datos porque permite analizar y actuar sobre los datos en tiempo real, a medida que se generan, lo que es fundamental para sistemas de monitoreo como el de sensores IoT, donde se requiere detectar cambios, anomalías o eventos de manera inmediata.

Por lo que se escogió los tres procesamientos de flujo más adecuados a las necesidades de nuestro proyecto:

Tabla 51.
Selección de procesamiento de flujos

Característica	Stateless Stream Processing	Stateful Stream Processing	Micro-Batch Processing
Definición	Procesa cada evento de forma independiente, sin guardar historial.	Procesa eventos considerando información histórica o acumulada.	Agrupa datos en pequeños lotes y los procesa en intervalos cortos.
Latencia	Muy baja, casi inmediata.	Baja, pero un poco mayor por gestión de estado.	Media, depende del tamaño del lote.
Complejidad	Baja, simple de implementar.	Media-alta, requiere manejo de estado.	Media, requiere programación de intervalos.
Ejemplos de uso	Filtrado de eventos, transformaciones simples.	Promedios móviles, conteos acumulativos, detección de anomalías.	Análisis periódico de sensores, reportes resumidos cada minuto.
Ventaja principal	Velocidad y simplicidad.	Precisión en cálculos dependientes de datos históricos.	Balance entre tiempo real y batch, manejo de grandes volúmenes.
Desventaja principal	No puede hacer cálculos acumulativos.	Mayor consumo de recursos y complejidad.	Latencia mayor que stream real, menos inmediato.

Nota: Elaboración propia

ELECCIÓN: En este caso se escogió Stateless Stream Processing porque, a diferencia de Stateful Stream Processing y Micro-Batch Processing, permite procesar los datos de los sensores de manera inmediata y sin depender de información histórica, lo que simplifica el diseño y reduce el consumo de recursos, mientras que el Stateful requiere almacenar y gestionar el estado de los datos para cálculos acumulativos, y el Micro-Batch introduce latencia al procesar datos en intervalos, el enfoque stateless asegura un flujo rápido y eficiente, cumpliendo con los requisitos de actualización en tiempo casi real para el

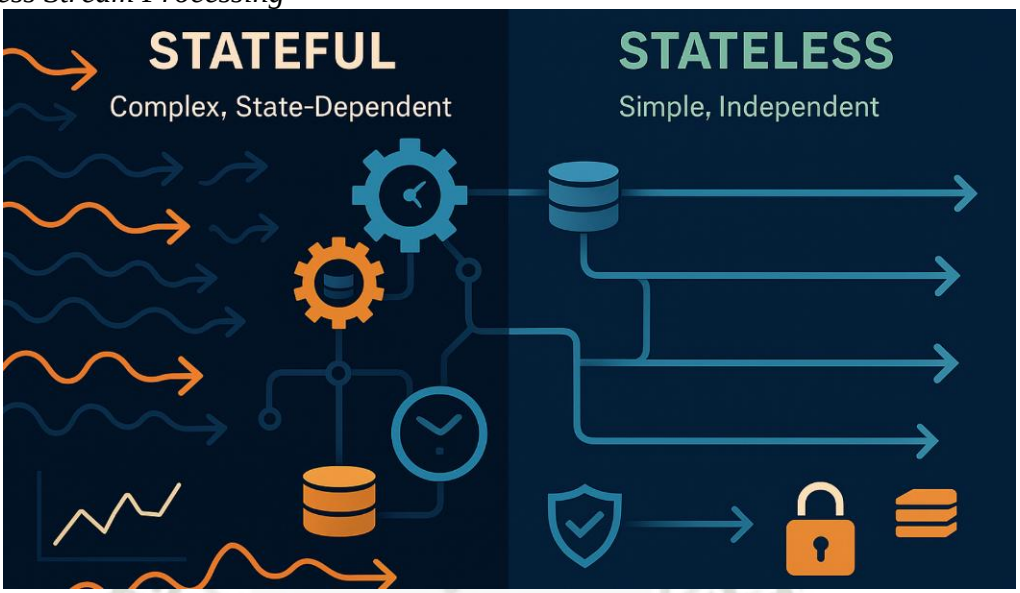
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

monitoreo de temperatura, vibración y sonido en múltiples nodos IoT cumpliendo así con UC-6 Y QA-8.

Figura 30.
Stateless Stream Processing



Nota: (e6data, s.f.)

Sección 5: Ajustes arquitectónicos y definición de responsabilidades

A partir de las decisiones tomadas, se aplican los siguientes ajustes a la arquitectura:

- Separación de la capa "Insight" en dos subcapas: Real-Time y Batch. Esta división permite identificar claramente qué flujos de datos requieren una visualización inmediata (UC-3) y cuáles pueden almacenarse para análisis posterior.
- Fragmentación del subsistema "Stream Processing" en tres rutas específicas: una enfocada en alimentar la interfaz móvil con datos temperatura, sonido y vibración, otra para generar alertas en caso de fallos de sensores (UC-2), y una más dedicada al almacenamiento de datos para análisis por lotes.
- División del proceso "Business Integration" para separar los requerimientos de la interfaz móvil de los de la interfaz web, garantizando eficiencia y claridad en el diseño.
- Inclusión de una capa dedicada al monitoreo, que empleará herramientas de supervisión en la nube ya existentes en el mercado, (QA-6) encargadas de registrar eventos y ofrecer una vista integral del estado de operación de cada etapa del sistema

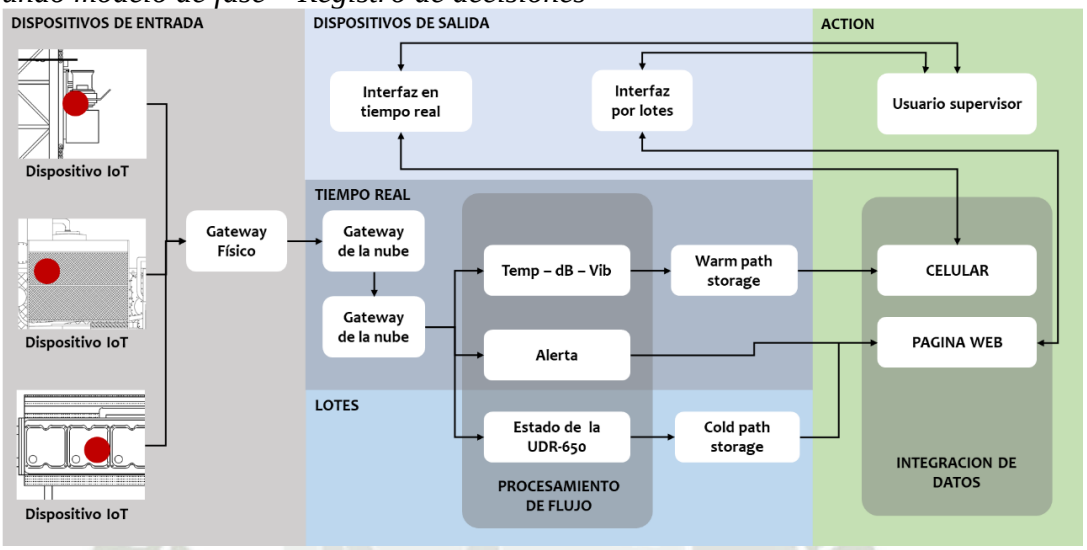
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Sección 6: Representación gráfica de la arquitectura y registro de decisiones

En la figura 46 se muestra la vista arquitectónica del sistema actualizado con las adaptaciones realizadas en esta segunda fase, este diagrama incorpora la nueva capa de monitoreo, así como las divisiones internas de los subsistemas de procesamiento y visualización.

Figura 31.
Segundo modelo de fase – Registro de decisiones



Nota: Elaboración propia

Sección 7: Evaluación de los logros obtenidos en la fase

A continuación, se resume el cumplimiento de los objetivos propuestos en esta fase, siguiendo el enfoque Kanban:

Tabla 52.
Revisión de Objetivos – Método Kanban (Fase 2)

Justificación	No ejecutado	Parcialmente completado	Elaborado
Se creó una ruta de procesamiento especializada para la vigilancia del estado de sensores.			UC-2
Implementación de una ruta dedicada a la entrega en tiempo real de datos a usuarios móviles.			UC-3
La capa Real-Time mejora la latencia del sistema, asegurando transmisión veloz de datos.		QA-2	
El subsistema de monitoreo permite mantener registros operacionales continuos.		QA-6	

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4.3.1.4. FASE 3: Elección de tecnologías (Sección 2 - 7)

Sección 2: Definición del propósito de la fase y selección de entradas clave

Una vez que se cuenta con una arquitectura general del sistema, en esta última fase se busca seleccionar las tecnologías más adecuadas que se integrarán dentro del proyecto, se debe de considerar que esta etapa es fundamental, ya que la correcta elección de **herramientas y plataformas** asegurará que el sistema cumpla con los requerimientos funcionales y no funcionales, optimizando su desempeño y facilitando su escalabilidad a futuro.

Para realizar esta selección, se analizarán diversas entradas clave, las cuales servirán como base para la toma de decisiones:

- **QA – 1, QA – 2:** RENDIMIENTO de envió concurrente y actualización de datos
- **QA – 3:** MODIFICABILIDAD sin cambios estructurales
- **QA – 4:** DISPONIBILIDAD de transmisión de información
- **QA – 6, QA – 7:** SEGURIDAD por usuario y contraseña
- **CON – 1:** Uso de LoRaWAN
- **CON – 2:** Uso de TTN como intermediario
- **CON – 3:** Uso de Cloud Computing
- **CRN – 1:** Reducción de costos con tecnología de código abierto

Sección 3: Selección del componente principal para descomposición

Se procederá a desglosar y analizar detalladamente los componentes que conforman la arquitectura previamente definida, con el objetivo de comprender mejor su funcionamiento y sus interacciones, para así poder escoger que **tecnología utilizar**.

Sección 4: Elección de una arquitectura de referencia y decisiones de diseño

En este paso de la tercera fase se define las decisiones clave relacionadas con el diseño y la infraestructura tecnológica, asegurando que la solución propuesta sea escalable, eficiente y compatible con los objetivos planteados, se debe de considerar que la elección adecuada de tecnologías y modelos de servicio en la nube es fundamental, ya que impacta directamente en el rendimiento, la seguridad, la integración de dispositivos IoT y los costos operativos.

Primeramente, se escogió XaaS (Anything as a Service) como modelo de servicio de Cloud Comuting, el cual tiene un concepto de utilizar servicios tecnológicos que se ofrecen a través de internet mediante suscripciones o simplemente pago por uso, ya que este cubre los 3 tres modelos principales de servicios en la nube (CON-3) que son:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- **Software as a Service:** En este modelo, el proveedor pone a disposición del usuario diferentes aplicaciones a través de internet; el cliente únicamente las utiliza, sin preocuparse por su instalación, mantenimiento o administración.
- **Platform as a Service:** Aquí, el usuario tiene la posibilidad de desarrollar y gestionar sus propias aplicaciones sobre una plataforma que brinda el proveedor, aunque no controla la infraestructura física, sí puede configurar ciertos aspectos del entorno.
- **Infrastructure as a Service:** Este servicio ofrece al usuario acceso a recursos básicos como redes, servidores y almacenamiento a diferencia de los otros modelos, el cliente tiene mayor control, pudiendo instalar y configurar sistemas operativos, aplicaciones y servicios.

Tras definir el modelo de nube, es necesario elegir el proveedor de tecnología más apropiado, entre los más reconocidos y efectivos se encuentra SAP, Microsoft, Amazon e IBM; a continuación, se mostrará la tabla 36 comparativa de estos proveedores

Tabla 53.
Selección de Nube

Característica	SAP	Amazon (AWS)	Microsoft (Azure)	IBM Cloud
Tipo de servicios	PaaS, SaaS, ERP en la nube	IaaS, PaaS, SaaS, FaaS	IaaS, PaaS, SaaS, AI y analítica	IaaS, PaaS, SaaS, AI, Blockchain
Ventajas principales	Integración con procesos empresariales, escalable	Muy escalable, gran ecosistema, soporte IoT	Integración con Windows, soporte IoT, AI	Seguridad y soporte empresarial, AI
Desventajas principales	Costoso, curva de aprendizaje alta	Complejidad de servicios, puede ser caro	Curva de aprendizaje, costos variables	Menor ecosistema que AWS o Azure
Escalabilidad	Alta, pero depende del plan y módulos contratados	Muy alta, escalado automático disponible	Alta, escalado flexible	Media, escalable pero menos global
Seguridad	Alta, cumpliendo estándares empresariales	Muy alta, cifrado, IAM y cumplimiento global	Alta, cifrado, IAM y cumplimiento global	Alta, enfoque corporativo y cumplimiento regulatorio
Costos	Alto, según módulos y usuarios	Variable, pago por uso	Variable, pago por uso	Alto, enfocado en empresas grandes

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

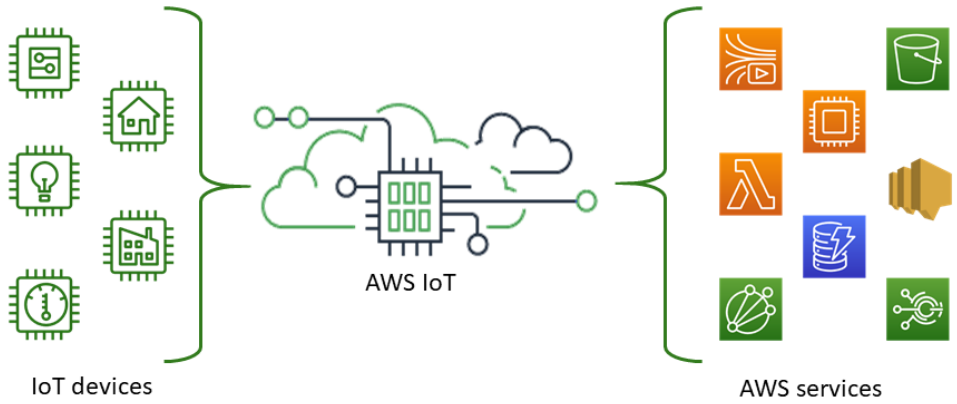
REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ELECCIÓN: Debido a las exigencias ya establecidas se escogió a Amazon Web Services (AWS) como proveedor de nube principal para este proyecto debido a su amplia cobertura de servicios que incluyen IaaS, PaaS y SaaS, lo cual permite implementar desde la infraestructura básica hasta plataformas y aplicaciones listas para usar, por otro lado, a diferencia de SAP, Microsoft Azure e IBM Cloud, AWS ofrece un ecosistema altamente escalable y flexible, ideal para manejar múltiples nodos IoT con actualizaciones de manera constante. Además, la plataforma soporta procesamiento en tiempo real, almacenamiento seguro y análisis de datos, lo que asegura la calidad y disponibilidad de la información requerida para el monitoreo y la toma de decisiones.

Otro factor por lo cual se escogió AWS es su modelo de pago por uso, que optimiza los costos según el consumo real de recursos, evitando inversiones innecesarias en infraestructura física, por otra parte, otro motivo que no se muestra en el cuadro es que AWS tiene una compatibilidad con redes LoRaWAN a través de TTN, ideal para el sistema que se quiere abordar.

Por otro lado, proveedores como IBM Cloud o SAP Cloud se enfocan principalmente en soluciones empresariales y gestión corporativa, lo que no se adapta completamente a las necesidades de un proyecto de monitoreo remoto con sensores distribuidos.

Figura 32.
Servicios de AWS



Nota: (Amazon AWS , 2025)

Sección 5: Ajustes arquitectónicos y definición de responsabilidades

Para implementar la plataforma en la nube, es necesario seleccionar cuidadosamente los servicios que conformarán la arquitectura, asegurando que cada uno cumpla con funciones específicas y se integre correctamente con el resto del sistema, en el caso de AWS, esto implica elegir componentes para la recolección, almacenamiento, procesamiento y monitoreo de datos, así como para la autenticación de usuarios y la entrega de contenido.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Cada servicio se selecciona en función de su rol dentro de la arquitectura IoT y de las necesidades de rendimiento, seguridad y escalabilidad del sistema.

En este caso, se detallan los principales servicios utilizados y su función dentro del subsistema Cloud Gateway:

- **AWS IoT Core - Infraestructura**

Para empezar con AWS IoT Core, primero debemos definir qué funciones utilizaremos, como la gestión de los dispositivos y la comunicación de datos mediante IoT Topics, las acciones automáticas con IoT Rules y la seguridad de acceso con IoT Policies, además, como se mencionó antes, se usará The Things Network (TTN) para conectar los nodos mediante LoRaWAN y enviar los datos de manera eficiente hacia la nube, por lo tanto, hay que definir cada uno:

- **AWS IoT:** Servicio completamente administrado que permite conectar dispositivos físicos a la nube de manera segura y escalable, también facilita la recolección, almacenamiento y procesamiento de datos de sensores en tiempo real, con integración directa a otros servicios como Lambda, DynamoDB y CloudWatch, por otro lado, AWS puede soportar millones de dispositivos y mensajes por segundo, ofreciendo autenticación, cifrado y gestión de certificados para mantener la seguridad de la comunicación (Amazon, 2024).
- **The Things Network (TTN):** Es una red pública y colaborativa que permite la conexión de dispositivos LoRaWAN a internet. Su backend enruta los datos de los nodos IoT hacia aplicaciones o servicios en la nube de manera confiable, soportando escalabilidad horizontal mediante Gateways adicionales, lo cual es ideal para proyectos de IoT distribuidos, con baja latencia y bajo consumo energético (Amazon, 2024).
- **IoT Policy:** Es el que se encarga de definir los permisos y reglas de seguridad para los dispositivos conectados a AWS IoT, en otras palabras, es el que controla quién puede publicar, suscribirse o recibir mensajes (Amazon, 2024).
- **IoT Topic:** Es un canal de comunicación dentro de AWS IoT donde los dispositivos publican y reciben mensajes.
- **IoT Rule:** Es el encargado de definir acciones automáticas sobre los mensajes que llegan a un Topic. Permite, por ejemplo, enviar datos a DynamoDB, activar funciones Lambda o notificar mediante SNS, facilitando el procesamiento, almacenamiento y análisis de los datos IoT en tiempo real (Amazon, 2024).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- **DynamoDB – Base de datos**

DynamoDB es una base de datos NoSQL que combina modelos de claves-valor y documentos, diseñada para ofrecer un rendimiento extremadamente rápido, con tiempos de respuesta en milisegundos de un solo dígito, sin importar la cantidad de datos que maneje (Amazon, 2024), por otro lado, es un servicio completamente administrado, lo que significa que AWS se encarga de la infraestructura, el escalado y el mantenimiento, además cuenta con replicación automática entre múltiples regiones, soporte para configuraciones multimaestro, copias de seguridad y restauración integradas, así como seguridad y control.

- **Amazon S3 (Simple Storage Service)**

S3 es un servicio de almacenamiento de objetos escalable y seguro, con durabilidad casi total (99.999999999%). Permite guardar archivos de cualquier tamaño, con versionado, cifrado y políticas de acceso bien detalladas, los datos pueden replicarse entre regiones y se puede acceder a ellos mediante APIs, SDKs o CLI (Amazon, 2024). Funciona muy bien para almacenar logs, datos de sensores o backups de forma confiable, y se integra perfecto con CloudFront para entregar contenido rápido a todo el mundo.

- **Amazon Web Services Lambda**

Lambda es un servicio de computación serverless que ejecuta código en respuesta a eventos sin que tengas que preocuparte por servidores, además tiene la capacidad de soporta varios lenguajes como Python, Node.js, Java, Go y C# (Amazon, 2024); lo bueno de este servicio es que su escala es automática según la demanda y solo se paga por lo que usas, lo cual lo hace ideal para procesar datos de sensores en tiempo real.

- **Amazon Web Services CloudFront**

CloudFront es un conjunto de servidores que distribuye datos, APIs, web y videos de forma rápida usando servidores edge alrededor del mundo, también tiene cache configurable, soporta HTTP/HTTPS y WebSocket, y puede ejecutar funciones con Lambda@Edge cerca del usuario, lo cual reduce la latencia y mejora la velocidad de entrega, muy útil si el sistema IoT necesita mostrar datos o dashboards en tiempo real a usuarios dispersos geográficamente (Amazon, 2024).

- **Application Programming Interface - API Gateway**

API Gateway te permite crear, publicar, proteger y monitorear APIs a cualquier escala, este funciona con REST, HTTP y WebSocket, maneja rutas, autenticación, control de tráfico y se escala automáticamente; también se integra con Lambda, Cognito y CloudWatch, por lo que se puede exponer datos de tus nodos IoT de manera segura y confiable, y tener monitoreo completo de las solicitudes y errores (Amazon, 2024).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- **Amazon Cognito**

Cognito es para gestionar usuarios y controlar quién puede entrar a tus apps. Permite registro, login, autenticación social y maneja tokens JWT de manera segura, este se integra con API Gateway y Lambda (Amazon, 2024), así que se puede controlar el acceso a tus recursos IoT sin tener que montar tu propio sistema de usuarios, y mantener todo seguro.

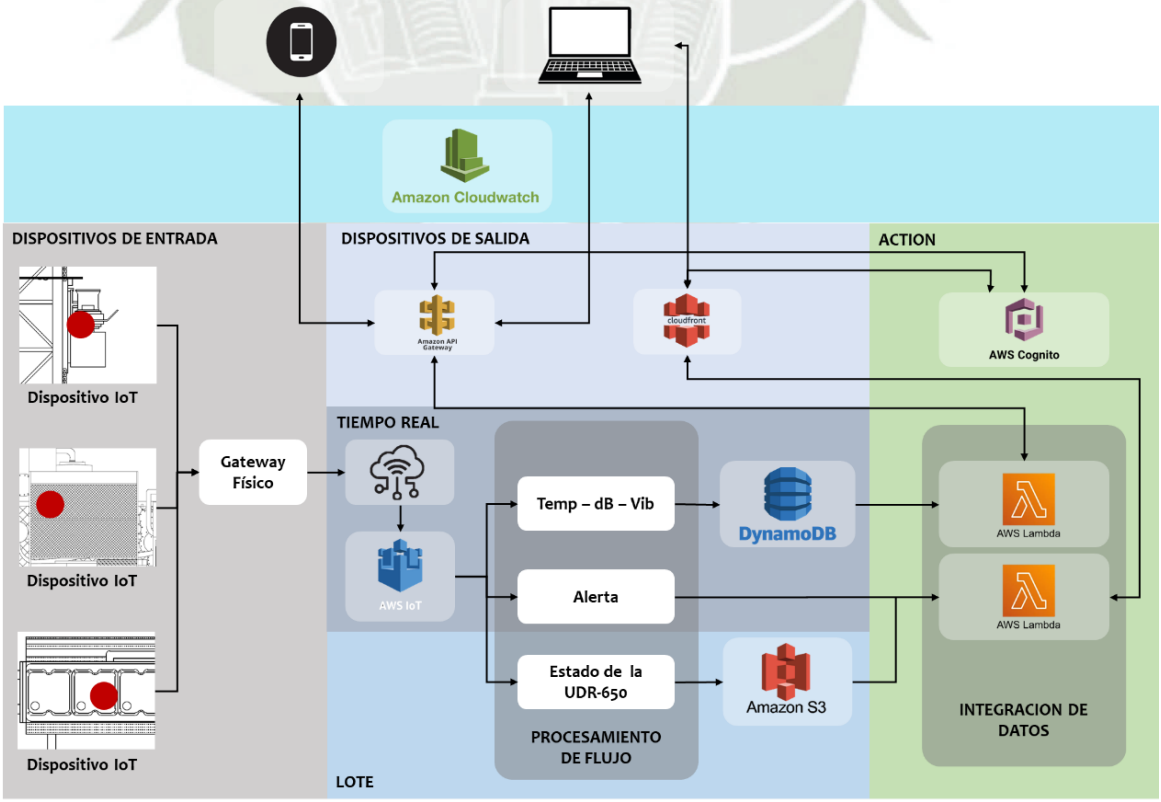
- **Amazon CloudWatch**

CloudWatch recolecta métricas, logs y eventos de tus servicios y aplicaciones, te permite crear dashboards, alarmas y automatizar acciones con Lambda cuando pasa algo crítico, además soporta métricas personalizadas y logs a largo plazo (Amazon, 2024); con este servicio se puede ver en tiempo real cómo están funcionando tus nodos IoT, detectar problemas antes de que afecten al sistema y tener control total de la infraestructura.

Sección 6: Representación gráfica de la arquitectura y registro de decisiones

En la figura 48 se muestra la vista arquitectónica del sistema actualizado con las adaptaciones realizadas en esta tercera fase, este diagrama incorpora la interacción de los servicios que se utilizaran de AWS.

Figura 33.
Tercer modelo de fase – Servicios AWS



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Sección 7: Evaluación de los logros obtenidos en la fase

A continuación, se resume el cumplimiento de los objetivos propuestos en esta fase, siguiendo el enfoque Kanban:

Tabla 54.
Revisión de Objetivos – Método Kanban (Fase 3)

Justificación	No ejecutado	Parcialmente completado	Elaborado
Implementación de base de datos NoSQL DynamoDB para almacenar y gestionar la información en tiempo real, con una velocidad de lectura y escritura mayor a las 200,000 operaciones por segundo.			QA-1
Procesamiento de información usando AWS Lambda, un servicio en la nube que puede ejecutar hasta 500 funciones al mismo tiempo con adaptabilidad automática.			QA-2 CON-3
Utilización del servidor TTN para la conexión de dispositivos físicos a través de LoRaWAN, facilitando la incorporación ágil y escalable de Gateways y nodos sensores.			QA-3 CON-1
La funcionalidad de TTN se basa en una topología estrella-estrella. Esto garantiza que los datos de los sensores se continúen transmitiendo de manera fiable, siempre y cuando haya al menos un Gateway en el rango de alcance de dichos sensores.			QA-4
Supervisión de la nube a través de Amazon CloudWatch, creando logs de cada evento con el fin de asegurar el correcto funcionamiento del sistema.			QA-6
Autenticación de los usuarios en la plataforma web mediante Amazon Cognito, asegurando acceso seguro y controlado a los recursos del sistema.			QA-7
Configuración de la conexión entre TTN y AWS a través de CloudFormation, asegurando una implementación rápida y consistente de los servicios en la nube.			CON-1
Razonamiento detrás de la inversión en AWS basado en la simplicidad de implementación, la interoperabilidad, la seguridad de los respaldos y la documentación extensa que facilita su uso.	CRN-1		

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4.3.2. Ingreso de parámetros

Para el funcionamiento óptimo del sistema de monitoreo predictivo, se desarrolló una tabla de ingreso de parámetros técnicos que considera los valores operativos normales de vibración, sonido y temperatura, clasificados por sistemas y componentes críticos de la perforadora diamantina UDR-650. Estos parámetros constituyen la línea base sobre la cual se generarán alertas cuando se detecten desviaciones anómalas en los servicios de AWS.

Los datos fueron determinados a partir de los datos generales de cada componente analizado previamente, complementadas con recomendaciones técnicas del fabricante y estándares de operación minera.

Cada parámetro se registra manualmente base al código que se genera y se actualiza en la base de datos del sistema IoT. Esto permite que la plataforma procese la información y la compare automáticamente con los rangos aceptables, cuando estos valores registrados superan los umbrales establecidos, se activa el módulo de alertas, notificando al supervisor designado y a la central sobre la posible falla inminente.

Tabla 55.

Rangos máximos y mínimos de cada sensor por componente

Sistema	Componente	Rango de Vibración (mm/s)	Rango de Temperatura (°C)	Nivel de Sonido (dB)
Sistema de potencia	Eje de potencia	4-7	82-96	88-98
Sistema Hidráulico	Bomba hidráulica principal	3-8	55 - 65	70 - 80
Sistema Hidráulico	Bloque de distribución	1 - 4	40 - 60	55 - 65
Sistema de perforación	Cabezal rotativo	4 - 10	50 - 70	75 - 85
Sistema de perforación	Cilindro hidráulico de empuje	1 - 5	25 - 45	60 -70
Sistema de perforación	Bomba de agua para lodos	4 - 6	50 - 70	80 -90
Sistema de elevación	Tambor del cabestrante principal	3 - 6	50 - 70	72 - 82
Sistema de elevación	Tambor del cabestrante Wire Line	3 - 4	40 - 70	75 - 85
Sistema de elevación	Cilindro hidráulico de sujeción de tubería	2.5 - 4.5	40 - 60	65 - 85
Sistema de refrigeración	Radiador	3.25 - 3. 85	82 - 96	62 - 66

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Esta tabla cumple una función clave en el sistema de mantenimiento predictivo, ya que constituye el eje para la toma de decisiones técnicas anticipadas, reduciendo el tiempo de inactividad y evitando paradas inesperadas durante las operaciones de perforación.

4.3.3. Diseño de alertas de parámetros

Como ya se sabe que se utilizara los servicios de AWS se debe tener en cuenta se requiere elaborar un código para el desarrollo de las alertas de parámetros, ya que se requiere hacer el cálculo en el que estos pasan los valores establecidos de cada magnitud física, en este caso estamos hablando del sonido, la temperatura y la vibración, por otro lado, también se debe tener en cuenta que cada componente o subsistema tiene variaciones distintas de parámetros, ya que no todos trabajan bajo las mismas condiciones ni presentan los mismos rangos de tolerancia, lo que significa que los límites de alerta no son iguales para todos, sino que dependen directamente de la función y las características propias de cada parte del sistema.

Además, es importante considerar que algunas magnitudes físicas son más cruciales en unos componentes que en otros, por ejemplo, en ciertos equipos la temperatura puede ser el principal indicador de un problema, mientras que en otros lo más importante puede ser la vibración o incluso el nivel de ruido, debido a esto, no todos los parámetros tienen el mismo peso a la hora de generar una alerta, sino que la prioridad cambia de acuerdo al componente que se esté monitoreando, por lo que para realizar el cálculo de cada sistema se requiere distintas fórmulas para poder determinar el promedio de la magnitud de cada componente en un tiempo determinado. En este caso se tomará un conjunto de 15 minutos para que se lance un promedio para cada análisis de parámetros, en el cual envié un resultado a la red IoT para que podamos determinar cada quince minutos y verificar el estado de cada componente o subsistema de la UDR-650.

4.3.3.1. Cálculo de temperatura

Para el cálculo de la temperatura, el procedimiento es relativamente igual que el de vibración y un poco más simple en comparación con el del sonido, en este caso, únicamente se requiere recolectar los datos que el sensor registra en intervalos de un minuto, de manera continua, lo que asegura que se tenga una medición detallada y constante del comportamiento térmico en la zona monitoreada para luego sacar un promedio cada 15 min.

De esta forma, la estimación de la temperatura se obtiene aplicando la siguiente fórmula:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

$$T_{prom} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} T_i$$

Teniendo en cuenta que:

$$T_i = Cada\ lectura\ de\ temperatura$$

$$T_{prom} = Promedio\ de\ temperatura$$

$$N = Numero\ de\ medidas$$

Previamente, analizando el comportamiento de los componentes de la UDR-650 y viendo hasta dónde se extienden los parámetros para poder determinar una posible avería, se decidió establecer rangos más reducidos con la finalidad de que las alertas sean más precisas y se puedan anticipar a cualquier falla, a esto se le sumó un ponderado de importancia del 1 al 3, con el cual se graduó la relevancia de cada magnitud, ya que, como ya se mencionó, no todas las magnitudes tienen el mismo peso, ya que en algunos casos la temperatura puede ser más determinante, mientras que en otros lo más crítico puede ser la vibración o incluso el sonido.

Tabla 56.

Parámetros e importancia establecidos de temperatura

Sistema	Componente	Rango de Temperatura (°C)	Parámetro de Temperatura de alerta (°C)	Grado de importancia
Sistema de potencia	Eje de potencia	82-96	83.5 - 94.5	3
Sistema Hidráulico	Bomba hidráulica principal	55 - 65	56.5 - 63.5	2
Sistema Hidráulico	Bloque de distribución	40 - 60	41.5 - 58.5	2
Sistema de perforación	Cabezal rotativo	50 - 70	51.5 - 68.5	1
Sistema de perforación	Cilindro hidráulico de empuje	25 - 45	26.5 - 42.5	1
Sistema de perforación	Bomba de agua para lodos	50 - 70	51.5 - 68.5	2
Sistema de elevación	Tambor del cabestrante principal	50 - 70	51.5 - 68.5	1
Sistema de elevación	Tambor del cabestrante Wire Line	40 - 70	41.5 - 68.5	1
Sistema de elevación	Cilindro hidráulico de sujeción de tubería	40 - 60	41.5 - 58.5	1
Sistema de refrigeración	Radiador	82 - 96	83.5 - 94.5	3

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4.3.3.2. Cálculo de vibración

Por parte del cálculo de vibraciones, se definió el mismo procedimiento que nos permita obtener un valor promedio del comportamiento de los componentes en intervalos de tiempo prolongados, para esto, los sensores registran datos de vibración cada minuto y los almacenan de manera continua durante un lapso de N minutos (que en este proyecto se está considerando 15) para que posteriormente se calcule su promedio y se pueda enviar a la red IoT para el monitoreo del estado de la UDR para así ofrecer una medida más estable y confiable, este cálculo es importante ya que las vibraciones suelen presentar picos aislados o fluctuaciones momentáneas que no siempre corresponden a un fallo real, una vez promediados los valores, se consigue reducir la influencia de estos altos y se obtiene un indicador más preciso para el análisis de tendencias, para que así de esta forma, la vibración promedio calculada para un período de N minutos se expresa mediante la siguiente fórmula que como se logra apreciar es similar a la del tiempo:

$$v_{prom} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} v_i$$

Teniendo en cuenta que:

$$v_i = Cada\ lectura\ de\ vibración$$

$$v_{prom} = Promedio\ de\ vibración$$

$$N = Numero\ de\ medidas$$

En este caso, se analizó el comportamiento de los diferentes componentes de la UDR-650 para identificar hasta qué punto se extienden los parámetros y poder reconocer señales tempranas de desgaste o posibles averías, a partir de este análisis, se decidió trabajar con rangos más reducidos, lo que permite que cualquier variación fuera de lo normal pueda ser detectada de manera oportuna y no únicamente cuando ya se ha producido una falla visible.

Al igual que en los parámetros de temperatura, también se aplicó un ponderado de importancia del 1 al 3, con el objetivo de graduar la relevancia que tienen las vibraciones en cada componente específico, en este caso para graduar la importancia de cada magnitud física no se puede repetir el mismo ponderado en el mismo componente, esto quiere decir que no puede haber el mismo número de importancia en la magnitud física del mismo componente, por lo que su grado de importancia será siempre distinto al de sonido como de temperatura.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 57.

Parámetros e importancia establecidos de vibración

Sistema	Componente	Rango de Vibración (mm/s)	Rango de Vibración de alerta (mm/s)	Grado de importancia
Sistema de potencia	Eje de potencia	4 – 7	4.2 – 6.7	1
Sistema Hidráulico	Bomba hidráulica principal	3 – 8	3.2 – 7.7	3
Sistema Hidráulico	Bloque de distribución	1 – 4	1.2 – 3.7	3
Sistema de perforación	Cabezal rotativo	4 – 10	4.2 – 9.7	3
Sistema de perforación	Cilindro hidráulico de empuje	1 – 5	1.2 – 4.8	3
Sistema de perforación	Bomba de agua para lodos	4 – 6	4.2 – 5.8	3
Sistema de elevación	Tambor del cabestrante principal	3 – 6	3.2 – 5.8	3
Sistema de elevación	Tambor del cabestrante Wire Line	3 – 4	3.2 – 3.8	3
Sistema de elevación	Cilindro hidráulico de sujeción de tubería	2.5 – 4.5	2.7 – 4.3	3
Sistema de refrigeración	Radiador	3.25 – 3. 85	3.45 – 3. 65	1

Nota: Elaboración propia

4.3.3.3. Cálculo de sonido

Por parte del cálculo del sonido, se debe aclarar que la fórmula usada es distinta a la de temperatura y a la de vibraciones, ya que a parte que el sonido se mide en decibeles, cuando registras datos de un sensor de sonido cada segundo, es muy común que aparezcan picos o tiberios debido a ruidos momentáneos, interferencias, o incluso fallas temporales del sensor, por lo que, al calcular el promedio de todas las medidas en un intervalo, estos picos pueden desviar significativamente su valor, haciendo que no represente correctamente el nivel de sonido del equipo; por lo que en este caso se decidió utilizar la mediana ya que los picos extremos no afectan casi nada el resultado, se obtiene un valor más representativo del comportamiento real del sonido del equipo y permite un monitoreo más robusto y confiable para mantenimiento predictivo.

La fórmula utilizada para calcular la mediana del nivel sonoro en un tiempo determinado es la siguiente:

$$M_i = L_i + \left(\frac{\frac{n}{2} + F_{i-1}}{f_i} \right) x\ A$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Teniendo en cuenta que:

$$L_i = Límite\ inferior\ del\ intervalo\ de\ clase\ de\ la\ mediana$$

$$n = Numero\ total\ de\ datos$$

$$F_{i-1} = Frecuencia\ acumulada\ de\ \ clase\ de\ la\ mediana$$

$$f_i = Frecuencia\ absoluta\ de\ la\ clase\ de\ la\ mediana$$

$$A = Amplitud\ del\ intervalo\ de\ clase$$

Debido a la complejidad de recolección de información se decidió establecer rangos más reducidos, pero siempre tomando en cuenta que las alertas basadas en este parámetro deben interpretarse con cautela. De igual manera, se aplicó un ponderado de importancia del 1 al 3, asignándole generalmente un valor menor en comparación con otras magnitudes físicas. Esto se debe a que, si bien el sonido puede servir como una señal complementaria para detectar anomalías, no siempre refleja con precisión el estado real de un componente cuando existen varias fuentes de ruido en operación simultánea, por lo que se realizó una medición de la mediana para tratar de mitigar los tiberios que se den por un momento determinado.

Tabla 58.
Parámetros e importancia establecidos de sonido

Sistema	Componente	Rango de Sonido (dB)	Rango de Sonido de alerta (dB)	Grado de importancia
Sistema de potencia	Eje de potencia	88 - 98	90 - 98	2
Sistema Hidráulico	Bomba hidráulica principal	70 - 80	72 - 80	1
Sistema Hidráulico	Bloque de distribución	55 - 65	57 - 65	1
Sistema de perforación	Cabezal rotativo	75 - 85	77 - 85	2
Sistema de perforación	Cilindro hidráulico de empuje	60 - 70	62 - 70	2
Sistema de perforación	Bomba de agua para lodos	80 - 90	82 - 90	1
Sistema de elevación	Tambor del cabestrante principal	72 - 82	74 - 82	2
Sistema de elevación	Tambor del cabestrante Wire Line	75 - 85	77 - 85	2
Sistema de elevación	Cilindro hidráulico de sujeción de tubería	65 - 85	67 - 85	2
Sistema de refrigeración	Radiador	62 - 66	64 - 66	2

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4.3.3.4. Cálculo de alerta para las tres magnitudes físicas

Como ya se mencionó antes, se genera un promedio de la recolección de datos cada 15 minutos para posteriormente ser subido a la red IoT, lo que permite tener un valor más estable de cada magnitud física y así evitar que picos momentáneos afecten la medición, además, cada magnitud física cuenta con un grado de importancia específico, dependiendo del componente o subsistema en el que se mida, ya que no todas tienen el mismo peso a la hora de detectar una posible falla.

La idea es que al sumar el ponderado que corresponde a cada magnitud, si el resultado es de 3 o más, se genere una alerta automática, indicando que el componente o subsistema está mostrando condiciones anormales y que podría estar por dañarse en un futuro, para así hacer que el personal en campo pueda darle una observación más exhaustiva al componente. De esta forma, no se depende de un solo parámetro para activar una alarma, sino de la combinación de varios factores que en conjunto ofrecen una visión más confiable del estado real del equipo, sin embargo, esto no erradica las alarmas falsas de vez en cuando.

Tabla 59.
Grado de importancia de cada magnitud física

Sistema	Componente	Grado de importancia de la temperatura	Grado de importancia de la vibración	Grado de importancia del sonido
Sistema de potencia	Eje de potencia	3	1	2
Sistema Hidráulico	Bomba hidráulica principal	2	3	1
Sistema Hidráulico	Bloque de distribución	2	3	1
Sistema de perforación	Cabezal rotativo	1	3	2
Sistema de perforación	Cilindro hidráulico de empuje	1	3	2
Sistema de perforación	Bomba de agua para lodos	2	3	1
Sistema de elevación	Tambor del cabestrante principal	1	3	2
Sistema de elevación	Tambor del cabestrante Wire Line	1	3	2
Sistema de elevación	Cilindro hidráulico de sujeción de tubería	1	3	2
Sistema de refrigeración	Radiador	3	1	2

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Una vez determinados el grado de importancia y los parámetros de alerta, tanto menores como mayores, se podrá proceder con la formulación del código que será implementado en los servicios de AWS, específicamente en AWS Lambda. Este código será el encargado de procesar los datos recibidos desde los nodos de monitoreo, generar las alertas correspondientes y enviar la información a otros servicios dentro de la arquitectura IoT.

El desarrollo de este código se realizó pensando en la automatización y escalabilidad del sistema, permitiendo una respuesta rápida ante variaciones críticas en las variables monitoreadas, como temperatura, vibración y sonido.

El detalle completo del código de programación y su integración con los demás servicios de AWS se puede apreciar en el Anexo 15.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Capítulo V

Análisis de Resultados y Discusión

En este capítulo se llevará a cabo el análisis de viabilidad del diseño e integración de los prototipos en la perforadora diamantina UDR-650 para así poder evaluar su capacidad de reducir costos operativos y su impacto económico en un periodo aproximado de tres meses.

Para ello, se consideran dos aspectos principales, primero, el gasto asociado a la implementación de los dispositivos a proponer, que incluye la adquisición, fabricación, instalación y subscripciones a redes necesarias. Por otro lado, se llevará a cabo una simulación con los dispositivos propuestos en un proyecto de perforación diamantina, comparando un escenario tradicional con otro que incorpore la tecnología propuesta, con el fin de estimar el ahorro económico que podrían generar, de este modo, lo que se busca es determinar la viabilidad económica de la propuesta, así como los beneficios que podría generar a mediano y largo plazo como mejorar la eficiencia de la UDR-650, optimizar recursos en actividades de mantenimiento y reducción de tiempos muertos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

5.1. Costo de dispositivos propuestos

Para analizar si es viable y sostenible la implementación de estos dispositivos en un proyecto de perforación diamantina es necesario demostrar el costo que genera el conjunto de dispositivos por lo cual, en este caso se va a mostrar el cálculo de los costos del dispositivo propuesto, dividiéndolo en tres puntos principales, empezando con el costo de los componentes y materiales que incluyen sensores, módulos electrónicos y accesorios que se van a necesitar para la implementación física de cada dispositivo, por otro lado, el costo de la arquitectura cibernética, donde entran el software, almacenamiento en la nube y la parte de conectividad y como por último, el costo total del sistema de monitoreo, que junta los dos anteriores y permite ver de manera general la inversión que se necesitaría para implementar el conjunto de dispositivos.

5.1.1. Costo de componentes y materiales

Por el lado del costo de componentes y materiales, se debe dividir en dos, ya que existen dos tipos de prototipos: el nodo de monitoreo y el Gateway, cada uno con una arquitectura eléctrica y funcionalidad distinta por lo que su costo es totalmente distinto tanto los sus componentes como por los materiales de fabricación (Carcasa).

5.1.1.1. Nodo de monitoreo

Empezando con el nodo de monitoreo, se realizó una cotización desde cero para identificar todos los costos y gastos físicos que implica fabricar este prototipo, primeramente, se elaboró la lista de componentes y materiales, donde se incluyen los cuatro sensores previamente analizados junto al Arduino UNO encargado del procesamiento de los datos adquiridos, en seguida, se consideraron los módulos de conexión inalámbrica, los protectores eléctricos y la batería de Litio; para simplificar la integración de estos elementos, se optó por tercerizar la fabricación de una tabla de conexiones, con el cableado y uniones ya establecidas, a fin de evitar el uso excesivo de cables que podrían desensamblarse fácilmente y causar que se desconecten componentes.

En cuanto a la carcasa, se seleccionó acero A36 como ya se vio en el diseño de su arquitectura por su resistencia, a su vez se optó también por tercerizar su fabricación para agilizar el proceso de construcción del nodo, además, está presupuestado la espuma aislante, destinada a proteger los sensores frente al ruido y la temperatura externa, por otro lado también se tomó en cuenta el precio del caucho en la zona de fijación al subsistema que se usa para reducir la transmisión de vibraciones entre el dispositivo propuesto y la máquina.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Por otra parte, se consideraron consumibles como silicona para fijar la espuma, cinta aislante, estaño para soldadura y cableado para la conexión entre la batería de litio y la batería de la UDR-650, ahora, en cuanto a herramientas, solo se contempló el uso de un Cautín para las conexiones y herramientas de ensamble (alicates y llaves), las cuales ya se encuentran disponibles en campo, por lo que se incluyó un pequeño costo adicional significativo.

Finalmente, se tomó en cuenta la mano de obra para el ensamblaje, a cargo de un técnico capaz de integrar hasta 10 dispositivos en un día; por ello, se consideró un valor equivalente a 0.1 días de trabajo por cada nodo de monitoreo, una vez considerado todos estos apartados de costos y gastos, se obtuvo un costo total de fabricación de 194.77 USD por cada nodo de monitoreo, incluyendo materiales, componentes, mano de obra y servicios tercerizados.

Tabla 60.
Cotización – Nodo de monitoreo

PARTIDA	CONCEPTO	CANT.	UND.	C.U. $	PARCIAL $
1.01	COMPONENTES Y/O MATERIALES				141.17
1.01.01	Sensor de Temperatura MLX90614ESF	1.00	PZA	15.00	15.00
1.01.02	Sensor de Presion sonora SEN-12642	1.00	PZA	10.00	10.00
1.01.03	Sensor de Vibracion GY-521	1.00	PZA	3.00	3.00
1.01.04	Sensor de Corriente ACS712-05	1.00	PZA	2.00	2.00
1.01.05	Arduino UNO R3 Atmega328p	1.00	PZA	15.00	15.00
1.01.06	Transceptor Lora RFM95W-915S2	1.00	PZA	6.00	6.00
1.01.07	Antena WRL-14	1.00	PZA	17.95	17.95
1.01.08	Placa UPS DD06CVSA_5V	1.00	PZA	3.00	3.00
1.01.09	Convertidor Buck de 24V a 5V LM2596HV	1.00	PZA	1.50	1.50
1.01.10	Batería Li-ion 18650	1.00	PZA	8.00	8.00
1.01.11	Plancha de acero A36 de 1000mm x 1000mm x 1/16"	1.00	PZA	23.00	23.00
1.01.12	Espuma aislante de 500mm x 500mm x 1"	1.00	PZA	4.00	4.00
1.01.13	Tuercas, arandelas, gomas y Pernos de 1 1/2" x 1/4"	12.00	PZA	0.50	6.00
1.01.14	Platina de 600mm x 1" x 1/16"	1.00	PZA	7.00	7.00
1.01.15	Tira de Caucho de 1000mm x 1" x 1"	1.00	PZA	10.00	10.00
1.01.16	Tira de cables positivo negativo de 5000mm	1.00	PZA	4.00	4.00
1.01.17	Materiales varios	5.00%	%	114.45	5.72
1.02	CONSUMIBLES				5.30
1.02.01	Silicona - Espuma aislante	1.00	PZA	1.50	1.50
1.02.02	Cinta aislante	1.00	PZA	1.30	1.30
1.02.03	Estaño	0.50	GAL	5.00	2.50
1.03	HERRAMIENTAS				0.60
1.03.01	Cautil	1.00	PZA	0.40	0.40
1.03.02	Herramientas de ensamble (llaves y alicate)	1.00	PZA	0.20	0.20
1.04	MANO DE OBRA				7.70
1.04.01	Ensamblador	0.10	HH	70.00	7.00
1.04.03	EPP y equipos de seguridad	10.00%	%	7.00	0.70
1.05	SERVICIOS				40.00
1.05.01	Fabricacion de Tabla de conexiones de 250mm x 200mm	1.00	UND	12.00	12.00
1.05.02	Fabricacion de Caja de nodo de monitoreo	1.00	UND	28.00	28.00
COSTO TOTAL					194.77

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

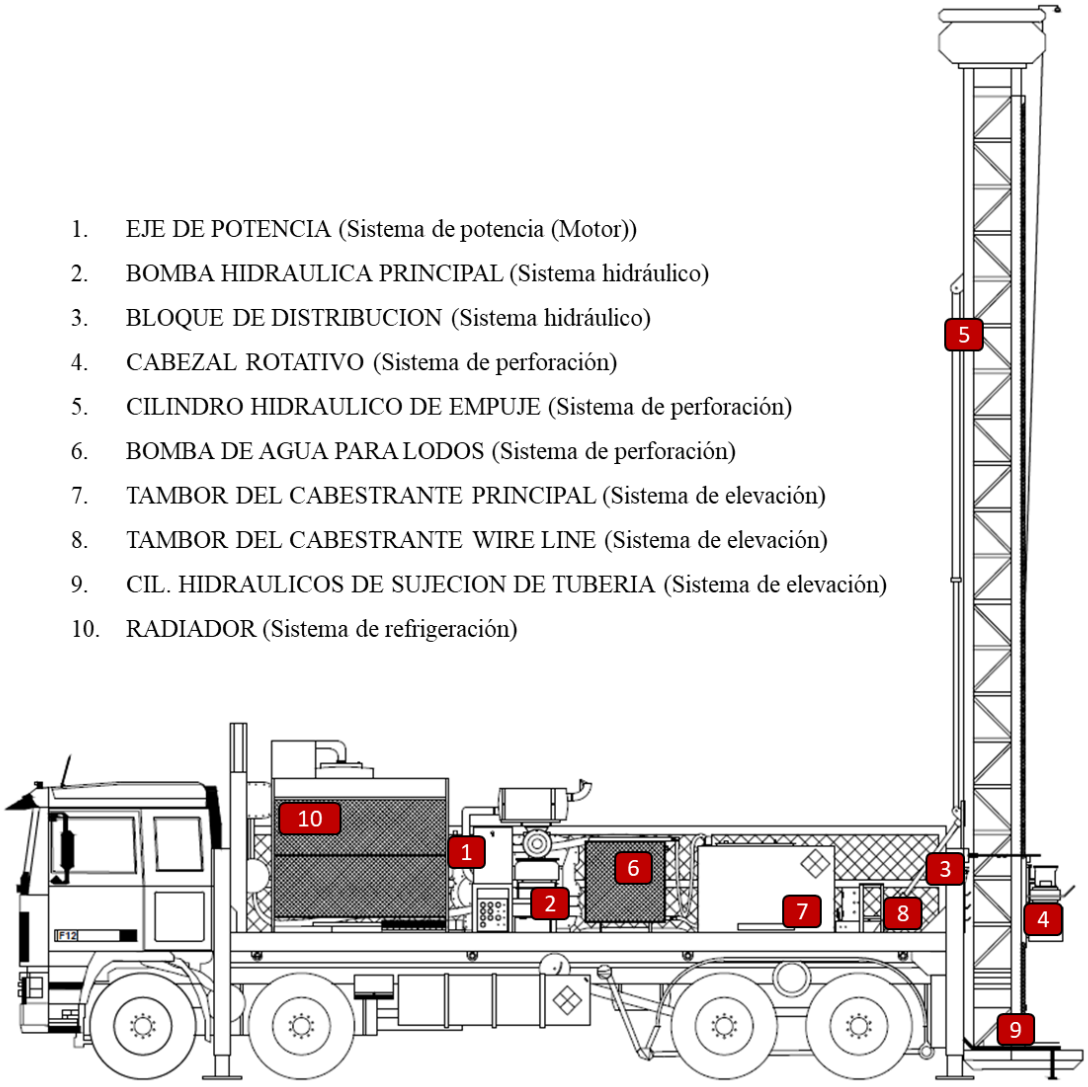
Una vez calculado el costo unitario de un nodo de monitoreo, se procedió a proyectar el costo total requerido para la implementación completa del sistema, por ende, se multiplicó el valor unitario por la cantidad de nodos necesarios, que en este caso son 10, correspondientes a los puntos de análisis previamente definidos para garantizar un monitoreo eficiente de la perforadora diamantina UDR-650.

Por consiguiente, se presentará la ecuación de cálculo empleada para obtener el costo total, además de la figura 50 que muestra la ubicación aproximada de los 10 nodos de monitoreo en la perforadora, lo cual permite visualizar de manera más clara la distribución planteada.

$$PRECIO\ TOTAL = Precio\ unitario\ x\ Cantidad\ de\ prototipos$$

$$PRECIO\ TOTAL = 194.77\ USD\ x\ 10 = \mathbf{1,947.70\ USD}$$

Figura 34.
Puntos estratégicos de ubicación para los nodos de monitoreo



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

5.1.1.2. Gateway

Por parte del Gateway, a pesar de contar con menos componentes sensoriales y eléctricos, su costo resulta ligeramente mayor que el del nodo de monitoreo debido a la naturaleza de los elementos que requiere teniendo un precio de 350.73 USD, cabe recalcar que este dispositivo propuesto mantiene los mismos apartados de análisis, y en cuanto a la carcasa, se optó por el mismo material (acero A36) y un diseño similar, con la diferencia de que incorpora un techo para la antena un poco más grande y una base de soporte que permita sostener todo el componente, por parte de consumibles, herramientas, mano de obra y servicios, se consideraron los mismos criterios que en el caso del nodo de monitoreo, aunque variando su precio mínimamente. Finalmente, para una visión más amplia y detallada de los costos y gastos asociados a la fabricación del Gateway, estos se presentan en la figura 51.

Tabla 61.
Cotización – Gateway

PARTIDA	CONCEPTO	CANT.	UND.	C.U. $	PARCIAL $
1.01	COMPONENTES Y/O MATERIALES				307.13
1.01.01	Raspberry Pi 3B+	1.00	PZA	47.00	47.00
1.01.02	Concentrador RAK2245	1.00	PZA	120.00	120.00
1.01.03	Panel solar de 5V	1.00	PZA	13.40	13.40
1.01.04	Modulo de carga TP4056	1.00	PZA	0.60	0.60
1.01.05	Batería Li-ion 18650	6.00	PZA	8.00	48.00
1.01.06	Regulador de Batería de Litio de 3.7 V a 5V MT3608	1.00	PZA	1.50	1.50
1.01.11	Plancha de acero A36 de 800mm x 800mm x 1/16"	1.00	PZA	17.00	17.00
1.01.12	Espuma aislante de 300mm x 300mm x 1"	1.00	PZA	3.00	3.00
1.01.13	Tuercas, arandelas y Pernos de 1 1/2" x 1/4"	6.00	PZA	0.50	3.00
1.01.14	Platina de 600mm x 1" x 1/16"	1.00	PZA	7.00	7.00
1.01.15	Tira de cables positivo negativo de 1000mm	1.00	PZA	1.00	1.00
1.01.16	Base metalica de acero A36 de 700 x 300 x 300 mm	1.00	PZA	15.00	15.00
1.01.17	Antena WRL-14	1.00	PZA	17.95	17.95
1.01.18	Materiales varios	5.00%	%	253.50	12.68
1.02	CONSUMIBLES				5.30
1.02.01	Silicona - Espuma aislante	1.00	PZA	1.50	1.50
1.02.02	Cinta aislante	1.00	PZA	1.30	1.30
1.02.03	Estaño	0.50	GAL	5.00	2.50
1.03	HERRAMIENTAS				0.60
1.03.01	Cautil	1.00	PZA	0.40	0.40
1.03.02	Herramientas de ensamble (llaves, alicate)	1.00	PZA	0.20	0.20
1.04	MANO DE OBRA				7.70
1.04.01	Ensamblador	0.10	HH	70.00	7.00
1.04.03	EPP y equipos de seguridad	10.00%	%	7.00	0.70
1.05	SERVICIOS				30.00
1.05.01	Fabricacion de Tabla de conexiones de 250mm x 200mm	1.00	UND	8.00	8.00
1.05.02	Fabricacion de Caja de nodo de monitoreo	1.00	UND	22.00	22.00
COSTO TOTAL					350.73

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Una vez definido el precio unitario del Gateway, es necesario determinar la cantidad de equipos requeridos en el sistema de monitoreo, ya que esta decisión depende directamente de la ubicación del proyecto y de las condiciones de acceso a la red, por lo que en este caso, se consideró la ubicación donde se realizó el estudio de medidas sensoriales, específicamente en Ite, Tacna, cerca de Camiara, como se muestra en la figura 52.

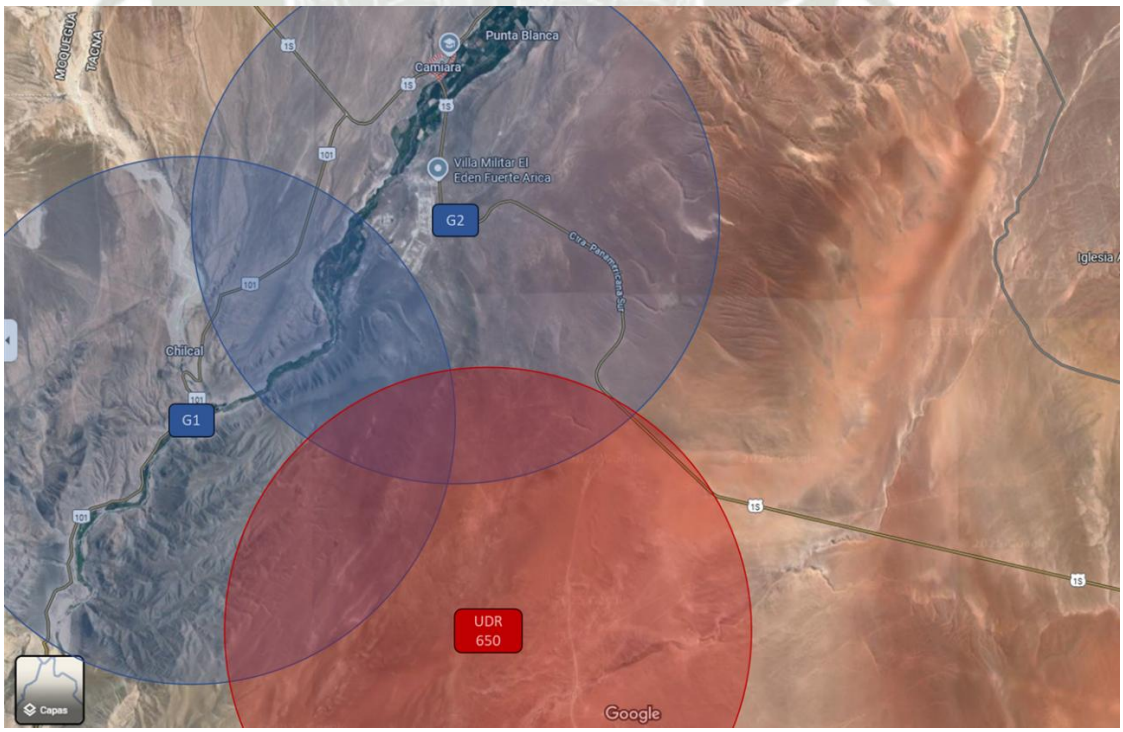
Debido a las condiciones de señal en esta zona, se optó por instalar solo dos Gateways, ya que cerca de la carretera Panamericana (G2) y cerca de la carretera Chilcal (G1), se detectó una señal más fuerte, lo que facilita el envío de la información recopilada hacia la nube. Si bien en toda el área de estudio se contaba con cobertura, en los puntos marcados la intensidad de la señal era mayor, por lo que se seleccionaron como lugares estratégicos para la instalación.

Cabe resaltar que la cantidad de Gateways puede variar según la ubicación del proyecto de perforación y la calidad de señal disponible en cada caso, siendo necesario realizar una evaluación previa para determinar el número óptimo de dispositivos.

$$PRECIO\ TOTAL = Precio\ unitario\ x\ Cantidad\ de\ prototipos$$

$$PRECIO\ TOTAL = 350.73\ USD\ x\ 2 = \mathbf{701.46\ USD}$$

Figura 35.
Puntos estratégicos de Gateway



Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

5.1.2. Costo de sistema cibernético

Para empezar con el análisis de costos del sistema cibernético, es importante considerar que las tarifas de los servicios de Amazon Web Services (AWS) previamente seleccionados en dicha arquitectura varían según la región en la que se desplieguen los recursos. Actualmente, AWS no cuenta con una región completa en Perú, aunque en los últimos años ha ampliado su presencia en el país con una zona local en Lima y un punto de conexión AWS Direct Connect (AWS, 2024), lo que asegura un pronto despliegue en Perú.

Debido a esta situación, para este proyecto se seleccionó la región América del Sur (São Paulo), ya que además de estar geográficamente más cerca a Perú, ofrece tarifas más realistas para la zona en comparación con otras regiones, como las de Norteamérica o Europa; asimismo, São Paulo cuenta con la infraestructura y disponibilidad de servicios necesarios para garantizar el correcto funcionamiento del sistema IoT planteado.

Por estas razones, todos los cálculos de costos se realizarán tomando como referencia las tarifas de la región de São Paulo, mientras que el costo total se estimará de forma anual, considerando la implementación del sistema físico descrito previamente y basándose en los ejemplos y herramientas de cálculo que ofrece la plataforma oficial de AWS.

5.1.2.1. AWS IoT Core - Infraestructura

Empezando con la infraestructura tenemos al servicio de AWS IoT el cual es el encargado de conectar los dispositivos físicos que tenemos a la nube, para así poder enviar y recibir datos de manera segura, por otro lado, hablando netamente del cobro por su servicio, este tiene bastantes dentro de su infraestructura, los cuales los que se usaran son los siguientes:

- Conectividad
- Mensajería
- Registro de dispositivos
- Sombra de dispositivos
- Motor de reglas

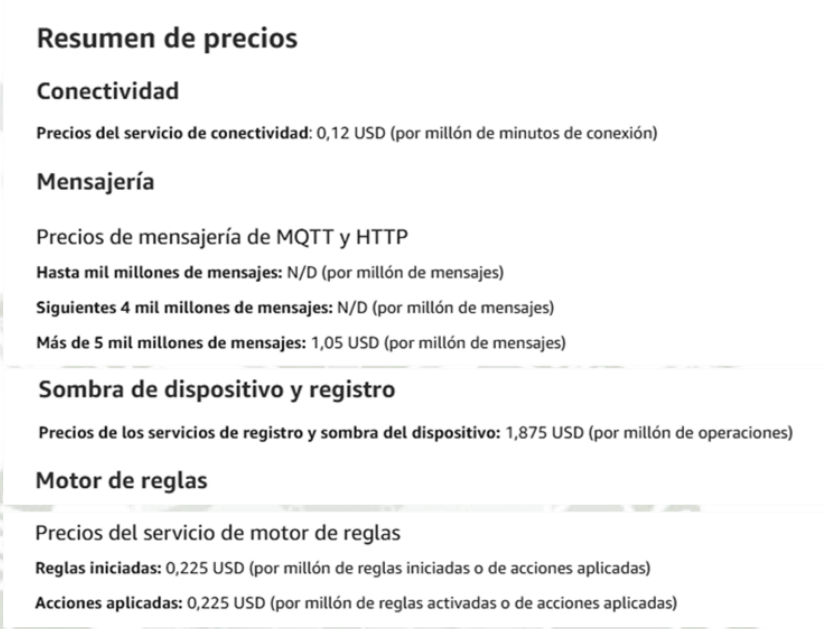
Cada uno de estos servicios que presta AWS tiene un costo asociado dependiendo del uso que se le dé, como la cantidad de mensajes enviados, la cantidad de dispositivos registrados, o las reglas que se ejecutan para procesar los datos; cabe aclarar que para el cálculo de todas las membresías de Amazon Web Services se tomará en cuenta la frecuencia de envío de información de cada dispositivo a la red IoT, que será de 15 minutos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Para un mejor análisis de los cobros de este tipo de membresía, se podrá aprecia en la figura 53 un resumen de los precios, el cual fue recolectado directamente de la página oficial de AWS, mostrando de manera clara los costos estimados por cada uno de estos servicios para así calcular el costo aproximado del servicio.

Figura 36.
Precios de AWS IoT Core



Nota: (Amazon, 2024)

Teniendo ya los datos de precios de cada servicio dentro de la infraestructura AWS IoT se procederá a realizar el cálculo de cada ítem para hallar el precio total del sistema IoT escogido.

Conectividad

Considerando que:

$$Dispositivos = 10$$

$$Tiempo\ de\ conectividad = 24\ horas\ del\ dia$$

Entonces:

$$Tiempo\ de\ conectividad\ x\ año = 10\ x\left(\frac{60\ min}{1\ hr}\right) x\left(\frac{24\ hr}{1\ dia}\right) x\left(\frac{30\ dia}{1\ mes}\right) x\left(\frac{12\ mes}{1\ año}\right)$$

$$Tiempo\ de\ conectividad = 5{,}184{,}000.00\ minutos$$

Por lo tanto, teniendo en cuenta el precio por millón de minutos:

$$\frac{1{,}000{,}000.00}{5{,}184{,}000.00} = \frac{0.12\ USD}{Costo\ de\ conectividad}$$

$$Costo\ de\ conectividad \approx \mathbf{0.63\ USD}$$

Mensajería

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Considerando que:

$$Dispositivos = 10$$

$$Metricas = 3$$

$$Envios\ de\ parametros = Cada\ 15\ min$$

Entonces:

$$Mensajes\ x\ año = 10\ x\ 3\ x \left(\frac{1}{15\ min}\right) x \left(\frac{60\ min}{1\ hr}\right) x \left(\frac{24\ hr}{1\ dia}\right) x \left(\frac{30\ dia}{1\ mes}\right) x \left(\frac{12\ mes}{1\ año}\right)$$

$$Mensajes\ por\ año = 1{,}036{,}800.00\ mensajes$$

Por ende, teniendo en cuenta el precio por mil millones de mensajes es gratis:

$$1{,}000{,}000{,}000.00 > 1{,}036{,}800.00$$

$$\therefore Costo\ de\ conectividad\ x\ año = \mathbf{0.00\ USD}$$

Registro de dispositivos

Considerando que:

$$Dispositivos = 10$$

Entonces, considerando el precio por millón de operaciones:

$$\frac{1{,}000{,}000.00}{10.00} = \frac{1.875\ USD}{Costo\ de\ registro}$$

$$Costo\ de\ registro\ x\ año \approx \mathbf{0.00002\ USD}$$

Sombras de dispositivos

Considerando que:

$$Dispositivos = 10$$

Entonces:

$$Oper.\ x\ año = 10\ x \left(\frac{1}{15\ min}\right) x \left(\frac{60\ min}{1\ hr}\right) x \left(\frac{24\ hr}{1\ dia}\right) x \left(\frac{30\ dia}{1\ mes}\right) x \left(\frac{12\ mes}{1\ año}\right)$$

$$Oper.\ por\ año = 345{,}600.00\ operaciones$$

Por ende, considerando el precio por millón de operaciones:

$$\frac{1{,}000{,}000.00}{345{,}600.00} = \frac{1.875\ USD}{Costo\ de\ sombras}$$

$$Costo\ de\ sombras\ x\ año \approx \mathbf{0.65\ USD}$$

Motor de reglas

Considerando que:

$$Dispositivos = 10$$

$$Metricas = 3$$

Entonces:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

$$Trans.x\ año = 10\ x\ 3\ x \left(\frac{1}{15\ min}\right) x \left(\frac{60\ min}{1\ hr}\right) x \left(\frac{24\ hr}{1\ dia}\right) x \left(\frac{30\ dia}{1\ mes}\right) x \left(\frac{12\ mes}{1\ año}\right)$$

$$Trans.por\ año = 1{,}036{,}800.00\ operaciones$$

Por ende, considerando el precio por millón de reglas:

$$\frac{1{,}000{,}000.00}{1{,}036{,}800.00} = \frac{0.225\ USD}{Costo\ de\ motor\ de\ reglas}$$

$$Costo\ de\ motor\ de\ reglas\ x\ año \approx \mathbf{0.23\ USD}$$

Una vez hallados todos los cobros asociados al servicio de AWS IoT Core, se obtuvo un gasto anual de 0.63 USD correspondiente a conectividad, 0.00 USD en mensajería, 0.0002 USD (prácticamente no considerable) en el registro de dispositivos, 0.65 USD en el uso de sombras de dispositivos y 0.23 USD en el motor de reglas, esto da como resultado un costo total anual aproximado de 1.51 USD, denotando que la solución cibernética propuesta es altamente económica y eficiente para el monitoreo de la UDR con los dispositivos IoT del sistema.

5.1.2.2. DynamoDB (Data Base)

Por parte de DynamoDB, como se muestra en la figura 54, existen tres tipos principales de cobro dentro de la versión estándar que es la que se escogió; solicitudes de escritura, solicitudes de lectura y almacenamiento de datos, de modos que las solicitudes de escritura generan costos cada vez que se registra, actualiza o agrega información en la base de datos, como en este proyecto, donde los sensores enviarán datos sobre vibración, temperatura y sonido de forma constante, en cambio las solicitudes de lectura, por otro lado, se producen cuando se consulta la información almacenada, ya sea para generar reportes, analizar tendencias o revisar el estado de la UDR-650. Por último, está el almacenamiento, que corresponde al espacio ocupado por la información guardada, incluyendo tanto los registros principales como los índices creados para optimizar las consultas.

Figura 37.
Precios de DynamoDB – AWS

Clase de tabla DynamoDB Standard

Tipo de rendimiento bajo demanda	Precio
Unidades de solicitud de escritura (WRU)	0,9375 USD por millón de unidades de solicitud de escritura
Unidades de solicitud de lectura (RRU)	0,1875 USD por millón de unidades de solicitud de lectura

Clase de tabla DynamoDB Standard

- No se cobran los primeros 25 GB almacenados al mes si se usa la clase de tabla DynamoDB Standard
- 0,375 USD por GB-mes de ahí en adelante

Nota: (Amazon, 2024)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

En este caso para calcular tanto las unidades de solicitud de escritura como de lectura se debe considerar lo siguiente:

Solicitudes de escritura y de lectura

Considerando que:

$$Dispositivos = 10$$

$$Metricas = 3$$

$$Envios\ de\ parametros = Cada\ 15\ min$$

Entonces:

$$Registro = 10\ nodos\ x\ 3\ medidas = 30\ registros$$

$$Registro\ x\ año = 30\ x\ \left(\frac{1}{15\ min}\right) x \left(\frac{60\ min}{1\ hr}\right) x \left(\frac{24\ hr}{1\ dia}\right) x \left(\frac{30\ dia}{1\ mes}\right) x \left(\frac{12\ mes}{1\ año}\right)$$

$$Registro\ x\ año = 1{,}036{,}800.00$$

Por lo tanto:

$$Costo\ de\ solicitudes\ de\ escritura\ x\ año = \frac{1{,}036{,}800.00}{1{,}000{,}000.00}\ x\ 0.9375 \approx \mathbf{0.98\ USD}$$

$$Costo\ de\ solicitudes\ de\ lecura\ x\ año = \frac{1{,}036{,}800.00}{1{,}000{,}000.00}\ x\ 0.1875 \approx \mathbf{0.20\ USD}$$

Almacenamiento de datos

Considerando que:

$$Dispositivos = 10$$

$$Metricas = 3$$

$$Envios\ de\ parametros = Cada\ 15\ min$$

Entonces:

$$Registro\ x\ año = 10\ x\ 3\ x\ \left(\frac{1}{15\ min}\right) x \left(\frac{60\ min}{1\ hr}\right) x \left(\frac{24\ hr}{1\ dia}\right) x \left(\frac{30\ dia}{1\ mes}\right) x \left(\frac{12\ mes}{1\ año}\right)$$

$$Registro\ x\ año = 1{,}036{,}800.00$$

$$Tamaño\ x\ Registro\ x\ año = 1{,}036{,}800.00\ x\ 1\ KB = \ 1{,}036{,}800.00\ KB$$

$$Tamaño\ en\ GB = 1{,}036{,}800.00\ KB\ x\ \left(\frac{1\ GB}{1{,}048{,}576.00\ KB}\right) = 0{,}99\ GB\ \approx 1\ GB$$

$$1\ GB\ < 25\ GB$$

$$\therefore\ Costo\ de\ almacenamiento\ x\ año = \mathbf{0.00\ USD}$$

Una vez contemplados todos los cobros asociados al servicio de DynamoDB, se puede detallar de manera más clara el costo que representa cada uno de los elementos que lo componen, en primer lugar, por parte de las unidades de solicitud de escritura (WCU), se obtiene un gasto de 0.98 USD, por parte de las unidades de solicitud de lectura (RCU)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

generan un costo de 0.20 USD; en cuanto al almacenamiento, debido a que el volumen total de datos no supera el límite gratuito de 25 GB, no se genera ningún cargo adicional, quedando este costo en 0.00 USD y finalmente, al sumar los valores obtenidos de cada cobro que nos ofrecen los apartados del servicio, se determina que el gasto total de DynamoDB es de **1.18 USD**.

5.1.2.3. Amazon S3 (Simple Storage Service)

Teniendo en cuenta los precios de Amazon S3 se utilizará S3 estándar ya que solo se guardarán datos con un acceso frecuente, lo cual nos ofrece una alta disponibilidad para el desarrollo de los dispositivos propuestos y los datos que se almacenarán como los registros de la UDR-650 (vibración, vectores y sonido). Como se puede apreciar en la figura 55, el precio de este servicio se determina en función de la cantidad de memoria utilizada. Esto significa que el cobro se calcula según el volumen total de datos almacenados, y se establecen tarifas específicas dependiendo de estos rangos.

Figura 38.

Precios de Amazon S3 (Almacenamiento)

S3 Standard: almacenamiento de propósito general para cualquier clase de datos que se utiliza generalmente para datos a los que se accede con frecuencia

Primeros 50 TB/mes	0,0405 USD por GB
Siguientes 450 TB/mes	0,039 USD por GB
Más de 500 TB/mes	0,037 USD por GB

Nota: (Amazon, 2024)

Considerando que:

$$Dispositivos = 10$$

$$Metricas = 3$$

$$Envios\ de\ parametros = Cada\ 15\ min$$

Entonces:

$$Registro\ x\ mes = 10\ x\ 3\ x \left(\frac{1}{15\ min}\right) x \left(\frac{60\ min}{1\ hr}\right) x \left(\frac{24\ hr}{1\ dia}\right) x \left(\frac{30\ dia}{1\ mes}\right)$$

$$Registro\ x\ mes = 86{,}400.00$$

$$Tamaño\ x\ Registro\ x\ mes = 86{,}400.00\ x\ 1\ KB\ \left(\frac{1\ GB}{1{,}048{,}576.00\ KB}\right) = 0.08\ GB$$

Tomando en cuenta que cada mes se agrega 1.236 GB el total de los 12 meses es una suma aritmética:

$$GB\ x\ mes\ acumulativo = 0.08\ GB\ (1 + 2 + 3 + \cdots + 12)$$

$$GB\ x\ mes\ acumulativo = 6.24\ GB$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

En este caso, al no pasarse del parámetro de 50 TB:

$$\therefore Costo\ de\ GB\ x\ año = 6.24\ GB\ x\ 0.0405\ USD\ x\ 12\ meses = \mathbf{3.04\ USD}$$

Adicionando al costo de almacenamiento, también se cuenta con el cobro de las solicitudes, estas prácticamente son las acciones que haces sobre los archivos guardados en el servicio, de modo que cada vez que se sube, lee, copie o elimine un archivo es contado como una solicitud, por lo que Amazon te cobra por cada solicitud, de los cuales hay dos tipos en las solicitudes de S3 estándar como se puede apreciar en la figura 56.

Figura 39.
Precios de Amazon S3 (Solicitudes)

	Solicitudes PUT, COPY, POST LIST (por 1000 solicitudes)	GET, SELECT y todas las demás solicitudes (por 1000 solicitudes)
S3 Standard	0,007 USD	0,00056 USD

Nota: (Amazon, 2024)

Solicitudes tipo PUT

Por parte del primer tipo de solicitudes, estas están relacionadas principalmente con subir archivos o actualizarlos dentro de Amazon S3, lo que se conoce como operaciones PUT, las cuales se utilizan cuando se necesita almacenar nuevos datos en un bucket o reemplazar un archivo existente con una versión actualizada.

Por lo tanto, considerando que:

$$Dispositivos = 10$$
$$Metricas = 3$$

Entonces:

$$Archivos\ subidos = 10\ x\ 3\ x \left(\frac{1}{15\ min}\right) x \left(\frac{60\ min}{1\ hr}\right) x \left(\frac{24\ hr}{1\ dia}\right) x \left(\frac{30\ dia}{1\ mes}\right) x \left(\frac{12\ mes}{1\ año}\right)$$
$$Archivos\ subidos = 1{,}036{,}800.00$$
$$Costo\ x\ archivos\ subidos\ x\ año = \left(\frac{1{,}036{,}800.00}{1{,}000.00}\right)\ x\ 0.007 = \mathbf{7.26\ USD}$$

Solicitudes tipo GET

En el caso del segundo tipo de solicitudes, estas están relacionadas principalmente con obtener o descargar archivos desde Amazon S3, conocidas como operaciones GET, se utilizan cuando una aplicación o usuario necesita acceder a la información almacenada en

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

un bucket, asumiendo que diariamente se verá 10 veces por cada usuario que en este caso se estima que serán 5 usuarios distintos, lo cual se puede calcular de la siguiente forma.

Considerando que:

$$Usuarios = 5$$

$$Cantidad\ de\ consultas\ por\ usuario = 10$$

Entonces:

$$Archivos\ consult. = 5\ x\ 10\ x \left(\frac{30\ dia}{1\ mes}\right) x \left(\frac{12\ mes}{1\ año}\right)$$

$$Archivos\ consultados = 18{,}000.00$$

$$Costo\ x\ archivos\ consultados\ x\ año = \left(\frac{18{,}000.00}{1000.00}\right)\ x\ 0.00056 \approx \mathbf{0.02\ USD}$$

Una vez estimados los costos, se determinó que el almacenamiento tiene un valor anual de 3.04 USD, mientras que las solicitudes suman 7.26 USD para las cargas y 0.02 USD para las consultas, al sumar estos montos, se obtiene un costo total anual de **10.32 USD** por el uso de Amazon S3, lo que representa un gasto muy bajo y eficiente para garantizar el almacenamiento y acceso seguro de la información del sistema.

5.1.2.4. Amazon Web Services Lambda

En caso de AWS Lamba este servicio cobra por una cantidad determinada de solicitudes y memoria asignada por mes, que por lo general no se paga debido a que su plan gratuito tiene un margen bastante alto, como se puede apreciar en la figura 57.

Figura 40.
Precios de AWS Lambda

AWS Lambda en la capa gratuita

Producto	Descripción	Detalles de la oferta de nivel gratuito	Precios de productos
AWS Lambda Computación sin servidor	AWS Lambda es un servicio computacional que ejecuta su código en respuesta a eventos y administra automáticamente los recursos computacionales.	Este servicio siempre gratuito está disponible en los **planes Gratuito y de Pago**. Usa tus créditos para evaluar más allá de estos límites mensuales: 1.000.000 de solicitudes gratuitas al mes Hasta 400.000 GB-segundos o 3,2 millones de segundos de tiempo de cómputo al mes	Precios de AWS Lambda

Nota: (Amazon, 2024)

En el caso hipotético que se quiera verificar si estamos dentro del rango gratuito se puede realizar el siguiente calculo.

Considerando que:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

$$Dispositivos = 10$$

$$Metricas = 3$$

Entonces:

$$Numero\ de\ solicitudes = 10\ x\ 3\ x \left(\frac{1}{15\ min}\right) x \left(\frac{60\ min}{1\ hr}\right) x \left(\frac{24\ hr}{1\ dia}\right) x \left(\frac{30\ dia}{1\ mes}\right)$$

$$Numero\ de\ solicitudes = 86{,}400\ solicitudes$$

$$1{,}000{,}000.00 > 86{,}400.00$$

Como se aprecia en la ecuación anterior, la cantidad total de datos procesados por el servicio AWS Lambda no llega ni siquiera al 10% del límite gratuito que ofrece la plataforma mensualmente, esto significa que el consumo de recursos es bastante reducido y se encuentra muy por debajo del rango que generaría un costo adicional por lo que, el costo final por el uso de AWS Lambda sería de **0.00 USD**.

Por otro lado, a de aclarar que este servicio más DynamoDB son los únicos que llevan un código para que se dé un perfecto monitoreo, sin embargo, se englobo los códigos de DynamoDB para que el único código sea el de Lambda el cual en el caso de este proyecto se puede visualizar en Anexo 15.

5.1.2.5. Amazon Web Services CloudFront

Por parte de AWS CloudFront, este es un distribuidor de contenido, por lo cual su principal fuente de ingreso es la memoria que este llegue a transferir a los usuarios que utilicen el AWS; en este caso las tarifas varían por parámetros de memoria empezando con un rango gratuito de 1 TB y finalizando con un rango mayor de 5 PB que estaría 0.040 USD en el caso de América latina del sur (región que se está analizando).

Figura 41.
Precios de AWS CloudFront

Al mes	Estados Unidos, México y Canadá	Europa, Israel y Turquía	Sudáfrica, Kenia, Nigeria, Egipto y Medio Oriente	América del sur
Primer 1 TB	Gratis	Gratis	Gratis	Gratis
Próximos 9 TB	0,085 USD	0,085 USD	0,110 USD	0,110 USD
Siguientes 40 TB	0,080 USD	0,080 USD	0,105 USD	0,105 USD

Nota: (Amazon, 2024)

Para poder determinar el costo asociado al servicio de AWS CloudFront, es necesario considerar diversos factores que influyen directamente en el cálculo final:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

$$Usuarios = 5$$

$$Vistas\ x\ dia = 10$$

$$\text{Tamaño promedio de la carga completa } = 1.5 \text{ MB por vista}$$

Entonces:

$$Memoria\ de\ transferencia = 5\ Usuarios\ x\ 10\ Vistas\ x\ 1.5\ MB\ x\ 30\ dias$$

$$Memoria\ de\ transferencia = 2{,}250.00\ MB\ x \left(\frac{1\ GB}{1024\ MB}\right) = 2.2\ GB$$

$$2.2\ GB < 1\ TB$$

Considerando el rango gratuito de AWS CloudFront, que incluye 1 TB mensual, el consumo estimado es de 2.2 GB al mes, lo que representa menos del 0.3% del límite gratuito, ya que la baja cantidad de usuarios que acceden al sistema, lo que mantiene el tráfico de datos reducido, gracias a esto, el servicio puede operar de forma eficiente y sin generar costos, resultando en un gasto total de **0.00 USD**.

5.1.2.6. Application Programming Interface - API Gateway

Teniendo en cuenta que API Gateway te permite crear, administrar y proteger APIs de forma sencilla y escalable, su cobro se basa principalmente en la cantidad de solicitudes recibidas por mes, el cual tiene un plan gratuito que incluye 1 millón de solicitudes por mes durante los primeros 12 meses, al ya superado este límite, el costo se calcula según el número total de llamadas a la API, como se puede ver en la figura 59 se escogió las API tipo REST debido a que tiene un estilo de arquitectura más sencilla y rápida.

Figura 42.
Precios de API Gateway

Llamadas a la API

Número de solicitudes (por mes)	Precio (por millón)
Primeros 333 millones	4,25 USD
Próximos 667 millones	4,25 USD
Próximos 19 mil millones	3,61 USD
Más de 20 000 millones	2,29 USD

Nota: (Amazon, 2024)

Considerando que:

$$Dispositivos = 10$$

$$Metricas = 3$$

Entonces:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

$$Numero\ de\ solicitudes = 10\ x\ 3\ x \left(\frac{1}{15\ min}\right) x \left(\frac{60\ min}{1\ hr}\right) x \left(\frac{24\ hr}{1\ dia}\right) x \left(\frac{30\ dia}{1\ mes}\right)$$

$$Numero\ de\ solicitudes = 86{,}400.00\ solicitudes$$

$$\therefore \frac{1{,}000{,}000.00}{86{,}400.00} = \frac{4.25\ USD}{Costo}$$

$$Costo\ x\ mes \approx 0.37\ USD$$

$$Costo\ x\ año = 0.37\ USD\ x\ 12 = \mathbf{4.44\ USD}$$

Aplicando una regla de tres simple al precio que establece AWS para API Gateway, donde el costo es de 4.25 USD por cada millón de solicitudes dentro del rango de los primeros 333 millones de solicitudes, se puede calcular el gasto real según el número estimado de peticiones, una vez calculado, se obtiene que el costo total por el uso del servicio anual es de **4.44 USD** lo cual refleja que, aunque el número de solicitudes es considerable, el precio por unidad es muy bajo, lo que hace que el servicio sea económico.

5.1.2.7. Amazon Cognito

En el caso de Amazon Cognito, este servicio se encarga de gestionar el registro, autenticación e inicio de sesión de los usuarios, permitiéndoles acceder a la plataforma donde podrán visualizar el estado de la UDR-650. Su tipo de cobro se basa en el MAU, que significa usuarios activos mensuales, de modo que, mientras mayor sea la cantidad de usuarios que ingresan a la plataforma para monitorear la perforadora, mayor será el costo generado por el servicio.

Sin embargo, en este proyecto el uso será exclusivamente interno, y no se planea contar con más de 5 usuarios realizando el seguimiento y control del sistema, por lo cual, y tal como se aprecia en la figura 60, los primeros 10,000 MAU no tienen costo alguno, lo que implica que el servicio tendrá un costo de **0.00 USD.**

Figura 43.
Precios de Amazon Cognito

Tabla de precios para los niveles de Amazon Cognito

Región:
América del Sur (São Paulo)

MAU	Precio por MAU
Primeros 10 000 (nivel gratuito)	0,00 USD
Más de 10 000	0,015 USD

Nota: (Amazon, 2024)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

5.1.2.8. Amazon CloudWatch

Por último, en el caso de CloudWatch el cual está encargado de monitorear el AWS que permite observar en tiempo real el rendimiento y estado de tus recursos y aplicaciones en la nube; teniendo en cuenta su función principal, su cobro depende fundamentalmente de los datos que recopila y procesa, principalmente por la cantidad de métricas personalizadas, logs almacenados y alarmas configuradas; un dato de esta plataforma es que tiene una cantidad de capa gratuita un poco limitada además de sus precios por cada registro, métrica y alarma, como se puede apreciar en la figura 61 y 62.

Figura 44.
Capa gratuita de Amazon CloudWatch

Capa gratuita

Puede comenzar a usar Amazon CloudWatch de forma gratuita. La mayoría de las métricas de ventas de los servicios de AWS (EC2, S3, Kinesis, etc.) están disponibles automáticamente de manera gratuita en CloudWatch. Muchas aplicaciones deberían poder funcionar dentro de estos límites de capa gratuita. Puede obtener más información sobre el nivel gratuito de AWS aquí.

Registros	5 GB de datos (incorporación, almacenamiento y archivo, y datos analizados por las consultas de Logs Insights) 1800 minutos de uso de Live Tail al mes (aproximadamente una hora al día)
Métricas	Métricas de supervisión básicas (métricas enviadas desde los servicios de AWS de forma predeterminada) 10 métricas (de métricas personalizadas y métricas de supervisión detalladas) 1 millón de solicitudes de API (sin incluir GetMetricData, GetInsightRuleReport y GetMetricWidgetImage: estas 3 operaciones siempre se cobran)
Rastreos de X-Ray	Los primeros 100 000 rastreos registrados al mes son gratuitos. El primer millón de rastreos recuperados o escaneados cada mes es gratuito
Panel	3 paneles personalizados que hacen referencia a hasta 50 métricas cada mes. Además, todos los paneles automáticos son gratuitos.
Alarmas	10 métricas de alarma (solo aplicables a las alarmas de resolución estándar que enumeran métricas directamente y no utilizan una consulta de Información de métricas)

Nota: (Amazon, 2024)

Figura 45.
Precios de Amazon CloudWatch - Registros

Registros

Administración de registros	Costo
Recopilación (ingesta de datos)	
Estándar	0,90 USD por GB

Nota: (Amazon, 2024)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Teniendo en cuenta la capa gratuita y los precios establecidos por Amazon CloudWatch, se procede a realizar los cálculos necesarios para estimar el costo del servicio dentro del sistema.

Registros

Considerando que:

$$Dispositivos = 10$$

$$Metricas = 3$$

$$Registros\ gratis = 5\ GB$$

Entonces:

$$KB\ x\ registros = 3\ x\ 10\ x\ 1\ KB = 30\frac{KB}{min}$$

$$KB\ x\ año = \frac{30\ KB}{min}\ x\left(\frac{1}{15\ min}\right)x\left(\frac{60\ min}{1\ hr}\right)x\left(\frac{24\ hr}{1\ dia}\right)x\left(\frac{30\ dia}{1\ mes}\right)x\left(\frac{12\ mes}{1\ año}\right)$$

$$GB\ x\ año = \frac{1{,}036{,}800.00\ KB}{año}x\left(\frac{1\ GB}{1{,}048{,}576.00\ KB}\right) \approx 1\ GB$$

$$\rightarrow 5GB\ > 1GB$$

$$\therefore Costo\ por\ registro\ x\ año = \mathbf{0.00\ USD}$$

Figura 46.
Precios de Amazon CloudWatch - Métricas

Métricas

Todas las métricas personalizadas y los cargos por supervisión detallada se prorratean por hora y solo se calculan cuando las métricas se envían a CloudWatch. CloudWatch trata cada combinación única de dimensiones como una métrica independiente, incluso si las métricas tienen el mismo nombre de métrica. El precio de la supervisión detallada depende de la cantidad de métricas personalizadas, sin cargos adicionales de API por el envío de las métricas. Por ejemplo, si una instancia de EC2 publica 12 métricas adicionales con la supervisión detallada de EC2, se le cobrará hasta 3,60 USD al mes por esa instancia en el nivel de precio más alto o 0,24 USD al mes en el nivel de precio más bajo.

Niveles	Costo (métrica/mes)
Primeras 10 000 métricas	0,30 USD
Siguientes 240 000 métricas	0,10 USD
Siguientes 750 000 métricas	0,05 USD
Más de 1 000 000 de métricas	0,02 USD

Nota: (Amazon, 2024)

Métricas

Considerando que:

$$Dispositivos = 10$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

$$Metricas\ (temp - dB - vib) = 3$$

$$Metricas\ gratis = 10$$

Entonces:

$$Metricas\ facturadas = 30 - 10 = 20$$

$$Costo\ por\ metrica\ x\ mes = 20\ x\ 0.30\ USD = 6\ USD$$

$$Costo\ por\ metrica\ x\ año = 12\ x\ 6\ USD = \mathbf{36\ USD}$$

Figura 47.
Precios de Amazon CloudWatch - Alarma

Alarma de métricas de resolución estándar	Costo
Costo de las métricas indicadas directamente(/alarma/mes)	0,135 USD por métrica de la alarma
Costo de las consultas de Metrics Insights(/alarmas/mes)	0,135 USD por métrica analizada

Nota: (Amazon, 2024)

Alarmas

Considerando que:

$$Dispositivos = 10$$

$$Metricas\ (temp - dB - vib) = 3$$

$$Alarmas\ gratis = 10$$

Suponiendo y a su vez exagerando que se dé una alarma por día, entonces:

$$Alarmas\ sobre\ las\ metricas\ facturadas = 30 - 10 = 20$$

$$Costo\ por\ alarma\ x\ mes = 20\ x\ 0.135\ USD = 2.7\ USD$$

$$Costo\ por\ alarma\ x\ año = 12\ x\ 2.7\ USD = \mathbf{32.4\ USD}$$

Una vez calculados los costos, se obtiene que el costo por registros nos da un total de 0.00 USD, el costo por métricas es de 36 USD, y el costo por alarmas asciende a 32.4 USD, lo que nos da un total anual de **68.40 USD** por el servicio de Amazon CloudWatch.

5.1.3. Costo total del sistema de monitoreo

Una vez determinado el precio por separado tanto la parte física como la parte cibernética del sistema, se procede a la estimación del costo total de implementación, cuyo análisis tiene como finalidad determinar con mayor exactitud la inversión requerida para la incorporación del sistema a la UDR-650, con el propósito de optimizar su disponibilidad y eficiencia operativa, además de poder verificar si es viable o no para una empresa dedicada a la perforación diamantina.

Primeramente, se presenta la evaluación de la parte física, la cual comprende todos los elementos físicos que forman parte de la solución propuesta, como se logra apreciar en

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

la tabla 43 se visualiza el costo total asociado a los dos prototipos desarrollados, que son el nodo de monitoreo y al gateway, los cuales constituyen la base del sistema diseñado.

Tabla 62.
Costo total de prototipos

	Costo de prototipos	Costo (USD)
1.	Nodo de monitoreo x 10	1,947.70 USD
2.	Gateways x 2	701.46 USD
	COSTO TOTAL DE PROTOTIPOS	**2,649. 16 USD**

Nota: Elaboración propia

Teniendo en cuenta el costo total de la parte física, que da la suma de 2,649.16 USD, es necesario considerar un margen adicional sobre este monto, el cual tiene como finalidad cubrir los gastos de mantenimiento, en caso de que ocurra algún tipo de avería o falla en alguno de los dispositivos durante el proceso de monitoreo de mantenimiento predictivo; dado que las perforadoras diamantinas operan en condiciones de trabajo exigentes y de alto desgaste, se ha establecido un margen del 15% anual sobre el costo total, esto quiere decir que este porcentaje está destinado a gastos como mantenimientos correctivos, así como a la adquisición de repuestos y el reemplazo de componentes en caso que sea necesario; con este cálculo, se obtiene un margen de mantenimiento de 397.38 USD, el cual se suma al costo total de los prototipos.

Por otro lado, cabe resaltar que este margen se considera de forma anual; sin embargo, dado que la simulación que se llevó a cabo tiene una duración de 3 meses, es necesario ajustar este valor al período correspondiente.

Para ello, se realizó el siguiente cálculo:

$$Costo\ sistema\ fisico = C.T.de\ prototipos + Margen\ de\ mantenimiento\ (3m)$$

$$Costo\ sistema\ fisico = 2{,}649.16\ USD + 397.38\ USD\left(\frac{3\ meses}{12\ meses}\right)$$

$$Costo\ sistema\ fisico \approx \mathbf{2{,}748.51\ USD}$$

Una vez determinado el costo total del sistema físico, este asciende a 2,748.51 USD, esto deja un bajo margen disponible para cubrir los costos asociados a la parte cibernética del sistema.

Por consiguiente, en lo que respecta a la parte cibernética, se contemplaron todos los servicios digitales necesarios para el funcionamiento del sistema de monitoreo predictivo, tales como plataformas en la nube, gestión de datos, comunicaciones IoT, entre otros, considerados dentro de la arquitectura previamente elaborada., una vez sumado todos estos valores, tal como se aprecia en la tabla 44, se obtiene un costo anual de 85.85 USD.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 63.
Costo total anual de sistema ciber

	Costo de sistema ciber (SERVICIO IoT)	Costo Anual (USD)
1.	Amazon Web Services (AWS) - Infraestructura	1.51 USD
2.	DynamoDB (Data Base)	1.18 USD
3.	Amazon S3 (Simple Storage Service)	10.32 USD
4.	Amazon Web Services Lambda	0.00 USD
5.	Amazon Web Services CloudFront	0.00 USD
6.	Application Programming Interface - API Gateway	4.44 USD
7.	Amazon Cognito	0.00 USD
8.	Amazon CloudWatch	68.40 USD
	COSTO TOTAL ANUAL DE SISTEMA CIBER	**85.85 USD**

Nota: Elaboración propia

Observando a detalle el cuadro costos totales anuales del sistema con los servicios necesarios para la implementación del sistema cibernético, se puede verificar que Amazon CloudWatch representa el mayor costo, con 68.40 USD anuales, debido a su función de monitoreo y registro de métricas del sistema, por consiguiente, le sigue Amazon S3, con 10.32 USD, utilizado para el almacenamiento seguro de datos generados por los dispositivos. Por su parte, el API Gateway presenta un costo de 4.44 USD, necesario para la gestión de solicitudes y comunicación entre dispositivos y la nube, posteriormente están los demás servicios como AWS Lambda, CloudFront y Amazon Cognito, que no generan costos adicionales debido a que se encuentran dentro de la capa gratuita ofrecida por AWS.

Por otro lado, considerando que el costo de todos los servicios contratados fue inicialmente estimado de manera anual, y con el objetivo de obtener un margen más realista que se ajuste a la simulación de optimización de recursos elaborada en esta tesis, se optó por reducir dicho costo a un periodo de tres meses, que corresponde al tiempo de duración de la simulación planteada, permitiendo así reflejar de forma más precisa los gastos reales asociados al funcionamiento del sistema durante el periodo evaluado.

Para llevar a cabo esta adecuación, se realizó el siguiente cálculo:

$$Costo\ del\ sistema\ ciber\ x\ 3\ meses = Costo\ Anual\ x\ \left(\frac{3\ meses}{12\ meses}\right)$$

$$Costo\ del\ sistema\ ciber\ x\ 3\ meses = 85.85\ x\ \left(\frac{3}{12}\right)$$

$$Costo\ del\ sistema\ ciber\ x\ 3\ meses \approx \mathbf{21.47\ USD}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Una vez obtenidos tanto el costo total de la parte física como el costo total de la parte cibernética, se procedió a realizar el cálculo global del proyecto, donde por parte física se evaluó todas las variables y costos involucrados, incluyendo fabricación, montaje y el margen de mantenimiento ajustado al periodo de simulación de tres meses, obteniendo un total de 2,748.51 USD, al cual sumando los gastos de servicios IoT, que ascienden a 21.47 USD, dando como resultado un costo total consolidado de **2,769.98 USD**, que representa la inversión total para la implementación de este sistema de mantenimiento predictivo con un soporte cibernético de 3 meses.

5.2. Ingreso y egresos reales vs. simulados

Para verificar la eficiencia de la estrategia de mantenimiento predictivo para la optimización de recursos utilizando tecnología IoT en conjunto con los sensores de temperatura, sonido y vibración, se realizó una medición diaria de estas tres señales sensoriales para poder confirmar si es factible el uso de estos dispositivos para alertar y predecir el mantenimiento en una perforadora UDR-650 y con cuanto tiempo de antelación predice una futura falla o avería; en este caso la medición se realizó desde inicios del mes de febrero del 2025 a fines del mes de abril del 2025, en donde culminados los meses de investigación se realizó una cotización general de todos los ingreso y egreso en ese periodo de tiempo para ver de forma cuantitativa la mejora financiera que tiene sin el uso de este tipo de mantenimiento, y posteriormente se realizó otra cotización con el uso de la alerta de los dispositivos propuestos de forma simulada.

5.2.1. Ingresos y egresos reales

Para analizar las ganancias netas de una empresa dedicada a la perforación diamantina en un proyecto de exploración durante una cantidad de meses determinados, se debe tener en cuenta los ingresos y egresos que tuvo la empresa durante este periodo; en donde se tiene que enfatizar más en los recursos utilizados en operaciones, además del personal y los proveedores que se contratan durante el proceso de perforación, en este caso se dividió en 2 partes distintas, en el cual están los ingresos y por otro lado, los egresos para verificar el margen de ganancia y así verificar el avance financiero de la empresa con el proyecto analizado.

5.2.1.1. Ingresos reales

Para el análisis de ingresos se debe tomar en cuenta el tipo de facturación del proveedor en conjunto con la empresa contratante, por ende, en este caso como se trata de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

empresa de perforación diamantina, esta no se paga por horas de trabajo o por porcentaje de avance, esta se paga por metros perforados, en donde se tiene que tener en cuenta, la ubicación de perforación, las condiciones de trabajo y la profundidad en la que se encuentra, porque varía el precio por cada 100 metros de profundidad.

Tabla 64.

Ingresos reales de febrero, marzo y abril por metraje

INGRESOS DE FEBRERO, MARZO Y ABRIL X METRAJE						
CONCEPTO	**CANT.**	**UND.**		**C.U.**		**PARCIAL**
5TO SONDAJE DE PERFORACION					$	64,525.00
Profundidad de 0 a 100 m	-	M	$	110.00	$	-
Profundidad de 100 a 200 m	-	M	$	115.00	$	-
Profundidad de 200 a 300 m	90.00	M	$	120.00	$	10,800.00
Profundidad de 300 a 400 m	100.00	M	$	125.00	$	12,500.00
Profundidad de 400 a 500 m	100.00	M	$	130.00	$	13,000.00
Profundidad de 500 a 600 m	100.00	M	$	135.00	$	13,500.00
Profundidad de 600 a 700 m	100.00	M	$	140.00	$	14,000.00
Profundidad de 700 a 800 m	5.00	M	$	145.00	$	725.00
6TO SONDAJE DE PERFORACION					$	71,475.00
Profundidad de 0 a 100 m	100.00	M	$	110.00	$	11,000.00
Profundidad de 100 a 200 m	100.00	M	$	115.00	$	11,500.00
Profundidad de 200 a 300 m	100.00	M	$	120.00	$	12,000.00
Profundidad de 300 a 400 m	100.00	M	$	125.00	$	12,500.00
Profundidad de 400 a 500 m	100.00	M	$	130.00	$	13,000.00
Profundidad de 500 a 600 m	85.00	M	$	135.00	$	11,475.00
Profundidad de 600 a 700 m	-	M	$	140.00	$	-
Profundidad de 700 a 800 m	-	M	$	145.00	$	-
6TO SONDAJE DE PERFORACION (Sustituyente)					$	16,750.00
Profundidad de 0 a 100 m	-	M	$	110.00	$	-
Profundidad de 100 a 200 m	-	M	$	115.00	$	-
Profundidad de 200 a 300 m	-	M	$	120.00	$	-
Profundidad de 300 a 400 m	-	M	$	125.00	$	-
Profundidad de 400 a 500 m	-	M	$	130.00	$	-
Profundidad de 500 a 600 m	15.00	M	$	135.00	$	2,025.00
Profundidad de 600 a 700 m	100.00	M	$	140.00	$	14,000.00
Profundidad de 700 a 800 m	5.00	M	$	145.00	$	725.00
7MO SONDAJE DE PERFORACION					$	74,480.00
Profundidad de 0 a 100 m	100.00	M	$	110.00	$	11,000.00
Profundidad de 100 a 200 m	100.00	M	$	115.00	$	11,500.00
Profundidad de 200 a 300 m	100.00	M	$	120.00	$	12,000.00
Profundidad de 300 a 400 m	100.00	M	$	125.00	$	12,500.00
Profundidad de 400 a 500 m	100.00	M	$	130.00	$	13,000.00
Profundidad de 500 a 600 m	100.00	M	$	135.00	$	13,500.00
Profundidad de 600 a 700 m	7.00	M	$	140.00	$	980.00
Profundidad de 700 a 800 m	-	M	$	145.00	$	-
	TOTAL				**$**	**227,230.00**

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

En este caso, como se puede ver en el cuadro de ingresos de febrero, marzo y abril x metraje, se tiene un total de **227,230.00 USD** de ingresos, en donde se perforaron un total de 1,807 metros durante el periodo de los 3 meses de investigación, iniciando con 210 metros del 5to sondaje, metraje en el que culminado en el mes de enero.

Analizando bien el cuadro, se puede visualizar que hay dos sondajes que dicen 6TO, esto se debe a que por temas de mantenimiento, y a su vez temas geológicos se quedó atrapada la tubería en la perforación del sexto sondaje, por ende, se tuvo que rescatar la mayor parte de tubería y proceder a hacer otro sondaje paralelo en el cual no se cobró la distancia hasta donde llegaron los testigos del anterior sondaje para así poder seguir con el estudio de la zona de investigación, como se visualiza, 71,475.00 USD se realizaron sin cobro, sobre todo debido a la pérdida del pozo anterior teniendo un gran margen de perdida durante dicha fecha.

Este tipo de problemas y conflictos suelen suceder en la perforación diamantina, esto se debe por la falta de recirculación de agua dentro del sondaje, por la detención de la misma máquina, por temas de mantenimiento y sobre todo por temas geológicos, por lo que es importante el monitoreo constante de todos los componentes que constituyen este tipo de maquinaria para evitar paradas de la misma máquina.

Hay que considerar que según estudios sobre perforación minera (Atlas Copco, 2017) menciona que los problemas de atrapamiento pueden representar entre el 5 % y el 15 % del tiempo improductivo en operaciones de perforación de exploración, lo cual depende de la geología, el mantenimiento del equipo y la experiencia del operador, tomando en cuenta este estudio se puede interpretar que el atrapamiento de tubería es común en la perforación diamantina, el cual si no se toman decisiones y acciones rápidas se podría perder parcialmente o en su totalidad el equipo de perforación lo cual podría generar una gran cantidad de egresos para la empresa que brinda este tipo de servicio, adicionando las demoras prolongadas que este gasta en poder recuperar la mayor parte de accesorios de perforación y en el peor de los casos abandonar el pozo si no se puede recuperar la tubería.

Por otro lado, adicionando a la facturación de avance por metro hay adicionales como el traslado de la máquina y todos sus componentes adicionales al campo de acción, la movilización entre sondaje, la estabilización de pozo, rimado, etc. En donde estos dependen estrictamente del terreno de locación y se cobran por horas, no obstante, hay otros adicionales que dependen netamente de la empresa contratante, como es el stand by, que son las horas de espera que causa el mismo cliente.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 65.

Ingresos reales de febrero, marzo y abril por adicionales

INGRESOS DE FEBRERO, MARZO Y ABRIL X ADICIONALES						
CONCEPTO	CANT.	UND.		C.U.		PARCIAL
FEBRERO					$	9,940.00
5TO SONDAJE DE PERFORACION					$	3,110.00
Movilizacion entre sondaje	-	H	$	200.00	$	-
Rimado	4.00	H	$	80.00	$	320.00
Estabilizacion de pozo	4.00	H	$	120.00	$	480.00
Instalacion y retiro de Casing	-	H	$	90.00	$	-
Stand By atribuibles al cliente	2.00	H	$	120.00	$	240.00
Acondicionamiento de sondaje	23.00	H	$	90.00	$	2,070.00
6TO SONDAJE DE PERFORACION					$	6,830.00
Movilizacion entre sondaje	8.00	H	$	200.00	$	1,600.00
Rimado	2.00	H	$	80.00	$	160.00
Estabilizacion de pozo	12.00	H	$	120.00	$	1,440.00
Instalacion y retiro de Casing	5.00	H	$	90.00	$	450.00
Stand By atribuibles al cliente	7.00	H	$	120.00	$	840.00
Acondicionamiento de sondaje	26.00	H	$	90.00	$	2,340.00
MARZO					$	12,130.00
6TO SONDAJE DE PERFORACION					$	1,485.00
Movilizacion entre sondaje	-	H	$	200.00	$	-
Rimado	6.00	H	$	80.00	$	480.00
Estabilizacion de pozo	5.00	H	$	120.00	$	600.00
Instalacion y retiro de Casing	-	H	$	90.00	$	-
Stand By atribuibles al cliente	-	H	$	120.00	$	-
Acondicionamiento de sondaje	4.50	H	$	90.00	$	405.00
6TO SONDAJE DE PERFORACION (Sustituyente)					$	10,645.00
Movilizacion entre sondaje	8.00	H	$	200.00	$	1,600.00
Rimado	3.00	H	$	80.00	$	240.00
Estabilizacion de pozo	42.50	H	$	120.00	$	5,100.00
Instalacion y retiro de Casing	5.00	H	$	90.00	$	450.00
Stand By atribuibles al cliente	5.00	H	$	120.00	$	600.00
Acondicionamiento de sondaje	29.50	H	$	90.00	$	2,655.00
ABRIL					$	13,645.00
6TO SONDAJE DE PERFORACION (Sustituyente)					$	5,905.00
Movilizacion entre sondaje	-	H	$	200.00	$	-
Rimado	5.00	H	$	80.00	$	400.00
Estabilizacion de pozo	18.00	H	$	120.00	$	2,160.00
Instalacion y retiro de Casing	-	H	$	90.00	$	-
Stand By atribuibles al cliente	5.00	H	$	120.00	$	600.00
Acondicionamiento de sondaje	30.50	H	$	90.00	$	2,745.00
7MO SONDAJE DE PERFORACION					$	7,740.00
Movilizacion entre sondaje	8.00	H	$	200.00	$	1,600.00
Rimado	7.00	H	$	80.00	$	560.00
Estabilizacion de pozo	17.00	H	$	120.00	$	2,040.00
Instalacion y retiro de Casing	5.00	H	$	90.00	$	450.00
Stand By atribuibles al cliente	4.00	H	$	120.00	$	480.00
Acondicionamiento de sondaje	29.00	H	$	90.00	$	2,610.00
	TOTAL				**$**	**35,715.00**

Nota: Elaboración propia

Como se puede apreciar en el cuadro de ingresos de febrero, marzo y abril x adicionales están los antes mencionados: movilización, rimado, estabilización, retiro de casing, etc. En febrero se trabajó lo que es el quinto y sexto sondaje en el cual se recaudó 9,940.00 USD, posteriormente en el mes de marzo se siguió con el sexto sondaje y como ya

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

se mencionó antes se tuvo que realizar uno nuevo en donde se pudo recaudar solo en adicionales 12,130.00 USD; como último, en el mes de abril se siguió con el sexto poso sustituyente y se inició con el séptimo teniendo una recaudación de 13,715.00 USD; se tuvo un aumento de ganancias adicionales debido a la geología que se tenía, y debido a lo ocurrido en el 6to pozo con el atrapamiento de tubería, por lo que se procedió a estabilizar y acondicionar el pozo con mayor frecuencia por temas de seguridad, en el cual se puede visualizar una diferencia entre el primer mes con el segundo y tercero, en los cuales juntando los tres meses se tuvo una recaudación de **35,715.00 USD** solo por cobros adicionales.

5.2.1.2. Egresos reales

Por tema de egresos, siempre se realiza una visita técnica en los que se tiene que evaluar el tipo de servicios que se utilizarán dependiendo de la lejanía del proyecto o de los factores que se van a tener que considerar como el servicio de hospedaje o el uso de campamentos dentro del mismo proyecto.

Partiendo de la visita técnica y los alcances que tenga el proyecto se realiza una cotización general, en la cual se ve reflejado un cuadro en donde se contemple los costos y gastos por mes incluyendo lo que es utilidades y gastos generales (gastos administrativos y corporativos internos); en el cual se tiene que tener en cuenta todos los gastos que se van a generar durante el proceso del servicio, desde los permisos correspondientes hasta el seguro complementario de cada personal.

En este caso, como la lejanía del proyecto no era muy elevada se optó por contratar un servicio de hospedaje y pensión alimenticia en la población de Camiara, dentro del proyecto hubo un total de 17 personas trabajando de inicio a fin con una modalidad de 20x10 en el cual todo el personal va a tener que realizar tantos turnos diurnos como nocturnos.

Por otro lado, enfocándonos más en los equipos que se van a utilizar en el proyecto, en total se utilizaran 3, la Máquina perforadora UDR-650 y dos camionetas Hilux para el transporte del personal diurno y nocturno.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 66.

Egresos reales de febrero, marzo y abril

EGRESOS DE FEBRERO, MARZO Y ABRIL										
CONCEPTO	UND	HRS	DIAS	%	CANT.	UND.		C.U.		PARCIAL
MANO DE OBRA DE PROYECTO	PERS	HRS	DIAS	%					S/.	182,373.72
Perforista	3.00	12.00	89.00	67.50	2,162.70	HH	S/.	16.67	S/.	36,052.21
Ayudante	6.00	12.00	89.00	67.50	4,325.40	HH	S/.	9.17	S/.	39,650.94
Conductor	3.00	12.00	89.00	67.50	2,162.70	HH	S/.	10.42	S/.	22,535.33
Logistico - planner	1.00	8.00	89.00	100.00	712.00	HH	S/.	10.50	S/.	7,476.00
Supervisor de Seguridad	2.00	12.00	89.00	67.50	1,441.80	HH	S/.	16.67	S/.	24,034.81
Supervisor de Operaciones	2.00	12.00	89.00	67.50	1,441.80	HH	S/.	25.00	S/.	36,045.00
BENEFICIOS DE LEY					10.00	%	S/.	165,794.29	S/.	16,579.43
SERVICIOS	UND	DISP	DIAS	%					S/.	64,645.33
Hospedaje	11.33	1.00	89.00	1.00	1,008.67	UND	S/.	20.00	S/.	20,173.33
Alimentacion	11.33	3.00	89.00	1.00	3,026.00	UND	S/.	12.00	S/.	36,312.00
Transporte (Camiara - Arequipa)	17.00	6.00	1.00	1.00	102.00	UND	S/.	80.00	S/.	8,160.00
CONSUMIBLES	GAL	UND	DIAS	%					S/.	129,472.75
Consumible - Perforadora UDR 650	80.00	GAL	89.00	1.00	7,120.00	UND	S/.	13.75	S/.	97,900.00
Consumible - Camioneta Blanca	6.00	GAL	89.00	1.00	534.00	UND	S/.	13.75	S/.	7,342.50
Consumible - Camioneta Ploma	6.00	GAL	89.00	1.00	534.00	UND	S/.	13.75	S/.	7,342.50
Mantenimiento por GAL consumido					15.00	%	S/.	112,585.00	S/.	16,887.75
VIATICOS	UND	DISP	DIAS	%					S/.	6,675.00
Break personal - turno día	7.00	1.00	89.00	1.00	623.00	UND	S/.	5.00	S/.	3,115.00
Break personal - turno noche	5.00	1.00	89.00	1.00	445.00	UND	S/.	4.00	S/.	1,780.00
Emergencias	1.00	1.00	89.00	1.00	89.00	UND	S/.	20.00	S/.	1,780.00
EPPS	UND	DISP	DIAS	%					S/.	7,578.00
Casco de Seguridad					16.00	UND	S/.	30.00	S/.	480.00
Zapatos de seguridad					16.00	UND	S/.	155.00	S/.	2,480.00
Lentes claros					51.00	UND	S/.	15.00	S/.	765.00
Lentes oscuros					51.00	UND	S/.	18.00	S/.	918.00
Uniforme Jean					12.00	UND	S/.	87.00	S/.	1,044.00
Guantes Hycron					27.00	UND	S/.	7.00	S/.	189.00
Guantes de Maniobra					12.00	UND	S/.	4.00	S/.	48.00
Orejeras					3.00	UND	S/.	114.00	S/.	342.00
Tapones de silicona					4.00	CAJA	S/.	55.00	S/.	220.00
Chaleco de seguridad					16.00	UND	S/.	23.00	S/.	368.00
Chompa Jorge Chavez					12.00	UND	S/.	35.00	S/.	420.00
Chavo de jean					16.00	UND	S/.	19.00	S/.	304.00

Nota: Elaboración propia

Como se puede ver reflejado en el cuadro anterior en el cual está el gasto general que se tiene por mes, como ya se mencionó está el salario del personal que estará a cargo del proyecto, teniendo un egreso de 182,373.72 PEN durante los tres meses, por otro lado, tenemos los servicios que se van a utilizar, en el cual está el hospedaje, la alimentación y el servicio de Transporte del personal, que en este caso es una agencia de transportes los cuales generan un egreso de 64,645.33 PEN.

Por consiguiente, tomando en cuenta el combustible que se utiliza diariamente, se tiene un promedio mensual de 129,472.75 PEN incluyendo la máquina perforadora y las dos camionetas, a esto se le añade un porcentaje por galón para incluir lo que es el mantenimiento preventivo que tiene cada máquina, como el cambio de aceite y filtros tanto de combustible como de aire, aceite y de aceite hidráulico.

Adicionando a los gastos de personal y gastos generales, también se toman en cuenta los viáticos, en los cuales no se toma el transporte del personal porque ya se considera en servicios, estos son referentes a los gastos como agua, café, gaseosa para el personal durante

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

el periodo del proyecto, adicionando un ítem para posibles emergencias que se den en el transcurso del proyecto; hay que considerar que se está tomando en cuenta los gastos por 3 meses, en este caso febrero, marzo y abril del presente año se tiene un gasto de 6,675.00 PEN.Como otro apartado en gastos, esta lo que son los equipos de protección personal, el cual está destinado a todo el equipo de operaciones que estará a cargo del proyecto, en el que incluye desde sus zapatos de seguridad hasta las chompas para el frio para el turno noche y los chavos para el calor para el turno día; se debe de considerar que los precios se añaden respecto al tiempo de vida de cada ítem, por ejemplo, en el caso de los tapones auditivos, estos son de uso diario, sin embargo, el promedio de la duración de unos zapatos de seguridad son de un año, por lo que para sacar el precio por tres meses de uso solo se divide entre 4 el precio de los zapatos de seguridad y así sucesivamente con los distintos ítems que están dentro del apartado de equipos de protección personal, en este caso debido a que no hay climas extremos ni exigencias de algún tipo de EPP adicional del cliente se tiene un gasto de 7,578.00 PEN.

Tabla 67.

Egresos reales de febrero, marzo y abril

EGRESOS DE FEBRERO, MARZO Y ABRIL										
ADITIVOS	UND	DISP	DIAS	%					$	17,352.43
Bentonita					450.00	BALD	$	12.00	$	5,400.00
Poly plus					45.00	BALD	$	120.00	$	5,400.00
Ringfree					12.00	BALD	$	120.00	$	1,440.00
Bitlube					12.00	BALD	$	110.00	$	1,320.00
Polypack					15.00	BALD	$	180.00	$	2,700.00
PH Control					6.00	BALD	$	80.00	$	480.00
Aceite 15W / 40					15.00	GAL	$	19.46	$	291.89
Aceite 80W / 90					5.00	GAL	$	20.00	$	100.00
Anticongelante					5.00	GAL	$	5.95	$	29.73
Grasa Multiproposito					25.00	KG	$	4.05	$	101.35
Grasa Multiple ep					2.00	KG	$	3.78	$	7.57
Grasa HD 2					10.00	TUB	$	8.19	$	81.89
ACCESORIOS	UND	DISP	DIAS	%					$	73,965.00
Tuberia HW					10.00	UND	$	180.00	$	1,800.00
Tuberia HQ					156.00	UND	$	145.00	$	22,620.00
Tuberia NQ					234.00	UND	$	100.00	$	23,400.00
Zapata HW					1.00	UND	$	205.00	$	205.00
Zapata HQ					19.00	UND	$	395.00	$	7,505.00
Zapata NQ					22.00	UND	$	310.00	$	6,820.00
Broca HW					1.00	UND	$	400.00	$	400.00
Broca HQ					7.00	UND	$	350.00	$	2,450.00
Broca NQ					8.00	UND	$	250.00	$	2,000.00
Core Lifter HQ					19.00	UND	$	15.00	$	285.00
Core Lifter NQ					22.00	UND	$	12.00	$	264.00
Reaming Shells HQ					1.00	UND	$	400.00	$	400.00
Reaming Shells NQ					1.00	UND	$	250.00	$	250.00
Stop ring					16.00	UND	$	6.00	$	96.00
Barrel - diamantina					2.00	UND	$	970.00	$	1,940.00
Tubo interior mas cabezal					4.00	UND	$	500.00	$	2,000.00
Llaves Stilson de 36"					3.00	UND	$	320.00	$	960.00
Llaves Stilson de 24"					3.00	UND	$	110.00	$	330.00
Llaves Stilson de 18"					3.00	UND	$	80.00	$	240.00

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Siguiendo con los gastos lineales de los tres meses de operación, están los aditivos de perforación, estos son sumamente importantes y van de la mano con las ganancias adicionales debido que se usan estos aditivos para poder estabilizar el pozo o poder acondicionarlo; en concreto, estos apoyan para agilizar el rendimiento del fluido de perforación y evitar atrapamientos, derrumbes, sobreesfuerzo de la máquina, sobrecalentamiento de la broca de perforación, etc. En conclusión, los aditivos hacen que la perforación sea más segura y a su vez menos costosa haciendo más eficiente el trabajo de extracción de muestras, en este caso durante los tres meses se tuvo un gasto de 17,352.43 USD; en este caso para productos relacionados a la perforación diamantina los más común es que sus precios estén en dólares como los aditivos y también lo que son los accesorios de perforación.

Hablando de los accesorios estos representan el mayor gasto dentro de los proyectos de perforación diamantina esto se debe a que estos son los que se utilizaran para poder perforara a grandes profundidades, en el caso de la tubería, esta es de 3 metros y esta tiene que bajar tubo por tubo hasta alcanzar la meta solicitada, de los cuales hay distintas medidas y no se pueden acoplar entre distintas medidas, por otro lado, están las zapatas las encargadas de guiar el conjunto de perforación y poder permitir un arranque más limpio, por consiguiente se encuentran las brocas, las cuales tienen diamantes en la parte exterior para poder así cortar las piedras o minerales que se encuentren en el subsuelo, las cuales por el hecho de ser de diamantes son demasiado caras, siguiendo a los demás accesorios que se dedican netamente a la recolección de muestras geológicas teniendo un gastos de 73,965.00 USD.

Tabla 68.

Egresos reales total del proyecto

MANO DE OBRA DE PROYECTO		S/.	182,373.72
SERVICIOS		S/.	64,645.33
CONSUMIBLES		S/.	129,472.75
VIATICOS		S/.	6,675.00
EPPS		S/.	7,578.00
ADITIVOS		$	17,352.43
ACCESORIOS		$	73,965.00
COSTO TOTAL EN SOLES		S/.	390,744.80
	CAMBIO (3.70)	$	105,606.70
COSTO TOTAL EN DOLARES		$	91,317.43
COSTO TOTAL		$	196,924.14
GASTOS GENERALES	10.00%	$	19,692.41
UTILIDAD	20.00%	$	39,384.83
PRECIO SIN I.G.V.		$	256,001.38

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Resumiendo todos los gastos durante los tres meses se puede verificar que el gasto más alto es el de accesorios de perforación, después el de mano de obra y así sucesivamente teniendo como menor gasto el apartado de viáticos; en este caso, como la ganancias son en dólares, los costos y gastos se tienen que convertir a la misma moneda para hacer una comparación cuantitativa, una vez convertido todos los gastos a la moneda americana, se realiza la sumatoria de todos los gastos, a esto se le añade lo que son gastos generales que representa gastos administrativos, como pago al personal que no está en proyecto, permisos, luz, agua, y otros gastos referentes al mantenimiento del taller central en donde se hace la reparación de repuestos y otros.

Posteriormente a parte de los gastos generales se le añade la utilidad de la empresa, lo que sería en si la ganancia neta de la empresa que puede variar dependiendo del avance del proyecto, que en ciertos casos puede aumentar y puede disminuir debido a la gran incógnita que es trabajar sobre grandes cantidades de metros sobre el suelo, una vez hallado las utilidades y los gastos generales se tiene le total que sería **256,001.38 USD** el cual se le tiene que añadir los gastos variables, que en este caso se enfocan netamente a la cantidad de mantenimientos que hubo durante el periodo de los tres meses.

Tabla 69.

Egresos reales de febrero, marzo y abril por mantenimiento

EGRESOS DE FEBRERO, MARZO Y ABRIL X MANTENIMIENTO										
CONCEPTO	UND	HRS	DIAS	%	CANT.	UND.		C.U.		PARCIAL
MANTENIMIENTOS CORRECTIVOS	PERS	HRS	DIAS	%					S/.	24,451.22
Tambor del Cabestrante principal					1.00	UND.	S/.	10,382.52	S/.	10,382.52
Cilindro Hidraulico de empuje					1.00	UND.	S/.	6,225.86	S/.	6,225.86
Radiador					1.00	UND.	S/.	6,367.19	S/.	6,367.19
Bomba de agua para lodos					1.00	UND.	S/.	1,475.65	S/.	1,475.65
					COSTO TOTAL EN SOLES				S/.	24,451.22
								CAMBIO (3.70)	$	3.70
					COSTO TOTAL EN DOLARES				$	6,608.44

Nota: Elaboración propia

En este caso desde inicios de febrero a fines de abril se registraron 4 mantenimientos correctivos en donde fallo el tambor del cabestrante principal, el cilindro hidráulico de empuje, el radiador y la bomba de agua para lodos los cuales las valorizaciones de su mantenimiento están en anexo 21, 22, 23 y 24.

Teniendo estos 4 mantenimientos, se tiene un total de **6,608.44 USD** de gastos adicionales, lo cual no es mucha la cantidad monetaria, sin embargo ese no es el problema, debido al tercer mantenimiento se quedó tubería enterrada en el sexto sondaje por lo cual se tuvo que realizar uno en paralelo para seguir con el estudio de dicha zona lo cual como ya se mencionó generó un trabajo de 585 metros de forma gratuita lo cual comprometió una

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

gran cantidad de ganancias para la empresa, adicionando los instrumentos de perforación que se quedaron atascados en el sexto pozo.

5.2.2. Ingresos y egresos simulados

Para poder corroborar si es factible el uso de estos prototipos capaces de poder predecir el mantenimiento en una UDR-650 primero se sometió a prueba el uso de dispositivos independientes capaces de medir estas tres magnitudes físicas (sonido, temperatura y vibración).

Una vez tomadas las medidas correspondientes durante los tres meses establecidos que se pueden encontrar en el anexo 8, se procede a compararlas con los parámetros técnicos de los diez sistemas y subsistemas más relevantes de la UDR-650, previamente analizados. Al verificar los estándares, se contrastan las anomalías detectadas, evaluando con cuánta anticipación pueden identificarse antes de que ocurra una falla en algún componente. Con la información de cada dispositivo, se simula un escenario de acción, considerando qué medidas se podrían haber tomado en ese periodo y cuántos recursos se habrían ahorrado en mantenimiento correctivo. Además, este análisis permite prever posibles daños futuros en componentes que podrían comprometer el funcionamiento de la UDR-650.

5.2.2.1. Ingresos simulados

En el caso de los ingresos simulados, estos presentan una tendencia bastante similar a los ingresos reales, sin embargo, durante el tercer mantenimiento surgieron complicaciones asociadas a factores geológicos adversos y a la paralización consecutiva de la perforadora por periodos prolongados mientras se trabajaba a una gran profundidad, estas pausas provocaron el incremento del riesgo de atrapamiento, por lo cual en el sexto sondaje del periodo real, al encontrarse perforando una zona arenosa (como lo es en el caso de Ite), se produjo el atrapamiento de la tubería, generando una detención completa de las operaciones, por lo cual se tuvo que ejecutar un pozo paralelo con el fin de continuar con el avance, aunque dicho tramo no se consideró dentro de la facturación hasta alcanzar nuevamente la profundidad en la que ocurrió el atascamiento.

Cabe resaltar que este tipo de problema pudo haberse evitado con una gestión más eficiente del mantenimiento, en el caso que se hubiese reducido el tiempo de intervención con un monitoreo predictivo de la perforadora UDR-650, se habría detectado con anticipación cualquier anomalía mecánica o desgaste, por lo cual, se hubieran tomado decisiones más acertadas y más convenientes para poder reducir la probabilidad de atrapamiento, o simplemente evitarlo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 70.

Ingresos simulados de febrero, marzo y abril por metraje

INGRESOS DE FEBRERO, MARZO Y ABRIL X METRAJE						
CONCEPTO	**CANT.**	**UND.**		**C.U.**		**PARCIAL**
5TO SONDAJE DE PERFORACION					$	64525.00
Profundidad de 0 a 100 m	-	M	$	110.00	$	-
Profundidad de 100 a 200 m	-	M	$	115.00	$	-
Profundidad de 200 a 300 m	90.00	M	$	120.00	$	10,800.00
Profundidad de 300 a 400 m	100.00	M	$	125.00	$	12,500.00
Profundidad de 400 a 500 m	100.00	M	$	130.00	$	13,000.00
Profundidad de 500 a 600 m	100.00	M	$	135.00	$	13,500.00
Profundidad de 600 a 700 m	100.00	M	$	140.00	$	14,000.00
Profundidad de 700 a 800 m	5.00	M	$	145.00	$	725.00
6TO SONDAJE DE PERFORACION					$	88,225.00
Profundidad de 0 a 100 m	100.00	M	$	110.00	$	11,000.00
Profundidad de 100 a 200 m	100.00	M	$	115.00	$	11,500.00
Profundidad de 200 a 300 m	100.00	M	$	120.00	$	12,000.00
Profundidad de 300 a 400 m	100.00	M	$	125.00	$	12,500.00
Profundidad de 400 a 500 m	100.00	M	$	130.00	$	13,000.00
Profundidad de 500 a 600 m	100.00	M	$	135.00	$	13,500.00
Profundidad de 600 a 700 m	100.00	M	$	140.00	$	14,000.00
Profundidad de 700 a 800 m	5.00	M	$	145.00	$	725.00
7MO SONDAJE DE PERFORACION					$	88,225.00
Profundidad de 0 a 100 m	100.00	M	$	110.00	$	11,000.00
Profundidad de 100 a 200 m	100.00	M	$	115.00	$	11,500.00
Profundidad de 200 a 300 m	100.00	M	$	120.00	$	12,000.00
Profundidad de 300 a 400 m	100.00	M	$	125.00	$	12,500.00
Profundidad de 400 a 500 m	100.00	M	$	130.00	$	13,000.00
Profundidad de 500 a 600 m	100.00	M	$	135.00	$	13,500.00
Profundidad de 600 a 700 m	100.00	M	$	140.00	$	14,000.00
Profundidad de 700 a 800 m	5.00	M	$	145.00	$	725.00
8VO SONDAJE DE PERFORACION					$	74,480.00
Profundidad de 0 a 100 m	100.00	M	$	110.00	$	11,000.00
Profundidad de 100 a 200 m	100.00	M	$	115.00	$	11,500.00
Profundidad de 200 a 300 m	100.00	M	$	120.00	$	12,000.00
Profundidad de 300 a 400 m	100.00	M	$	125.00	$	12,500.00
Profundidad de 400 a 500 m	100.00	M	$	130.00	$	13,000.00
Profundidad de 500 a 600 m	100.00	M	$	135.00	$	13,500.00
Profundidad de 600 a 700 m	7.00	M	$	140.00	$	980.00
Profundidad de 700 a 800 m	-	M	$	145.00	$	-
	TOTAL				**$**	**315,455.00**

Nota: Elaboración propia

Como se puede visualizar en el cuadro de ganancias brutas simuladas, los resultados correspondientes del quinto al octavo sondaje muestran una recaudación total de **315,455.00 USD**, lo cual es correspondiente a la suma del quinto, sexto y séptimo sondaje, y como se perdió tiempo haciendo un sondaje paralelo al sexto se añadió el siguiente sondaje que en

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

este caso es el octavo, sin embargo, este no aparece en el anterior cuadro porque este se elaboró en el mes de mayo.

Por otro lado, observando detalladamente, el anterior cuadro se puede visualizar que durante los tres meses se realizó una perforación casi lineal de 2,512 metros de profundidad en los cuales tanto el sexto como el séptimo sondaje se hicieron en su totalidad en el periodo de estudio y los demás se hicieron en medio del estudio por lo que lanza precios distintos, en resumen a comparación del cuadro real en este se tuvo una diferencia de 88,225.00 USD lo cual es una gran diferencia monetaria con el caso real.

Tabla 71.

Ingresos simulados de febrero, marzo y abril por adicionales

INGRESOS DE FEBRERO, MARZO Y ABRIL X ADICIONALES						
CONCEPTO	**CANT.**	**UND.**		**C.U.**		**PARCIAL**
FEBRERO					$	9,940.00
5TO SONDAJE DE PERFORACION					$	3,110.00
Movilizacion entre sondaje	-	H	$	200.00	$	-
Rimado	4.00	H	$	80.00	$	320.00
Estabilizacion de pozo	4.00	H	$	120.00	$	480.00
Instalacion y retiro de Casing	-	H	$	90.00	$	-
Stand By atribuibles al cliente	2.00	H	$	120.00	$	240.00
Acondicionamiento de sondaje	23.00	H	$	90.00	$	2,070.00
6TO SONDAJE DE PERFORACION					$	6,830.00
Movilizacion entre sondaje	8.00	H	$	200.00	$	1,600.00
Rimado	2.00	H	$	80.00	$	160.00
Estabilizacion de pozo	12.00	H	$	120.00	$	1,440.00
Instalacion y retiro de Casing	5.00	H	$	90.00	$	450.00
Stand By atribuibles al cliente	7.00	H	$	120.00	$	840.00
Acondicionamiento de sondaje	26.00	H	$	90.00	$	2,340.00
MARZO					$	14,240.00
6TO SONDAJE DE PERFORACION					$	3,595.00
Movilizacion entre sondaje	8.00	H	$	200.00	$	1,600.00
Rimado	6.00	H	$	80.00	$	480.00
Estabilizacion de pozo	5.00	H	$	120.00	$	600.00
Instalacion y retiro de Casing	3.00	H	$	90.00	$	270.00
Stand By atribuibles al cliente	2.00	H	$	120.00	$	240.00
Acondicionamiento de sondaje	4.50	H	$	90.00	$	405.00
7MO SONDAJE DE PERFORACION					$	10,645.00
Movilizacion entre sondaje	8.00	H	$	200.00	$	1,600.00
Rimado	3.00	H	$	80.00	$	240.00
Estabilizacion de pozo	42.50	H	$	120.00	$	5,100.00
Instalacion y retiro de Casing	5.00	H	$	90.00	$	450.00
Stand By atribuibles al cliente	5.00	H	$	120.00	$	600.00
Acondicionamiento de sondaje	29.50	H	$	90.00	$	2,655.00
ABRIL					$	15,515.00
7MO SONDAJE DE PERFORACION					$	7,775.00
Movilizacion entre sondaje	8.00	H	$	200.00	$	1,600.00
Rimado	5.00	H	$	80.00	$	400.00
Estabilizacion de pozo	18.00	H	$	120.00	$	2,160.00
Instalacion y retiro de Casing	3.00	H	$	90.00	$	270.00
Stand By atribuibles al cliente	5.00	H	$	120.00	$	600.00
Acondicionamiento de sondaje	30.50	H	$	90.00	$	2,745.00
8VO SONDAJE DE PERFORACION					$	7,740.00
Movilizacion entre sondaje	8.00	H	$	200.00	$	1,600.00
Rimado	7.00	H	$	80.00	$	560.00
Estabilizacion de pozo	17.00	H	$	120.00	$	2,040.00
Instalacion y retiro de Casing	5.00	H	$	90.00	$	450.00
Stand By atribuibles al cliente	4.00	H	$	120.00	$	480.00
Acondicionamiento de sondaje	29.00	H	$	90.00	$	2,610.00
	TOTAL				**$**	**39,695.00**

Nota: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Por parte de los ingresos, como se observa en el cuadro de ganancias brutas por adicionales en los meses de febrero, marzo y abril, se encuentran los mismos trabajos como movilización entre sondajes, rimado, estabilización de pozo, instalación y retiro de casing, etc. En el mes de febrero, se llevaron a cabo el quinto y sexto sondaje, alcanzando una recaudación total por adicionales de 9,940.00 USD, prácticamente igual que en el caso real.

En el mes de marzo, se continuó trabajando el sexto sondaje y se procedió con el inicio del séptimo, obteniendo una recaudación total de 14,240.00 USD los cuales elevan un aproximado de dos mil dólares en comparación con las ganancias reales por adicionales.

Como último en el mes de abril, se culminó el séptimo e inicio el octavo sondaje, lo que generó una recaudación por adicionales de 15,515.00 USD, mientras que se tuvo un aumento progresivo en las ganancias adicionales, esto se debe principalmente a las condiciones geológicas del terreno por los bastantes atrapamientos que se podían causar por los derrumbes que se causaban en el interior del pozo, debido a esto se tomó este tipo de medidas principalmente por razones de seguridad.

En resumen, la recaudación total por trabajos adicionales durante los tres meses fue de **39,695.00 USD**, lo cual no genera una gran diferencia con las ganancias adicionales reales que tienen una diferencia aproximada de cuatro mil dólares.

5.2.2.2. Egresos simulados

Por parte de los egresos simulados estos son lineales, por lo general no varían con respecto al caso real, esto se debe a que los apartados que van a utilizar son los mismos, empezando con la mano de obra, esta no va a variar, por parte de los servicios tampoco; en el caso de los consumibles que en este caso sería el combustible de la máquina y de las camionetas de transporte si, sin embargo, el gasto de combustible de las camionetas ya está considerado en las valorizaciones de los mantenimientos y en el caso de la misma máquina varia pero de una forma no tan significativa.

Por cuestiones de viáticos, tampoco sería el caso, debido a que los gastos serían los mismos, en el caso del ítem de emergencias este es referente al personal del proyecto, no a los desperfectos de la máquina; por consiguiente, en caso de los equipos de protección personal seria el mismo caso, no variarían, sin embargo, en cuestión de aditivos y de accesorios de perforación sí.

En el caso de los aditivos, siempre en toda cotización mensual se da una incertidumbre de 2 a 3 unidades de cada ítem por si se da el caso de un derrumbe o que el terreno se ponga complicado en el transcurso de la perforación, por tal motivo no varía el

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

gasto en cuestión de aditivos pero si varia su uso; por otro lado, hablando de los accesorios de perforación, en el caso que se dé un atrapamiento y se quede accesorios atrapados lo que se procede a hacer es rescatar la mayor parte de ellos, lamentablemente en el caso real si se dio el caso, donde se perdieron un total de 54 tubos de perforación lo cual comprometió a la empresa una buena cantidad de dinero tomando en cuenta que cada tubo de perforación esta un alrededor de 150 USD y considerando que el cliente se hace responsable de la mitad del precio en el caso que uno de los factores fuesen causas geológicas, hubo un gasto de 75 USD por tubo.

Hablando netamente del mantenimiento, en este caso si variaría, ya que gracias al uso de los dispositivos estos anticiparon las cuatro averías que se dieron durante el periodo de estudio, aproximadamente estas alertaron una anomalía un día y medio antes de la avería, lo cual asegura una mejor planificación para la obtención de repuestos y cambio de componentes de la central al campo de operaciones.

Tabla 72.

Egresos simulados de febrero, marzo y abril por mantenimiento

EGRESOS DE MANTENIMIENTO DE FEBRERO, MARZO Y ABRIL X MANTENIMIENTO										
CONCEPTO	UND	HRS	DIAS	%	CANT.	UND.		C.U.		PARCIAL
MANTENIMIENTOS CORRECTIVOS	PERS	HRS	DIAS	%					S/.	15,662.75
Tambor del Cabestrante principal					1.00	UND.	S/.	7,724.55	S/.	7,724.55
Cilindro Hidraulico de empuje					1.00	UND.	S/.	2,102.28	S/.	2,102.28
Radiador					1.00	UND.	S/.	4,360.27	S/.	4,360.27
Bomba de agua para lodos					1.00	UND.	S/.	1,475.65	S/.	1,475.65
					COSTO TOTAL EN SOLES				S/.	15,662.75
								CAMBIO (3.70)	$	3.70
					COSTO TOTAL EN DOLARES				$	4,233.18

Nota: Elaboración propia

Como se puede apreciar, en el cuadro de gastos y costos de manteniendo simulados se puede ver una diferencia no tan agresiva en comparación con el cuadro de gastos y costos reales, esto se debe a que los mantenimientos correctivos que se dieron en ese periodo eran simples y solo se tenían que cambiar repuestos para que vuelva a su operatividad, sin embargo, en el caso de los cuatro casos, necesariamente se tuvo que suspender la máquina perforadora durante el mantenimiento, en caso fuese daños más agresivos la diferencia seria mayor, en este caso se realizó un gasto total de **4.233.18 USD** en los cuales se podrá ver detalladamente la valorización de cada uno en el apartado del anexo 26, 27, 28 y 29.

5.2.3. Comparación de ingresos y egresos de proyecto real con el simulado

Una vez teniendo la información del caso real y simulado se realizó una comparación cuantitativa de las diferencias económicas de estos dos con la finalidad de evaluar tanto los ingresos como los egresos de cada uno, para así poder simular la eficacia de este tipo de

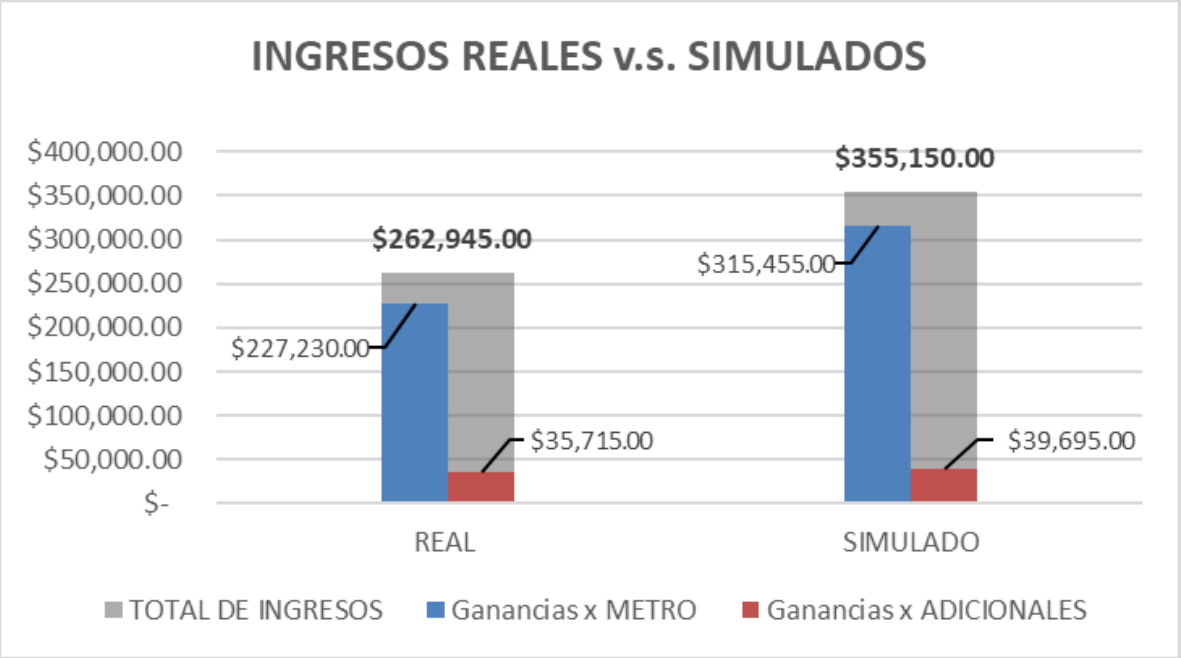
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

dispositivos y la repercusión económica que podría generar en el ámbito operativo de una máquina perforadora UDR-650 y para otras máquinas dedicadas a la perforación diamantina u otros equipos con sistemas similares.

Para la comparación de los dos casos se inició con los ingresos de cada uno durante estos 3 meses de estudio, como ya se mencionó antes, las empresas dedicadas a este rubro por lo general no trabajan por horas hombre o por tiempo de trabajo, si no, trabajan por metros de perforación, esto quiere decir que el avance de trabajo es directamente proporcional a la facturación de la empresa, así que cualquier desperfecto o cualquier demora operativa que se de en el transcurso del proyecto puede afectar directamente a los ingresos de la empresa encargada.

Figura 48.
Ingresos Reales vs. Simulados



Nota: Elaboración propia

Iniciando con las ganancias por metro de perforación se obtuvo unas ganancias de 227,230.00 USD en el escenario real, por parte del escenario simulado se obtuvo 315,455.00 USD lo que representa un incremento positivo del 38.83% que representaría 88,225.00 USD una cantidad demasiado elevada; este aumento se explica principalmente por un imprevisto operativo finalizando el mantenimiento del radiador de la UDR-650.

Durante el sexto sondaje, la tubería de perforación se quedó atrapada dentro del pozo debido a que esta no estaba en operación y a los bastantes derrumbes que se generaron en el interior del mismo, lo que imposibilitó la continuidad del sondaje, por lo cual se tuvo que realizar uno en paralelo con la finalidad de subsanar la perdida de avance y cumplir con los

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

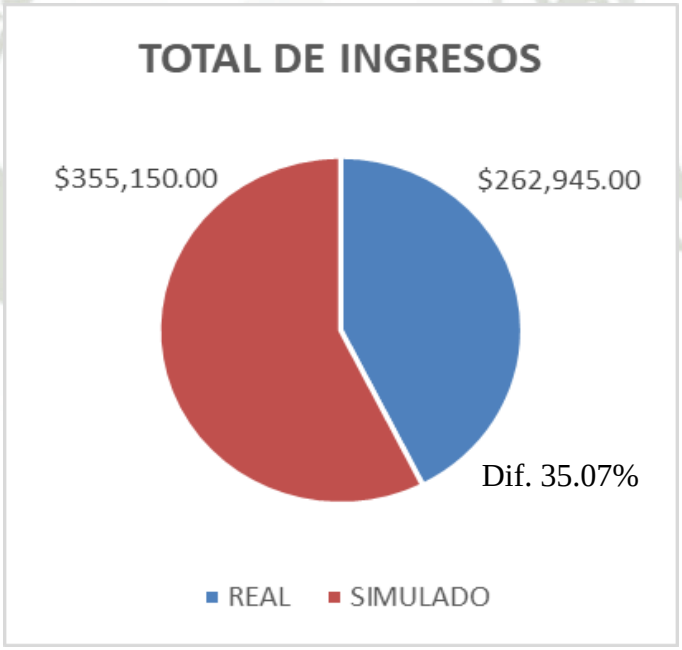
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

objetivos de estudio que ya se tenían programado, lo que causó es que no se cobró el avance del sondaje paralelo hasta la profundidad de las muestras de estudio del sondaje anterior, lo cual se ve reflejado en la gran diferencia de ganancias por metro de perforación, ya que de no ser así se hubiera continuado con el siguiente sondaje.

Por parte de los ingresos por adicionales, se obtuvo en el caso real 35,715.00 USD y por parte del caso simulado 39,695.00 USD logrando un aumento de 11.14% que representaría una diferencia de 3,980.00 USD el cual no es demasiado; la diferencia de estos dos ítems más que todo es por la profundidad que si se pudo haber llegado en el sexto pozo en el caso simulado, esto se debe a que mientras más elevada sea la profundidad de perforación más potencia va a necesitar la máquina y a su vez se necesitaran más aditivos para evitar atrapamientos por lo que es necesario acondicionar y limpiar el pozo que son adicionales que se le cobra al cliente.

Figura 49.
Total de ingresos reales vs. simulados



Nota: Elaboración propia

Sumando los dos tipos de ganancias, por parte del caso real se tiene 262,945.00 USD y en el caso simulado se obtuvo un ingreso de 355,150.00 USD teniendo una diferencia del 35.07% que es más de la cuarta parte de la ganancia que se tuvo en el caso real, exactamente hubo una diferencia de **92,205.00 USD**, estos resultados reflejan el potencial económico que se podría generar evitando mantenimientos de alta duración que podrían afectar al desarrollo de perforación de los sondajes.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

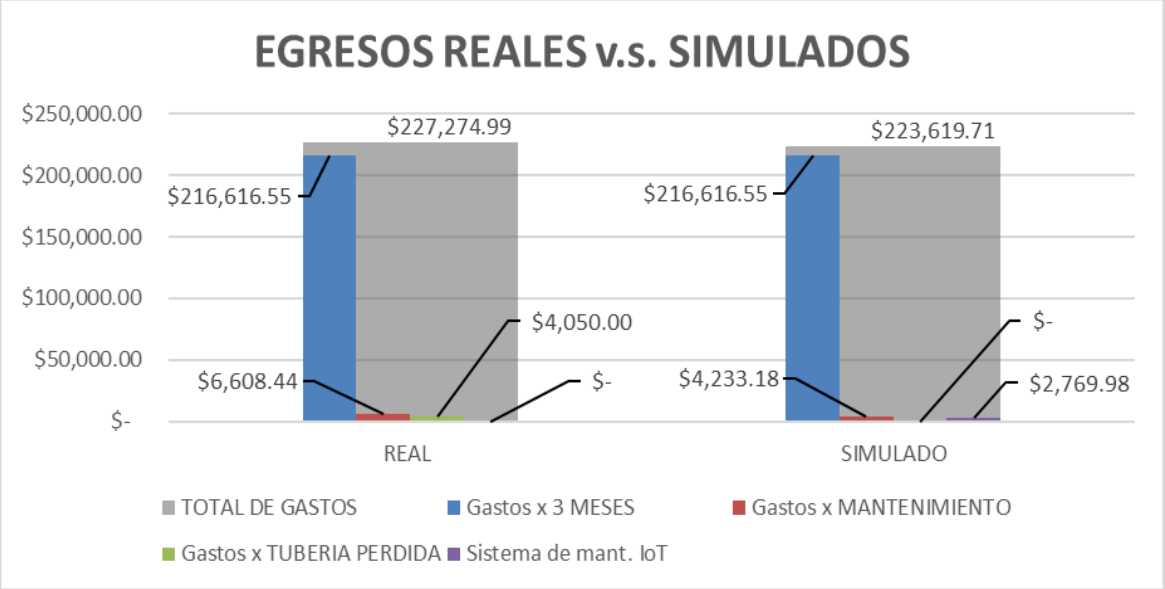
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Luego de haber evaluado las diferencias en los ingresos generados entre el proyecto real y el simulado, es necesario determinar también el comportamiento de los egresos operativos en ambos casos; esta comparación permitirá demostrar la diferencia total entre los márgenes de ganancias y pérdidas que podrían variar con los dispositivos analizadores de temperatura, vibración y sonido. A continuación, se detallan los gastos en cada caso, esta sección busca denotar el ahorro de recursos por temas netamente de mantenimiento y conservación del equipo de perforación.

Figura 50.

Egresos Reales vs. Simulados



Nota: Elaboración propia

Como se observa en el grafico anterior los gastos por los 3 meses excluyendo lo que es mantenimiento tanto reales como simulados se tiene un total de 216,616.55 USD, como ya se mencionó, no varía porque los gastos siguen siendo iguales como el pago al personal, el pago a servicio, EPPs, viáticos, aditivos, etc. En lo único que podría variar y afectar de forma económica a la empresa es que se alargue bastante el proyecto sin haber cumplido una meta de perforación lo cual habría generar más egresos que ingresos y perjudicaría de manera financiera al corporativo a cargo de la perforación.

Por otro lado, en el caso del mantenimiento varía en un 35.94% de manera positiva a favor del caso simulado con una cantidad de 4,233.18 USD contra 6,608.44 USD de gastos por mantenimiento, esto se debe a que gracias a la estrategia operativa aplicando tecnología IoT en conjunto con dispositivos captadores de información de temperatura, sonido y vibración pudieron anticipar una posible avería lo cual causo que se tomara una mejor estrategia de mantenimiento, solicitando piezas sueltas más baratas, movilizando mecánicos

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

hidráulicos con mayor antelación, cotizando repuestos con un menor costo, anticipando compras logrando así optimizar tiempo y recursos, por otro lado, hay que considerar que en el campo de estudio, el cual fue elaborado en el departamento de Tacna - Ite, debido a que la zona de exploración se encontraba en un lugar estratégico donde si se podían tomar decisiones y reaccionar más rápidamente debido a la cercanía del proyecto con dos ciudades como Tacna y Moquegua e incluso Ilo, los egresos hubiesen sido mayores si se hubiera dado en otro escenario como lo es la sierra peruana, donde usualmente no hay señal ni menos lugares cercanos que puedan dar un soporte técnico o soporte por parte de repuestos.

No obstante, además de los dos apartados previamente analizados, hay dos adicionales, en los cuales, el primero es por tubería perdida y solo está considerado como egreso en el caso real, esto se debe a que durante la ejecución del sexto sondaje se presentó un incidente operativo crítico: la tubería de perforación quedó completamente atascada en el interior del pozo debido a condiciones de mantenimiento y causas geológicas adversas no previstas, teniendo como consecuencia, fue necesario abandonar el pozo, dejando en su interior un total de 54 tubos, cada uno con un valor de 150.00 USD, lo que representa un costo total de 8,100.00 USD, sin embargo, debido a que el problema aparte de que se causara porque la perforadora estuvo parada, también se originó por características geológicas inestables del terreno (condición que escapa al control del contratista), por temas de contrato el cliente se encarga de asumir el 50% del costo de la tubería perdida, es decir, 4,050.00 USD. El 50% restante fue asumido por la empresa, representando un gasto neto adicional de 75.00 USD por tubo, lo cual impactó directamente en los egresos del proyecto, adicional a los tubos se encontraba la broca y otros componentes adicionales, pero debido a su desgaste ya no se utilizaría por lo que no se toma en cuenta como gasto.

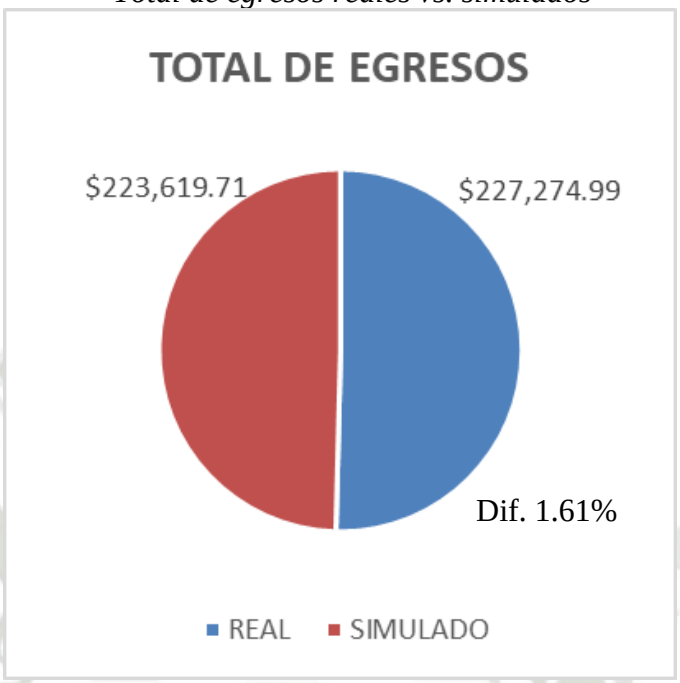
Por otro lado, el segundo apartado adicional hace referencia a la inversión necesaria para la implementación de los dispositivos IoT propuestos, los cuales constituyen la base física y cibernética del sistema de mantenimiento predictivo generando un egreso de 2,769.98 USD lo cual no es un egreso tan fuerte como la perdida de tubería; así mismo, es importante señalar que este cálculo corresponde únicamente al escenario de prueba y que, en una implementación en el que varíen los factores del proyecto, los costos podrían variar como el número de dispositivos requeridos, las condiciones de operación en campo y la duración del proyecto. Sin embargo, este análisis proporciona una referencia clara y precisa sobre la inversión inicial necesaria para llevar a cabo la integración de esta tecnología en la UDR-650 en un tiempo y ubicación de estudio determinado, permitiendo evaluar su viabilidad técnica y económica antes de una implementación definitiva.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 51.
Total de egresos reales vs. simulados



Nota: Elaboración propia

Englobando todos los gastos hay una diferencia del 1.61% que sería 3,655.28 USD lo cual como se logra aprecia en la gráfica anterior no es mucha la diferencia, esto se debe a que la desigualdad se puede observar en los ingresos, sin embargo, cabe recalcar que si en el transcurso de los tres meses de estudio se hubiese dado un mantenimiento critico el cual demore más tiempo y genere más gastos se hubiera visualizado un cambio más abrupto en el apartado de mantenimiento, afectando también al apartado de ingresos lo cual puede que cause número negativos en las utilidades de la empresa, no obstante los cuatro mantenimientos (Tambor de cabestrante, Cilindro hidráulico de empuje, radiador y bomba de agua para lodos) que se realizaron fueron de menor y medio grado por lo que duraron en un alrededor de uno a dos días.

Una vez analizado la comparación de ingresos y egresos del caso real como el simulado se puede calcular la utilidad neta de la empresa con dicho proyecto por cada caso, en el cual se tiene establecido que hay una gran diferencia por parte de los ingresos y una diferencia mínima por parte de los egresos.

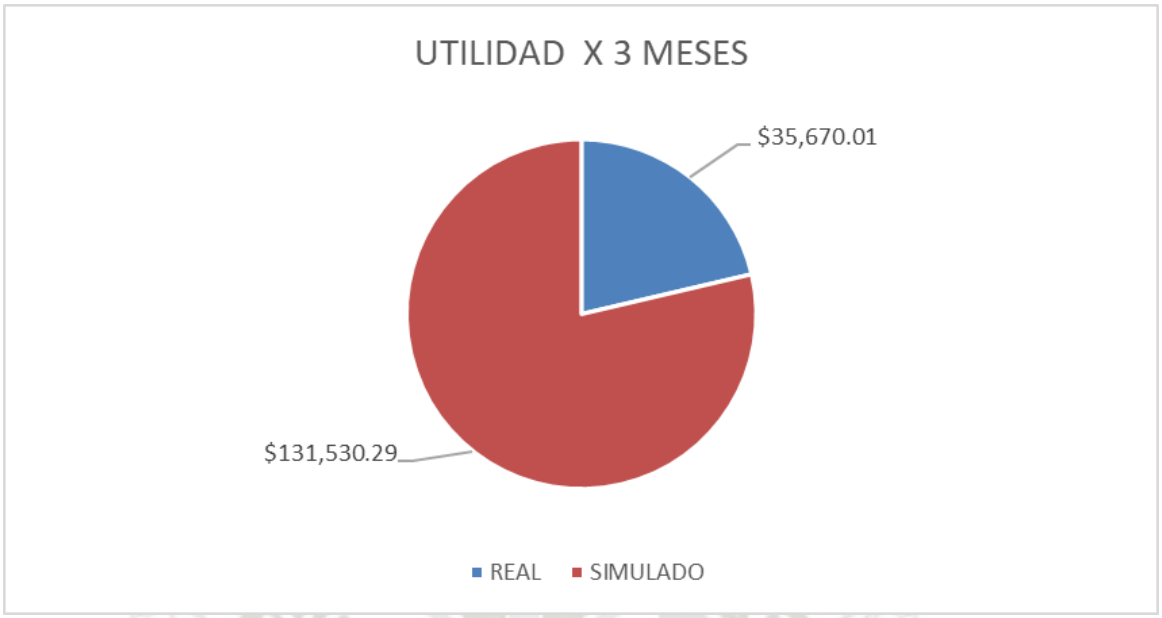
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 52.

Utilidad trimestral real vs. simulado



Nota: Elaboración propia

Como se logra apreciar en la figura 76, la diferencia de utilidades entre el escenario real y el simulado es bastante, en el caso real, se obtuvo una utilidad de 35,670.01 USD, mientras que en el escenario simulado la utilidad ascendió a 131,530.29 USD, lo que representa una diferencia del 268.74% lo cual representa una diferencia superior al triple de utilidad que el caso real. Esta diferencia pone en evidencia que si puede apoyar significativamente implementar sistemas IoT de monitoreo predictivo y planificación anticipada en proyectos de perforación.

Uno de los factores más determinantes en esta diferencia es el tiempo improductivo causado por el atrapamiento de tubería, como ocurrió en el sexto sondaje, ya que una máquina perforadora que queda detenida por largos periodos debido a este tipo de incidentes no solo deja de generar ingresos, sino que continúa generando costos operativos como es el personal en espera, consumo de energía, desgaste de equipos y necesidad de insumos adicionales. Además, la pérdida directa del material debido a los atrapamientos por falta de recirculación de agua dentro del pozo por tener a la máquina parada (como los tubos atrapados) y la ejecución de un nuevo pozo sustituyente representan gastos no contemplados inicialmente que reducen drásticamente la rentabilidad del proyecto.

Este tipo de situaciones demuestra que, en operaciones de perforación, la continuidad operativa es clave para la eficiencia económica, ya que cada hora de detención representa una pérdida directa, y cuando el incidente implica rehacer una parte significativa del trabajo (como perforar nuevamente en paralelo), el impacto financiero puede ser muy alto.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Por lo tanto, con la implementación de los dispositivos propuestos, los cuales son capaces de monitorear en tiempo real y de forma continua el estado operativo de la UDR-650 e incluso cualquier otra perforadora diamantina es posible reducir de manera significativa los gastos innecesarios que suelen generarse durante el desarrollo de un proyecto de perforación, entre estos gastos destacan la pérdida de instrumentos de perforación, la cual no solo representa un costo económico elevado, sino también retrasos en la ejecución de las labores y disminución de la eficiencia operativa.

Además, gracias a la información recolectada y procesada por el sistema, se logra anticipar posibles fallas antes de que estas ocurran, permitiendo una planificación adecuada de los mantenimientos y la adquisición oportuna de repuestos, lo cual no solo evita paradas no programadas y costos por reparaciones imprevistas, sino que también optimiza el uso de los recursos disponibles, mejorando la productividad y rentabilidad de las operaciones.

En consecuencia, la integración de este sistema de mantenimiento predictivo no solo aporta una solución tecnológica de apoyo, sino que también se convierte en una herramienta estratégica para la toma de decisiones, asegurando la continuidad operativa y la maximización de los beneficios económicos dentro de los proyectos de perforación diamantina.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Conclusiones

Primera

En esta investigación se comprobó que el desarrollo de tecnologías de monitoreo predictivo depende directamente de una correcta selección de hardware, ya que los componentes deben captar de forma precisa señales auditivas, vibratorias y de temperatura, considerando el contexto operativo de la perforadora diamantina UDR-650 y las condiciones extremas en las que trabaja, por ende, no solo se buscó elegir sensores de manera individual, sino entender cómo se relacionan con el microcontrolador, la máquina y la red para asegurar que la información recolectada sea confiable y útil para detectar fallas a tiempo, por este motivo se priorizó la selección de componentes compatibles con Arduino, Raspberry y la red LoRaWAN, dándole importancia a que tengan un buen equilibrio entre desempeño, costo y durabilidad, para no elevar los gastos de la empresa y garantizar que el sistema sea viable y escalable lo cual resulta clave porque la UDR-650 opera en ambientes exigentes donde los equipos deben ser resistentes para evitar reemplazos y mantenimientos constantes.

Por esta razón, es importante tener un proceso claro para elegir los componentes más adecuados para el monitoreo, definiendo parámetros que permitan optimizar la captura de datos y que, además, sirvan como referencia para futuros proyectos que busquen implementar estrategias de mantenimiento predictivo en otras perforadoras diamantinas con diseños similares, logrando así reducir paradas no planificadas y optimizar recursos y tiempos en las tareas de mantenimiento.

Segunda

Se realizó un análisis de criticidad de la UDR-650 que permitió identificar los sistemas, subsistemas y componentes más relevantes para priorizar el monitoreo predictivo, determinando no solo cuáles son los más críticos sino también cómo se relacionan entre sí, lo que ayuda a entender la máquina como un todo y a acelerar la detección de fallas al ubicar con mayor precisión el origen de la avería, reduciendo tiempos muertos y optimizando tanto los recursos destinados al mantenimiento como el tiempo invertido en reparaciones, gracias a este análisis y complementado con la aplicación del AMFE y la taxonomía, se identificaron los 10 componentes más críticos que generan paradas no planificadas, información que también puede servir como base para futuras investigaciones en otras perforadoras diamantinas, ya que la distribución de sus sistemas y componentes suele ser similar, lo que permite diseñar estrategias de mantenimiento más efectivas y con mayor alcance; además,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

por otro lado, se establecieron parámetros específicos de temperatura, vibración y sonido para cada subsistema y componente, lo que hace posible identificar comportamientos anómalos y detectar fallas de manera temprana, ayudando a reducir paradas no planificadas y mejorando la eficiencia en la toma de decisiones, lo que respalda la viabilidad de implementar una estrategia de monitoreo predictivo que optimice recursos, disminuya costos y tiempos en las labores de mantenimiento y mejore la disponibilidad operativa de la UDR-650 y otro tipo de perforadoras.

Tercera

Se desarrolló una estrategia de mantenimiento predictivo usando tecnología IoT, la cual integra la información de los sensores en un sistema que procesa y analiza los datos en tiempo real, lo cual permite anticiparse a fallas, reduciendo paradas inesperadas y mejorando la disponibilidad de la UDR-650, lo que ayuda a que la perforación sea más eficiente y segura, esto se puede evidenciar gracias a la información captada durante los tres meses de investigación, en la cual hubo un ahorro del 35.94% en los gastos relacionados al mantenimiento, gracias a la detección temprana de problemas y a una mejor gestión de los recursos, lo que causo que el tiempo total destinado a mantenimientos durante los 3 meses pasó de 7 días en el escenario real a 4.5 días en la simulación, lo que representa una reducción del 35.71% en la inactividad operativa, lo cual demuestra que la aplicación de tecnología IoT en la perforación diamantina no solo mejora la operatividad, sino que también contribuye a la optimización de costos y tiempo, logrando procesos más productivos y sostenibles.

Cuarta

Se seleccionó e integró un sistema IoT para capturar, transmitir y almacenar datos en la nube considerando la seguridad, compatibilidad y eficiencia, y gracias a la tecnología actual ya no es necesario crear o programar una red IoT desde cero, ya que servicios como AWS IoT (que es la que se utilizó) ofrecen herramientas listas que facilitan la conexión de dispositivos y la gestión de datos, lo que reduce el tiempo y la complejidad en la implementación, optimizando el uso de recursos tanto humanos como materiales, lo que produjo que el costo mensual de la parte cibernética es de 85.85 USD, lo que en tres meses suma 257.55 USD y si se compara con los 227,230.00 USD de ingresos brutos solo por metraje generados en ese mismo periodo representa solo el 0.11%, siendo un gasto mínimo para la empresa, demostrando que el uso de servicios en la nube permite implementar un sistema de monitoreo predictivo de manera viable, accesible y escalable, mejorando la eficiencia y reduciendo riesgos sin afectar la rentabilidad de la misma empresa.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Quinta

Se evidenció que la implementación del sistema de monitoreo predictivo basado en IoT genera un impacto significativo en la optimización de recursos durante el proceso de la exploración minera, ya que, a partir de los datos recolectados entre febrero, marzo y abril del 2025, el caso real presentó una utilidad de 35,670.01 USD, mientras que la simulación, considerando la anticipación de fallas mediante los parámetros establecidos por el sistema, alcanzó una utilidad proyectada de 131,530.29 USD, sin embargo hay que recalcar que en esta utilidad simulada ya se encuentran incluidos los costos asociados al servicio de red IoT, así como la inversión total en los dispositivos de monitoreo, lo que refleja un resultado neto realista, dando un incremento del 268.7% en la rentabilidad, demostrando que la incorporación de tecnologías de mantenimiento predictivo no solo reduce los costos por paradas no programadas y daños en componentes críticos de la perforadora UDR-650, sino que también maximiza la disponibilidad operativa, por lo tanto, se confirma la viabilidad económica y técnica del sistema propuesto como una estrategia eficaz para la optimización de recursos en exploraciones mineras.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Recomendaciones

Primera

La implementación del sistema de monitoreo predictivo debe iniciarse con un prototipo funcional aplicado a una sola perforadora, lo que permitirá validar la conectividad, la precisión de los sensores y el funcionamiento de las alertas antes de extenderlo a otras máquinas, minimizando el riesgo de fallos en los procesos y brindando información clave para ajustar el diseño en futuras investigaciones.

Segunda

El desarrollo de nuevas fases del proyecto debe incluir un seguimiento constante de los resultados, comparando los costos de operación reales con los estimados en la simulación inicial, de manera que se pueda cuantificar el ahorro en recursos y determinar el retorno de inversión, información que servirá de referencia para justificar mejoras técnicas y económicas en trabajos futuros.

Tercera

Capacitar al personal encargado en el manejo de la plataforma y en la interpretación de los datos obtenidos permitirá una respuesta rápida ante alertas, mejorando la toma de decisiones y la efectividad de las labores de mantenimiento.

Cuarta

Considerar la adaptación del sistema a otros modelos de perforadoras diamantinas, aprovechando que muchas comparten una estructura similar de subsistemas y componentes, lo que facilitaría su implementación en distintos escenarios operativos y mejoraría la estandarización en el monitoreo.

Quinta

Futuras investigaciones pueden enfocarse en evaluar la integración del sistema con plataformas en la nube para el almacenamiento y análisis de datos a gran escala, explorando herramientas de Big Data y Machine Learning que permitan identificar patrones de desgaste y generar modelos predictivos más precisos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Referencias

Aguilar, Á., & Vizcarra, W. (2019). *Diseño e implementación de un sistema de control distribuido para la medición de PH de una planta de colorantes naturales en la zona industrial de ATE.* Lima: Universidad Ricado Palma. Obtenido de https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/2622

Amazon. (2024). *Amazon Web Services.* Obtenido de Precios de AWS IoT Core: https://aws.amazon.com/es/iot-core/pricing/

Amazon. (2024). *Amazon Web Services.* Obtenido de Precios de capacidad bajo demanda: https://aws.amazon.com/es/dynamodb/pricing/on-demand/

Amazon. (2024). *Precios de Amazon API Gateway.* Obtenido de https://aws.amazon.com/es/api-gateway/pricing/

Amazon. (2024). *Precios de Amazon CloudFront.* Obtenido de https://aws.amazon.com/es/cloudfront/pricing/

Amazon. (2024). *Precios de Amazon CloudWatch.* Obtenido de https://aws.amazon.com/es/cloudwatch/pricing/

Amazon. (2024). *Precios de Amazon Cognito.* Obtenido de https://aws.amazon.com/es/cognito/pricing/

Amazon. (2024). *Precios de Amazon S3.* Obtenido de https://aws.amazon.com/es/s3/pricing/

Amazon. (2024). *Precios de Amazon S3.* Obtenido de https://aws.amazon.com/es/s3/pricing/

Amazon. (2024). *Serverless Computing - AWS Lambda.* Obtenido de https://aws.amazon.com/es/pm/lambda/

Amazon AWS . (2025). *AWS - ¿Qué es AWS IoT?* Obtenido de https://docs.aws.amazon.com/es_es/iot/latest/developerguide/what-is-aws-iot.html

Angeles, L. (2024). *Implementación de un sistema de telemetría, automatización y control para reservorios de agua potable utilizando tecnología IoT en la empresa prestadora de servicios de agua potable y alcantarillado Sedapar S.A.* Arequipa: Universidad Continental. Obtenido de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/14728/11/IV_FIN_103_TSP_Angeles_Pato_2024.pdf

Arce, J., & Pérez, J. (2022). *Sistema mecatrónico de monitoreo y transferencia de parámetros de perforación en tiempo real, empleando tecnología IoT para la perforadora diamantina Atlas Copco modelo cs-3001*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Obtenido de http://hdl.handle.net/10757/660823

Arroyo, C., & Obando, R. (2022). Importancia de la implementación de mantenimiento preventivo en las plantas de producción para optimizar procesos. *E-IDEA Journal of Engineering Science, 4*(10), 59-69. doi:https://doi.org/10.53734/esci.vol4.id240

Atlas Copco. (2017). *Professional Diamond Driller's Handbook.* Obtenido de https://narzedziawiertnicze.pl/wp-content/uploads/2016/07/poradnik_wiercen_rdzeniowych.pdf?utm_source=chatgpt.com

Autlan. (2018). *Comunidades Autlan*. Obtenido de El proceso de exploración minera paso por paso: https://comunidadesautlan.com/el-proceso-de-exploracion-minera-paso-por-paso/

Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2025). *Autoridad Nacional del Agua (ANA)*. Obtenido de https://www.ana.gob.pe/contenido/corporacion-perforaciones-del-peru-sac-ruc-20498305726

AWS. (2024). *Ubicaciones de zonas locales de AWS*. Obtenido de https://aws.amazon.com/es/about-aws/global-infrastructure/localzones/locations/

Bass L., C. P. (2012). *Software Architecture in Practice, 3rd Edition.* Boston, Massachusetts, Estados Unidos: Addison-Wesley Professional.

Becerra. (2021). GESTIÓN DE LA PERFORACIÓN DIAMANTINA A TRAVÉS DE METODOLOGÍAS ÁGILES (SCRUM – KANBAN). *PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ*, 63.

CACERES LLAZA, N. A. (2023). *PERFORACIÓN DIAMANTINA, APLICACIONES, PROCEDIMIENTOS Y VENTAJAS DE TALADROS ORIENTADOS EN LA EXPLORACIÓN MINERA-UEA ORCOPAMPA-MINA CHIPMO.* Obtenido de https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/d0986b61-f26c-45f6-be48-29ab980958ac/content

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Castañeda, G. (2021). *Optimización de la gestión del mantenimiento en máquinas perforadoras en la empresa consorcio JM SAC. sede Tantahuatay.* Chiclayo: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Obtenido de http://hdl.handle.net/20.500.12423/4275

Castilla, H. y. (2012). *El proceso de exploracíon minera mediante sondeos.* Madrid: Campus de excelencia internacional.

Cervantes, H. (2015). Smart Decisions: Un juego para aprender arquitectura y big data. *Saturn Conference*. Obtenido de https://sg.com.mx/revista/49/smart-decisions-un-juego-para-aprender-arquitectura-y-big-data

Cloudflare. (10 de Mayo de 2021). *Cloudflare*. Obtenido de ¿Qué es la nube? : https://www.cloudflare.com/es-es/learning/cloud/what-is-the-cloud/

Corella, J., & Reyes, J. (2022). *Elaboración de un sistema SCADA para el monitoreo y control en una línea automatizada de snacks fritos y acceso a tecnología 4.0.* Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.

D'Addario, M. (2015). *Gestión del mantenimiento preventivo correctivo.* CE.

e6data. (s.f.). *Stateful vs Stateless Stream Processing*. Obtenido de https://www.e6data.com/blog/stateful-vs-stateless-stream-processing

El Peruano. (13 de Noviembre de 2024). *Uno de cada 3 dólares que se invierten en exploración en Perú proviene de países del APEC*. Obtenido de https://www.elperuano.pe/noticia/257753-uno-de-cada-3-dolares-que-se-invierten-en-exploracion-en-peru-proviene-de-paises-del-apec

emaint. (2023). *What Is Criticality Analysis? Use Cases & Examples.* Obtenido de https://www.emaint.com/rank-assets-by-criticalness-for-a-more-effective-aca/

Escalante, F. (2019). *Redes Inalámbricas de sensores: Aplicaciones, Protocolos de enrutamiento y seguridad.* México: Universidad de Quintana Roo. Obtenido de https://risisbi.uqroo.mx/bitstream/handle/20.500.12249/2707/tk7872.d48.2019-2707.pdf?sequence=1

Estrella, A., Segura, G., & Sandoval, E. (2023). *Sistemas de gestión de indicadores clave de despeño (KPIS) en procesos.* Editorial Académica Española.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Fiix software. (2024). *Criticality analysis: What is it and how is it done?* Obtenido de https://fiixsoftware.com/blog/criticality-analysis-what-is-it-and-how-is-it-done/

Gahona, R., & Gavilema, A. (2020). *Diseño de la red internet de las cosas (IOT) para el edificio de la empresa CONSEL.* Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18755

Gestión. (13 de Marzo de 2025). *Titular del Minem: 44 % del territorio peruano todavía no ha sido explorado por la minería*. Obtenido de https://gestion.pe/economia/titular-del-minem-44-del-territorio-peruano-todavia-no-ha-sido-explorado-por-la-mineria-noticia/

Gonzáles, G., & Rodríguez, F. (2018). Automatización de una planta industrial de alimentación mediante control distribuido. *Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información*. doi:10.17013/risti.27.1–17

Guerrero, R. (2018). *Mantenimiento preventivo de sistemas domóticos e inmóticos. ELEM0111.* IC Editorial.

Hendriks, F., Van der Hooft, S., & Clements, M. (October de 2020). *The Internet of Things: Microsoft's view for the future October 2020* . Obtenido de Compact: https://www.compact.nl/articles/the-internet-of-things-microsofts-view-for-the-future/

Hernandez, M. (2022). *Gestión de mantenimiento para incrementar la disponibilidad de máquinas perforadoras en una empresa minera de Cajamarca 2022.* Cajamarca: Universidad Privada del Norte. Obtenido de https://hdl.handle.net/11537/31047

Hinostroza, J. (2019). *Implementación de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de las perforadoras diamantinas en la Empresa Geotecnia Peruana S.R.L., del distrito de Ate, Lima 2019.* Lima: Universidad César Vallejo. Obtenido de https://hdl.handle.net/20.500.12692/44234

Huacho, W. (2022). *Diseño de un módulo de control basado en plataforma IOT para el monitoreo remoto de motores de inducción de baja potencia. Huancayo - 2022.* Huancayo: Universidad Continental. Obtenido de https://hdl.handle.net/20.500.12394/12585

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Iberdrola. (20 de Noviembre de 2021). *¿Qué es el IIoT? Descubre el Internet Industrial de las Cosas.* Obtenido de Iberdrola: https://www.iberdrola.com/innovacion/que-es-iiot.

IBM. (15 de Diciembre de 2021). *¿Qué es cloud computing?* Obtenido de IBM CLOUD: https://www.ibm.com/pe-es/cloud/learn/cloud-computing

IEC. (Agosto de 2018). *Failure modes and effects analysis (FMEA and FMECA).* Obtenido de https://cdn.standards.iteh.ai/samples/21903/331059ef02794b548d049d58b18e456f/IEC-60812-2018.pdf

Isasi. (Setiembre de 2008). *Minem.* Obtenido de Minería en el Perú: https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/institucional/publicaciones/presentaciones/exposicion_minas_espa.pdf

ISO. (2016). *ISO 14224:2016.* Obtenido de https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:14224:ed-3:v2:en

Jameson, L. (2010). Advances in Diamond Core Drilling Technology. *Proceedings of the 36th Annual Conference on Explosives and Blasting Technique*, (pág. 48). San Antonio, Texas.

Mendoza, R., & Cordero, V. (2022). *Diseño de un sistema IoT para el monitoreo remoto de la calidad del aire en ambientes interiores de la Facultad de Ingeniería de la universidad Privada de Tacna.* Tacna: Universidad Privada de Tacna. Obtenido de http://hdl.handle.net/20.500.12969/2630

MINEM. (2025). *Boletín Estadístico Minero*. Obtenido de https://www.gob.pe/institucion/minem/colecciones/6-boletin-estadistico-minero

Montesdeoca, D., & Buñay, D. (2021). *Creación de sistemas SCADA para el laboratorio micro-red de la Universidad de Cuenca bajo el enfoque de desarrollo dirigido por modelos.* Cuenca: Universidad de Cuenca. Obtenido de https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/37333/1/Trabajo%20de%20Titulacion.pdf

Mukarram, A., Waheb, J., Noorzliza, S., & Suliman, A. (December de 2022). A Survey on LoRaWAN Technology: Recent Trends, Opportunities, Simulation Tools and

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Future Directions. *Electronics, 11*(1), pág. 164. doi:https://doi.org/10.3390/electronics11010164

Muñuri, H., & Ramirez, C. (2022). *Gestión de mantenimiento preventivo de la perforadora superdrill H600 para mejorar su disponibilidad en una empresa minera en la Libertad 2021*. Trujillo: Universidad Privada del Norte. Obtenido de https://hdl.handle.net/11537/29496

Nayhua, J. (2019). *Diseño de un Plan Mantenimiento con la Metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para Perforadoras Atlas COPCO CT20 en la Empresa Explodrilling.* Arequipa: Universidad Católica de Santa María. Obtenido de https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/8371

OCDE. (2007). *Panorama de la Educación.* Obtenido de https://www.oecd.org/content/dam/oecd/es/publications/reports/2007/09/education-at-a-glance-2007_g1gh7f6d/9789264066045-es.pdf

Pees. (2004). *Inventor and History*. Obtenido de Oil History: http://www.petroleumhistory.org/OilHistory/pages/Diamond/inventor.html

Pérez, E. (2015). Los sistemas SCADA en la automatización industrial. *Tecnología en Marcha, 28*(4), 3-14.

Predictiva 21. (2019). *Cambios en la norma ISO 14224:2016.* Obtenido de https://predictiva21.com/cambios-en-la-norma-iso-142242016

RAMIRO, O. T. (2021). *"DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LAS PERFORADORAS DIAMANTINAS DE MINERIA SUBTERRANEA Y SUPERFICIE DE LA EMPRESA ROCKDRILL*. Obtenido de https://repositorio.unac.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/5ea76aa8-1485-481f-b49c-c2809b885bdc/content

RedHat. (16 de Enero de 2022). *Red Hat.* Obtenido de https://www.redhat.com/es/topics/cloud

Rueda, J., & Talavera, J. (2017). *Similitudes y diferencias entre Redes de Sensores Inalámbricas e Internet de las Cosas: Hacia una postura clarificadora.* Colombia: Revista Colombiana de Computación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Runge, I. (2019). *Principles of Drill and Blast.* Brisbane, Queensland, Australia: Mining Economics .

Salas. (2016). ANÁLISIS Y MEJORA DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE PERFORACIÓN EN DIAMANTINA UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DMAIC. *UNIVERSIDAD ANDRES BELLO*, 82.

Salazar, J., & Silvestre, S. (2018). *Internet de las Cosas.* TechPedia. Obtenido de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100921/LM08_R_ES.pdf

Sánchez, A. (2017). *TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO. METODOLOGIA DE APLICACIÓN EN LAS ORGANIZACIONES.* Bogotá: Universidad Católica de Colombia.

Sánchez, L., Rosas, C., & Pavez, C. (2016). *Perforación Diamantina.* Santiago: Instituto Profesional AIEP. Obtenido de https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-de-san-agustin-de-arequipa/sistemas-operativos/perforacion-diamantina-tesis/99663918

Sarmiento, R. (2021). *DESARROLLO Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO DE UNA PLANTA LLENADORA DE BOTELLAS CONTROLADO MEDIANTE PLC.* San Pedro Sula: Centro Universitario Tecnológico. Obtenido de https://red.uao.edu.co/entities/publication/8ccc8331-c87f-4c96-bee8-88c2d78e8f8e

Stamatis, D. H. (2003). *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA From Theory to Execution.* Milwaukee, Wisconsin, Estados Unidos: ASQ Quality Press.

THE DRILLER. (2015). *Drill Rods and Minimizing Operating Costs*. Obtenido de https://www.thedriller.com/articles/90278-drill-rods-and-minimizing-operating-costs?utm_source=chatgpt.com

UpKeep. (2023). *¿Cuál es la diferencia entre el análisis de criticidad y el de riesgo con respecto al mantenimiento y la confiabilidad?* Obtenido de https://upkeep.com/es/learning/what-is-the-difference-between-criticality-and-risk-analysis-with-regards-to-maintenance-and-reliability/

Uribe, S. (2020). Aplicación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de la máquina remalladora de una empresa textil. *Ingeniería Industrial, 38*(38), 15-31. Obtenido de https://revistas.ulima.edu.pe/index.php/Ingenieria_industrial/article/view/4763

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Valenciano, C. (2023). El poder de la telemetría en la agroindustria del Perú. *Ciencia y Tecnología, 40*, 42-43. Obtenido de https://alaisecure.pe/pdfs/noticias/alai-secure-el-poder-de-la-telemetria-agroperu-40-2023.pdf

Vera, R., & Torres, R. (2021). Pautas de un programa de mantenimiento y su importancia en el proceso agroindustrial. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología E Investigación, 4*(8), 96-113. doi:https://doi.org/10.46296/ig.v4i8.0025

Yacila. (04 de Julio de 2021). *Logueo y corte de testigos, imprescindibles para una exploración minera eficaz*. Obtenido de SGS Peru Blog: https://www.sgs.com/es-pe/noticias/2021/07/corte-y-logueo-gaby-yacila

Zambrano, J., & Pérez, J. (2021). Estudio de la aplicación del mantenimiento predictivo en motores diésel en la provincia de Manabí. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología E Investigación, 4*(8), 96-116. doi:https://doi.org/10.46296/ig.v4i8edespdic.0053

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Anexos

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Factores ponderados de criticidad

Anexo 1.

Factores ponderados de criticidad – Sistemas

Sistema estructural	
Frecuencia de fallos	
Mayor a 4 fallos año	4
3-4 fallas año	3
1-2 fallas año	2
No presenta fallas al año	1
Impacto Operacional	
Salida de operación mayor a 8 horas	10
Impacta en niveles de producción o calidad	6
Impacto operacional por antigüedad de equipo mayor a 10 años	4
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	2
Flexibilidad operacional	
No existe equipo de respaldo	4
Hay equipo de respaldo	2
Se tiene equipo de repuesto disponible en almacén	1
Costos de mantenimiento	
Mayor o igual a $3000	2
Inferior a $3000	1
Impacto SAH	
Afecta la seguridad humana	8
Afecta el ambiente produciendo daños reversibles	6
Provoca daños menores (accidentes e incidentes)	4
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	3
No provoca ningún tipo de daños apersonas o impactos al medio ambiente	0

Sistema de potencia	
Frecuencia de fallos	
Mayor a 4 fallos año	4
3-4 fallas año	3
1-2 fallas año	2
No presenta fallas al año	1
Impacto Operacional	
Salida de operación mayor a 8 horas	10
Impacta en niveles de producción o calidad	6
Impacto operacional por antigüedad de equipo mayor a 10 años	4
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	2
Flexibilidad operacional	
No existe equipo de respaldo	4
Hay equipo de respaldo	2
Se tiene equipo de repuesto disponible en almacén	1
Costos de mantenimiento	
Mayor o igual a $3000	2
Inferior a $3000	1
Impacto SAH	
Afecta la seguridad humana	8
Afecta el ambiente produciendo daños reversibles	6
Provoca daños menores (accidentes e incidentes)	4
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	3
No provoca ningún tipo de daños apersonas o impactos al medio ambiente	0

Sistema eléctrico	
Frecuencia de fallos	
Mayor a 4 fallos año	4
3-4 fallas año	3
1-2 fallas año	2
No presenta fallas al año	1
Impacto Operacional	
Salida de operación mayor a 8 horas	10
Impacta en niveles de producción o calidad	6
Impacto operacional por antigüedad de equipo mayor a 10 años	4
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	2
Flexibilidad operacional	
No existe equipo de respaldo	4
Hay equipo de respaldo	2
Se tiene equipo de repuesto disponible en almacén	1
Costos de mantenimiento	
Mayor o igual a $3000	2
Inferior a $3000	1
Impacto SAH	
Afecta la seguridad humana	8
Afecta el ambiente produciendo daños reversibles	6
Provoca daños menores (accidentes e incidentes)	4
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	3
No provoca ningún tipo de daños apersonas o impactos al medio ambiente	0

Sistema hidráulico	
Frecuencia de fallos	
Mayor a 4 fallos año	4
3-4 fallas año	3
1-2 fallas año	2
No presenta fallas al año	1
Impacto Operacional	
Salida de operación mayor a 8 horas	10
Impacta en niveles de producción o calidad	6
Impacto operacional por antigüedad de equipo mayor a 10 años	4
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	2
Flexibilidad operacional	
No existe equipo de respaldo	4
Hay equipo de respaldo	2
Se tiene equipo de repuesto disponible en almacén	1
Costos de mantenimiento	
Mayor o igual a $3000	2
Inferior a $3000	1
Impacto SAH	
Afecta la seguridad humana	8
Afecta el ambiente produciendo daños reversibles	6
Provoca daños menores (accidentes e incidentes)	4
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	3
No provoca ningún tipo de daños apersonas o impactos al medio ambiente	0

Sistema de instalación	
Frecuencia de fallos	
Mayor a 4 fallos año	4
3-4 fallas año	3
1-2 fallas año	2
No presenta fallas al año	1
Impacto Operacional	
Salida de operación mayor a 8 horas	10
Impacta en niveles de producción o calidad	6
Impacto operacional por antigüedad de equipo mayor a 10 años	4
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	2
Flexibilidad operacional	
No existe equipo de respaldo	4
Hay equipo de respaldo	2
Se tiene equipo de repuesto disponible en almacén	1
Costos de mantenimiento	
Mayor o igual a $3000	2
Inferior a $3000	1
Impacto SAH	
Afecta la seguridad humana	8
Afecta el ambiente produciendo daños reversibles	6
Provoca daños menores (accidentes e incidentes)	4
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	3
No provoca ningún tipo de daños apersonas o impactos al medio ambiente	0

Sistema de perforación	
Frecuencia de fallos	
Mayor a 4 fallos año	4
3-4 fallas año	3
1-2 fallas año	2
No presenta fallas al año	1
Impacto Operacional	
Salida de operación mayor a 8 horas	10
Impacta en niveles de producción o calidad	6
Impacto operacional por antigüedad de equipo mayor a 10 años	4
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	2
Flexibilidad operacional	
No existe equipo de respaldo	4
Hay equipo de respaldo	2
Se tiene equipo de repuesto disponible en almacén	1
Costos de mantenimiento	
Mayor o igual a $3000	2
Inferior a $3000	1
Impacto SAH	
Afecta la seguridad humana	8
Afecta el ambiente produciendo daños reversibles	6
Provoca daños menores (accidentes e incidentes)	4
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	3
No provoca ningún tipo de daños apersonas o impactos al medio ambiente	0

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Anexo 2.

Factores ponderados de criticidad – Subsistemas

Sistema de distribución	
Frecuencia de fallos	
Mayor a 4 fallos año	4
3-4 fallas año	3
1-2 fallas año	2
No presenta fallas al año	1
Impacto Operacional	
Salida de operación mayor a 8 horas	10
Impacta en niveles de producción o calidad	6
Impacto operacional por antigüedad de equipo mayor a 10 años	4
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	2
Flexibilidad operacional	
No existe equipo de respaldo	4
Hay equipo de respaldo	2
Se tiene equipo de repuesto disponible en almacén	1
Costos de mantenimiento	
Mayor o igual a $3000	2
Inferior a $3000	1
Impacto SAH	
Afecta la seguridad humana	8
Afecta el ambiente produciendo daños reversibles	6
Provoca daños menores (accidentes e incidentes)	4
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	3
No provoca ningún tipo de daños apersonas o impactos al medio ambiente	0

Panel de control	
Frecuencia de fallos	
Mayor a 4 fallos año	4
3-4 fallas año	3
1-2 fallas año	2
No presenta fallas al año	1
Impacto Operacional	
Salida de operación mayor a 8 horas	10
Impacta en niveles de producción o calidad	6
Impacto operacional por antigüedad de equipo mayor a 10 años	4
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	2
Flexibilidad operacional	
No existe equipo de respaldo	4
Hay equipo de respaldo	2
Se tiene equipo de repuesto disponible en almacén	1
Costos de mantenimiento	
Mayor o igual a $3000	2
Inferior a $3000	1
Impacto SAH	
Afecta la seguridad humana	8
Afecta el ambiente produciendo daños reversibles	6
Provoca daños menores (accidentes e incidentes)	4
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	3
No provoca ningún tipo de daños apersonas o impactos al medio ambiente	0

Sistema de estabilización	
Frecuencia de fallos	
Mayor a 4 fallos año	4
3-4 fallas año	3
1-2 fallas año	2
No presenta fallas al año	1
Impacto Operacional	
Salida de operación mayor a 8 horas	10
Impacta en niveles de producción o calidad	6
Impacto operacional por antigüedad de equipo mayor a 10 años	4
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	2
Flexibilidad operacional	
No existe equipo de respaldo	4
Hay equipo de respaldo	2
Se tiene equipo de repuesto disponible en almacén	1
Costos de mantenimiento	
Mayor o igual a $3000	2
Inferior a $3000	1
Impacto SAH	
Afecta la seguridad humana	8
Afecta el ambiente produciendo daños reversibles	6
Provoca daños menores (accidentes e incidentes)	4
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	3
No provoca ningún tipo de daños apersonas o impactos al medio ambiente	0

Sistema de inclinación	
Frecuencia de fallos	
Mayor a 4 fallos año	4
3-4 fallas año	3
1-2 fallas año	2
No presenta fallas al año	1
Impacto Operacional	
Salida de operación mayor a 8 horas	10
Impacta en niveles de producción o calidad	6
Impacto operacional por antigüedad de equipo mayor a 10 años	4
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	2
Flexibilidad operacional	
No existe equipo de respaldo	4
Hay equipo de respaldo	2
Se tiene equipo de repuesto disponible en almacén	1
Costos de mantenimiento	
Mayor o igual a $3000	2
Inferior a $3000	1
Impacto SAH	
Afecta la seguridad humana	8
Afecta el ambiente produciendo daños reversibles	6
Provoca daños menores (accidentes e incidentes)	4
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	3
No provoca ningún tipo de daños apersonas o impactos al medio ambiente	0

Sistema de rotación	
Frecuencia de fallos	
Mayor a 4 fallos año	4
3-4 fallas año	3
1-2 fallas año	2
No presenta fallas al año	1
Impacto Operacional	
Salida de operación mayor a 8 horas	10
Impacta en niveles de producción o calidad	6
Impacto operacional por antigüedad de equipo mayor a 10 años	4
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	2
Flexibilidad operacional	
No existe equipo de respaldo	4
Hay equipo de respaldo	2
Se tiene equipo de repuesto disponible en almacén	1
Costos de mantenimiento	
Mayor o igual a $3000	2
Inferior a $3000	1
Impacto SAH	
Afecta la seguridad humana	8
Afecta el ambiente produciendo daños reversibles	6
Provoca daños menores (accidentes e incidentes)	4
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	3
No provoca ningún tipo de daños apersonas o impactos al medio ambiente	0

Sistema de empuje	
Frecuencia de fallos	
Mayor a 4 fallos año	4
3-4 fallas año	3
1-2 fallas año	2
No presenta fallas al año	1
Impacto Operacional	
Salida de operación mayor a 8 horas	10
Impacta en niveles de producción o calidad	6
Impacto operacional por antigüedad de equipo mayor a 10 años	4
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	2
Flexibilidad operacional	
No existe equipo de respaldo	4
Hay equipo de respaldo	2
Se tiene equipo de repuesto disponible en almacén	1
Costos de mantenimiento	
Mayor o igual a $3000	2
Inferior a $3000	1
Impacto SAH	
Afecta la seguridad humana	8
Afecta el ambiente produciendo daños reversibles	6
Provoca daños menores (accidentes e incidentes)	4
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	3
No provoca ningún tipo de daños apersonas o impactos al medio ambiente	0

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Anexo 3.

Factores ponderados de criticidad – Componentes

Castillo de Perforación	
Frecuencia de fallos	
Mayor a 4 fallos año	4
3-4 fallas año	3
1-2 fallas año	2
No presenta fallas al año	1
Impacto Operacional	
Salida de operación mayor a 8 horas	10
Impacta en niveles de producción o calidad	6
Impacto operacional por antigüedad de equipo mayor a 10 años	4
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	2
Flexibilidad operacional	
No existe equipo de respaldo	4
Hay equipo de respaldo	2
Se tiene equipo de repuesto disponible en almacén	1
Costos de mantenimiento	
Mayor o igual a $3000	2
Inferior a $3000	1
Impacto SAH	
Afecta la seguridad humana	8
Afecta el ambiente produciendo daños reversibles	6
Provoca daños menores (accidentes e incidentes)	4
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	3
No provoca ningún tipo de daños apersonas o impactos al medio ambiente	0

Arbol de levas	
Frecuencia de fallos	
Mayor a 4 fallos año	4
3-4 fallas año	3
1-2 fallas año	2
No presenta fallas al año	1
Impacto Operacional	
Salida de operación mayor a 8 horas	10
Impacta en niveles de producción o calidad	6
Impacto operacional por antigüedad de equipo mayor a 10 años	4
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	2
Flexibilidad operacional	
No existe equipo de respaldo	4
Hay equipo de respaldo	2
Se tiene equipo de repuesto disponible en almacén	1
Costos de mantenimiento	
Mayor o igual a $3000	2
Inferior a $3000	1
Impacto SAH	
Afecta la seguridad humana	8
Afecta el ambiente produciendo daños reversibles	6
Provoca daños menores (accidentes e incidentes)	4
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	3
No provoca ningún tipo de daños apersonas o impactos al medio ambiente	0

Eje de potencia	
Frecuencia de fallos	
Mayor a 4 fallos año	4
3-4 fallas año	3
1-2 fallas año	2
No presenta fallas al año	1
Impacto Operacional	
Salida de operación mayor a 8 horas	10
Impacta en niveles de producción o calidad	6
Impacto operacional por antigüedad de equipo mayor a 10 años	4
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	2
Flexibilidad operacional	
No existe equipo de respaldo	4
Hay equipo de respaldo	2
Se tiene equipo de repuesto disponible en almacén	1
Costos de mantenimiento	
Mayor o igual a $3000	2
Inferior a $3000	1
Impacto SAH	
Afecta la seguridad humana	8
Afecta el ambiente produciendo daños reversibles	6
Provoca daños menores (accidentes e incidentes)	4
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	3
No provoca ningún tipo de daños apersonas o impactos al medio ambiente	0

Unidad de control	
Frecuencia de fallos	
Mayor a 4 fallos año	4
3-4 fallas año	3
1-2 fallas año	2
No presenta fallas al año	1
Impacto Operacional	
Salida de operación mayor a 8 horas	10
Impacta en niveles de producción o calidad	6
Impacto operacional por antigüedad de equipo mayor a 10 años	4
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	2
Flexibilidad operacional	
No existe equipo de respaldo	4
Hay equipo de respaldo	2
Se tiene equipo de repuesto disponible en almacén	1
Costos de mantenimiento	
Mayor o igual a $3000	2
Inferior a $3000	1
Impacto SAH	
Afecta la seguridad humana	8
Afecta el ambiente produciendo daños reversibles	6
Provoca daños menores (accidentes e incidentes)	4
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	3
No provoca ningún tipo de daños apersonas o impactos al medio ambiente	0

Iluminación de la máquina	
Frecuencia de fallos	
Mayor a 4 fallos año	4
3-4 fallas año	3
1-2 fallas año	2
No presenta fallas al año	1
Impacto Operacional	
Salida de operación mayor a 8 horas	10
Impacta en niveles de producción o calidad	6
Impacto operacional por antigüedad de equipo mayor a 10 años	4
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	2
Flexibilidad operacional	
No existe equipo de respaldo	4
Hay equipo de respaldo	2
Se tiene equipo de repuesto disponible en almacén	1
Costos de mantenimiento	
Mayor o igual a $3000	2
Inferior a $3000	1
Impacto SAH	
Afecta la seguridad humana	8
Afecta el ambiente produciendo daños reversibles	6
Provoca daños menores (accidentes e incidentes)	4
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	3
No provoca ningún tipo de daños apersonas o impactos al medio ambiente	0

Bombas hidráulicas	
Frecuencia de fallos	
Mayor a 4 fallos año	4
3-4 fallas año	3
1-2 fallas año	2
No presenta fallas al año	1
Impacto Operacional	
Salida de operación mayor a 8 horas	10
Impacta en niveles de producción o calidad	6
Impacto operacional por antigüedad de equipo mayor a 10 años	4
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	2
Flexibilidad operacional	
No existe equipo de respaldo	4
Hay equipo de respaldo	2
Se tiene equipo de repuesto disponible en almacén	1
Costos de mantenimiento	
Mayor o igual a $3000	2
Inferior a $3000	1
Impacto SAH	
Afecta la seguridad humana	8
Afecta el ambiente produciendo daños reversibles	6
Provoca daños menores (accidentes e incidentes)	4
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	3
No provoca ningún tipo de daños apersonas o impactos al medio ambiente	0

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Debido a que las tablas de factores ponderados de criticidad son muy extensas, comprendiendo todos los sistemas, subsistemas y componentes, se optó por presentar los primeros cuadros de cada sección. No obstante, se incluyó un código QR que permite acceder al archivo completo en Excel donde está todo el análisis.

Anexo 4.

QR de archivo Excel de factores ponderados de criticidad



https://drive.google.com/drive/folders/1Efr_E5w1zqwxiNsk6Lm4xQcrvtcqzySU?usp=sharing

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

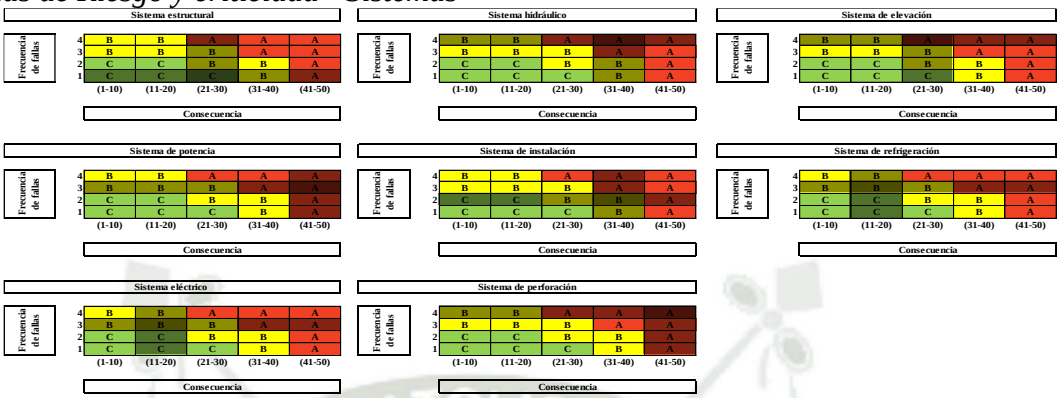
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tablas de riesgo y criticidad

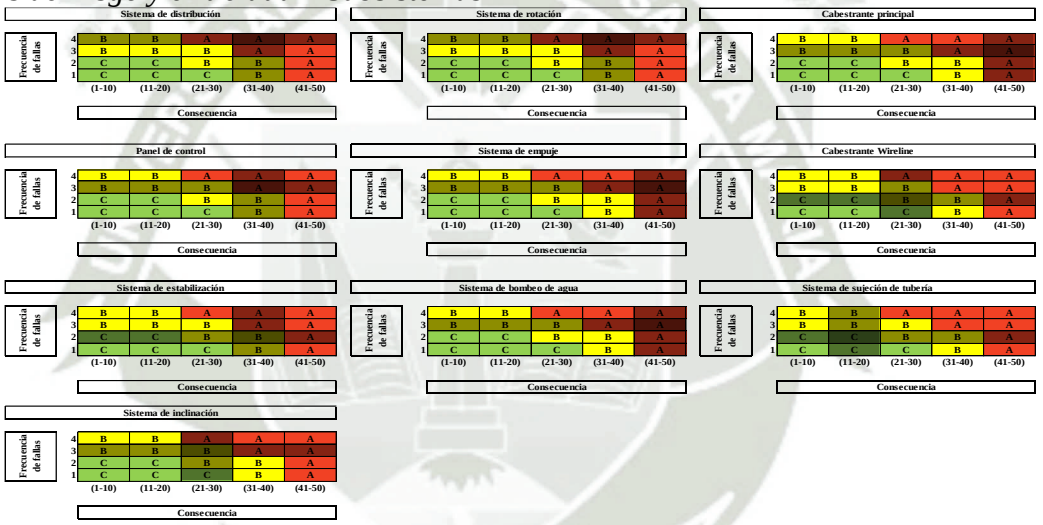
Anexo 5.

Tablas de Riesgo y criticidad - Sistemas



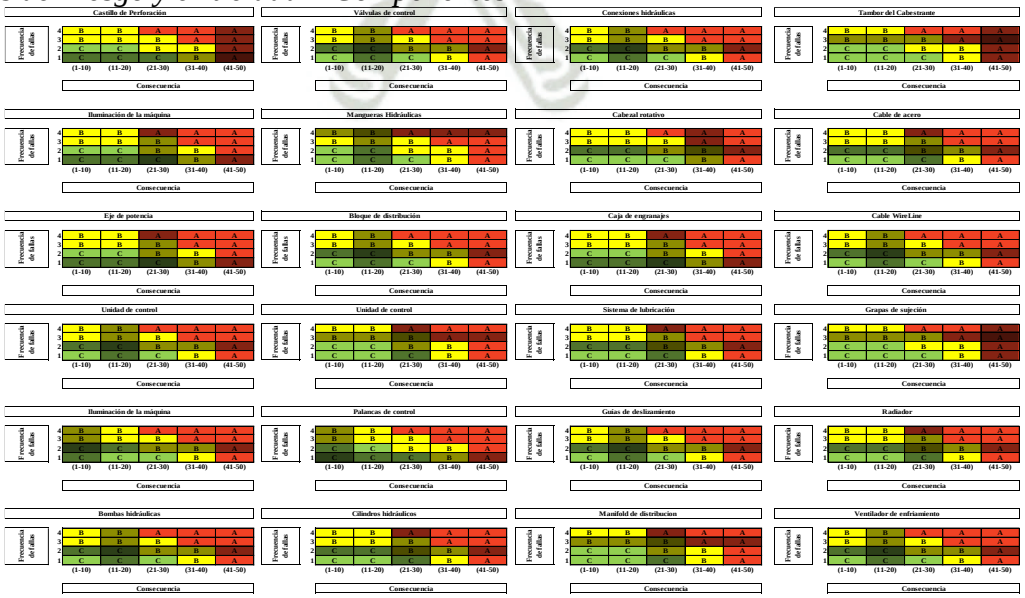
Anexo 6.

Tablas de Risgo y criticidad – Subsistemas



Anexo 7.

Tablas de Riesgo y criticidad – Componentes



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Análisis de medición de componentes (temp. – db – vib.)

Debido a que la tabla de monitoreo de temperatura, sonido y vibración es muy extensa, comprendiendo un periodo de 3 meses con aproximadamente 1200 valores por mes, se optó por presentar vistas generales. No obstante, se incluyó un código QR que permite acceder tanto al archivo completo en Excel como al panel en Power BI para su análisis.

Anexo 8.

QR de archivo Excel de análisis de medición de componentes

https://drive.google.com/drive/folders/1dM0J2XHF5s0V2oRG0AW2aoQR7oMqDfhb?usp=sharing

Anexo 9.

Tabla de medición de temperatura, sonido y vibración – vista general

DATOS GENERALES				EJE DE POTENCIA (Sistema de potencia (Motor))			BOMBA HIDRAULICA PRINCIPAL (Sistema hidráulico)			BLOQUE DE DISTRIBUCION (Sistema hidráulico)		
PARAMETROS				82-96	88-98	4-7	55-65	70-80	3-8	40-60	55-65	1-4
Fecha	Hora	Sondaje	Profundidad (m)	Temperatura (°C)	Sonido (dB)	Vibración (mm/s)	Temperatura (°C)	Sonido (dB)	Vibración (mm/s)	Temperatura (°C)	Sonido (dB)	Vibración (mm/s)
sábado, 1 de Febrero de 2025	00:00:00	05	210	84.72	88.53	4.46	58.82	74.34	4.29	43.81	62.73	1.76
sábado, 1 de Febrero de 2025	06:00:00	05	-	85.07	88.66	4.51	59.74	75.04	4.25	44.40	62.67	1.98
sábado, 1 de Febrero de 2025	12:00:00	05	-	87.54	88.29	4.5	61.89	74.32	4.3	46.07	63.51	1.86
sábado, 1 de Febrero de 2025	18:00:00	05	-	86.69	88.44	4.55	60.00	75.18	4.19	45.44	63.19	1.85
domingo, 2 de Febrero de 2025	00:00:00	05	242	84.98	89.01	4.59	59.03	74.98	4.44	43.42	63.03	2.07
domingo, 2 de Febrero de 2025	06:00:00	05	-	85.32	88.3	4.43	59.82	74.65	4.26	44.76	63.63	2
domingo, 2 de Febrero de 2025	12:00:00	05	-	87.79	88.17	4.51	62.39	74.9	4.46	46.88	62.85	1.94
domingo, 2 de Febrero de 2025	18:00:00	05	-	86.31	89.01	4.61	60.89	75.04	4.42	45.10	63.07	2.11
lunes, 3 de Febrero de 2025	00:00:00	05	269	85.83	88.68	4.52	58.80	75.24	4.65	44.19	63.16	2.03
lunes, 3 de Febrero de 2025	06:00:00	05	-	86.93	88.97	4.57	60.30	74.88	4.72	45.13	63.45	2.19
lunes, 3 de Febrero de 2025	12:00:00	05	-	88.34	88.24	4.76	61.04	75.59	4.44	47.78	63.83	1.98
lunes, 3 de Febrero de 2025	18:00:00	05	-	87.13	88.68	4.88	60.86	75.43	4.77	46.06	62.58	2.04
martes, 4 de Febrero de 2025	00:00:00	05	297	85.04	88.43	4.75	58.80	75.56	4.65	44.13	63.84	1.96
martes, 4 de Febrero de 2025	06:00:00	05	-	86.22	88.59	4.72	59.04	74.95	4.72	45.73	63.48	2.01
martes, 4 de Febrero de 2025	12:00:00	05	-	88.45	88.95	4.79	61.84	75.7	4.69	47.65	63.28	2.13
martes, 4 de Febrero de 2025	18:00:00	05	-	87.04	88.78	4.8	61.10	75.45	4.92	46.50	64.08	2.3
miércoles, 5 de Febrero de 2025	00:00:00	05	325	86.56	88.35	4.92	58.58	74.83	4.68	45.39	63.37	2.29
miércoles, 5 de Febrero de 2025	06:00:00	05	-	87.07	89.27	5	59.32	74.68	4.77	46.51	63.34	2.23
miércoles, 5 de Febrero de 2025	12:00:00	05	-	89.16	89.12	4.92	62.31	75.05	5.08	48.03	63.43	2.13
miércoles, 5 de Febrero de 2025	18:00:00	05	-	88.07	89.01	5.09	61.36	76.05	5.08	47.59	63.8	2.2
jueves, 6 de Febrero de 2025	00:00:00	05	360	86.08	88.65	5.05	58.99	75.79	5.08	45.84	63.67	2.3
jueves, 6 de Febrero de 2025	06:00:00	05	-	87.00	89.13	4.96	59.67	75.22	5.07	46.16	63.78	2.4
jueves, 6 de Febrero de 2025	12:00:00	05	-	89.75	88.67	5.15	62.37	75.13	5.09	48.72	63.83	2.35
jueves, 6 de Febrero de 2025	18:00:00	05	-	89.00	88.69	4.97	60.42	75.18	5.22	47.79	62.75	2.38
viernes, 7 de Febrero de 2025	00:00:00	05	387	87.70	89.11	5.04	58.19	75.64	5.29	46.55	63.56	2.32
viernes, 7 de Febrero de 2025	06:00:00	05	-	88.29	89.28	4.99	59.04	75.27	5.32	47.84	63.27	2.26
viernes, 7 de Febrero de 2025	12:00:00	05	-	90.26	88.98	5.33	61.18	75.5	5.16	49.52	63.5	2.31
viernes, 7 de Febrero de 2025	18:00:00	05	-	89.21	88.86	5.14	61.19	75.91	5.39	48.01	63.91	2.55
sábado, 8 de Febrero de 2025	00:00:00	05	412	87.96	89.09	5.32	58.22	75.58	5.36	46.48	63.58	2.4
sábado, 8 de Febrero de 2025	06:00:00	05	-	88.11	89.09	5.27	59.63	75.77	5.2	47.71	63.77	2.39
sábado, 8 de Febrero de 2025	12:00:00	05	-	90.05	89.59	5.16	61.21	75.74	5.55	49.71	63.74	2.48
sábado, 8 de Febrero de 2025	18:00:00	05	-	89.99	88.77	5.45	60.00	75.51	5.4	48.34	63.51	2.43
domingo, 9 de Febrero de 2025	00:00:00	05	441	88.32	88.64	5.22	58.33	75.09	5.35	47.52	63.09	2.53
domingo, 9 de Febrero de 2025	06:00:00	05	-	89.13	89.16	5.51	60.07	75.52	5.38	48.15	63.52	2.47
domingo, 9 de Febrero de 2025	12:00:00	05	-	91.86	89.33	5.46	61.54	75.57	5.69	50.06	63.57	2.51

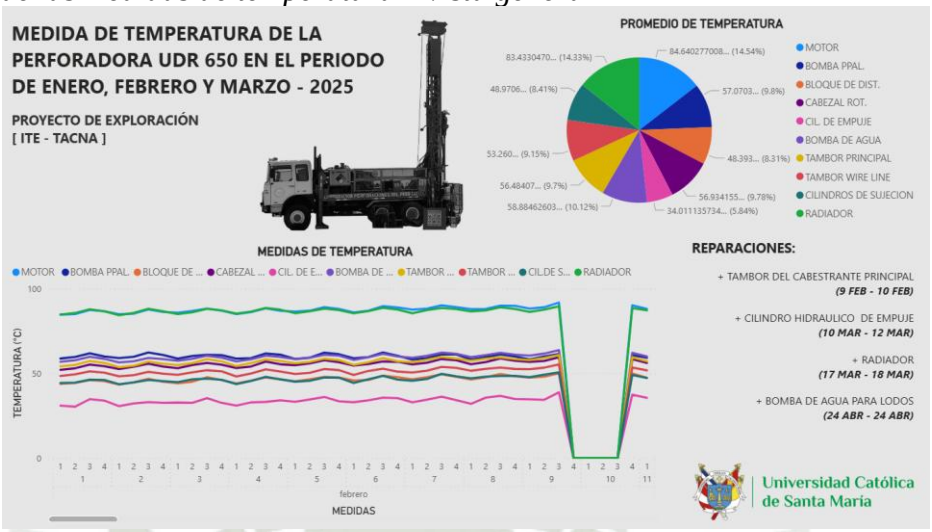
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

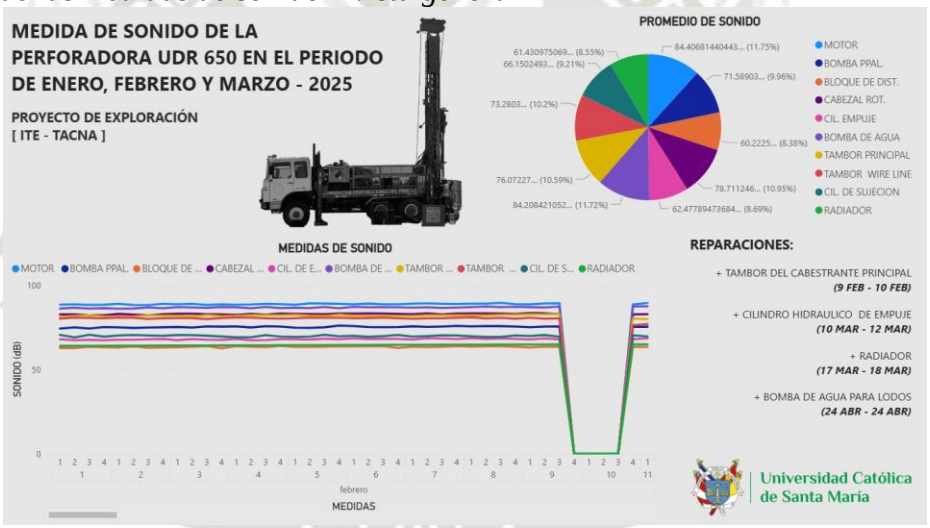
Anexo 10.

Gráficos de las medidas de temperatura – vista general



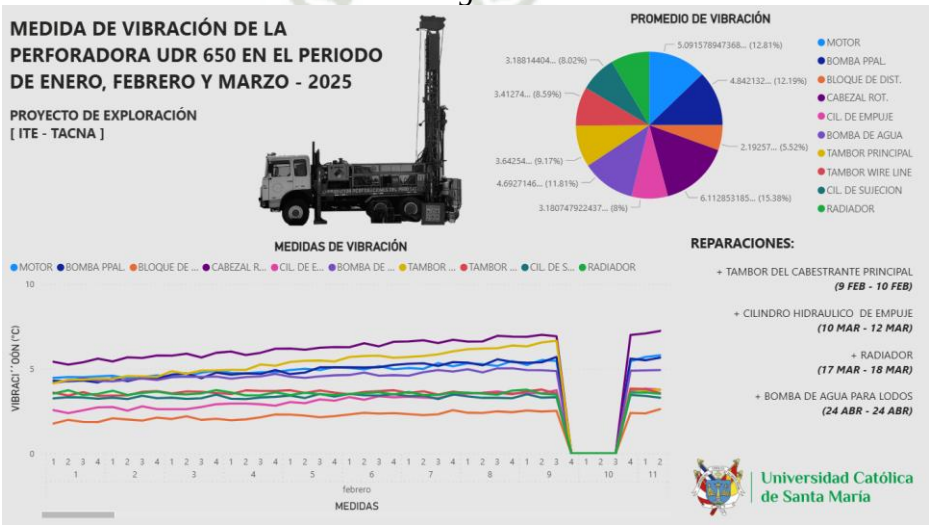
Anexo 11.

Gráficos de las medidas de sonido – vista general



Anexo 12.

Gráficos de las medidas de vibración – vista general



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Códigos de nodo de monitoreo y gateway

Para la inclusión de los códigos completos tanto de Arduino como de Python utilizados en el prototipo de monitoreo predictivo, se empleó la herramienta Ray.so. Esto permitió mostrar el código en formato de imagen, con sintaxis resaltada y manteniendo la estructura original, lo que mejora significativamente su legibilidad y comprensión. Presentar el código de esta manera garantiza que todas las instrucciones, funciones y detalles implementados en el microcontrolador se visualicen correctamente, evitando errores de interpretación por problemas de formato o identación. Esta estrategia asegura que el lector pueda revisar la implementación completa del sistema sin comprometer la claridad ni la presentación del documento.

Anexo 13.

Código de nodo de monitoreo – Arduino

CÓDIGO DE NODO DE MONITOREO

```
/*
  Nodo de Monitoreo – UDR650

  Se debe tener en cuenta lo siguiente:
  Sensores:
    - MLX90614 (Temperatura, °C)
    - MPU6050 (Vibración, mm/s)
    - SEN-12642 (Sonido, dB) -> Mediana cada 15 min
    - ACS712-05 (Corriente, detección fuente alimentación)
    - RFM95W (LoRaWAN - TTN -> AWS)

  Frecuencias de muestreo:
    - Temperatura: cada 1 min → promedio en 15 min
    - Vibración: cada 1 min → promedio en 15 min
    - Sonido: cada 30 seg → mediana en 15 min
  Envío a gateway LoRaWAN cada 15 minutos.

  Identificador del nodo: NM1..NM10
*/

#include <Wire.h>
#include <Adafruit_MLX90614.h>
#include <MPU6050.h>
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>          // Librería LoRa para RFM95W
#include <ArduinoJson.h>   // Para enviar datos en formato JSON
#include <ACS712.h>
#include <vector>          // Para manejar medianas

// CONFIGURACIÓN LORAWAN
#define NODE_ID "NM1"    // Cambiar a NM2...NM10 para cada nodo
#define BAND 915E6       // Frecuencia para América

// PINES
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

```
const int pinACS712 = A0;  // Sensor de corriente

// OBJETOS
Adafruit_MLX90614 mlx = Adafruit_MLX90614();
MPU6050 mpu;
ACS712 sensorCorriente(ACS712_05B, A0);

// VARIABLES DE MEDICIÓN
float tempReadings[15];     // 1 lectura por minuto, 15 en total
float vibReadings[15];      // 1 lectura por minuto, 15 en total
std::vector<float> soundReadings; // Cada 30 seg → 30 lecturas en 15 min

int tempIndex = 0;
int vibIndex = 0;

unsigned long lastTempVibTime = 0;
unsigned long lastSoundTime = 0;
unsigned long startCycleTime = 0;

// TIEMPOS
const unsigned long oneMinute = 60000UL;
const unsigned long thirtySeconds = 30000UL;
const unsigned long fifteenMinutes = 900000UL;

// CONTROL FUENTE DE ENERGÍA
bool fuentePrincipal = true;

// SETUP
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin();

  // MLX90614
  mlx.begin();

  // MPU6050
  mpu.initialize();
  if (!mpu.testConnection()) {
    Serial.println("Error: No se detecta MPU6050");
  }

  // ACS712
  sensorCorriente.calibrate();

  // LoRa
  if (!LoRa.begin(BAND)) {
    Serial.println("Error iniciando LoRa");
    while (1);
  }
  Serial.println("LoRa iniciado OK");

  startCycleTime = millis();
  lastTempVibTime = millis();
  lastSoundTime = millis();
}

// FUNCIONES
float calcularPromedio(float datos[], int length) {
  float sum = 0;
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

```
    for (int i = 0; i < length; i++) sum += datos[i];
    return sum / length;
  }

  float calcularMediana(std::vector<float>& datos) {
    if (datos.empty()) return 0.0;
    sort(datos.begin(), datos.end());
    int n = datos.size();
    if (n % 2 == 0) return (datos[n/2 - 1] + datos[n/2]) / 2.0;
    else return datos[n/2];
  }

  float leerVibracion() {
    Vector3D accel = mpu.getAcceleration();
    float vibracion = sqrt(pow(accel.XAxis, 2) + pow(accel.YAxis, 2) +
pow(accel.ZAxis, 2));
    return vibracion; // mm/s (simplificación)
  }

  float leerSonido() {
    int valor = analogRead(A1); // SEN-12642 en A1
    return (valor / 1023.0) * 100.0; // Escalado ficticio a dB
  }

  void enviarDatos(float tempProm, float vibProm, float soundMediana, bool
fuente) {
    DynamicJsonDocument doc(256);
    doc["id"] = NODE_ID;
    doc["t"] = tempProm;
    doc["v"] = vibProm;
    doc["s"] = soundMediana;
    doc["ts"] = millis();
    doc["ps"] = fuente ? 0 : 1;   // 0 = fuente principal, 1 = batería
respaldo

    String jsonString;
    serializeJson(doc, jsonString);

    LoRa.beginPacket();
    LoRa.print(jsonString);
    LoRa.endPacket();

    Serial.println("Enviado: " + jsonString);
  }

  // LOOP PRINCIPAL
  void loop() {
    unsigned long currentMillis = millis();

    // Medir temperatura y vibración cada minuto
    if (currentMillis - lastTempVibTime >= oneMinute) {
      if (tempIndex < 15) {
        tempReadings[tempIndex] = mlx.readObjectTempC();
        vibReadings[tempIndex] = leerVibracion();
        tempIndex++;
        vibIndex++;
      }
      lastTempVibTime = currentMillis;
    }
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
        // Medir sonido cada 30 segundos
        if (currentMillis - lastSoundTime >= thirtySeconds) {
          soundReadings.push_back(leerSonido());
          lastSoundTime = currentMillis;
        }

        // Cambiar fuente si la corriente cae a 0
        float corriente = sensorCorriente.getCurrentDC();
        if (corriente <= 0.05) {
          fuentePrincipal = false;  // Usar batería litio
        } else {
          fuentePrincipal = true;
        }

        // Cada 15 minutos calcular y enviar
        if (currentMillis - startCycleTime >= fifteenMinutes) {
          float tempProm = calcularPromedio(tempReadings, 15);
          float vibProm = calcularPromedio(vibReadings, 15);
          float soundMediana = calcularMediana(soundReadings);

          enviarDatos(tempProm, vibProm, soundMediana, fuentePrincipal);

          // Reset para siguiente ciclo
          tempIndex = 0;
          vibIndex = 0;
          soundReadings.clear();
          startCycleTime = currentMillis;
        }
}
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Anexo 14.

Código de Gateway – Python

CÓDIGO DE GATEWAY

```
        # Gateway UDR 650
        # Conexión con TTN y AWS IoT Core
        import os
        import time
        import json
        import paho.mqtt.client as mqtt
        from datetime import datetime

        # Configuración TTN MQTT
        TTN_BROKER = "eu1.cloud.thethings.network"
        TTN_PORT = 8883
        TTN_APP_ID = "tu_app_id_ttn"          # <- Cambiar por tu APP ID en TTN
        TTN_USERNAME = "tu_app_id_ttn@ttn"    # <- Cambiar por tu APP ID
        TTN_PASSWORD = "tu_api_key_ttn"       # <- Cambiar por tu API KEY

        # Configuración AWS IoT Core MQTT
        AWS_ENDPOINT  =  "xxxxxxxxxxxx-ats.iot.us-east-1.amazonaws.com"    #  <-
Cambiar
        AWS_PORT = 8883
        AWS_TOPIC = "udr650/gateway"

        AWS_CERTS = {
            "certfile": "/home/pi/aws/certificate.pem.crt",
            "keyfile": "/home/pi/aws/private.pem.key",
            "cafile": "/home/pi/aws/AmazonRootCA1.pem"
        }

        # Nodo a Gateway
        NODES = ["NM1", "NM2", "NM3", "NM4", "NM5", "NM6", "NM7", "NM8", "NM9",
"NM10"]

        # Función cuando se conecta a TTN
        def on_connect_ttn(client, userdata, flags, rc):
            if rc == 0:
                print("[TTN] Conectado correctamente al broker TTN")
                # Suscribirse a todos los nodos
                client.subscribe(f"v3/{TTN_APP_ID}@ttn/devices/+/up")
            else:
                print("[TTN] Error de conexión. Código:", rc)

        # Función cuando llega un mensaje desde TTN
        def on_message_ttn(client, userdata, msg):
            try:
                data = json.loads(msg.payload.decode())
                end_device_id = data["end_device_ids"]["device_id"]
                payload = data["uplink_message"]["decoded_payload"]

                print(f"\n[TTN] Mensaje recibido de {end_device_id}:")
                print(json.dumps(payload, indent=2))

                # Añadir timestamp y nodo
                payload["timestamp_gateway"] = datetime.utcnow().isoformat()
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
            payload["gateway_id"] = "GW1"

            # Enviar datos procesados a AWS
            enviar_a_aws(payload)

        except Exception as e:
            print("[ERROR] Procesando mensaje TTN:", e)

    # Enviar datos a AWS
    def enviar_a_aws(payload):
        try:
            aws_client = mqtt.Client()
            aws_client.tls_set(
                ca_certs=AWS_CERTS["cafile"],
                certfile=AWS_CERTS["certfile"],
                keyfile=AWS_CERTS["keyfile"]
            )
            aws_client.connect(AWS_ENDPOINT, AWS_PORT, 60)
            aws_client.publish(AWS_TOPIC, json.dumps(payload), qos=1)
            aws_client.disconnect()
            print("[AWS] Datos enviados correctamente a AWS IoT Core")
        except Exception as e:
            print("[ERROR AWS] No se pudieron enviar datos a AWS:", e)

    # Servicio de Monitoreo del RAK2245
    def check_rak2245():
        status = os.system("sudo systemctl is-active --quiet ttn-gateway")
        if status != 0:
            print("[RAK2245] Servicio caído, reiniciando...")
            os.system("sudo systemctl restart ttn-gateway")

    # Configurar cliente MQTT para TTN
    ttn_client = mqtt.Client()
    ttn_client.username_pw_set(TTN_USERNAME, TTN_PASSWORD)
    ttn_client.on_connect = on_connect_ttn
    ttn_client.on_message = on_message_ttn
    ttn_client.tls_set()  # TTN usa TLS obligatorio

    # Conectar a TTN
    print("[TTN] Conectando a The Things Network...")
    ttn_client.connect(TTN_BROKER, TTN_PORT, 60)

    # Loop principal
    try:
        while True:
            ttn_client.loop(timeout=1.0)
            check_rak2245()
            time.sleep(1)
    except KeyboardInterrupt:
        print("\n[Gateway] Finalizando servicio...")
        ttn_client.disconnect()
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Anexo 15.

Código (AWS Lambda) – Python

CÓDIGO DE AWS LAMBDA

```
import json
import boto3
import datetime

# Inicializamos recursos de AWS
dynamodb = boto3.resource('dynamodb')
cloudwatch = boto3.client('cloudwatch')

# Nombre de la tabla DynamoDB
TABLE_NAME = "MonitoreoUDR650"

#  Tabla de IMPORTANCIA
IMPORTANCIA = {
    "Eje de potencia": {"temp": 3, "vib": 1, "son": 2},
    "Bomba hidráulica principal": {"temp": 2, "vib": 3, "son": 1},
    "Bloque de distribución": {"temp": 2, "vib": 3, "son": 1},
    "Cabezal rotativo": {"temp": 1, "vib": 3, "son": 2},
    "Cilindro hidráulico de empuje": {"temp": 1, "vib": 3, "son": 2},
    "Bomba de agua para lodos": {"temp": 2, "vib": 3, "son": 1},
    "Tambor del cabestrante principal": {"temp": 1, "vib": 3, "son": 2},
    "Tambor del cabestrante Wire Line": {"temp": 1, "vib": 3, "son": 2},
    "Cilindro hidráulico de sujeción de tubería": {"temp": 1, "vib": 3,
"son": 2},
    "Radiador": {"temp": 3, "vib": 1, "son": 2},
}

#  Parámetros de ALERTA
PARAMETROS_ALERTA = {
    "Eje de potencia": {"temp": (83.5, 94.5), "vib": (4.2, 6.7), "son":
(90, 98)},
    "Bomba hidráulica principal": {"temp": (56.5, 63.5), "vib": (3.2,
7.7), "son": (72, 80)},
    "Bloque de distribución": {"temp": (41.5, 58.5), "vib": (1.2, 3.7),
"son": (57, 65)},
    "Cabezal rotativo": {"temp": (51.5, 68.5), "vib": (4.2, 9.7), "son":
(77, 85)},
    "Cilindro hidráulico de empuje": {"temp": (26.5, 42.5), "vib": (1.2,
4.8), "son": (62, 70)},
    "Bomba de agua para lodos": {"temp": (51.5, 68.5), "vib": (4.2, 5.8),
"son": (82, 90)},
    "Tambor del cabestrante principal": {"temp": (51.5, 68.5), "vib":
(3.2, 5.8), "son": (74, 82)},
    "Tambor del cabestrante Wire Line": {"temp": (41.5, 68.5), "vib":
(3.2, 3.8), "son": (77, 85)},
    "Cilindro hidráulico de sujeción de tubería": {"temp": (41.5, 58.5),
"vib": (2.7, 4.3), "son": (67, 85)},
    "Radiador": {"temp": (83.5, 94.5), "vib": (3.45, 3.65), "son": (64,
66)},
}

def lambda_handler(event, context):
    """
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

```
            Procesa datos desde AWS IoT Core y determina si debe lanzar una
alarma
            """
            try:
                # Parseamos el payload
                data = json.loads(event['body']) if 'body' in event else event

                componente = data.get("componente")
                temperatura = float(data.get("temperatura", 0))
                vibracion = float(data.get("vibracion", 0))
                sonido = float(data.get("sonido", 0))
                timestamp = datetime.datetime.utcnow().utcnow()

               # Validación de campos básicos
                if not nodo or not componente:
                    return {
                        'statusCode': 400,
                        'body': json.dumps({"error": "Faltan campos requeridos:
nodo o componente"})
                    }

                if componente not in PARAMETROS_ALERTA or componente not in
IMPORTANCIA:
                    return {
                        'statusCode': 400,
                        'body':     json.dumps({"error":     "Componente     no
registrado"})
                    }

                # GENERAR ID ÚNICO

                #  Redondeamos timestamp al minuto para evitar múltiples
duplicados en el mismo momento
                timestamp_minute          =          timestamp.replace(second=0,
microsecond=0).isoformat()
                id_unico = f"{nodo}_{componente}_{timestamp_minute}"

                # Obtenemos parámetros y pesos
                umbrales = PARAMETROS_ALERTA[componente]
                pesos = IMPORTANCIA[componente]

                score = 0

                # Evaluación según rangos
                if umbrales["temp"][0] <= temperatura <= umbrales["temp"][1]:
                    score += pesos["temp"]

                if umbrales["vib"][0] <= vibracion <= umbrales["vib"][1]:
                    score += pesos["vib"]

                if umbrales["son"][0] <= sonido <= umbrales["son"][1]:
                    score += pesos["son"]

                # Guardar en DynamoDB si no existe (evita duplicados)
                table = dynamodb.Table(TABLE_NAME)
                try:
                    table.put_item(
                        Item={
                            "id": id_unico,
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
                            "nodo": nodo,
                            "componente": componente,
                            "temperatura": temperatura,
                            "vibracion": vibracion,
                            "sonido": sonido,
                            "score": score,
                            "alarma": score >= 3,
                            "timestamp": timestamp.isoformat()
                        },
                        ConditionExpression="attribute_not_exists(id)"  # Evita
duplicados
                    )
                except
dynamodb.meta.client.exceptions.ConditionalCheckFailedException:
                    # Si el dato ya existe, lo ignoramos
                    return {
                        'statusCode': 200,
                        'body':    json.dumps({"mensaje":    "Dato    duplicado
ignorado", "id": id_unico})
                    }

                # Si el score >= 3, mandamos alarma a CloudWatch
                if score >= 3:
                    cloudwatch.put_metric_data(
                        Namespace='MonitoreoUDR650',
                        MetricData=[
                            {
                                'MetricName': 'AlarmaActivada',
                                'Dimensions': [
                                    {'Name': 'Componente', 'Value': componente},
                                ],
                                'Value': 1,
                                'Unit': 'Count'
                            }
                        ]
                    )

                return {
                    'statusCode': 200,
                    'body': json.dumps({
                        "mensaje": "Datos procesados correctamente",
                        "componente": componente,
                        "score": score,
                        "alarma": score >= 3,
                        "id": id_unico
                    })
                }

            except Exception as e:
                return {
                    'statusCode': 500,
                    'body': json.dumps({"error": str(e)})
                }
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Comparación del caso real vs. el caso simulado

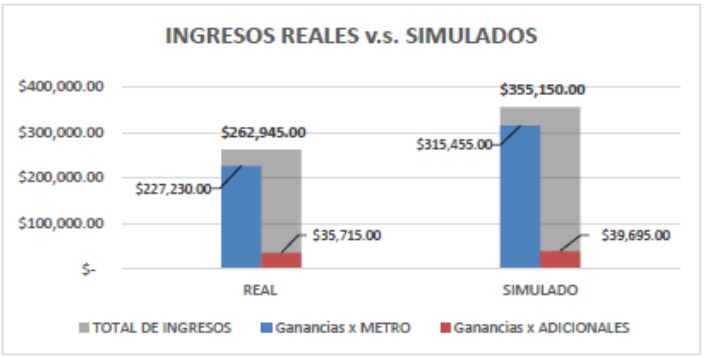
Anexo 16.

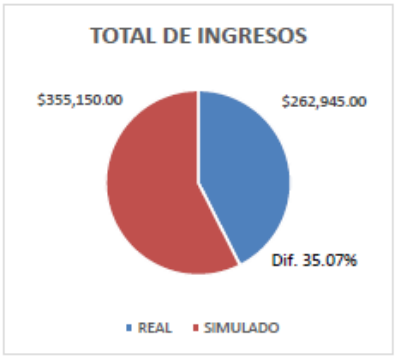
Tablas de resultados de caso real vs. simulado

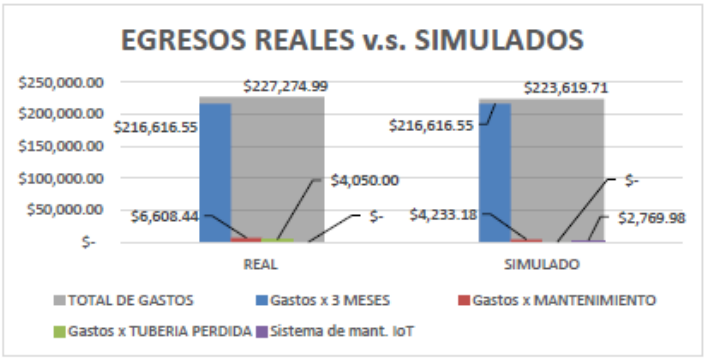
	REAL	SIMULADO	DIFERENCIA	PORCENTAJE
+ Ganancias x METRO	$ 227,230.00	$ 315,455.00	$ 88,225.00	38.83%
+ Ganancias x ADICIONALES	$ 35,715.00	$ 39,695.00	$ 3,980.00	11.14%
TOTAL DE INGRESOS	$ 262,945.00	$ 355,150.00	$ 92,205.00	35.07%

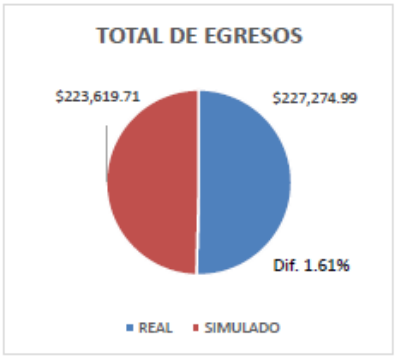
	REAL	SIMULADO	DIFERENCIA	PORCENTAJE
- Gastos x 3 MESES	$ 216,616.55	$ 216,616.55	$ -	0.00%
- Gastos x MANTENIMIENTO	$ 6,608.44	$ 4,233.18	$ 2,375.26	35.94%
- Gastos x TUBERIA PERDIDA	$ 4,050.00	$ -	$ 4,050.00	100.00%
- Sistema de mant. IoT	$ -	$ 2,769.98	$ 2,769.98	100.00%
TOTAL DE GASTOS	$ 227,274.99	$ 223,619.71	$ 3,655.28	1.61%

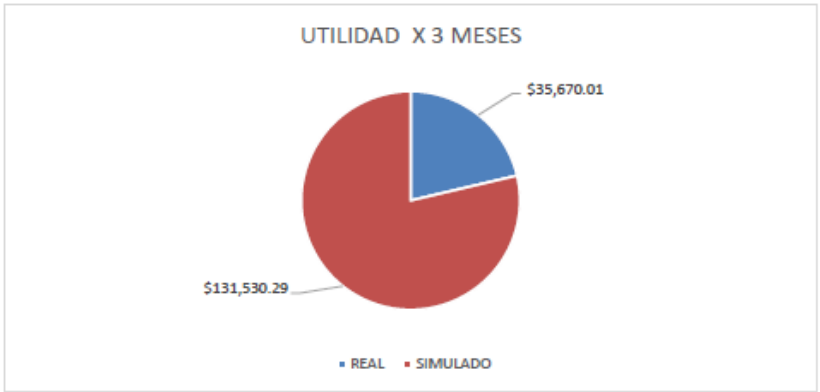
UTILIDAD x 3 meses	$ 35,670.01	$ 131,530.29	$ 95,860.28	268.74%
x MES	$ 11,890.00	$ 43,843.43	$ 31,953.43	268.74%











Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Anexo 17.

Ingresos por 3 meses – caso real

GANANCIAS (ENERO - FEBRERO - MARZO)

GANANCIAS BRUTAS DE FEBRERO, MARZO Y ABRIL X METRAJE

CONCEPTO	UND	HRS	DIAS	%	CANT.	UND.		C.U.		PARCIAL
5TO SONDAJE DE PERFORACION									$	64,525.00
Profundidad de 0 a 100 m					-	M	$	110.00	$	-
Profundidad de 100 a 200 m					-	M	$	115.00	$	-
Profundidad de 200 a 300 m					90.00	M	$	120.00	$	10,800.00
Profundidad de 300 a 400 m					100.00	M	$	125.00	$	12,500.00
Profundidad de 400 a 500 m					100.00	M	$	130.00	$	13,000.00
Profundidad de 500 a 600 m					100.00	M	$	135.00	$	13,500.00
Profundidad de 600 a 700 m					100.00	M	$	140.00	$	14,000.00
Profundidad de 700 a 800 m					5.00	M	$	145.00	$	725.00
6TO SONDAJE DE PERFORACION									$	71,475.00
Profundidad de 0 a 100 m					100.00	M	$	110.00	$	11,000.00
Profundidad de 100 a 200 m					100.00	M	$	115.00	$	11,500.00
Profundidad de 200 a 300 m					100.00	M	$	120.00	$	12,000.00
Profundidad de 300 a 400 m					100.00	M	$	125.00	$	12,500.00
Profundidad de 400 a 500 m					100.00	M	$	130.00	$	13,000.00
Profundidad de 500 a 600 m					85.00	M	$	135.00	$	11,475.00
Profundidad de 600 a 700 m					-	M	$	140.00	$	-
Profundidad de 700 a 800 m					-	M	$	145.00	$	-
6TO SONDAJE DE PERFORACION (Sustituyente)									$	16,750.00
Profundidad de 0 a 100 m					-	M	$	110.00	$	-
Profundidad de 100 a 200 m					-	M	$	115.00	$	-
Profundidad de 200 a 300 m					-	M	$	120.00	$	-
Profundidad de 300 a 400 m					-	M	$	125.00	$	-
Profundidad de 400 a 500 m					-	M	$	130.00	$	-
Profundidad de 500 a 600 m					15.00	M	$	135.00	$	2,025.00
Profundidad de 600 a 700 m					100.00	M	$	140.00	$	14,000.00
Profundidad de 700 a 800 m					5.00	M	$	145.00	$	725.00
7MO SONDAJE DE PERFORACION									$	74,480.00
Profundidad de 0 a 100 m					100.00	M	$	110.00	$	11,000.00
Profundidad de 100 a 200 m					100.00	M	$	115.00	$	11,500.00
Profundidad de 200 a 300 m					100.00	M	$	120.00	$	12,000.00
Profundidad de 300 a 400 m					100.00	M	$	125.00	$	12,500.00
Profundidad de 400 a 500 m					100.00	M	$	130.00	$	13,000.00
Profundidad de 500 a 600 m					100.00	M	$	135.00	$	13,500.00
Profundidad de 600 a 700 m					7.00	M	$	140.00	$	980.00
Profundidad de 700 a 800 m					-	M	$	145.00	$	-

5TO SONDAJE DE PERFORACION	$	64,525.00
6TO SONDAJE DE PERFORACION	$	71,475.00
6TO SONDAJE DE PERFORACION (Sustituyente)	$	16,750.00
7MO SONDAJE DE PERFORACION	$	74,480.00
GANANCIA TOTAL	$	227,230.00

GANANCIAS BRUTAS DE FEBRERO, MARZO Y ABRIL X ADICIONALES

CONCEPTO	UND	HRS	DIAS	%	CANT.	UND.		C.U.		PARCIAL
FEBRERO									$	9,940.00
5TO SONDAJE DE PERFORACION									$	3,110.00
Movilizacion entre sondaje					-	H	$	200.00	$	-
Rimado					4.00	H	$	80.00	$	320.00
Estabilizacion de pozo					4.00	H	$	120.00	$	480.00
Instalacion y retiro de Casing					-	H	$	90.00	$	-
Stand By atribuibles al cliente					2.00	H	$	120.00	$	240.00
Acondicionamiento de sondaje					23.00	H	$	90.00	$	2,070.00
6TO SONDAJE DE PERFORACION									$	6,830.00
Movilizacion entre sondaje					8.00	H	$	200.00	$	1,600.00
Rimado					2.00	H	$	80.00	$	160.00
Estabilizacion de pozo					12.00	H	$	120.00	$	1,440.00
Instalacion y retiro de Casing					5.00	H	$	90.00	$	450.00
Stand By atribuibles al cliente					7.00	H	$	120.00	$	840.00
Acondicionamiento de sondaje					26.00	H	$	90.00	$	2,340.00
MARZO									$	12,130.00
6TO SONDAJE DE PERFORACION									$	1,485.00
Movilizacion entre sondaje					-	H	$	200.00	$	-
Rimado					6.00	H	$	80.00	$	480.00
Estabilizacion de pozo					5.00	H	$	120.00	$	600.00
Instalacion y retiro de Casing					-	H	$	90.00	$	-
Stand By atribuibles al cliente					-	H	$	120.00	$	-
Acondicionamiento de sondaje					4.50	H	$	90.00	$	405.00
6TO SONDAJE DE PERFORACION (Sustituyente)									$	10,645.00
Movilizacion entre sondaje					8.00	H	$	200.00	$	1,600.00
Rimado					3.00	H	$	80.00	$	240.00
Estabilizacion de pozo					42.50	H	$	120.00	$	5,100.00
Instalacion y retiro de Casing					5.00	H	$	90.00	$	450.00
Stand By atribuibles al cliente					5.00	H	$	120.00	$	600.00
Acondicionamiento de sondaje					29.50	H	$	90.00	$	2,655.00
ABRIL									$	13,645.00
6TO SONDAJE DE PERFORACION (Sustituyente)									$	5,905.00
Movilizacion entre sondaje					-	H	$	200.00	$	-
Rimado					5.00	H	$	80.00	$	400.00
Estabilizacion de pozo					18.00	H	$	120.00	$	2,160.00
Instalacion y retiro de Casing					-	H	$	90.00	$	-
Stand By atribuibles al cliente					5.00	H	$	120.00	$	600.00
Acondicionamiento de sondaje					30.50	H	$	90.00	$	2,745.00
7MO SONDAJE DE PERFORACION									$	7,740.00
Movilizacion entre sondaje					8.00	H	$	200.00	$	1,600.00
Rimado					7.00	H	$	80.00	$	560.00
Estabilizacion de pozo					17.00	H	$	120.00	$	2,040.00
Instalacion y retiro de Casing					5.00	H	$	90.00	$	450.00
Stand By atribuibles al cliente					4.00	H	$	120.00	$	480.00
Acondicionamiento de sondaje					29.00	H	$	90.00	$	2,610.00

FEBRERO	$	9,940.00
MARZO	$	12,130.00
ABRIL	$	13,645.00
GANANCIA TOTAL	$	35,715.00

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Anexo 18.

Egresos por 3 meses – caso real

COSTOS Y GASTOS (ENERO - FEBRERO - MARZO)

GASTOS Y COSTOS BRUTOS DE FEBRERO, MARZO Y ABRIL X 3 MESES

CONCEPTO	UND	HRS	DIAS	%	CANT.	UND.		C.U.		PARCIAL
MANO DE OBRA DE PROYECTO	PERS	HRS	DIAS	%					S/.	182,373.72
Perforista	3.00	12.00	89.00	67.50	2,162.70	HH	S/.	16.67	S/.	36,052.21
Ayudante	6.00	12.00	89.00	67.50	4,325.40	HH	S/.	9.17	S/.	39,650.94
Conductor	3.00	12.00	89.00	67.50	2,162.70	HH	S/.	10.42	S/.	22,535.33
Logistico - planner	1.00	8.00	89.00	100.00	712.00	HH	S/.	10.50	S/.	7,476.00
Supervisor de Seguridad	2.00	12.00	89.00	67.50	1,441.80	HH	S/.	16.67	S/.	24,034.81
Supervisor de Operaciones	2.00	12.00	89.00	67.50	1,441.80	HH	S/.	25.00	S/.	36,045.00
BENEFICIOS DE LEY					10.00	%	S/.	165,794.29	S/.	16,579.43
SERVICIOS	UND	DISP	DIAS	%					S/.	64,645.33
Hospedaje	11.33	1.00	89.00	1.00	1,008.67	UND	S/.	20.00	S/.	20,173.33
Alimentacion	11.33	3.00	89.00	1.00	3,026.00	UND	S/.	12.00	S/.	36,312.00
Transporte (Camiara - Arequipa)	17.00	6.00	1.00	1.00	102.00	UND	S/.	80.00	S/.	8,160.00
CONSUMIBLES	GAL	UND	DIAS	%					S/.	129,472.75
Consumible - Perforadora UDR 650	80.00	GAL	89.00	1.00	7,120.00	UND	S/.	13.75	S/.	97,900.00
Consumible - Camioneta Blanca	6.00	GAL	89.00	1.00	534.00	UND	S/.	13.75	S/.	7,342.50
Consumible - Camioneta Ploma	6.00	GAL	89.00	1.00	534.00	UND	S/.	13.75	S/.	7,342.50
Mantenimiento por GAL consumido					15.00	%	S/.	112,585.00	S/.	16,887.75
VIATICOS	UND	DISP	DIAS	%					S/.	6,675.00
Break personal - turno día	7.00	1.00	89.00	1.00	623.00	UND	S/.	5.00	S/.	3,115.00
Break personal - turno noche	5.00	1.00	89.00	1.00	445.00	UND	S/.	4.00	S/.	1,780.00
Emergencias	1.00	1.00	89.00	1.00	89.00	UND	S/.	20.00	S/.	1,780.00
EPPS	UND	DISP	DIAS	%					S/.	7,578.00
Casco de Seguridad					16.00	UND	S/.	30.00	S/.	480.00
Zapatos de seguridad					16.00	UND	S/.	155.00	S/.	2,480.00
Lentes claros					51.00	UND	S/.	15.00	S/.	765.00
Lentes oscuros					51.00	UND	S/.	18.00	S/.	918.00
Uniforme Jean					12.00	UND	S/.	87.00	S/.	1,044.00
Guantes Hycron					27.00	UND	S/.	7.00	S/.	189.00
Guantes de Maniobra					12.00	UND	S/.	4.00	S/.	48.00
Orejeras					3.00	UND	S/.	114.00	S/.	342.00
Tapones de silicona					4.00	CAJA	S/.	55.00	S/.	220.00
Chaleco de seguridad					16.00	UND	S/.	23.00	S/.	368.00
Chompa Jorge Chavez					12.00	UND	S/.	35.00	S/.	420.00
Chavo de jean					16.00	UND	S/.	19.00	S/.	304.00
ADITIVOS	UND	DISP	DIAS	%					$	17,352.43
Bentonita					450.00	BALD	$	12.00	$	5,400.00
Poly plus					45.00	BALD	$	120.00	$	5,400.00
Ringfree					12.00	BALD	$	120.00	$	1,440.00
Bitlube					12.00	BALD	$	110.00	$	1,320.00
Polypack					15.00	BALD	$	180.00	$	2,700.00
PH Control					6.00	BALD	$	80.00	$	480.00
Aceite 15W / 40					15.00	GAL	$	19.46	$	291.89
Aceite 80W / 90					5.00	GAL	$	20.00	$	100.00
Anticongelante					5.00	GAL	$	5.95	$	29.73
Grasa Multiproposito					25.00	KG	$	4.05	$	101.35
Grasa Multiple ep					2.00	KG	$	3.78	$	7.57
Grasa HD 2					10.00	TUB	$	8.19	$	81.89
ACCESORIOS	UND	DISP	DIAS	%					$	73,965.00
Tuberia HW					10.00	UND	$	180.00	$	1,800.00
Tuberia HQ					156.00	UND	$	145.00	$	22,620.00
Tuberia NQ					234.00	UND	$	100.00	$	23,400.00
Zapata HW					1.00	UND	$	205.00	$	205.00
Zapata HQ					19.00	UND	$	395.00	$	7,505.00
Zapata NQ					22.00	UND	$	310.00	$	6,820.00
Broca HW					1.00	UND	$	400.00	$	400.00
Broca HQ					7.00	UND	$	350.00	$	2,450.00
Broca NQ					8.00	UND	$	250.00	$	2,000.00
Core Lifter HQ					19.00	UND	$	15.00	$	285.00
Core Lifter NQ					22.00	UND	$	12.00	$	264.00
Reaming Shells HQ					1.00	UND	$	400.00	$	400.00
Reaming Shells NQ					1.00	UND	$	250.00	$	250.00
Stop ring					16.00	UND	$	6.00	$	96.00
Barrel - diamantina					2.00	UND	$	970.00	$	1,940.00
Tubo interior mas cabezal					4.00	UND	$	500.00	$	2,000.00
Llaves Stilson de 36"					3.00	UND	$	320.00	$	960.00
Llaves Stilson de 24"					3.00	UND	$	110.00	$	330.00
Llaves Stilson de 18"					3.00	UND	$	80.00	$	240.00

MANO DE OBRA DE PROYECTO		S/.	182,373.72
SERVICIOS		S/.	64,645.33
CONSUMIBLES		S/.	129,472.75
VIATICOS		S/.	6,675.00
EPPS		S/.	7,578.00
ADITIVOS		$	17,352.43
ACCESORIOS		$	73,965.00
COSTO TOTAL EN SOLES		S/.	390,744.80
	CAMBIO (3.70)	$	105,606.70
COSTO TOTAL EN DOLARES		$	91,317.43
COSTO TOTAL		$	196,924.14
GASTOS GENERALES	10.00%	$	19,692.41
UTILIDAD	20.00%	$	39,384.83
PRECIO SIN I.G.V.		$	256,001.38

GASTOS Y COSTOS DE MANTENIMIENTO DE FEBRERO, MARZO Y ABRIL X MANTENIMIENTO

CONCEPTO	UND	HRS	DIAS	%	CANT.	UND.		C.U.		PARCIAL
MANTENIMIENTOS CORRECTIVOS	PERS	HRS	DIAS	%					S/.	24,451.22
Tambor del Cabestrante principal					1.00	UND.	S/.	10,382.52	S/.	10,382.52
Cilindro Hidraulico de empuje					1.00	UND.	S/.	6,225.86	S/.	6,225.86
Radiador					1.00	UND.	S/.	6,367.19	S/.	6,367.19
Bomba de agua para lodos					1.00	UND.	S/.	1,475.65	S/.	1,475.65

COSTO TOTAL EN SOLES		S/.	24,451.22
	CAMBIO (3.70)	$	3.70
COSTO TOTAL EN DOLARES		$	6,608.44

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Anexo 19.

Ingresos por 3 meses – caso simulado

GANANCIAS (ENERO - FEBRERO - MARZO)

GANANCIAS BRUTAS DE FEBRERO, MARZO Y ABRIL X ADICIONALES

CONCEPTO	UND	HRS	DIAS	%	CANT.	UND.		C.U.		PARCIAL
5TO SONDAJE DE PERFORACION									$	64525.00
Profundidad de 0 a 100 m					-	M	$	110.00	$	-
Profundidad de 100 a 200 m					-	M	$	115.00	$	-
Profundidad de 200 a 300 m					90.00	M	$	120.00	$	10,800.00
Profundidad de 300 a 400 m					100.00	M	$	125.00	$	12,500.00
Profundidad de 400 a 500 m					100.00	M	$	130.00	$	13,000.00
Profundidad de 500 a 600 m					100.00	M	$	135.00	$	13,500.00
Profundidad de 600 a 700 m					100.00	M	$	140.00	$	14,000.00
Profundidad de 700 a 800 m					5.00	M	$	145.00	$	725.00
6TO SONDAJE DE PERFORACION									$	88,225.00
Profundidad de 0 a 100 m					100.00	M	$	110.00	$	11,000.00
Profundidad de 100 a 200 m					100.00	M	$	115.00	$	11,500.00
Profundidad de 200 a 300 m					100.00	M	$	120.00	$	12,000.00
Profundidad de 300 a 400 m					100.00	M	$	125.00	$	12,500.00
Profundidad de 400 a 500 m					100.00	M	$	130.00	$	13,000.00
Profundidad de 500 a 600 m					100.00	M	$	135.00	$	13,500.00
Profundidad de 600 a 700 m					100.00	M	$	140.00	$	14,000.00
Profundidad de 700 a 800 m					5.00	M	$	145.00	$	725.00
7MO SONDAJE DE PERFORACION									$	88,225.00
Profundidad de 0 a 100 m					100.00	M	$	110.00	$	11,000.00
Profundidad de 100 a 200 m					100.00	M	$	115.00	$	11,500.00
Profundidad de 200 a 300 m					100.00	M	$	120.00	$	12,000.00
Profundidad de 300 a 400 m					100.00	M	$	125.00	$	12,500.00
Profundidad de 400 a 500 m					100.00	M	$	130.00	$	13,000.00
Profundidad de 500 a 600 m					100.00	M	$	135.00	$	13,500.00
Profundidad de 600 a 700 m					100.00	M	$	140.00	$	14,000.00
Profundidad de 700 a 800 m					5.00	M	$	145.00	$	725.00
8VO SONDAJE DE PERFORACION									$	74,480.00
Profundidad de 0 a 100 m					100.00	M	$	110.00	$	11,000.00
Profundidad de 100 a 200 m					100.00	M	$	115.00	$	11,500.00
Profundidad de 200 a 300 m					100.00	M	$	120.00	$	12,000.00
Profundidad de 300 a 400 m					100.00	M	$	125.00	$	12,500.00
Profundidad de 400 a 500 m					100.00	M	$	130.00	$	13,000.00
Profundidad de 500 a 600 m					100.00	M	$	135.00	$	13,500.00
Profundidad de 600 a 700 m					7.00	M	$	140.00	$	980.00
Profundidad de 700 a 800 m					-	M	$	145.00	$	-
					2,512.00					

5TO SONDAJE DE PERFORACION	$ 64,525.00
6TO SONDAJE DE PERFORACION	$ 88,225.00
7MO SONDAJE DE PERFORACION	$ 88,225.00
8VO SONDAJE DE PERFORACION	$ 74,480.00
GANANCIA TOTAL	$ 315,455.00

GANANCIAS BRUTAS DE FEBRERO, MARZO Y ABRIL X METRAJE

CONCEPTO	UND	HRS	DIAS	%	CANT.	UND.		C.U.		PARCIAL
FEBRERO									$	9,940.00
5TO SONDAJE DE PERFORACION									$	3,110.00
Movilizacion entre sondaje					-	H	$	200.00	$	-
Rimado					4.00	H	$	80.00	$	320.00
Estabilizacion de pozo					4.00	H	$	120.00	$	480.00
Instalacion y retiro de Casing					-	H	$	90.00	$	-
Stand By atribuibles al cliente					2.00	H	$	120.00	$	240.00
Acondicionamiento de sondaje					23.00	H	$	90.00	$	2,070.00
6TO SONDAJE DE PERFORACION									$	6,830.00
Movilizacion entre sondaje					8.00	H	$	200.00	$	1,600.00
Rimado					2.00	H	$	80.00	$	160.00
Estabilizacion de pozo					12.00	H	$	120.00	$	1,440.00
Instalacion y retiro de Casing					5.00	H	$	90.00	$	450.00
Stand By atribuibles al cliente					7.00	H	$	120.00	$	840.00
Acondicionamiento de sondaje					26.00	H	$	90.00	$	2,340.00
MARZO									$	14,240.00
6TO SONDAJE DE PERFORACION									$	3,595.00
Movilizacion entre sondaje					8.00	H	$	200.00	$	1,600.00
Rimado					6.00	H	$	80.00	$	480.00
Estabilizacion de pozo					5.00	H	$	120.00	$	600.00
Instalacion y retiro de Casing					3.00	H	$	90.00	$	270.00
Stand By atribuibles al cliente					2.00	H	$	120.00	$	240.00
Acondicionamiento de sondaje					4.50	H	$	90.00	$	405.00
7MO SONDAJE DE PERFORACION									$	10,645.00
Movilizacion entre sondaje					8.00	H	$	200.00	$	1,600.00
Rimado					3.00	H	$	80.00	$	240.00
Estabilizacion de pozo					42.50	H	$	120.00	$	5,100.00
Instalacion y retiro de Casing					5.00	H	$	90.00	$	450.00
Stand By atribuibles al cliente					5.00	H	$	120.00	$	600.00
Acondicionamiento de sondaje					29.50	H	$	90.00	$	2,655.00
ABRIL									$	15,515.00
7MO SONDAJE DE PERFORACION									$	7,775.00
Movilizacion entre sondaje					8.00	H	$	200.00	$	1,600.00
Rimado					5.00	H	$	80.00	$	400.00
Estabilizacion de pozo					18.00	H	$	120.00	$	2,160.00
Instalacion y retiro de Casing					3.00	H	$	90.00	$	270.00
Stand By atribuibles al cliente					5.00	H	$	120.00	$	600.00
Acondicionamiento de sondaje					30.50	H	$	90.00	$	2,745.00
8VO SONDAJE DE PERFORACION									$	7,740.00
Movilizacion entre sondaje					8.00	H	$	200.00	$	1,600.00
Rimado					7.00	H	$	80.00	$	560.00
Estabilizacion de pozo					17.00	H	$	120.00	$	2,040.00
Instalacion y retiro de Casing					5.00	H	$	90.00	$	450.00
Stand By atribuibles al cliente					4.00	H	$	120.00	$	480.00
Acondicionamiento de sondaje					29.00	H	$	90.00	$	2,610.00

FEBRERO	$ 9,940.00
MARZO	$ 14,240.00
ABRIL	$ 15,515.00
GANANCIA TOTAL	$ 39,695.00

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Anexo 20.

Egresos por 3 meses – caso simulado

COSTOS Y GASTOS (ENERO - FEBRERO - MARZO)

GASTOS Y COSTOS BRUTOS DE FEBRERO, MARZO Y ABRIL X 3 MESES

CONCEPTO	UND	HRS	DIAS	%	CANT.	UND.		C.U.		PARCIAL
MANO DE OBRA DE PROYECTO	PERS	HRS	DIAS	%					S/.	182,373.72
Perforista	3.00	12.00	89.00	67.50	2,162.70	HH	S/.	16.67	S/.	36,052.21
Ayudante	6.00	12.00	89.00	67.50	4,325.40	HH	S/.	9.17	S/.	39,650.94
Conductor	3.00	12.00	89.00	67.50	2,162.70	HH	S/.	10.42	S/.	22,535.33
Logistico - planner	1.00	8.00	89.00	100.00	712.00	HH	S/.	10.50	S/.	7,476.00
Supervisor de Seguridad	2.00	12.00	89.00	67.50	1,441.80	HH	S/.	16.67	S/.	24,034.81
Supervisor de Operaciones	2.00	12.00	89.00	67.50	1,441.80	HH	S/.	25.00	S/.	36,045.00
BENEFICIOS DE LEY					10.00	%	S/.	165,794.29	S/.	16,579.43
SERVICIOS	UND	DISP	DIAS	%					S/.	64,645.33
Hospedaje	11.33	1.00	89.00	1.00	1,008.67	UND	S/.	20.00	S/.	20,173.33
Alimentacion	11.33	3.00	89.00	1.00	3,026.00	UND	S/.	12.00	S/.	36,312.00
Transporte (Camiara - Arequipa)	17.00	6.00	1.00	1.00	102.00	UND	S/.	80.00	S/.	8,160.00
CONSUMIBLES	GAL	UND	DIAS	%					S/.	129,472.75
Consumible - Perforadora UDR 650	80.00	GAL	89.00	1.00	7,120.00	UND	S/.	13.75	S/.	97,900.00
Consumible - Camioneta Blanca	6.00	GAL	89.00	1.00	534.00	UND	S/.	13.75	S/.	7,342.50
Consumible - Camioneta Ploma	6.00	GAL	89.00	1.00	534.00	UND	S/.	13.75	S/.	7,342.50
Mantenimiento por GAL consumido					15.00	%	S/.	112,585.00	S/.	16,887.75
VIATICOS	UND	DISP	DIAS	%					S/.	6,675.00
Break personal - turno día	7.00	1.00	89.00	1.00	623.00	UND	S/.	5.00	S/.	3,115.00
Break personal - turno noche	5.00	1.00	89.00	1.00	445.00	UND	S/.	4.00	S/.	1,780.00
Emergencias	1.00	1.00	89.00	1.00	89.00	UND	S/.	20.00	S/.	1,780.00
EPPS	UND	DISP	DIAS	%					S/.	7,578.00
Casco de Seguridad					16.00	UND	S/.	30.00	S/.	480.00
Zapatos de seguridad					16.00	UND	S/.	155.00	S/.	2,480.00
Lentes claros					51.00	UND	S/.	15.00	S/.	765.00
Lentes oscuros					51.00	UND	S/.	18.00	S/.	918.00
Uniforme Jean					12.00	UND	S/.	87.00	S/.	1,044.00
Guantes Hycron					27.00	UND	S/.	7.00	S/.	189.00
Guantes de Maniobra					12.00	UND	S/.	4.00	S/.	48.00
Orejeras					3.00	UND	S/.	114.00	S/.	342.00
Tapones de silicona					4.00	CAJA	S/.	55.00	S/.	220.00
Chaleco de seguridad					16.00	UND	S/.	23.00	S/.	368.00
Chompa Jorge Chavez					12.00	UND	S/.	35.00	S/.	420.00
Chavo de jean					16.00	UND	S/.	19.00	S/.	304.00
ADITIVOS	UND	DISP	DIAS	%					$	17,352.43
Bentonita					450.00	BALD	$	12.00	$	5,400.00
Poly plus					45.00	BALD	$	120.00	$	5,400.00
Ringfree					12.00	BALD	$	120.00	$	1,440.00
Bitlube					12.00	BALD	$	110.00	$	1,320.00
Polypack					15.00	BALD	$	180.00	$	2,700.00
PH Control					6.00	BALD	$	80.00	$	480.00
Aceite 15W / 40					15.00	GAL	$	19.46	$	291.89
Aceite 80W / 90					5.00	GAL	$	20.00	$	100.00
Anticongelante					5.00	GAL	$	5.95	$	29.73
Grasa Multiproposito					25.00	KG	$	4.05	$	101.35
Grasa Multiple ep					2.00	KG	$	3.78	$	7.57
Grasa HD 2					10.00	TUB	$	8.19	$	81.89
ACCESORIOS	UND	DISP	DIAS	%					$	73,965.00
Tuberia HW					10.00	UND	$	180.00	$	1,800.00
Tuberia HQ					156.00	UND	$	145.00	$	22,620.00
Tuberia NQ					234.00	UND	$	100.00	$	23,400.00
Zapata HW					1.00	UND	$	205.00	$	205.00
Zapata HQ					19.00	UND	$	395.00	$	7,505.00
Zapata NQ					22.00	UND	$	310.00	$	6,820.00
Broca HW					1.00	UND	$	400.00	$	400.00
Broca HQ					7.00	UND	$	350.00	$	2,450.00
Broca NQ					8.00	UND	$	250.00	$	2,000.00
Core Lifter HQ					19.00	UND	$	15.00	$	285.00
Core Lifter NQ					22.00	UND	$	12.00	$	264.00
Reaming Shells HQ					1.00	UND	$	400.00	$	400.00
Reaming Shells NQ					1.00	UND	$	250.00	$	250.00
Stop ring					16.00	UND	$	6.00	$	96.00
Barrel - diamantina					2.00	UND	$	970.00	$	1,940.00
Tubo interior mas cabezal					4.00	UND	$	500.00	$	2,000.00
Llaves Stilson de 36"					3.00	UND	$	320.00	$	960.00
Llaves Stilson de 24"					3.00	UND	$	110.00	$	330.00
Llaves Stilson de 18"					3.00	UND	$	80.00	$	240.00

MANO DE OBRA DE PROYECTO		S/.	182,373.72
SERVICIOS		S/.	64,645.33
CONSUMIBLES		S/.	129,472.75
VIATICOS		S/.	6,675.00
EPPS		S/.	7,578.00
ADITIVOS		$	17,352.43
ACCESORIOS		$	73,965.00
COSTO TOTAL EN SOLES		S/.	390,744.80
	CAMBIO (3.70)	$	105,606.70
COSTO TOTAL EN DOLARES		$	91,317.43
COSTO TOTAL		$	196,924.14
GASTOS GENERALES	0.10	$	19,692.41
UTILIDAD	0.20	$	39,384.83
PRECIO SIN I.G.V.		$	256,001.38

GASTOS Y COSTOS DE MANTENIMIENTO DE FEBRERO, MARZO Y ABRIL X MANTENIMIENTO

CONCEPTO	UND	HRS	DIAS	%	CANT.	UND.		C.U.		PARCIAL
MANTENIMIENTOS CORRECTIVOS	PERS	HRS	DIAS	%					S/.	15,662.75
Tambor del Cabestrante principal					1.00	UND.	S/.	7,724.55	S/.	7,724.55
Cilindro Hidraulico de empuje					1.00	UND.	S/.	2,102.28	S/.	2,102.28
Radiador					1.00	UND.	S/.	4,360.27	S/.	4,360.27
Bomba de agua para lodos					1.00	UND.	S/.	1,475.65	S/.	1,475.65

COSTO TOTAL EN SOLES		S/.	15,662.75
	CAMBIO (3.70)	$	3.70
COSTO TOTAL EN DOLARES		$	4,233.18

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Valoración real detallada de repuestos y materiales

Anexo 21.

Mant. Zona tambor principal (Caso real)

Corporación Perforaciones del Perú S.A.C.

VALORIZACION REAL DETALLADA

ATENCIÓN	CLIENTE	RUC
SRA. GABY	PERUVIAN LATIN RESOURCES S.A.C.	20493092791

DOC. DE REF.	DESCRIPCIÓN GENERAL
-	REPARACION - ZONA TAMBOR PRINCIPAL

Nº DOCUMENTO	
COT. 0013 - 2 15 - PLR - R2	
FECHA	PÁGINA
15/02/2025	1 de 1

PARTIDA	CONCEPTO				CANT.	UND.	C.U. S/	PARCIAL S/
1.00	REPARACIÓN GENERAL							10,382.52
1.01	MATERIALES Y/O REPUESTOS	$		CAMBIO				8,352.75
1.01.01	Valvula de control	250.00	$	3.70	1.00	PZA	925.00	925.00
1.01.02	Muelle de retorno (2DA)	150.00	$	3.70	2.00	PZA	555.00	1110.00
1.01.03	Discos de Freno	800.00	$	3.70	2.00	PZA	2960.00	5920.00
1.01.04	Materiales varios (Empaques, sellados, orring, perneria, etc)				5.00%	%	7955.00	397.75
1.02	CONSUMIBLES							91.50
1.02.01	Valvoline Sae 90 High Performance (Aceite Hidrulico)				2.00	L	32.50	65.00
1.02.02	Grasa H-3 Fibra 453G Vistony (Grasa)				1.00	PQT	17.00	17.00
1.02.03	Petróleo (Limpieza)				0.50	GAL	19.00	9.50
1.03	HERRAMIENTAS							110.00
1.03.01	Comba de goma DEXTER				1.00	PZA	38.00	38.00
1.03.02	Extencion flexible para dado encastre GENERICO				1.00	PZA	72.00	72.00
1.04	MANO DE OBRA	PERS	DÍAS	%				660.00
1.04.01	Mecánico	1.00	2.00	100%	2.00	HH	200.00	400.00
1.04.02	Ayudante de mecánico	1.00	2.00	100%	2.00	HH	100.00	200.00
1.04.03	EPP y equipos de seguridad				10.00%	%	600.00	60.00
1.05	SERVICIOS							606.00
1.05.01	Movilidad MDO **(Arequipa - Moquegua)**				2.00	UND	160.00	320.00
1.05.02	Alimentacion MDO				2.00	UND	72.00	144.00
1.05.03	Envio de Repuestos				1.00	UND	42.00	42.00
1.05.04	Torneado y rectificado de piezas				1.00	UND	60.00	60.00
1.05.05	Hospedaje MDO (Camiara)				2.00	UND	20.00	40.00
1.06	TRASLADOS CON CAMIONETA	DIST		KM X GAL				562.27
1.06.01	Trayecto - Moquegua (Recojo de MDO)	96.90	KM	0.07	6.78	GAL	19.00	128.88
1.06.02	Trayecto - Moquegua (Compra de repuestos y/o materiales)	96.90	KM	0.07	6.78	GAL	19.00	128.88
1.06.03	Trayecto - Tacna (Compra de Aceite hidraulico y Grasa)	67.80	KM	0.07	4.75	GAL	19.00	90.17
1.06.04	Trayecto - Locumba (Compra de Herramientas)	22.90	KM	0.07	1.60	GAL	19.00	30.46
1.06.05	Trayecto - Tacna (Servicio de torneado y rectificado)	67.80	KM	0.07	4.75	GAL	19.00	90.17
1.06.06	Mantenimiento por Kilometro recorrido				0.20	%	468.56	93.71

MATERIALES Y/O REPUESTOS	8,352.75
CONSUMIBLES	91.50
HERRAMIENTAS	110.00
MANO DE OBRA	660.00
SERVICIOS	606.00
TRASLADOS CON CAMIONETA	562.27
COSTO TOTAL	10,382.52

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Anexo 22.

Mant. Cilindro de empuje (Caso real)

Corporación Perforaciones del Perú S.A.C.

VALORIZACION REAL DETALLADA

ATENCIÓN	CLIENTE	RUC
[redacted]	[redacted]	[redacted]

N° DOCUMENTO	
COT. 0014 - 3 17 - PLR - R1	
FECHA	PÁGINA
17/03/2025	1 de 1

DOC. DE REF.	DESCRIPCIÓN GENERAL
-	REPARACION - CILINDRICO DE EMPUJE

PARTIDA	CONCEPTO				CANT.	UND.	C.U. S/	PARCIAL S/
1.00	REPARACIÓN GENERAL							6,225.86
1.01	MATERIALES Y/O REPUESTOS	$		CAMBIO				58.28
1.01.01	Pin de sujecion	7.50	$	3.70	2.00	PZA	27.75	55.50
1.01.04	Materiales varios (Empaques, sellados, orring, perneria, etc)				5.00%	%	55.50	2.78
1.02	CONSUMIBLES							332.00
1.02.01	Valvoline Sae 90 High Performance (Aceite Hidrulico)				8.00	L	32.50	260.00
1.02.02	Grasa H-3 Fibra 453G Vistony (Grasa)				2.00	PQT	17.00	34.00
1.02.03	Petróleo (Limpieza)				2.00	GAL	19.00	38.00
1.03	HERRAMIENTAS							0.00
1.04	MANO DE OBRA	PERS	DÍAS	%				660.00
1.04.01	Mecánico	1.00	2.00	100%	2.00	HH	200.00	400.00
1.04.02	Ayudante de mecánico	2.00	2.00	100%	2.00	HH	100.00	200.00
1.04.03	EPP y equipos de seguridad				10.00%	%	600.00	60.00
1.05	SERVICIOS							4,990.00
1.05.01	Movilidad MDO **(Arequipa - Moquegua)**				3.00	UND	160.00	480.00
1.05.02	Alimentacion MDO				3.00	UND	48.00	144.00
1.05.03	Servicio de reparacion de una botella hidraulica de 5m				1.00	UND	3404.00	3404.00
1.05.04	Transporte de Botella hidraulica de 5m				2.00	UND	270.00	540.00
1.05.05	Desayuno y cenas de personal de taller Moquegua				2.00	UND	24.00	48.00
1.05.06	Servicio de Oxicorte a Pin				1.00	UND	320.00	320.00
1.05.07	Hospedaje (Moquegua)				2.00	UND	27.00	54.00
1.06	TRASLADOS CON CAMIONETA	DIST		KM X GAL				185.58
1.06.01	Trayecto - Moquegua (Traslado de personal -Taller mecanico)	96.90	KM	0.07	6.78	GAL	19.00	128.88
1.06.02	Traslado entre Moquegua por repuestos	19.38	KM	0.07	1.36	GAL	19.00	25.78
1.06.06	Mantenimiento por Kilometro recorrido				0.20	%	154.65	30.93

MATERIALES Y/O REPUESTOS	58.28
CONSUMIBLES	332.00
HERRAMIENTAS	0.00
MANO DE OBRA	660.00
SERVICIOS	4,990.00
TRASLADOS CON CAMIONETA	185.58
COSTO TOTAL	6,225.86

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Anexo 23.

Mant. Radiador (Caso real)

Corporación Perforaciones del Perú S.A.C.

VALORIZACION REAL DETALLADA

ATENCIÓN	CLIENTE	RUC
[redacted]	[redacted]	[redacted]
DOC. DE REF.	DESCRIPCIÓN GENERAL	
-	REPARACION - RADIADOR	

Nº DOCUMENTO	
COT. 0015 - 3 22 - PLR - R2	
FECHA	PÁGINA
22/03/2025	1 de 1

PARTIDA	CONCEPTO				CANT.	UND.	C.U. S/	PARCIAL S/
1.00	REPARACIÓN GENERAL							6,367.19
1.01	MATERIALES Y/O REPUESTOS	$		CAMBIO				4,324.01
1.01.01	Radiador de refrigeracion del motor	958.00	$	3.70	1.00	PZA	3544.60	3544.60
1.01.02	Ventilador de enfriamiento	155.00	$	3.70	1.00	PZA	573.50	573.50
1.01.03	Materiales varios (Empaques, sellados, orring, perneria, etc)				5.00%	%	4118.10	205.91
1.02	CONSUMIBLES							209.00
1.02.01	Valvoline Sae 90 High Performance (Aceite Hidrulico)				1.00	L	32.50	32.50
1.02.02	Grasa H-3 Fibra 453G Vistony (Grasa)				1.00	PQT	17.00	17.00
1.02.03	Petróleo (Limpieza)				0.50	GAL	19.00	9.50
1.02.04	Refrigerante 50/50				15.00	GAL	10.00	150.00
1.03	HERRAMIENTAS							0.00
1.04	MANO DE OBRA	PERS	DÍAS	%				660.00
1.04.01	Mecánico	1.00	2.00	100%	2.00	HH	200.00	400.00
1.04.02	Ayudante de mecánico	1.00	2.00	100%	2.00	HH	100.00	200.00
1.04.03	EPP y equipos de seguridad				10.00%	%	600.00	60.00
1.05	SERVICIOS							736.00
1.05.01	Movilidad MDO **(Arequipa - Moquegua)**				2.00	UND	160.00	320.00
1.05.02	Alimentacion MDO				2.00	UND	48.00	96.00
1.05.03	Reparación y limpieza interior de bomba				1.00	UND	200.00	200.00
1.05.04	Transporte de Radiador y ventilador a Moquegua				1.00	UND	80.00	80.00
1.05.05	Hospedaje (Camiara)				2.00	UND	20.00	40.00
1.06	TRASLADOS CON CAMIONETA	DIST		KM X GAL				438.18
1.06.01	Trayecto - Moquegua (Reparacion de bomba)	96.90	KM	0.07	6.78	GAL	19.00	128.88
1.06.02	Trayecto - Moquegua (Recojo de bomba)	96.90	KM	0.07	6.78	GAL	19.00	128.88
1.06.03	Trayecto - Moquegua (Recojo de radiodaor y ventilador)	96.90	KM	0.07	6.78	GAL	19.00	128.88
1.06.04	Mantenimiento por Kilometro recorrido				0.20	%	257.75	51.55

MATERIALES Y/O REPUESTOS	4,324.01
CONSUMIBLES	209.00
HERRAMIENTAS	0.00
MANO DE OBRA	660.00
SERVICIOS	736.00
TRASLADOS CON CAMIONETA	438.18
COSTO TOTAL	6,367.19

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Anexo 24.

Mant. Bomba de agua de lodos (Caso real)

Corporación Perforaciones del Perú S.A.C.

VALORIZACION REAL DETALLADA

ATENCIÓN	CLIENTE	RUC
[redacted]	[redacted]	[redacted]

Nº DOCUMENTO
COT. 0016 - 4 29 - PLR - R3

DOC. DE REF.	DESCRIPCIÓN GENERAL
-	REPARACION - BOMBA DE AGUA DE LODOS

FECHA	PÁGINA
29/04/2025	1 de 1

PARTIDA	CONCEPTO				CANT.	UND.	C.U. S/	PARCIAL S/
1.00	REPARACIÓN GENERAL							1,475.65
1.01	MATERIALES Y/O REPUESTOS	$		CAMBIO				777.00
1.01.01	Casquillos de desgaste	90.00	$	3.70	1.00	PZA	333.00	333.00
1.01.02	Rodete	110.00	$	3.70	1.00	PZA	407.00	407.00
1.01.04	Materiales varios (Empaques, sellados, orring, perneria, etc)				5.00%	%	740.00	37.00
1.02	CONSUMIBLES							17.00
1.02.02	Grasa H-3 Fibra 453G Vistony (Grasa)				1.00	PQT	17.00	17.00
1.03	HERRAMIENTAS							0.00
1.04	MANO DE OBRA	PERS	DÍAS	%				220.00
1.04.01	Mecánico	1.00	1.00	100%	1.00	HH	200.00	200.00
1.04.03	EPP y equipos de seguridad				10.00%	%	200.00	20.00
1.05	SERVICIOS							307.00
1.05.01	Movilidad MDO **(Arequipa - Moquegua)**				1.00	UND	160.00	160.00
1.05.02	Alimentacion MDO				1.00	UND	36.00	36.00
1.05.03	Envio de Repuestos				1.00	UND	42.00	42.00
1.05.04	Torneado y rectificado de piezas				1.00	UND	69.00	69.00
1.06	TRASLADOS CON CAMIONETA	DIST		KM X GAL				154.65
1.06.01	Trayecto - Moquegua (Traslado de mecanico [Noche])	96.90	KM	0.07	6.78	GAL	19.00	128.88
1.06.06	Mantenimiento por Kilometro recorrido				0.20	%	128.88	25.78

MATERIALES Y/O REPUESTOS	777.00
CONSUMIBLES	17.00
HERRAMIENTAS	0.00
MANO DE OBRA	220.00
SERVICIOS	307.00
TRASLADOS CON CAMIONETA	154.65
COSTO TOTAL	1,475.65

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Valoración simulada detallada de repuestos y materiales

Anexo 25.

Mant. Zona tambor principal (Caso simulado)

Corporación Perforaciones del Perú S.A.C.

VALORIZACION SIMULADA DETALLADA

ATENCIÓN	CLIENTE	RUC
[redacted]	[redacted]	[redacted]

DOC. DE REF.	DESCRIPCIÓN GENERAL
-	REPARACION - ZONA TAMBOR PRINCIPAL

Nº DOCUMENTO	
COT. 0013 - 2 13 - PLR - R2	
FECHA	PÁGINA
15/02/2025	1 de 1

PARTIDA	CONCEPTO				CANT.	UND.	C.U. S/	PARCIAL S/
1.00	REPARACIÓN GENERAL							7,724.55
1.01	MATERIALES Y/O REPUESTOS	$		CAMBIO				6,371.40
1.01.01	Valvula de control	200.00	$	3.70	1.00	PZA	740.00	740.00
1.01.02	Discos de Freno	720.00	$	3.70	2.00	PZA	2664.00	5328.00
1.01.03	Materiales varios (Empaques, sellados, orring, perneria, etc)				5.00%	%	6068.00	303.40
1.02	CONSUMIBLES							91.50
1.02.01	Valvoline Sae 90 High Performance (Aceite Hidrulico)				2.00	L	32.50	65.00
1.02.02	Grasa H-3 Fibra 453G Vistony (Grasa)				1.00	PQT	17.00	17.00
1.02.03	Petróleo (Limpieza)				0.50	GAL	19.00	9.50
1.03	HERRAMIENTAS							0.00
1.04	MANO DE OBRA	PERS	DÍAS	%				495.00
1.04.01	Mecánico	1.00	2.00	100%	1.50	HH	200.00	300.00
1.04.02	Ayudante de mecánico	1.00	2.00	100%	1.50	HH	100.00	150.00
1.04.03	EPP y equipos de seguridad				10.00%	%	450.00	45.00
1.05	SERVICIOS							612.00
1.05.01	Movilidad MDO **(Arequipa - Moquegua)**				2.00	UND	160.00	320.00
1.05.02	Alimentacion MDO				1.50	UND	60.00	90.00
1.05.03	Envio de Repuestos				1.00	UND	102.00	102.00
1.05.04	Torneado y rectificado de piezas				1.00	UND	60.00	60.00
1.05.05	Hospedaje MDO (Camiara)				2.00	UND	20.00	40.00
1.06	TRASLADOS CON CAMIONETA	DIST		KM X GAL				154.65
1.06.01	Trayecto - Moquegua (Recojo de MDO)	96.90	KM	0.07	6.78	GAL	19.00	128.88
1.06.05	Trayecto - Tacna (Servicio de torneado y rectificado)	67.80	KM	0.07	0.00	GAL	19.00	0.00
1.06.06	Mantenimiento por Kilometro recorrido				0.20	%	128.88	25.78

MATERIALES Y/O REPUESTOS	6,371.40
CONSUMIBLES	91.50
HERRAMIENTAS	0.00
MANO DE OBRA	495.00
SERVICIOS	612.00
TRASLADOS CON CAMIONETA	154.65
COSTO TOTAL	7,724.55

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Anexo 26.

Mant. Cilindro de empuje (Caso simulado)

Corporación Perforaciones del Perú S.A.C.

VALORIZACION SIMULADA DETALLADA

ATENCIÓN	CLIENTE	RUC
SRA. CARY	PERUVIAN LATIN RESOURCES S.A.C.	20[redacted]701

DOC. DE REF.	DESCRIPCIÓN GENERAL
-	REPARACION - CILINDRICO DE EMPUJE

Nº DOCUMENTO	
COT. 0014 - 3 17 - PLR - R1	
FECHA	PÁGINA
17/03/2025	1 de 1

PARTIDA	CONCEPTO				CANT.	UND.	C.U. S/	PARCIAL S/
1.00	REPARACIÓN GENERAL							2,102.28
1.01	MATERIALES Y/O REPUESTOS	$		CAMBIO				58.28
1.01.01	Pin de sujecion	7.50	$	3.70	2.00	PZA	27.75	55.50
1.01.04	Materiales varios (Empaques, sellados, orring, perneria, etc)				5.00%	%	55.50	2.78
1.02	CONSUMIBLES							332.00
1.02.01	Valvoline Sae 90 High Performance (Aceite Hidrulico)				8.00	L	32.50	260.00
1.02.02	Grasa H-3 Fibra 453G Vistony (Grasa)				2.00	PQT	17.00	34.00
1.02.03	Petróleo (Limpieza)				2.00	GAL	19.00	38.00
1.03	HERRAMIENTAS							0.00
1.04	MANO DE OBRA	PERS	DÍAS	%				440.00
1.04.01	Mecánico	1.00	1.00	100%	1.00	HH	200.00	200.00
1.04.02	Ayudante de mecánico	2.00	1.00	100%	2.00	HH	100.00	200.00
1.04.03	EPP y equipos de seguridad				10.00%	%	400.00	40.00
1.05	SERVICIOS							1,272.00
1.05.01	Traslado de MDO y Cilindro de Empuje				1.00	UND	700.00	700.00
1.05.02	Alimentacion MDO				4.00	UND	36.00	144.00
1.05.06	Servicio de Oxicorte a Pin				1.00	UND	320.00	320.00
1.05.07	Hospedaje (Moquegua)				4.00	UND	27.00	108.00
1.06	TRASLADOS CON CAMIONETA	DIST		KM X GAL				0.00

MATERIALES Y/O REPUESTOS	58.28
CONSUMIBLES	332.00
HERRAMIENTAS	0.00
MANO DE OBRA	440.00
SERVICIOS	1,272.00
TRASLADOS CON CAMIONETA	0.00
COSTO TOTAL	2,102.28

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Anexo 27.

Mant. Radiador (Caso simulado)

Corporación Perforaciones del Perú S.A.C.

VALORIZACION SIMULADA DETALLADA

ATENCIÓN	CLIENTE	RUC
[redacted]	[redacted]	[redacted]

DOC. DE REF.	DESCRIPCIÓN GENERAL
-	REPARACION - RADIADOR

Nº DOCUMENTO	
COT. 0015 - 3 22 - PLR - R2	
FECHA	PÁGINA
22/03/2025	1 de 1

PARTIDA	CONCEPTO				CANT.	UND.	C.U. S/	PARCIAL S/
1.00	REPARACIÓN GENERAL							4,360.27
1.01	MATERIALES Y/O REPUESTOS	$		CAMBIO				3,154.62
1.01.01	Radiador de refrigeracion del motor	730.00	$	3.70	1.00	PZA	2701.00	2701.00
1.01.02	Ventilador de enfriamiento	82.00	$	3.70	1.00	PZA	303.40	303.40
1.01.03	Materiales varios (Empaques, sellados, orring, perneria, etc)				5.00%	%	3004.40	150.22
1.02	CONSUMIBLES							209.00
1.02.01	Valvoline Sae 90 High Performance (Aceite Hidrulico)				1.00	L	32.50	32.50
1.02.02	Grasa H-3 Fibra 453G Vistony (Grasa)				1.00	PQT	17.00	17.00
1.02.03	Petróleo (Limpieza)				0.50	GAL	19.00	9.50
1.02.04	Refrigerante 50/50				15.00	GAL	10.00	150.00
1.03	HERRAMIENTAS							0.00
1.04	MANO DE OBRA	PERS	DÍAS	%				330.00
1.04.01	Mecánico	1.00	1.00	100%	1.00	HH	200.00	200.00
1.04.02	Ayudante de mecánico	1.00	1.00	100%	1.00	HH	100.00	100.00
1.04.03	EPP y equipos de seguridad				10.00%	%	300.00	30.00
1.05	SERVICIOS							512.00
1.05.01	Movilidad MDO **(Arequipa - Moquegua)**				2.00	UND	160.00	320.00
1.05.02	Alimentacion MDO				2.00	UND	36.00	72.00
1.05.03	Transporte de Radiador y ventilador a Moquegua				1.00	UND	80.00	80.00
1.05.04	Hospedaje (Camiara)				2.00	UND	20.00	40.00
1.06	TRASLADOS CON CAMIONETA	DIST		KM X GAL				154.65
1.06.01	Trayecto - Moquegua (Recojo de radiodaor y ventilador)	96.90	KM	0.07	6.78	GAL	19.00	128.88
1.06.02	Mantenimiento por Kilometro recorrido				0.20	%	128.88	25.78

MATERIALES Y/O REPUESTOS	3,154.62
CONSUMIBLES	209.00
HERRAMIENTAS	0.00
MANO DE OBRA	330.00
SERVICIOS	512.00
TRASLADOS CON CAMIONETA	154.65
COSTO TOTAL	4,360.27

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Anexo 28.

Mant. Bomba de agua de lodos (Caso simulado)

Corporación Perforaciones del Perú S.A.C.

VALORIZACION SIMULADA DETALLADA

ATENCIÓN	CLIENTE	RUC
[redacted]	[redacted]	[redacted]

DOC. DE REF.	DESCRIPCIÓN GENERAL
-	REPARACION - BOMBA DE AGUA DE LODOS

Nº DOCUMENTO	
COT. 0016 - 4 29 - PLR - R3	
FECHA	PÁGINA
29/04/2025	1 de 1

PARTIDA	CONCEPTO				CANT.	UND.	C.U. S/	PARCIAL S/
1.00	REPARACIÓN GENERAL							1,475.65
1.01	MATERIALES Y/O REPUESTOS	$		CAMBIO				777.00
1.01.01	Casquillos de desgaste	90.00	$	3.70	1.00	PZA	333.00	333.00
1.01.02	Rodete	110.00	$	3.70	1.00	PZA	407.00	407.00
1.01.04	Materiales varios (Empaques, sellados, orring, perneria, etc)				5.00%	%	740.00	37.00
1.02	CONSUMIBLES							17.00
1.02.02	Grasa H-3 Fibra 453G Vistony (Grasa)				1.00	PQT	17.00	17.00
1.03	HERRAMIENTAS							0.00
1.04	MANO DE OBRA	PERS	DÍAS	%				220.00
1.04.01	Mecánico	1.00	1.00	100%	1.00	HH	200.00	200.00
1.04.03	EPP y equipos de seguridad				10.00%	%	200.00	20.00
1.05	SERVICIOS							307.00
1.05.01	Movilidad MDO **(Arequipa - Moquegua)**				1.00	UND	160.00	160.00
1.05.02	Alimentacion MDO				1.00	UND	36.00	36.00
1.05.03	Envio de Repuestos				1.00	UND	42.00	42.00
1.05.04	Torneado y rectificado de piezas				1.00	UND	69.00	69.00
1.06	TRASLADOS CON CAMIONETA	DIST		KM X GAL				154.65
1.06.01	Trayecto - Moquegua (Traslado de mecanico [Noche])	96.90	KM	0.07	6.78	GAL	19.00	128.88
1.06.06	Mantenimiento por Kilometro recorrido				0.20	%	128.88	25.78

MATERIALES Y/O REPUESTOS	777.00
CONSUMIBLES	17.00
HERRAMIENTAS	0.00
MANO DE OBRA	220.00
SERVICIOS	307.00
TRASLADOS CON CAMIONETA	154.65
COSTO TOTAL	1,475.65

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis