UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

Trabajo por Suficiencia Profesional

"EFECTIVIDAD DE LA INICIACIÓN ELECTRÓNICA EN ZONA DE INTERACCIÓN CON EQUIPOS AUTÓNOMOS EMPLEANDO EL SISTEMA DAVEYTRONIC EVOLUTION PACK 48, MINA QUELLAVECO – MOQUEGUA - 2021"

PRESENTADO POR:

BACH. MARILIA VERÓNICA CÓRDOVA VILLEGAS

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO DE MINAS

MOQUEGUA-PERÚ

2021

UNAM
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA
UNAM
SECRETARIA GENERAL

Folio N° 019

ACTA DE SUSTENTACIÓN

I. Modalidad:

Tesis : [ ]

Trabajo de Suficiencia Profesional : [X]

Otro: ..... : [ ]

II. Documento de aprobación para la sustentación:

RESOLUCION DE FACULTAD N° 0085 - 2021 - FACIA - UNAM

Fecha: 26.11.2021

III. El Jurado ha dictaminado la (el) TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL, TITULADO: EFECTIVIDAD DE LA INICIACIÓN ELECTRÓNICA EN ZONA DE INTERACCIÓN CON EQUIPOS AUTÓNOMOS EMPLEANDO EL SISTEMA DAVEYTRONIC EVOLUTION PACK 48, MINA QUELLAVECO - MOQUEGUA, 2021

Bachiller: MARILIA VERÓNICA CÓRDOVA VILLEGAS

Asesor Principal: MSC. CHRISY JESUS BARRIGA PARIA

Co-Asesor : -

IV. Se dictamina:

Como: APROBADO por UNANIMIDAD la sustentación de manera:

Presencial [ ] Virtual [X]

Con nota: DIECISIETE (17) por lo que; Sí [X] No [ ]

Opta el Título Profesional de INGENIERO DE MINAS.

Siendo las 19 horas, del 26 de NOVIEMBRE del año 2021 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

Presidente
MARCOS LUIS QUISPE PEREZ
(Nombres y Apellidos)

Primer Miembro
AGAPITO FLORES JUSTO
(Nombres y Apellidos)

Segundo Miembro
JUAN ELIAS ROJAS CONDORI
(Nombres y Apellidos)

Bachiller
MARILIA VERÓNICA CÓRDOVA VILLEGAS
(Nombres y Apellidos)

DEDICATORIA

A mi madre por ser el pilar en mi vida, la persona que me motiva día a día a seguir esforzándome. A Papanino, mi abuelito, por ser el hombre que me guió y brindó los valores y enseñanzas de vida. A Dios por ser mi fuerza espiritual en momentos difíciles.

AGRADECIMENTO

Agradezco a la Universidad Nacional de Moquegua y a la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas por haber sido mi casa de formación, durante 5 años de estudios, donde aprendí los pilares de mi carrera profesional.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas que me brindaron sus enseñanzas, experiencias y conocimientos.

A mi asesor, el Msc. Ing. Christ Barriga Paria por haberme brindado su tiempo y apoyo en el desarrollo del presente trabajo.

Al ingeniero Javier Salazar Muñoz, por las enseñanzas brindadas y por la motivación constante.

A mi madre Gumercinda Villegas Valdez, por ser mi respaldo emocional, por brindarme su apoyo incondicional en mi formación, por ser un ejemplo de mujer que inspira mi día a día.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como finalidad demostrar la correcta operatividad de los equipos de iniciación electrónica Daveytronic Evolution Pack 48, empleados para realizar la programación, conexión y detonación de los proyectos de voladura en mina Quellaveco, donde vienen trabajando equipos autónomos los cuales interactúan con diversas frecuencias para su operación. Quellaveco viene siendo la primera mina digital del Perú que empleará el sistema de iniciación electrónica Daveytronic. Al realizarse voladuras primarias, nace la incertidumbre en el correcto funcionamiento de los equipos Daveytronic Evolution Pack 48 y los equipos autónomos, debido a la interacción de sus frecuencias, por lo cual se analizó diversos procesos de voladura para determinar los puntos de iniciación (disparo), niveles de intensidad y calidad de señal que faciliten el proceso de iniciación electrónica. Los equipos Daveytronic trabajan de manera alámbrica e inalámbrica por ende generan su propia red de comunicación una vez estén debidamente tageados e instalados, el pack 48 que se está empleando ha demostrado en otras unidades mineras su efectividad al momento de realizar el proceso de voladura por ende se espera mejores resultados en la interacción con una mina digital, representa además el inicio de un nuevo hito para la empresa Enaex y toda una gama de oportunidades y desafíos para los programadores electrónicos que trabajan en la operación.

Palabras clave: Tageados, equipos Daveytronic, equipos autónomos, frecuencias.

ABSTRACT

The purpose of this work is to demonstrate the correct operation of the Daveytronic Evolution Pack 48 electronic initiation equipment, used to carry out the programming, connection and detonation of the Quellaveco pit blasting mine, where autonomous teams are working which interact with various frequencies. for your operation. Quellaveco is the first digital mine in Peru to use the Daveytronic electronic initiation system. When carrying out primary blasting in the Quellaveco F01Norte pit, uncertainty arises in the correct operation of the Daveytronic Evolution Pack 48 equipment and the autonomous equipment, due to the interaction of their frequencies, to which various blasting processes were analyzed to determine the initiation points. (trigger), intensity levels and signal quality that facilitate the electronic initiation process. Daveytronic equipment works in a wired and wireless way, therefore, they generate their own communication network once they are duly tagged and installed, the pack 48 that is being used has demonstrated its effectiveness in other mining units when carrying out the blasting process. Better results are expected in the interaction with a digital mine, it also represents the beginning of a new milestone for the Enaex company and a whole range of opportunities and challenges for the electronic programmers working in the operation.

Keywords: Taggear, Daveytronic equipment, autonomous equipment, frequencies.

ÍNDICE

RESUMEN 1

ABSTRACT 4

CAPÍTULO I 10

I. INTRODUCCIÓN 10

1.1. Trayectoria del autor 11

1.2. Descripción de la Empresa 11

1.2.1. Propósito 12

1.2.2. Visión 12

1.2.3. Misión 13

1.2.4. Valores corporativos: 13

1.3. Organigrama de la Empresa 13

1.4. Áreas y funciones desempeñadas 15

1.4.1. Desde noviembre 2020 a la actualidad 15

1.4.2. Desde noviembre 2019 a octubre 2020 17

1.4.3. Desde febrero 2019 a octubre 2019 18

1.4.4. Desde octubre 2018 a diciembre 2018 19

CAPÍTULO II 21

II. DESCRIPCIÓN DE UNA ACTIVIDAD ESPECÍFICA 21

2.1. Ubicación de la mina 21

2.1.1. Accesibilidad 22

2.2. Geología 23

2.3. Descripción del sistema Daveytronic 25

2.3.1. Detonador Daveytronic 25

2.3.2. Sistema de iniciación electrónica Daveytronic Evolution Pack 48 27
2.4. Descripción de las operaciones 40
2.4.1. Perforación 40
2.4.2. Diseño de voladura 41
2.4.3. Proceso de carguío, amarre y detonación de malla de voladura 45
CAPÍTULO III 61
III. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS 61
3.1. Antecedentes 61
3.1.1. Internacionales. 61
3.1.2. Nacionales y Regionales 63
3.2. Objetivos 64
3.2.1. Objetivo General 64
3.2.2. Objetivo específico 64
CAPÍTULO IV 65
IV. RESULTADOS, INDICADORES Y APORTES 65
4.1. Resultados 65
4.2. Indicadores 74
4.3. Aportes 75
CAPÍTULO V 77
V. ASPECTOS COMPLEMENTARIOS / RECOMENDACIONES 77
5.1. Aspectos complementarios 77
5.2. Recomendaciones 78
CAPÍTULO VI 80
VI. REFERENCIAS 80
CAPÍTULO VII 82
VII. ANEXOS 82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Organigrama Enaex – Quellaveco 14

Figura 2 Ubicación unidad minera Quellaveco 22

Figura 3 Mapa Geológico Quellaveco 25

Figura 4 Detonador Daveytronic 26

Figura 5 Componentes del detonador Daveytronic. 27

Figura 6 Unidad de Programación (PU) 28

Figura 7 Daveytronic Remote Blaster (DRB) 29

Figura 8 Daveytronic Blast Driver (DBD) 30

Figura 9 Conjunto de Equipos Daveytronic 31

Figura 10 Modos de disparo Daveytronic Evolution Pack 48 32

Figura 11 Zona Fresnel libre de obstáculos 33

Figura 12 Zona Fresnel obstruida 34

Figura 13 Comunicación DRB-DBD 38

Figura 14 Tag entre DBD y PU 39

Figura 15 Antena Omnidireccional 40

Figura 16 Diseño de carga explosiva HA28 12 ¼" Ø 44

Figura 17 Brinel 600ms 45

Figura 18 Primado de Booster con sistema de seguridad safe look 46

Figura 19 Participación en reunión de inicio de guardia 47

Figura 20 Proceso de carguío de taladros con camión fábrica 47

Figura 21 Tapado de taladros 49

Figura 22 Amarre de detonadores 50

Figura 23 Secuencia de amarre 51

Figura 24 Secuencia de programación 51

Figura 25 Testeos de la PU 52

Figura 26 Transferencia de datos de PU A DRB 53

Figura 27 Mensaje de carga autorizada por el DRB 55

Figura 28 Disparo proyecto de voladura 55

Figura 29 Análisis de fragmentación 56

Figura 30 Medición de VOD 57

Figura 31 Monitoreo de vibraciones 58

Figura 32: Calidad e intensidad de señal equipos Daveytronic voladuras F01Norte 67

Figura 33: Calidad en Intensidad de señal equipos Daveytronic voladuras Quebrada Altaranito 68

Figura 34: Consumo de corriente por detonadores conectados a la línea 69

Figura 35: Fuga vs Detonadores disparados 70

Figura 36: Horario de voladuras realizadas 72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Coordenadas unidad minera Quellaveco: Coordenadas UTM WGS84 - Zona 19K 21

Tabla 2 Indicador de intensidad de señal enviada por un DBD. 35

Tabla 3 Calidad e intensidad de Equipos Daveytronic para un disparo inalámbrico 36

Tabla 4: Leyenda Litología 42

Tabla 5: 42

Tabla 6: Leyenda UCS 43

Tabla 7 Diseño de carga explosiva 44

Tabla 8 Densidades de mezclas explosivas (prillex + emulgex) 48

Tabla 9 Costos de detonadores 59

Tabla 10 Costo por taladro empleando detonador electrónico 59

Tabla 11 Ejemplo de costos detonador electrónico empleado por otra empresa 60

Tabla 12: Puntos de disparo F01Norte 66

Tabla 13: Puntos de disparo Quebrada Altaranito 67

Tabla 14: Consumo de cable M35 71

Tabla 15: Resumen de voladuras 73

CAPÍTULO I

I. INTRODUCCIÓN

La competitividad en el mundo de la voladura cada día va en aumento, así como la implementación de nuevas tecnologías donde se puede visualizar mayores competencias en el mercado. Pero la implementación de estas tecnologías también genera incertidumbre en el ámbito de la compatibilidad e interacción con las tecnologías que siempre han empleado, es así como se da inicio a este proyecto de investigación.

A fines de marzo del presente año Quellaveco da inicio al *pre-stripping* con una flota de camiones autónomos y tripulados y a fines de Junio se da inicio a las voladuras primarias en la primera mina autónoma del Perú, es así como nace la incertidumbre en la no afectación de la operación al momento de realizar las voladuras con iniciación electrónica puesto que tanto la autonomía como la iniciación electrónica trabajan en frecuencias donde los equipos se comunican entre sí para realizar sus procesos y adecuado funcionamiento.

Este proyecto tiene como finalidad demostrar la correcta operatividad y efectividad del sistema de iniciación electrónica Daveytronic Evolution Pack 48, realizando diversos procesos de voladura (programación, conexión y detonación), identificando los diversos puntos de iniciación con una calidad e intensidad de señal óptima en un área influenciada por el sistema autónomo donde no se vea afectado el óptimo desarrollo de las operaciones.

1.1. Trayectoria del autor

La experiencia adquirida desde el año 2018 a la actualidad es en empresas contratistas dedicadas al sector minero, especializadas en prestar servicios de voladura de rocas. A continuación, se detalla la trayectoria obtenida.

- 2020 - 2021 (noviembre 2020 a la actualidad): Empresa CHEMTRADE S.A.C – ENAEX
  Unidad minera Constancia / Unidad minera Quellaveco
  Programador de disparos electrónicos.

- 2019 – 2020 (noviembre 2019 a octubre 2020): Empresa CHEMTRADE S.A.C – ENAEX
  Proyecto minero Quellaveco
  Asistente SSOMA

- 2019 (febrero - octubre): Empresa CHEMTRADE S.A.C. – ENAEX
  Unidad minera Quellaveco
  Practicante profesional SSOMA

- 2018 (octubre - diciembre-): Empresa SOUTHERM PERU CCOPER CORPORATION
  Unidad minera Cuajone
  Practicante profesional Planeamiento Corto plazo

1.2. Descripción de la Empresa

Enaex cuenta con más de 100 años de experiencia y trayectoria en el mercado de explosivos, desde el año 1990 es una filial del Grupo Sigdo Koppers y a lo largo de su historia ha logrado establecerse como el tercer productor de nitrato de amonio más grande del mundo. La compañía ha logrado fortalecer su desarrollo internacional, aumentando su capacidad para

exportar productos y soluciones innovadoras de última generación para el sector minero a nivel global.

Reingresa al Perú en el 2014 comprando Chemtrade, iniciando así su participación activa en el mercado peruano con los servicios de suministro de explosivos con la línea completa de productos y el servicio de voladura con la incorporación de camiones fábrica de alto tonelaje Milodón.

En el 2018 Enaex compra Industrias Cachimayo lo que le permite ampliar su capacidad de producción local con la instalación de la planta más moderna de emulsión matriz con una capacidad de producción de 120 mil Ton/año y la ubicación estratégica en la zona sur de Perú.

También ofrece a la industria minera los subproductos como: amoniaco, ácido nítrico, nitrógeno gas y líquido, oxigeno industrial y agua desmineralizada. Enaex entrega el servicio de fragmentación de roca y voladura a las más prestigiosas mineras del mundo. En el Perú tienen operaciones en la zona norte, centro y sur, volviéndose así una de las empresas más competitivas del mercado.

1.2.1. Propósito

Humanizar la minería: Sabemos que la vida es lo más preciado, porque sabemos que tenemos que lidiar con condiciones de trabajo complejas, porque sabemos que nuestras acciones pueden tener un impacto positivo en cada detalle – desde la seguridad y el bienestar hasta nuestra huella de carbono – aspiramos a promover y a tomar acción para forjar una minería más humanizada.

1.2.2. Visión

Ser la compañía más prestigiosa en la industria entregando soluciones de alto valor a las regiones mineras más importantes del mundo.

1.2.3. Misión

Crecer junto a los clientes, suministrando Nitrato de Amonio, químicos asociados y servicios a la minería de alta calidad. Entregar estándares de nivel mundial en seguridad, confiabilidad y servicios innovadores. Tener presencia global, con liderazgo en Latinoamérica. Generar valor a los accionistas y trabajadores. Ser reconocidos como una empresa respetuosa con la comunidad y el medio ambiente.

1.2.4. Valores corporativos:

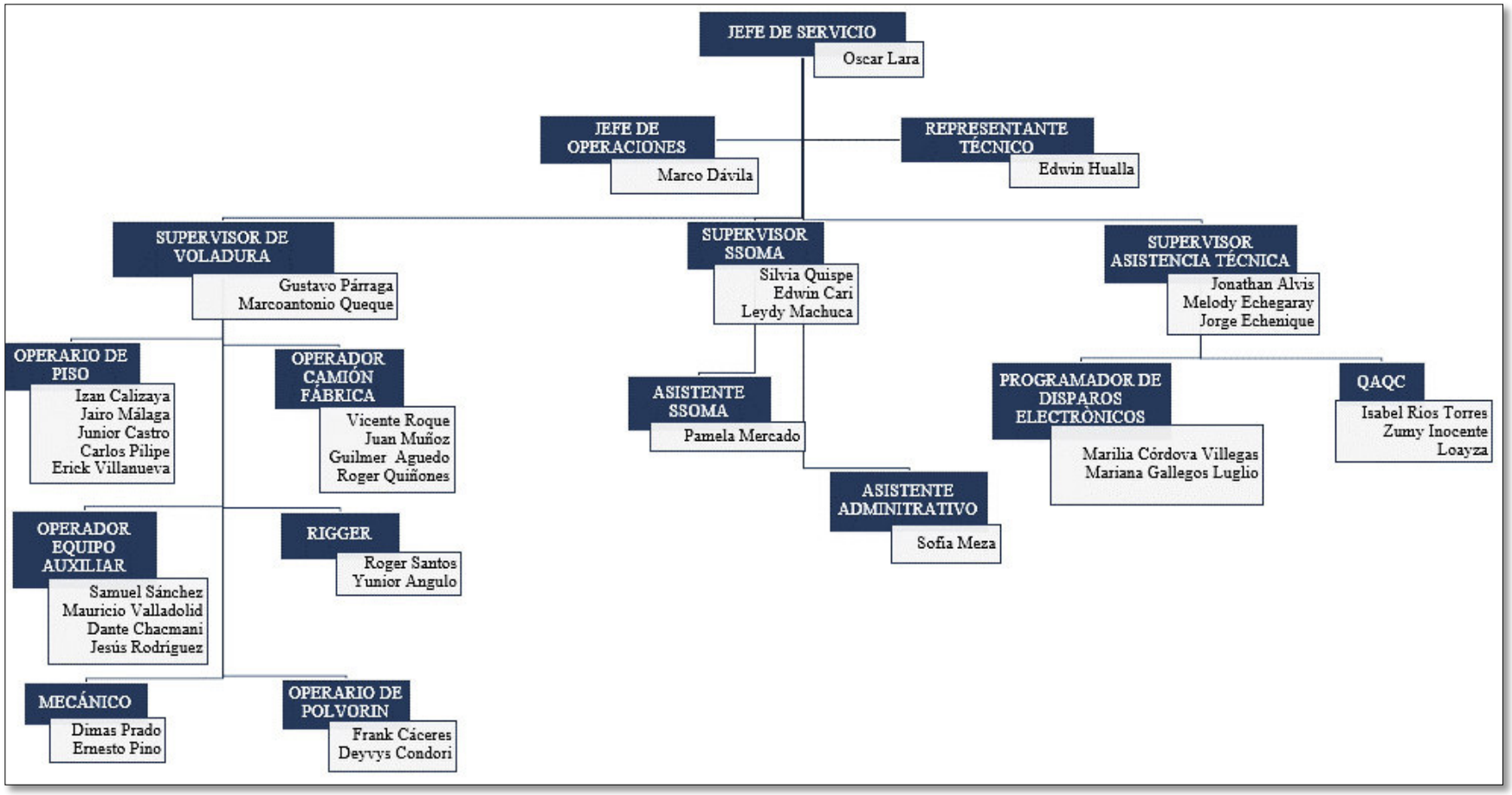
- Nuestra prioridad: LA VIDA
- Nuestra vocación: LOS CLIENTES
- Nuestra obsesión: LA EXCELENCIA
- Nuestra fortaleza: INNOVACIÓN Y EMPREDIMIENTO

1.3. Organigrama de la Empresa

Enaex Perú, empresa líder en el mercado es liderada por el gerente general Ing. Elmer Vidal, cuenta con varias operaciones a nivel del Perú. El organigrama mostrado en la Figura 1 es de una de las operaciones en la cual se han puesto muchas expectativas, se puede apreciar el equipo Quellaveco el cual presta los servicios de voladura en la mencionada unidad minera.

Figura 1

Organigrama Enaex – Quellaveco



Nota: *Elaboración propia*

1.4. Áreas y funciones desempeñadas

1.4.1. Desde noviembre 2020 a la actualidad

EMPRESA CHEMTRADE S.A.C –ENAEX

Unidad minera Constancia/ Unidad minera Quellaveco.0

Cargo desempeñado: Programador de disparos electrónicos.

Programación electrónica:

- Realizar el diseño de secuencia de amarre, secuencia de programación y simulación de los proyectos de voladura, en coordinación con el cliente y el área de asistencia técnica Enaex.
- Realizar la programación de los detonadores electrónicos en malla, conexión con el cable m35, tendido de línea, instalación de equipos y detonación del proyecto de voladura.
- Verificar constantemente el estado de la malla a volar realizando los respectivos chequeos de integridad de la línea, con la unidad de programación (PU), dando solución a cualquier imprevisto, fugas, cortes de línea, detonadores dañados, entre otros; causados por el proceso de carguío o condiciones ambientales.
- Evaluar una calidad e intensidad de señal óptima en los diferentes puntos de disparo en la zona de influencia de los proyectos de voladura.
- Evaluar los tiempos desde el inicio de la programación hasta el tendido de línea y coordinar con el supervisor de voladura para evitar posibles retrasos en el proceso.
- Realizar el respectivo reporte post voladura de iniciación electrónica, analizando los resultados de la misma.
- Llevar el control de stocks de detonadores Daveytronic y cable de conexión M35, asegurando la cantidad necesaria para la operación.

- Realizar el respectivo informe mensual de programación electrónica, analizando consumos de detonadores, proyectos disparados, cable M35 empleado, horarios de disparo programado vs real, fugas presentadas en cada proyecto volado.

Voladura:

- Realizar el respectivo seguimiento al estado de los taladros en malla, presencia de agua, taladros no armados, tapados, cortos haciendo el respectivo levantamiento.
- Planificar con todo el equipo responsable de la voladura el sentido de carguío y tapado dela malla.
- Apoyar a la toma y control de densidades en campo, verificando el estado de la mezcla explosiva, diseño de carga y respectivo cumplimiento de taco.
- Realizar la instalación de VOD (velocidad de detonación) en campo en el primer taladro, midiendo la resistencia adecuada del cable, haciendo seguimiento a su carguío y tapado adecuado.
- Apoyo en el análisis de fragmentación post voladura, análisis granulométrico de material para taco, análisis de empleo de accesorios como taponex, cartuflex, etc. en los proyectos disparados.

Seguridad:

- Capacitar al personal responsable del tapado de taladros, para que puedan testear los detonadores en malla, identificar cortes de línea y continuar con el proceso de voladura sin contratiempos.
- Velar por el cumplimiento de los procedimientos PETS establecidos para la operación y trabajos en malla de voladura.
- Realizando análisis de IPERC, ATS, OPT (Observación planeada de trabajo), VFL (Verificación de liderazgo visible), inspecciones, en cumplimiento a los KPIS de seguridad.

- Cumplir con los compromisos asumidos hacia el cliente, brindando opciones de mejora.

1.4.2. Desde noviembre 2019 a octubre 2020

EMPRESA CHEMTRADE S.A.C –ENAEX

Proyecto minero Quellaveco

Cargo desempeñado: Asistente SSOMA (Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente).

Voladura:

- Verificar el estado de la malla, planeando la correcta señalización de la misma.
- Apoyar los requerimientos de agentes y accesorios de voladura para mantener un stock disponible.
- Realización de monitoreos de ruido emitidos por la voladura, procesando la información y verificación de los decibeles indicados por norma.

Seguridad:

- Realizar las capacitaciones de seguridad a todo el personal de acuerdo al programa mensual y anual de la empresa.
- Registro y cumplimiento al Anexo 05 del personal nuevo.
- Liderando el programa SBC (Seguridad Basada en el Comportamiento) y equipo de observadores SBC - Enaex, analizando la estadística de comportamientos seguros, preocupantes y logros en cada observación generada. Realizando un análisis semanal presentado a toda la línea de mando, generando planes de acción para con el personal y áreas involucradas. Liderando las respectivas campañas mensuales, implementando así la mejora continua y formación de cultura de seguridad en todo el equipo.

- Capacitar al equipo de observadores SBC, liderar las reuniones semanales con observadores en terreno.
- Realizar los respectivos informes semanales, mensuales y anuales de seguridad, verificando el cumplimiento de KPIS indicados, reconociendo la labor del personal destacado en seguridad.
- Liderar el cumplimiento del plan de fatiga, empleando relojes fitbit, haciendo el monitoreo constante del estado de fatiga de cada colaborador que realiza tareas críticas.

Medio Ambiente:

- Realización de reportes diarios de medio ambiente, avistamiento de flora y fauna en proyecto, control de aspectos ambientales como afectación a suelo y agua.
- Control de cantidad de residuos peligrosos generados en voladura para su correcta segregación.

1.4.3. Desde febrero 2019 a octubre 2019

EMPRESA CHEMTRADE S.A.C –ENAEX

Proyecto minero Quellaveco

Cargo desempeñado: Practicante Profesional SSOMA

Voladura:

- Realizar el respectivo apoyo en campo, verificación de estado de accesorios y agentes para llevar el control de consumos por voladura.
- Apoyar en la distribución de accesorios en malla, y la respectiva segregación, almacenamiento de residuos de agentes (bolsas de ANFO), coordinando con el área operativa.

Seguridad:

- Desempeñándome en actividades como procesamiento y actualización de información SSOMA, realización de informes semanales y mensuales de seguridad. Soporte en la verificación y revisión de información en campo.
- Realización de campañas de seguridad, capacitación al personal en SBC, capacitación a observadores nuevos SBC, llenado de cartillas de observador y procesamiento de data para la verificación de los comportamientos seguros y preocupantes cada semana.

Medio Ambiente:

- Liderando las campañas mensuales de medio ambiente.
- Capacitación al personal en manejo de residuos peligrosos, conciencia ambiental.
- Realización de informes mensuales de medio ambiente, seguimiento al cumplimiento de KPI medio ambiental.

1.4.4. Desde octubre 2018 a diciembre 2018

COMPAÑÍA MINERA SOUTHERN PERÚ COPPER CORPORATION

Unidad Minera Cuajone

Cargo desempeñado: Practicante Profesional Planeamiento Corto Plazo.

Planeamiento:

- Realizar el diseño y ajuste de mallas de perforación según parámetros de Geología, Geotecnia, Perforación y Disparos.
- Realizar diariamente el diseño de planos de avance de perforación.
- Control de QA-QC con el registro de muestreo diario así mismo con la transferencia de Blastholes en importación al AcQuire.
- Actualización de archivos de topografía con su respectiva conversión y posterior visualización en MineSight.

- Elaboración de material disparado con la respectiva cubicación de sólidos y reporte cada semana.
- Ploteo y preparación de planos de avance de minado para las reuniones de plan semanal y mensual.
- Actualización de cada frente de minado en el software MineSight, mapeo continuo de polígonos, mineral y desmonte.
- Actualización de las mallas próximas a perforar en el sistema Mineops, asegurando la cantidad de taladros a perforar por turno.
- Validación de los proyectos disparados acorde al total de taladros planificados en MineSight.

Seguridad:

- Realización del cronograma de charlas de seguridad mensual en conjunto con planeamiento corto, mediano y largo plazo.
- Participación activa en el programa PROCESA.
- Procesamiento de cartillas SBC en el sistema SOPA para registro y posterior análisis.

CAPÍTULO II

II. DESCRIPCIÓN DE UNA ACTIVIDAD ESPECÍFICA

2.1. Ubicación de la mina

La unidad minera Quellaveco se ubica en el distrito de Torata, provincia de Mariscal Nieto, departamento de Moquegua, la Tabla 1 muestra las coordenadas geográficas UTM WGS84 - Zona 19K y la Figura 2 se puede apreciar el plano de ubicación de la unidad minera.

Ubicación Política

Sector: Quellaveco Provincia: Mariscal Nieto

Departamento: Moquegua Distrito: Torata

Tabla 1

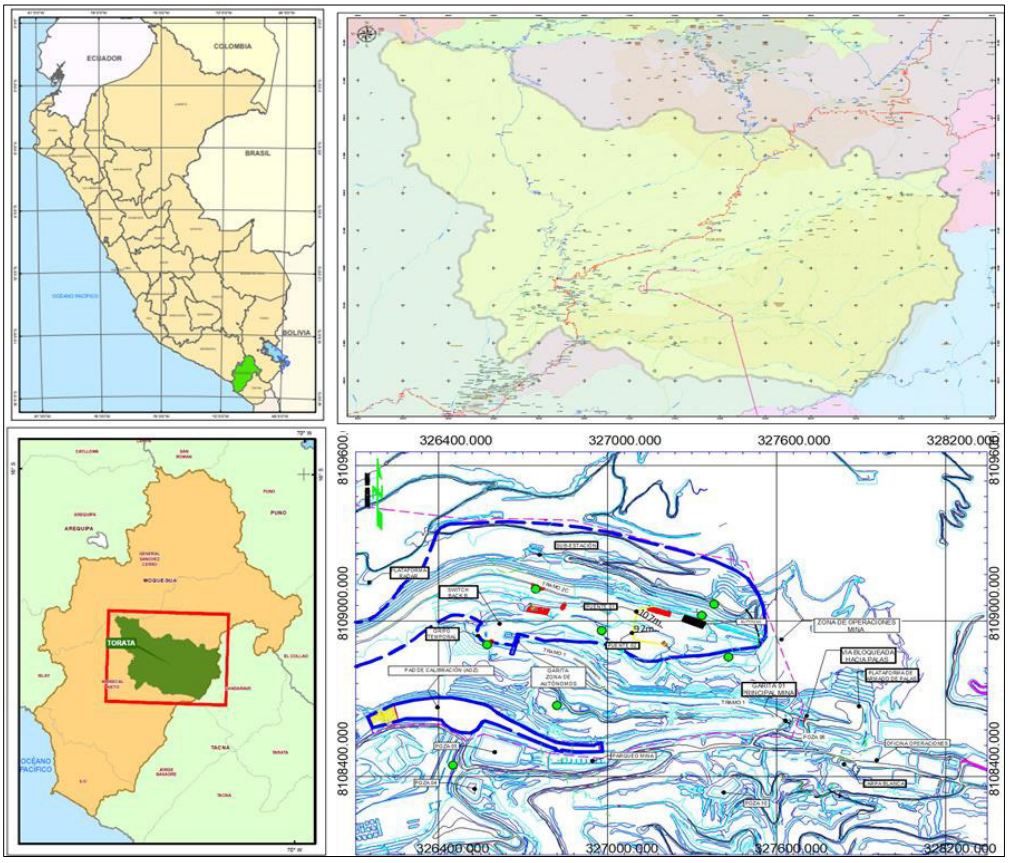
Coordenadas unidad minera Quellaveco: Coordenadas UTM WGS84 - Zona 19K

Vértice	Norte	Este
1	8,108,312.57	327,466.78
2	8,108,405.32	326,471.69
3	8,108,803.36	326,508.79
4	8,108,710.61	327,503.89

Nota: *Recopilado de INGEMMET (2020).*

Figura 2

Ubicación unidad minera Quellaveco



Nota: Elaboración propia

2.1.1. Accesibilidad

Mina Quellaveco, se ubica aproximadamente a 100 Km. al noreste de la ciudad de Tacna, y a unos 37 Km. al noreste de la ciudad de Moquegua, cerca de dos operaciones de Southern Copper Perú, Cuajone y Toquepala. El yacimiento está ubicado entre 3.400 y 3.900 metros sobre el nivel del mar en el valle del Río Asana, en la provincia de Mariscal Nieto, departamento de Moquegua. Desde la ciudad de Moquegua Quellaveco está a 2:30 horas por la vía de acceso a la unidad minera.

2.2. Geología

El depósito de Quellaveco se encuentra en el fondo del valle del río Asana, a 12 km en línea recta, al norte de Toquepala. Su posición geográfica es la siguiente: latitud 17° 06´ sur, longitud 70° 38´ oeste y altitud 3,700 m. En el lado sur del valle aparece extensamente el Pórfido Quellaveco sobre el cual yacen andesitas y riolitas de la Serie Alta. En el fondo del valle, intruyendo al Pórfido.

Quellaveco aflora un cuerpo intrusivo, en parte fracturado y con fuerte alteración hidrotermal, de composición no bien definida por su alteración y que en términos generales se le considera como monzonita cuarcífera, aunque grandes porciones han sido microscópicamente determinadas como diorita cuarcífera. Dentro de este macizo ígneo queda el cuerpo mineralizado.

En la ladera norte el intrusivo queda cubierto con fuerte discordancia de erosión por tufos del Volcánico Huaylillas. Tanto en el campo como en las determinaciones petrográficas la roca se presenta con fuerte alteración hidrotermal, los productos de dicho proceso son cuarzo y sericita, principalmente. En el lado sur de la quebrada, en los barrancos que quedan detrás del campamento, el intrusivo se presenta fragmentado hasta brechado, con fuerte alteración hidrotermal, con venillas de cuarzo y pirita asociada con finos cristales de calcopirita.

La mineralización hipógena consiste principalmente de pirita y calcopirita y algo de esfalerita y molibdenita que se presenta en forma de vetillas y diseminaciones dentro de la estructura, y de rocas fracturadas, además se presenta calcosita y bornita en la zona de enriquecimiento. (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 1979).

Relaciones estructurales

El pórfido de Quellaveco, se ha emplazado en la intersección de las estructuras de la falla Quellaveco con dirección NO-SE y los lineamientos de

dirección NE-SO. Existen afloramientos de diques de composición dacíticos de dirección anti-andina.

Relaciones Magmáticas

Se presentan dos tipos de brechas dentro de la granodiorita:

1) Brechas ígneas, tiene fragmentos angulosos de granodiorita.

2) Brechas de guijarros, presentan clastos redondeados y tiene matriz clástica silicificada.

Alteración y mineralización hipógena – supérgena

Se han reconocido las siguientes alteraciones hidrotermales:

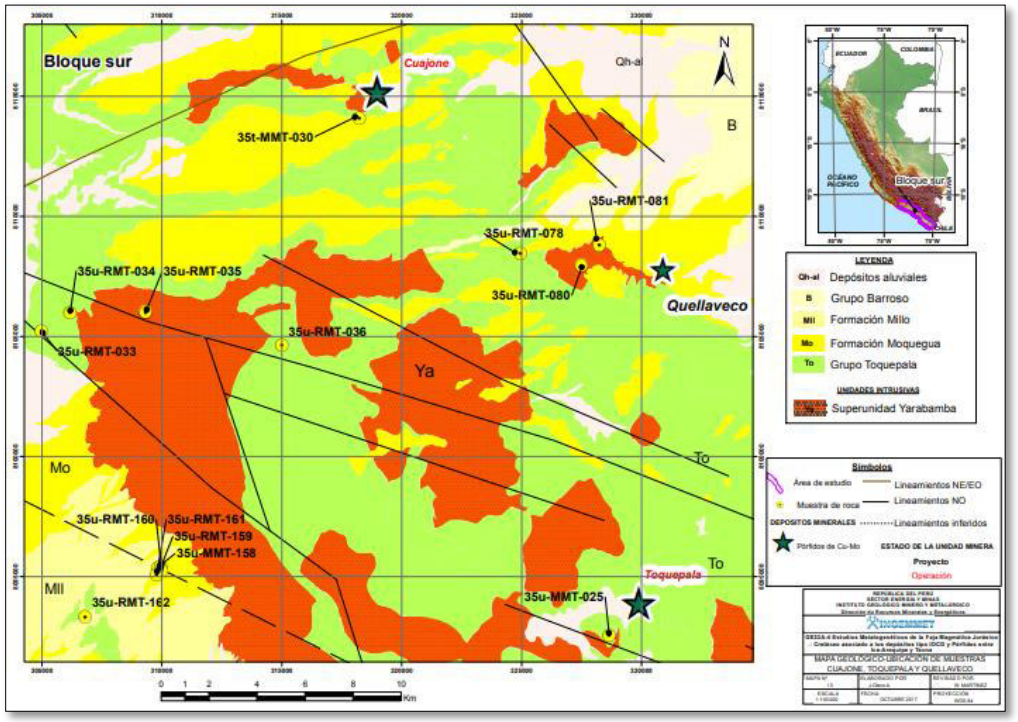
- Alteración potásica, se localiza en la parte central. Presenta feldespato K pertítico, biotita secundaria y menor porcentaje de anhidrita. El feldespato K ocurren en vetillas de cuarzo tipo A con calcopirita, bornita, pirita y molibdenita asociadas. La magnetita ocurre en menor porcentaje.

- Alteración propilítica, consiste de clorita, calcita, epídota y pirita. No se conoce su límite externo por la cubierta de rocas post mineral.

- Alteración fílica, está superpuesta a la alteración potásica y consiste de sericita-cuarzo y pirita. Se presenta en forma pervasiva o en vetillas de cuarzo. (Martínez-Valladares, Marchena-Campos, Otero-Aguílar, Cervantes-Gárate, & León-Lecaros, 2017)

Figura 3

Mapa Geológico Quellaveco



Nota*:* Recopilado de Ingemmet 2017.

2.3. Descripción del sistema Daveytronic

2.3.1. Detonador Daveytronic

El detonador Daveytronic ofrece nuevas características, como inmunidad a RF, descargas electróstáticas (ESD), campos electromagnéticos (EMP) y corrientes vagabundas. Completamente testeable, flexible, resistente, base para el control de vibraciones y control de fragmentación; en la Figura 4 se muestra el detonador Daveytronic de 20m reforzado el cual se emplea actualmente. (ENAEX, 2019).

Figura 4

Detonador Daveytronic

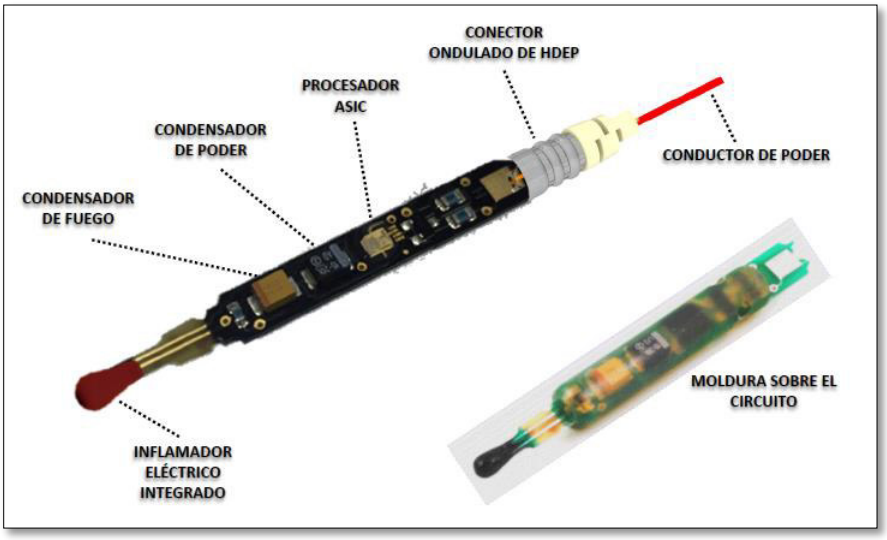


Nota: Recopilado de Sasol Producto Premiun.

En la Figura 5 se muestran las partes del detonador electrónico Daveytronic, el cual posee un doble condesador exclusivo, uno para comunicación bidireccional con los equipos de voladura y otro condensador para el disparo. Cuenta con la tecnología Smartshunt, para aislar el fushead hasta que el comando de fuego es recibido en el punto de disparo, lleva a cabo un autodiagnóstico de funciones cuando los equipos lo ordenan. (ENAEX, 2019).

Figura 5

Componentes del detonador Daveytronic.



Nota: Fuente Guía Detonador Daveytronic 2019.

2.3.2. Sistema de iniciación electrónica Daveytronic Evolution Pack 48

El sistema de voladura digital DaveyTronic Evolution Pack 48 consta de un conjunto de tres unidades resistentes y robustas:

- La unidad de programación (PU), identificando y probando separadamente cada detonador en el banco, asigna el tiempo de retardo, permite programar y reprogramar cada detonador, se adapta a la operación. Permite realizar verificaciones en malla: test de línea, conteo de detonadores y búsqueda de detonadores desconectados, almacenando los datos en la tarjeta RFID, la Figura 6 muestra la PU con una pantalla LCD y las 18 teclas para realizar las respectivas funciones.

Figura 6

Unidad de Programación (PU)



Nota: Extraído de Sistema de iniciación electrónica digital Daveytronic SP

- Daveytronic Remote Blaster (DRB), dispara hasta 1500 detonadores con comandos seguros, permite la operación desde un punto seguro, verifica el circuito y comprueba la funcionalidad de cada detonador, permite la recuperación de datos por transferencia RFID. Se comunica de forma remota con cada detonador.

- El pack 48 trabaja en la frecuencia 923 Mhz, en la Figura 7 se puede apreciar el equipo DRB, el cual, al momento de encender, la pantalla nos muestra la frecuencia con la cual está trabajando.

Figura 7

Daveytronic Remote Blaster (DRB)



Nota: Extraído de Sistema de iniciación electrónica digital Daveytronic SP

- Daveytronic Blast Driver (DBD), es la unidad autónoma en voladuras inalámbricas, ejecuta las instrucciones recibidas y suministra la energía necesaria para disparar hasta 1500 detonadores, verifica el circuito y comprueba a funcionalidad de cada detonador.
- En la Figura 8 se muestra el DBD con su respectiva antena omnidireccional, la cual debe ser instalada antes de proceder a encender el equipo para que este pueda pasar su autotest de manera correcta, este equipo debe de instalarse en el trípode y con una caja protectora puesto que es el equipo más cercano al proyecto de voladura.

Figura 8

Daveytronic Blast Driver (DBD)



Nota: Extraído de Sistema de iniciación electrónica digital Daveytronic SP

Las interfaces inteligentes USB, RS232 y Ethernet facilitan la comunicación con aplicaciones de PC (software de diseño de voladura) o *Datalogger* (software de transferencia de datos). En seguridad este sistema cuenta con protocolo patentado para el control de la línea de disparo y la transmisión de datos, la cual se ve reforzada con la tecnología RFID patentada y el número único de identificación de seguimiento de cada detonador.

En la Figura 9 se pueden ver todos los componentes de Daveytronic incluyendo la caja pelicano, los cargadores, antenas y tarjetas RFID.

Figura 9

Conjunto de Equipos Daveytronic



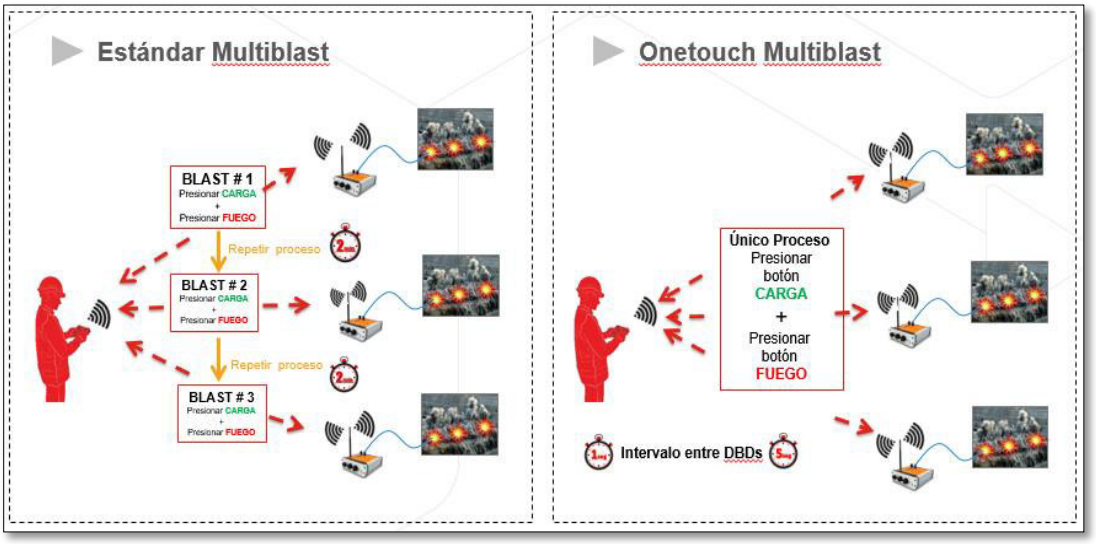
Nota: Extraído de Sistema de iniciación electrónica digital Daveytronic SP

Tipos de modo de disparo:

- *Monoblast /Multiblast:* 1- 8 DBD's. El operador puede cargar y disparar cada voladura de forma independiente.
- *Onetouch*: 8 DBD's. El operador puede cargar y disparar todas las voladuras en PARALELO con una sola orden de fuego. Este modo de disparo viene siendo el más reciente y actualizado en lo que concierne a iniciación electrónica Daveytronic Evolution Pack 48, en la Figura 10 se hace la respectiva comparación del modo *Onetouch* y *Multiblast.*
- *Synchroblast:* 3 DBD's. El operador puede generar una sincronización de hasta 3 *blast driver* para iniciar voladuras de mayor envergadura con hasta 4 500 detonadores en una sola orden de fuego.
- *Hopping Channel:* 2 DRB en simultáneo. Los operadores podrán iniciar voladuras inalámbricas en simultáneo mediante 2 equipos DRB sin que estos se interfieran en sus anchos de banda RF. (ENAEX, 2020)

Figura 10

Modos de disparo Daveytronic Evolution Pack 48



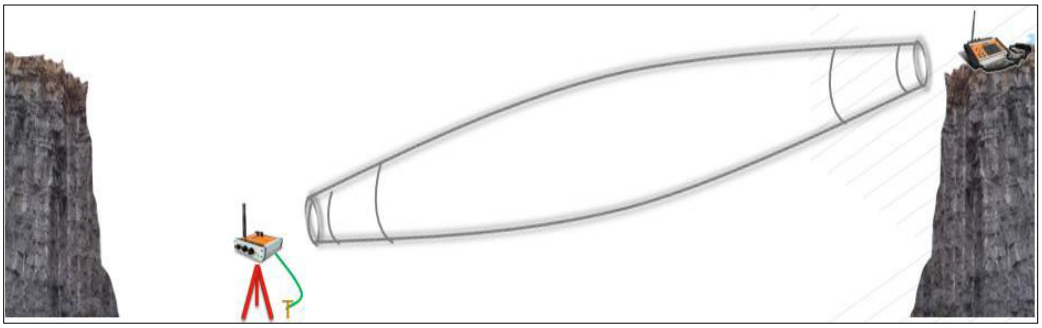
Nota: Extraído de Sistema de actualización Daveytronic Evolution Pack 48

Comunicación de equipos

Los equipos DaveyTronic Evolution Pack 48 crean su propia red de comunicación, trabajando en una frecuencia de 923 MHz, permitiendo la comunicación sin interrupción de otros equipos que trabajan en diferentes frecuencias. La fiabilidad de una buena comunicación inalámbrica depende de: las características del hardware: potencia de salida del módem, ganancia de las antenas y el espacio libre en la zona de Fresnel como se muestra en la Figura 11.

Figura 11

Zona Fresnel libre de obstáculos



Nota: Extraído de Reglas de oro para sistema de iniciación electrónica Daveytronic (2020).

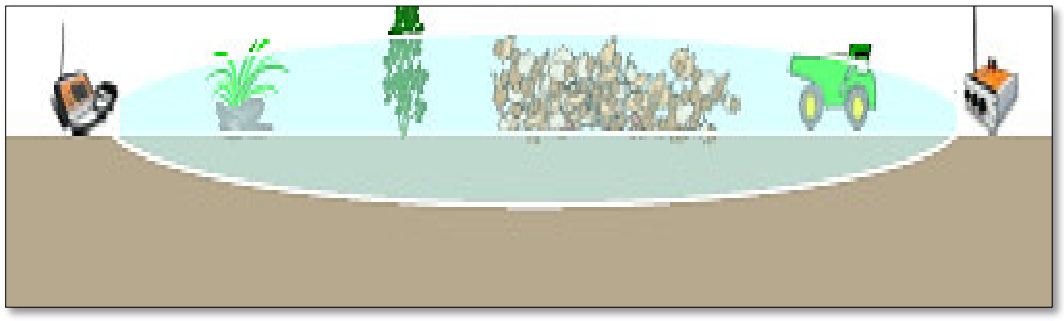
En la comunicación por radio, una zona de Fresnel es una zona de un número (teóricamente infinito) de elipsoides concéntricos de revolución que define el volumen en el modelo de antena o radiación de una apertura (habitualmente) circular. La sección transversal de la primera zona de Fresnel es circular. Las zonas de Fresnel subsiguientes son anulares en sección transversal, y concéntricas con la primera.

Para maximizar la intensidad del receptor, es necesario minimizar el efecto de las señales de fase retirando los obstáculos del campo visual de radiofrecuencia. Las señales más intensas están en línea recta entre el transmisor y el receptor y siempre están en la 1ª zona de Fresnel. Las obstrucciones físicas y el ruido (interferencias) pueden entrar en el entorno y limitar la capacidad del sistema para obtener información de un lugar a otro.

Los elementos que reducen el rango suelen introducirse en sistemas de comunicación inalámbrica sencillos en forma de paredes, viento, vegetación, maquinaria, polvo, edificios, como se muestra en la Figura 12.

Figura 12

Zona Fresnel obstruida



Nota: Extraído de Manual de Usuario Daveytronic SP (2010)

Con el fin de mantener un rendimiento óptimo a lo largo de todo el rango de distancia, la zona Fresnel por la que viajan las ondas de radio debe estar libre de obstrucciones. Si las antenas están ubicadas apenas por encima del suelo, más de la mitad de la zona de Fresnel resulta obstruida por la tierra, lo cual reduce considerablemente el rango. (Davey Bickford, 2010).

El sistema cuenta con indicadores que muestran la intensidad (S) y calidad (Q) de señal; ambos se muestran en la ventana PRINCIPAL operacional, junto al resumen de la voladura del Daveytronic Remote Blaster, una vez que los equipos se estén comunicando en el punto de disparo. El indicador Q muestra la cantidad de trenes de información recibidos correctamente por los equipos.

La Tabla 2 muestra el indicador de intensidad de señal enviada por un DBD, cualquier transmisión en este rango de frecuencia del receptor del modem podría afectar este indicador.

Tabla 2

Indicador de intensidad de señal enviada por un DBD.

Intensidad	Porcentaje	Descripción
S	**87%**	**S**> 60%: color verde, indica que la intensidad recibida es muy alta
S	**50%**	47% < **S**< 60%: color amarillo, indica que la intensidad recibida es alta
S	**35%**	29% < **S**< 47%: color naranja, indica que la intensidad recibida es media
S	**18%**	**S**< 29%: color rojo, indica que la intensidad recibida es mala

Nota: Extraído de Principios de una buena comunicación RFID (2020).

Una vez se tiene los equipos DBD y DRB comunicándose entre sí este indicador es mostrado en la pantalla del DRB, de acuerdo a la ubicación del punto de disparo los trenes pueden aumentar o disminuir por ende se recomienda tener la visual directa entre equipos o en caso contrario emplear un repetidor.

La Tabla 3 muestra la combinación de calidad e intensidad de señal para un disparo inalámbrico. Las barras son los trenes de información recibidos de los últimos trenes de información transmitidos.

Tabla 3

Calidad e intensidad de Equipos Daveytronic para un disparo inalámbrico

Q	Barras	Descripción
Q		La intensidad recibida es muy alta y la calidad es de 5 sobre 5: son las condiciones perfectas para una voladura inalámbrica.
S	**87%**	
Q		La intensidad recibida es muy alta pero la calidad es de 0 sobre 5: esto puede deberse a que un módem transmite en el mismo rango de frecuencia que el DBD, o por la reflexión de la señal recibida contra superficies cercanas.
S	**87%**	
Q		La intensidad recibida es media y la calidad es de 2 sobre 5: se recomienda cambiar de lugar de disparo, si es posible acercarse para aumentar la intensidad de señal recibida.
S	**35%**	
Q		Intensidad recibida es muy baja y localidad es 5 de 5; este caso es muy poco probable ya que una alta intensidad de señal recibida es una condición necesaria para una recepción de buena calidad.
S	**18%**	

Nota: Extraído de Principios de una buena comunicación RFID (2020).

Trabajando con frecuencias

La frecuencia es el número de ciclos que completa la onda en un segundo. Este valor se mide en Hertz (Hz). Esta es la unidad de medida estándar, cuando hablamos de frecuencia; los términos pueden ser confusos porque si hablamos con la longitud de onda en mente: la frecuencia "más alta" sería ondas más graves (longitud de onda más larga, menos Hertz); pero si tenemos en cuenta el valor en Hertz, frecuencia "mayor" se refiere a las ondas más agudos (más Hertz, de longitud de onda más corta).

Idealmente hablando a menudo "más rápido" o "lento". "Alto" y "bajo" también funcionan, porque el término induce a pensar en tono, por lo que más "alto" sería más agudo mientras que más "bajo", más grave; trabajando como hablar en Hertz. (MAGROOVE, 2020).

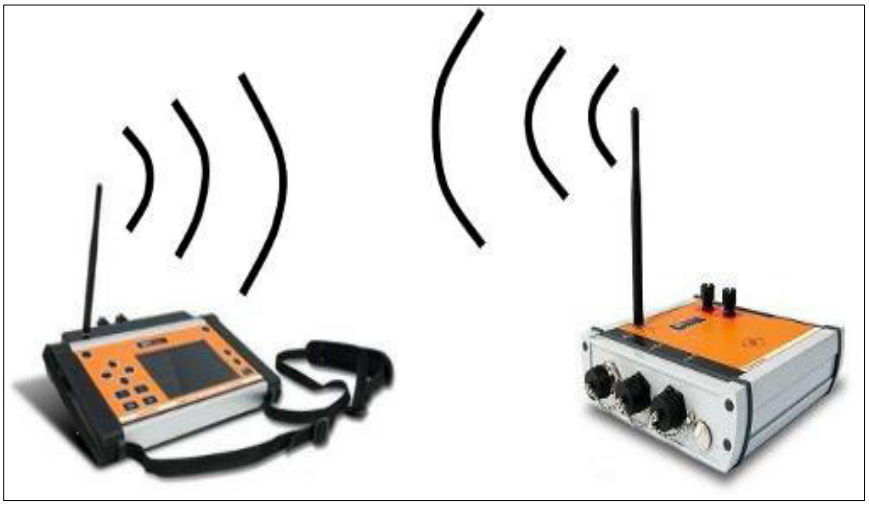
El espectro electromagnético es la distribución energética de las ondas del mismo nombre, las cuales corresponden a la forma de propagación de la radiación electromagnética. Dicho espectro trata de una banda de frecuencias donde aparecen distribuidas todos los tipos de ondas electromagnéticas existentes, clasificadas por la distintas Energías (*frecuencias*). (Espada, 2015), ver Anexo 1.

El sistema de explosión digital Daveytronic® SP puede operarse en modo INALÁMBRICO, controlando remotamente el DBD con el DRB mediante comunicación RF por sus módems internos, en la Figura 13 se ve como las antenas omnidireccionales envían la comunicación mediante ondas. Los equipos se comunican de la siguiente manera:

- El DBD envía periódicamente el estado de su hipotética pantalla a la pantalla del DRB.
- El DRB informa del estado de su teclado, tecla de carga y botón de encendido de detonador al DBD, que ejecuta los comandos correspondientes.

Figura 13

Comunicación DRB-DBD



Nota: Extraído de Manual de usuario DT (2017).

Comunicación RFID

La tecnología RFID es una forma de comunicación inalámbrica entre un lector y un emisor. Se puede comparar con un código de barras, aunque en lugar de marcas de tinta se utilizan ondas de radio. El funcionamiento de esta tecnología es bastante simple. Un receptor envía una señal continua dentro de un radio de alcance concreto. Cuando una etiqueta entra en contacto con esta, envía información que el lector interpreta según esté programado. (Universidad Internacional de Valencia, 2017).

Los equipos Daveytronic cuentan con tecnología RFID para su comunicación, esta misma es codificada con mayor seguridad por lo cual solo se debe trabajar con equipos compatibles con el sistema en uso. La comunicación RFID es empleada para realizar el tag entre unidad de programación (PU) y Daveytronic Blast Driver (DBD) los cuales son tagueados con la finalidad de enlazar los equipos con los que se realizará el disparo, en la Figura 14 se muestra la manera correcta de realizar el tag entre ambos equipos.

Figura 14

Tag entre DBD y PU



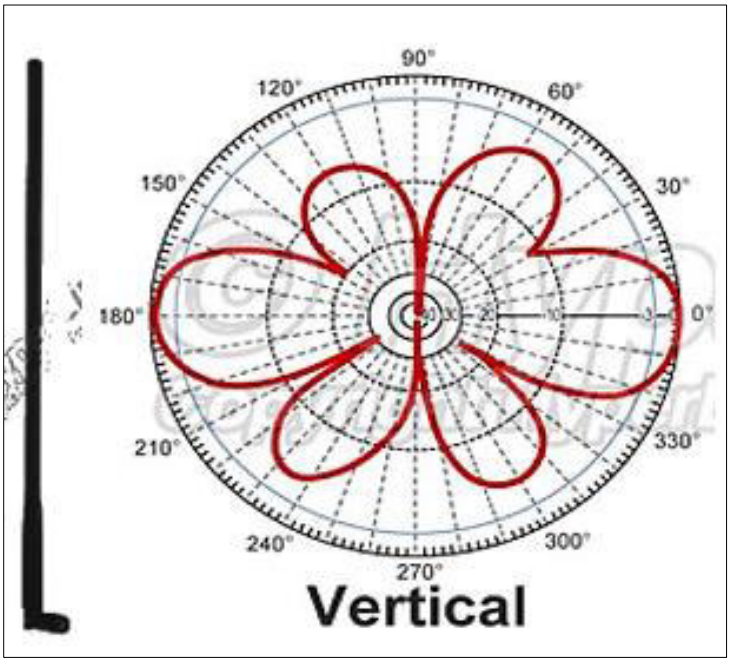
Nota: Extraído de Manual de usuario DT 2019

Antena Omnidireccional

Las antenas que emplea el sistema Daveytronic Evolution Pack 48 son del tipo omnidireccional, estas orientan la señal en todas direcciones con un haz amplio, pero de corto alcance, “envían” la información teóricamente a los 360 grados por lo que es posible establecer comunicación independientemente del punto en el que se esté, ya que no requieren orientarlas. La Figura 15 muestra el tipo de antena que emplean los equipos Daveytronic.

Figura 15

Antena Omnidireccional



Nota: Extraído de Manual DT 2010

2.4. Descripción de las operaciones

2.4.1. Perforación

La técnica de perforación y voladura se basa en la ejecución de perforaciones en la roca, donde posteriormente se colocarán explosivos que, mediante su detonación, transmiten la energía necesaria para la fragmentación del macizo rocoso a explotar. (Castilla Gómez, Herrera , & Bernaola Alonso, 2013).

La perforación autónoma en minería superficial viene siendo una realidad, en tajo Quellaveco se cuenta con la primera perforadora autónoma del Perú una Pit Viper 351, en total 3 perforadoras operativas, para taladros de producción con diámetros de 10 5/8” y 12 ¼. Así mismo la perforación para taladros de Pre-corte se realiza a través de una perforada Smart Rock D65, para diámetros de 6 1/2”.

La Smart Rock es operada de manera teledirigida por un operador desde una minivan ubicada a 100 metros de distancia de la zona a perforar. Considera los puntos más efectivos para su ubicación en malla, una distancia alejada del talud y de fácil acceso al proyecto.

Las perforadoras Pit Viper autónomas operan mediante comunicación inalámbrica, empleando frecuencias de hasta 5.2 Hz. Al momento de realizar trabajos simultáneos en la malla de voladura, mientras la perforadora autónoma está operando se debe guardar una distancia mayor a 30 metros por seguridad. Caso contrario la perforada emitirá un sonido de alerta de proximidad.

2.4.2. Diseño de voladura

La voladura de roca es un proceso tridimensional, en el cual las presiones generadas por explosivos confinados dentro de taladros perforados en la roca, originan una zona de alta concentración de energía que produce dos efectos dinámicos: fragmentación y desplazamiento. (Departamento Técnico Exsa S.A., 2014).

Los diseños de voladura son realizados en base a la información geotécnica y geológica de la unidad minera, teniendo diseños de mallas triangulares que permiten mejor distribución de energía Actualmente se está trabajando en la Fase 01Norte, zona de desmonte (Anexo 2), empleándose un burden y espaciamiento de 7 m x 8 m y/o 9 m x 10 m respectivamente, se tiene roca ignimbrita con densidad de 2.26g/cm3.

La Tabla 4 muestra la litología mapeada en fase 01 norte del tajo, zona de desmonte, encontrándose mayor presencia de tufo volcánico e ignimbrita.

Tabla 4:

Leyenda Litología

LEYENDA LITOLOGÍA		
CODE ROCK	ROCK	COLOR
1	Granodiorita	
2	Pórfido temprano	
3	Pórfido intermineral	
4	Pórfido tardío	
7	Ignimbrita	
13	Tufo volcánico	

Nota: Extraído archivos internos AAQ 2021.

La Tabla 5 muestra los tipos de alteración mapeados en la fase 01 norte del tajo, se siguen realizando los muestreos por parte del área de geología conforme avanza la perforación de los bancos.

Tabla 5:

Leyenda Alteración

LEYENDA ALTERACIÓN		
CODE ALT	ALTERACIÓN	COLOR
1	Argílico	
2	Fílico	

LEYENDA ALTERACIÓN		
CODE ALT	ALTERACIÓN	COLOR
5	Propilítico	
6	Propilítico T	
7	Fresh	

Nota: Extraído archivos internos AAQ 2021.

La Tabla 6 muestra la dureza del macizo rocoso que se tiene mapeado, se ha venido trabajando con un UCS con valores entre 25 – 50 Mpa.

Tabla 6:

Leyenda UCS

LEYENDA UCS	
COLOR	UCS (Mpa)
	0 - 25
	25.01 - 50
	50.01 - 75

Nota: Extraído archivos internos AAQ 2021.

La Tabla 7 muestra un ejemplo de diseño de la carga explosiva empleado y la Figura 16 muestra un modelo de carga con alturas de taladros a emplearse en este caso para taladros de 12 ¼” de diámetro.

Tabla 7

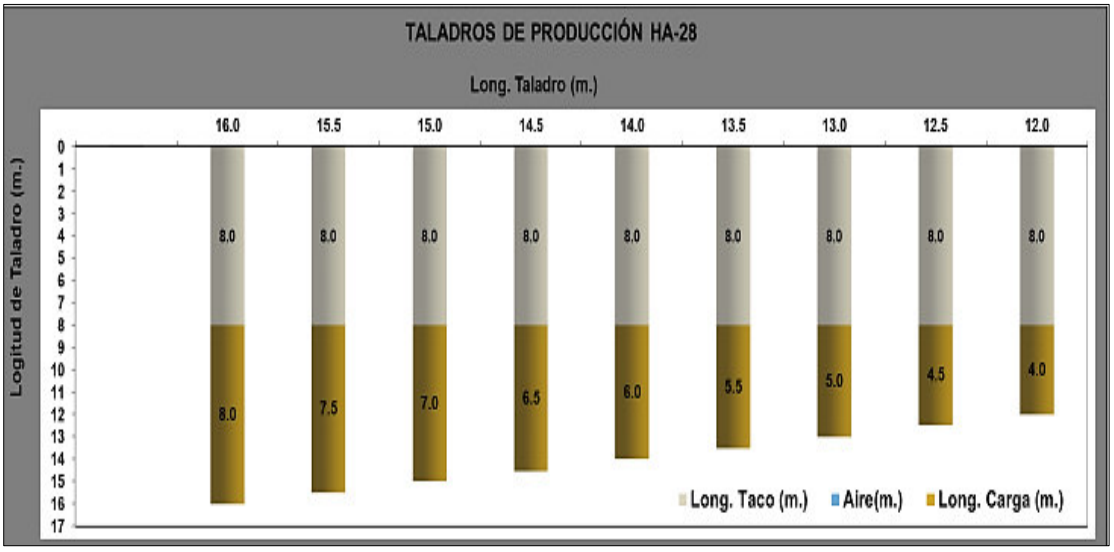
Diseño de carga explosiva

Espaciamiento	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
Burden	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
Long. Taladro (m)	16.0	15.5	15.0	14.5	14.0	13.5	13.0	12.5	12.0
Long. Taco (m)	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
Aire (m.)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Long. Carga (m.)	8.0	7.5	7.0	6.5	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0
Fp (kg/T)	0.31	0.30	0.29	0.28	0.27	0.26	0.24	0.22	0.21
Carga (kg)	633	592	552	517	473	436	395	353	316

Nota: Recopilado de archivos internos Enaex Quellaveco 2021.

Figura 16

Diseño de carga explosiva HA28 12 ¼" Ø



Nota: Recopilado de archivos internos Enaex Quellaveco 2021.

2.4.3. Proceso de carguío, amarre y detonación de malla de voladura

El proceso de inicia con la repartición de accesorios en malla, los accesorios a emplearse son detonador electrónico Daveytronic y detonador pirotécnico Brinel, la Figura 17 muestra el Brinel empleado como back up, mide 16m y tiene un retardo de fondo de 600 ms. Ambos accesorios van con una prima que considera un booster de 450gr y/o 900g. El booster empleado cuenta con un sistema de seguridad *safe look*.

Figura 17

Brinel 600ms

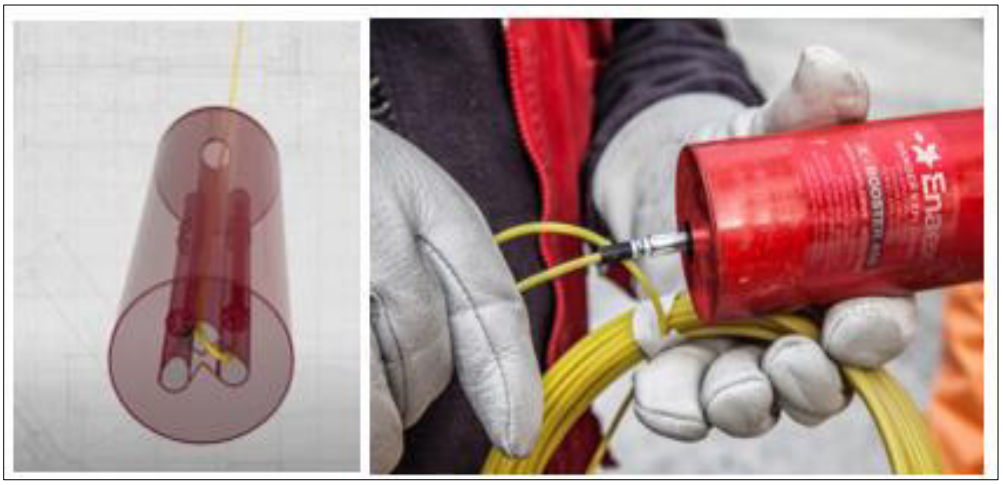


Nota: Recopilado de Sistemas de iniciación no eléctrica - Enaex 2021

La Figura 18 muestra el primado correcto con el sistema *safe look,* que permite un mejor aseguramiento de la prima al momento que descender por el taladro evitando posibles desacoples en el proceso. Como buena práctica para realizar el respectivo primado se debe emplear un primador de aluminio el cual permite el correcto tensado de la línea de detonador electrónico.

Figura 18

Primado de Booster con sistema de seguridad safe look



Nota: Elaboración propia

Carguío de taladros con camión fábrica

Para el proceso de carguío se comienza con la reunión de inicio de guardia el cual se puede ver en la Figura 19, posteriormente nos dirigimos al proyecto de voladura, se realiza la medición de taladros y levantamiento del respectivo plano, seguidamente se procede con la repartición de accesorios y explosivos de acuerdo a las zonas liberadas por geología.

El proceso de medición de taladros es de suma importancia puesto que así se identifica la cantidad de taladros óptimos a cargar, taladros tapados, taladros cortos, taladros con agua, y/o taladros con rocas sueltas en el collar que podrían ocasionar incidentes con la línea descendente.

Figura 19

Participación en reunión de inicio de guardia



Nota: *Recopilado Enaex Quellaveco 2021*

En la Figura 20 se observa el proceso de carguío de taladros, en campo se trabaja con dos camiones fábrica *Onebody* los cuales cuentan con sistema vaciable y bombeable.

Figura 20

Proceso de carguío de taladros con camión fábrica



Nota: Recopilado Enaex 2021

Los camiones fábrica procesan mezclas explosivas HA28, HA37. HA46, HA55, HA64 acorde al diseño y condiciones en las que se encuentre la malla de voladura, influyendo la presencia de agua o humedad, cada mezcla explosiva tiene una densidad la cual es controlada en campo por medio de la toma de densidades cada 3 taladros.

La Tabla 8 muestra las mezclas explosivas que se emplean en terreno con su respectiva densidad y velocidad detonación, se considera un ± 3% de variación por mezcla explosiva. La tabla en mención sirve como guía para todo el personal involucrado en el proceso de voladura.

Tabla 8

Densidades de mezclas explosivas (prillex + emulgex)

EXPLOSIVO	DENSIDAD	VOD m/s	Kilos de explosivo por metro lineal Kg / m					
			6 1/2"	7 7/8"	9"	9 7/8"	10 5/8"	12 ¼"
ANFO	0.81	3800 - 4400	17.35	25.47	33.26	40.05	61.63	61.63
HA 28	0.91	4200 - 4500	19.49	28.61	37.37	44.99	52.08	69.23
HA 37	1.06	4500 - 5100	22.71.	33.33	43.53	52.41	60.67	80.65
HA 46	1.21	5000 - 5200	25.92	38.04	49.69	59.82	69.26	92.06
HA 55	1.31	5200 - 5400	28.06	41.19	53.80	64.77	74.98	99.67
HA 64	1.32	4500 - 4800	28.28	41.50	54.21	65.26	75.55	100.43
HA 73	1.34	4300 - 4500	28.70	42.13	55.03	66.25	76.70	101.95

Nota: Recopilado archivos Enaex Quellaveco 2021

Tapado de taladros

Para el proceso de tapado se emplea un mini cargador y se realiza el testeo de los detonadores electrónicos con la unidad de programación (PU), verificando la continuidad de la línea. La Figura 21 muestra cómo se procede a testear cada

detonador tensando la línea descendente, pudiendo ubicar a tiempo una posible fuga y/o corte de línea para dar solución oportuna. El material empleado para realizar el tapado debe de ser entre 1 in y 1 ½ in, antes de realizar el tapado se evalúa el estado del taladro, posibles rocas sueltas en el collar, estado del detonador, etc.

Figura 21

Tapado de taladros



Nota: Recopilado Enaex 2021

Programación y conexión de malla de voladura

Antes de dar inicio a la programación de los detonadores se debe realizar le *check list* (Anexo 3) respectivo de los equipos a emplear con su correspondiente prueba de señal empleando detonadores inertes dummies. El proceso de prueba de señal consiste en simular una voladura colocando los equipos en el punto de disparo previamente definido, verificar la calidad (Q) e intensidad de señal (S) de los equipos DBD (Daveytronic Blast Driver) y DRB (Daveytronic Remote Blaster), así se evita inconvenientes de fallas de comunicación entre equipos en el proceso de disparo.

Una vez se tiene la malla tapada se da inicio a la programación y amarre de taladros como muestra la Figura 22, para lo cual se emplea el modo automático, transfiriendo la secuencia de amarre previamente diseñada en el software Opitblast. En campo se tiene mapeado la cantidad de taladros a programar, taladros cortos, tapados, no cargados, etc. Esto ayuda a realizar una programación más rápida y ordenada.

Figura 22

Amarre de detonadores

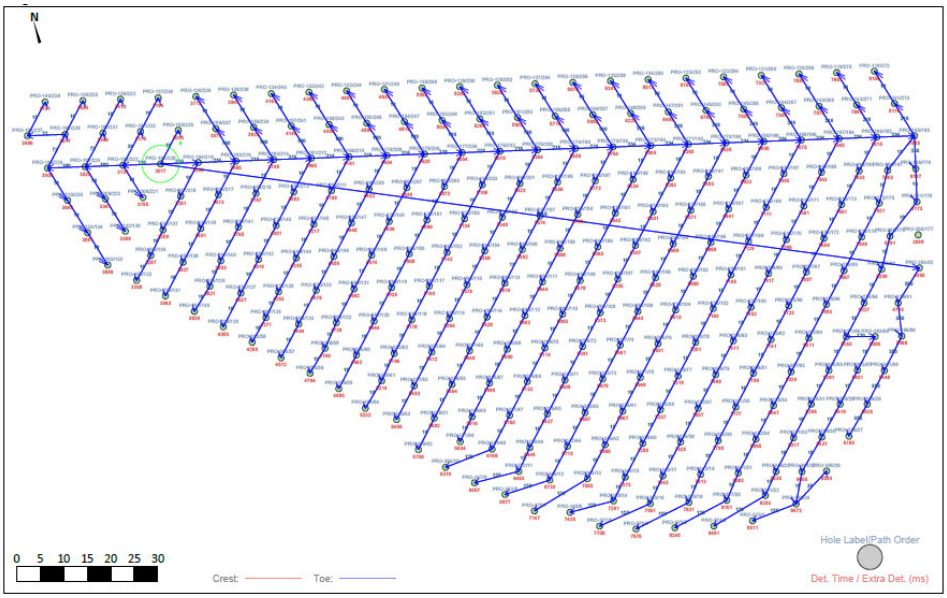


Nota: Recopilado archivos Enaex Quellaveco 2021

En la Figura 23 se muestra la secuencia de amarre y el Figura 24 la secuencia de programación, ambas diseñadas en el software Opitblast. El diseño de secuencia es revisado y aprobado previamente por el líder técnico. La unidad de programación, la cual se emplea para programación de los detonadores permite trabajar en campo de manera versátil, si se diera el caso de cambiar tiempos en la secuencia de amarre y/o agregar detonadores extras, el equipo lo permite sin ningún inconveniente, trabajando con mayor efectividad.

Figura 23

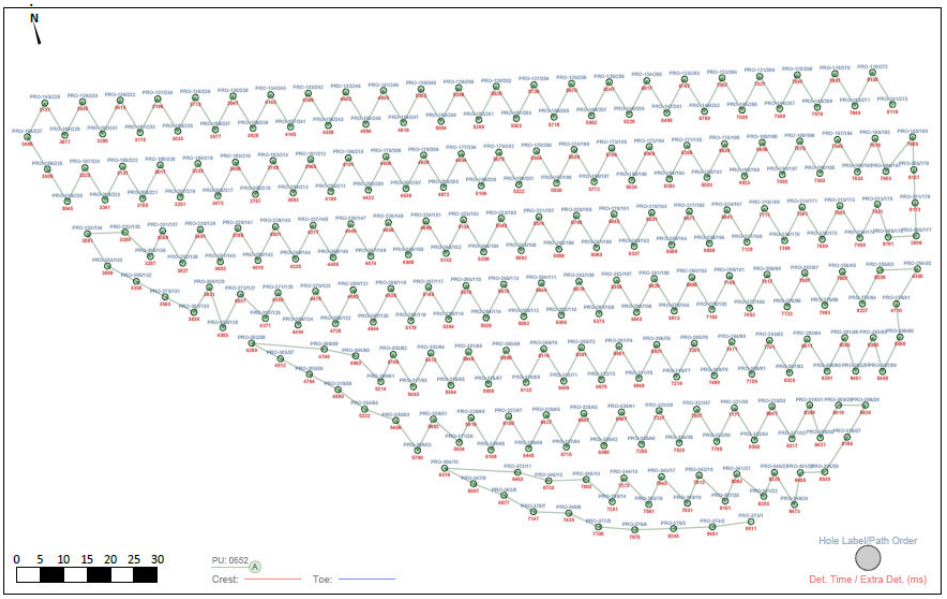
Secuencia de amarre



Nota: Recopilado archivos Enaex Quellaveco 2021

Figura 24

Secuencia de programación



Nota: Recopilado archivos Enaex Quellaveco 2021.

Para el amarre de la malla se agrupan 60 detonadores por paquete para así disminuir el consumo residual de energía y detectar con mayor rapidez un detonador con fuga o con daño a la línea. Una vez se tiene toda la malla conectada se realizan los respectivos testeos con la PU, la Figura 25 muestra la pantalla de la PU con el test de línea, búsqueda de desconectados y conteo de detonadores.

Los test mencionados anteriormente se deben de realizar de manera obligatoria antes de salir de la malla de voladura puesto permiten identificar y tratar inconvenientes producidos en el proyecto.

Figura 25

Testeos de la PU



Nota*:* Extraído de Manual de usuario Daveytronic 2019

Iniciación de la malla de voladura

Para la iniciación del proyecto de voladura en modo inalámbrico se debe realizar el tendido de línea (cable M35) a una distancia mayor de 100 m del proyecto y conectar al DBD (Daveytronic Blast Driver), en este punto es importante verificar el desplazamiento de material (Anexo 4) de acuerdo a la secuencia de amarre diseñada previamente, para resguardar la integridad física

del equipo, evitando daños por desplazamiento o proyección al momento de realizar el disparo.

Se procede a encender el DBD, se verifica que pase el respectivo autotest y se visualiza el nivel de batería adecuado, el DBD se instala sobre un trípode y es cubierto con una caja protectora, se conecta una estaca a tierra en forma de "T" para luego conectar la línea de disparo a los terminales. Una vez finalizado todo el proceso de instalación nos dirigimos al punto de disparo, considerando que debe estar fuera del radio de influencia de la voladura (Anexo 5).

La Figura 26 muestra el punto de disparo, donde se continua con la transferencia de datos de la PU a la DRB, la PU tiene los datos almacenados en su tarjeta RFID, los cuales son: nombre de red, número único de identificación del detonador, número de secuencia y retardo, así como la instalación de la antena omnidireccional a la DRB para poder proceder al modo operacional.

Figura 26

Transferencia de datos de PU A DRB



Nota: Extraído de archivos internos Enaex 2021

Para proceder a iniciar con el proceso de disparo el programador de disparos (V2) mantiene comunicación constante con el supervisor de voladura (V1), el cual debe hacer seguimiento al cierre de vías y despeje del área de influencia de voladura, proceder con el visto bueno del líder de voladura (Mina12). En este punto del proceso los equipos autónomos están fuera del radio de influencia, por lo establecido bajo reglamento: 500m para personas y 200m para equipos.

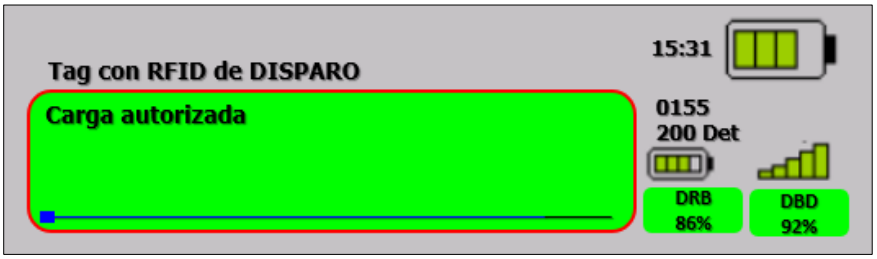
En este punto los equipos empiezan a comunicarse entre sí, mediante la pantalla del DRB (Daveytronic Remote Blaster) se puede hacer seguimiento al estado del DBD (Daveytronic Blast Driver), muestran la calidad e intensidad de señal con la cual se están comunicando, los trenes de información que se está recibiendo, estado de batería de ambos equipos, cantidad de detonadores en el plan.

Se inicia con los test propios que realiza el DRB, los cuales son test de línea, búsqueda de detonadores extras y autotest de detonadores. El sistema Daveytronic realiza el *line cut monitoring* o monitoreo continuo de línea, este monitoreo continuo permite verificar la integridad de la malla antes del disparo a través de los test que realiza el equipo, dando el claro para proceder a cargar los condensadores de los detonadores y posterior orden de fuego.

La Figura 27 muestra la ventana de autorización de carga para proceder a realizar el disparo, y en la Figura 28 se puede apreciar la iniciación de una malla de voladura.

Figura 27

Mensaje de carga autorizada por el DRB



Nota*:* Extraído de Manual de usuario Daveytronic 2019.

Figura 28

Disparo proyecto de voladura



Nota: Extraído de archivos internos Enaex Quellaveco 2021.

Seguimiento Post Voladura

Una vez realizado el proceso de voladura se realizan múltiples controles en campo, los cuales permiten analizar los resultados y poder planificar el siguiente proyecto a disparar. Entre el seguimiento realizado se encuentran: análisis de fragmentación, análisis de velocidad de detonación (VOD), análisis de vibraciones, factor de ensanchamiento.

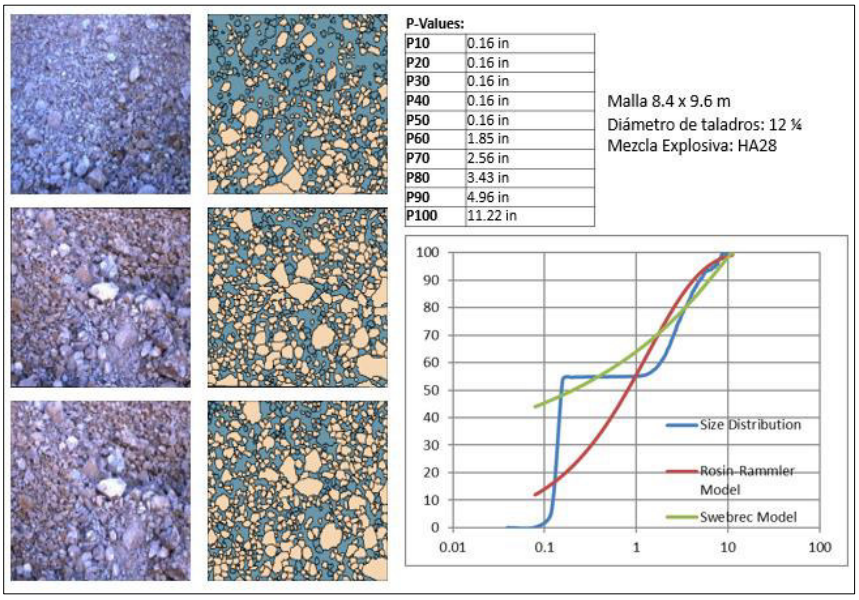
Análisis de fragmentación

Para el análisis de fragmentación se emplea el equipo Portametrics, el cual permite realizar un análisis a través de la toma de fotografías a una distancia segura. Se emplea el modo "*near*" y/o "*far*", la toma de imágenes se realiza el mismo día que ingresa la pala a minar el material, luego de hace el respectivo seguimiento conforme el avance de minado.

En la Figura 29 se puede apreciar el ejemplo de una toma de muestra con el Portametrics, el análisis de fotos y la respectiva gráfica con los parámetros de P10 hasta P100 en pulgadas.

Figura 29

Análisis de fragmentación



Nota: Extraído de archivos internos Enaex Quellaveco 2021.

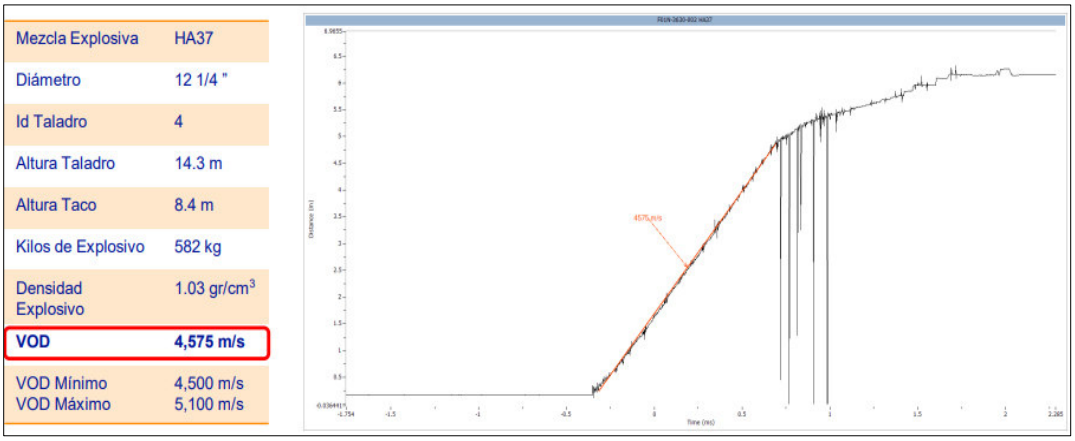
Análisis de VOD

La medición de velocidad de detonación de se realiza a través del equipo Microtrap, en campo se instala el cable resistivo a la prima luego se conecta al cable coaxial para su posterior conexión al equipo, el taladro en el que es

instalado el VOD es el primero en la secuencia de salida, se toma los datos de la mezcla empleada, densidad, altura real del taladro, altura de carga, kilos de explosivo, taco; para el análisis posterior. En la Figura 30 se muestra el resultado de una medición de VOD con mezcla explosiva HA37 en un diámetro de 12 ¼”.

Figura 30

Medición de VOD



Nota: Extraído de archivos internos Enaex Quellaveco 2021.

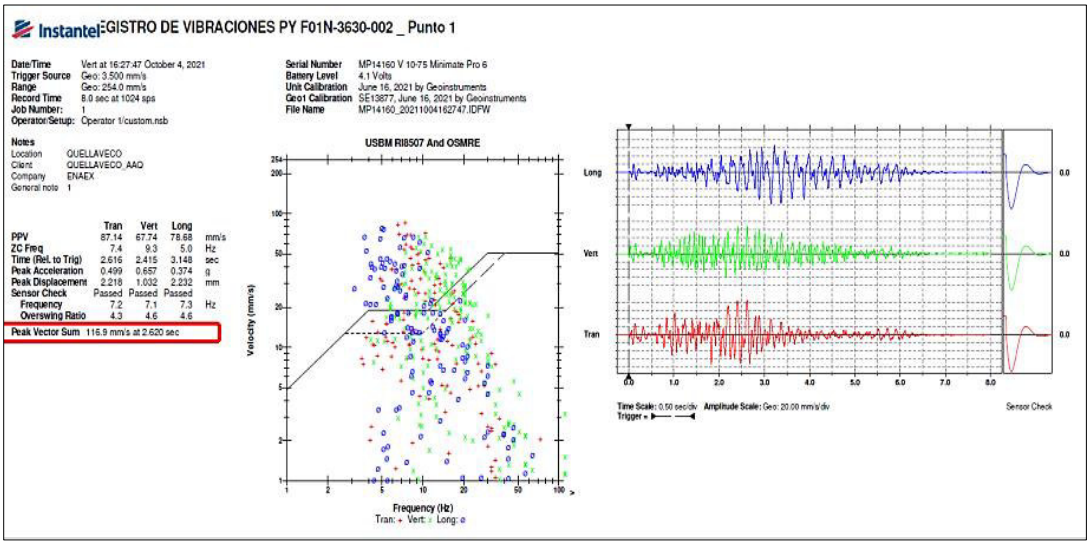
Análisis vibraciones

Se realiza el monitoreo de vibraciones en dos puntos, los cuales fueron simulados previamente en el software Paradigm. El monitoreo nos ayuda a estimar la probabilidad de daño que sufre el macizo rocoso, tener una data y control de la estabilidad de taludes, así como también predecir proyectos de voladura futuros.

En la Figura 31 se muestra el resultado de un monitoreo de vibraciones realizado en tajo Quellaveco a una distancia de 100.6m de la malla de voladura. Así mismo los valores obtenidos son comparados con los valores simulados previamente en el software.

Figura 31

Monitoreo de vibraciones



Nota: Extraído de archivos internos Enaex Quellaveco 2021.

Costos del empleo del sistema de iniciación electrónico

En voladura el costo de emplear un sistema electrónico es más elevado que un sistema pirotécnico, pero los beneficios que trae consigo el sistema electrónico son múltiples por ende diversas minas del Perú emplean estos sistemas de iniciación en sus operaciones, llevando a cabo procesos seguros, con mayor control de tiempos y óptimos resultados.

Los costos de los detonadores electrónicos varían según unidad minera y producto, a continuación, la Tabla 9 muestra los costos aproximados por tipo de detonador electrónico y no eléctrico el cual es empleado como back up, es decir el costo aproximado de una prima empleada en campo.

Tabla 9

Costos de detonadores

Tipo detonador	Unidad	Costo
Daveytronic SP 20m	Und	20.00 $
Daveytronic SP 15m	Und	18.00 $
Brinel	Und	2.00$

Nota: Elaboración propia

Los costos por taladro empleando el detonador electrónico Daveytronic es definido acorde a los accesorios empleados en estos. A continuación, en la Tabla 10 se muestra los costos aproximados por 60 taladros usando detonador electrónico.

Tabla 10

Costo por taladro empleando detonador electrónico

Descripción	Número de taladros	Cantidad empleada	Unidad	Costo unitario	Costo Total
Daveytronic SP 20m	60	60	Und	$ 20.00	$ 120.00
Brinel	60	60	Und	$ 1.20	$ 72.00
Booster 450g	60	60	Und	$ 4.50	$ 270.00
Línea de conexión M35	60	400	Metros	$0.19	$ 76.00
Total					$ 538.00

Nota: Elaboración propia

En comparativa con otras unidades que emplean el sistema de iniciación electrónica con otros productos se tiene los costos de iniciación electrónica por taladro. En la Tabla 11 se muestra un ejemplo del costo para 100 taladros con detonador electrónico de otra empresa empleado en mina Chinalco así como los accesorios requeridos, es innegable que la tecnología moderna es más costosa. (Paucar, 2016).

Tabla 11

Ejemplo de costos detonador electrónico empleado por otra empresa

ELECTRÓNICO				
	Número de taladros	Cantidad Unidad	Precio US$/U	PRECIO TOTAL US$/
Booster 2lb	100	1	10.72	1072
Detonador electrónico (I-kon)	100	1	25.07	2507
Cable de Conexión	100	1	2.77	8.31
Detonador NO ELÉCTRICO	100	1	4.65	465
TOTAL				4052.31

Nota: Extraído de Tesis “Voladura con detonadores electrónicos para optimizar la fragmentación y seguridad en el tajo Toromocho”, Royer Romero, 2016.

CAPÍTULO III

III. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

3.1. Antecedentes

Hoy en día las nuevas tecnologías se caracterizan por dirigir con algoritmos autónomos los sistemas operativos y la ejecución de sus trabajos, con lo cual se reduce la exposición e intervención del hombre. Es así como poco a poco la tecnología autónoma va avanzando desarrollando una nueva era de oportunidades aumentado la productividad de las empresas que la emplean.

3.1.1. Internacionales.

Las soluciones de automatización y digitalización ya están comenzando a mejorar las actividades de voladuras en todo el mundo, como lo demuestran una variedad de proyectos y asociaciones. Las operaciones de perforación y voladura automatizadas o digitalizadas tienen el potencial de mejorar la productividad y aumentar los márgenes de ganancia en las operaciones mineras al tiempo que mejoran la seguridad de los trabajadores, y se está prestando mayor atención a las innovaciones en esta etapa inicial vital de los proyectos mineros.

Newcrest en Nueva Gales del Sur

La mina subterránea Cadia Valley de Newcrest *Mining* con sede en Australia en Nueva Gales del Sur fue el sitio de una prueba de 30 días para nuevos sistemas de perforación y voladura de *MacLean Engineering* y Orica en junio de 2020. La prueba brindó la oportunidad de probar la nueva tecnología del sistema de perforación y voladura de ruptura secundaria de *MacLean*, el cargador explosivo automatizado, y el sistema de voladura inalámbrico de Orica, *WebGen* 100, en un área aislada.

El sistema de perforación y voladura de ruptura secundaria de MacLean es totalmente automatizado. Este cargador de explosivos automático puede perforar un agujero en una roca y empujar el explosivo inalámbrico hacia

adentro, sin que el operador salga de la cabina del equipo de perforación. Luego, el operador puede retirar la plataforma de perforación y abandonar el área, detonando el explosivo de forma remota utilizando un sistema inalámbrico desarrollado por Orica. (Hall, 2021).

CEA-Leti y Davey Bickford Asociación de I + D de Enaex

La organización de investigación tecnológica respaldada por el gobierno francés CEA-Leti extendió su asociación de I + D con el proveedor de soluciones de voladura Davey Bickford Eneax. La colaboración se basa en el éxito reciente en el desarrollo de un sistema de iniciación electrónica sin usar cable de superficie, una innovación los socios dijo que podría aportar mayor seguridad, flexibilidad y productividad a las actividades de voladura.

Ese sistema consta de detonadores electrónicos DaveyTronic de Davey Bickford Enaex con módulos de radio bidireccionales colocados en la superficie de un pozo minero. La red inalámbrica se comunica con un sistema de voladura digital ubicado a pocos kilómetros del área de voladura y está controlada por un protocolo de comunicación inalámbrica desarrollado para garantizar la operación segura, confiable y sincronizada de cientos de explosivos en minas a cielo abierto.

El sistema fue probado en una mina activa en la región de Antofagasta en Chile, donde se programaron y dispararon 185 detonadores con capacidades inalámbricas bidireccionales. (Hall, 2021).

Mina Peñasquito de Newmont

La mina Peñasquito se encuentra en Zacatecas-México, el mineral se extrae utilizando técnicas de minería con pala y se transporta en camiones a una instalación que procesa mineral de óxido con una recuperación promedio de oro del 57%. El mineral también se transporta a una planta que procesa mineral de sulfuro con una recuperación promedio de oro del 66%. La mina mueve más de 500.000 toneladas de mineral al día y alberga hasta 5.000 trabajadores.

Cuenta ahora con dos perforadoras de barreno totalmente autónomas. Han visto patrones de perforación mejorados, precisión de pozo y tasas de penetración, las voladuras se realizan a diario. La operación es una mina polimetálica a cielo abierto a gran escala y un importante contribuyente a los ingresos de Newmont. (Epiroc, 2018).

Mina los Bronces Angloamerican - Chile

Los Bronces es una mina de cobre y molibdeno que se explota a tajo abierto. El mineral molido es transportado por un minero ducto de 56 kilómetros a la planta de flotación denominada Las Tórtolas, en la que se produce cobre y molibdeno contenido en concentrados. La gerencia de Mina Los Bronces, desarrolla en alianza con Epiroc el proyecto Teleremoto Perforación de producción con equipos Pit Viper 351. El sistema de operación a distancia ha permitido elevar la seguridad, operar con mayor precisión e incrementar la eficiencia. (Epiroc, 2021).

La innovación ha permitido definir el nivel de tecnología más adecuado y eficiente de acuerdo con el costo, la confiabilidad y la madurez de las herramientas necesarias para Los Bronces y orientadas a lograr la excelencia operativa, en mina se emplea el sistema Daveytronic el cual ha tenido gran acogida en las voladuras de tajo.

3.1.2. Nacionales y Regionales

En lo que respecta a los antecedentes nacionales y regionales no se tiene información sobre sistemas de iniciación electrónica empleados en minas autónomas puesto que mina Quellaveco es la primera unidad minera en el Perú en tener una flota de camiones autónomos, además de perforadoras *Pit Viper* y perforadoras *Smart Rock* teledirigidas.

En la etapa de construcción se realizaba voladuras secundarias con diseño y amarre pirotécnico, empleándose únicamente para la iniciación detonadores electrónicos de 15m y el sistema Daveytronic Pack 17. Dichas voladuras se

desarrollaron en las áreas 2000, 3000 y 4000, para la apertura de accesos, plataformas, vías, y construcción en general. En el amarre se emplearon detonadores pirotécnicos como Fanel dual 12 m 800/17ms, 20m 800/17ms, CTD 6m – 17ms, Exanel CTD 6m - 25ms, Exanel CTD 6m - 42ms, detonador Fanel CTD 6m - 35ms, entre otros.

En la etapa de pre-minado y zona de tajo se comienza únicamente con detonadores electrónicos Daveytronic de 20m y se emplea el sistema Evolution Pack 48 para realizar los disparos. Esto marca un antes y un después en el proceso y métodos de iniciación en voladuras en Quellaveco. Para el plan de investigación en desarrollo me enfoco en voladuras primarias de tajo y pre-minado, por ende, se sostiene que el sistema de iniciación electrónica Daveytronic Evolution es el primero en emplearse en tajo Quellaveco.

3.2. Objetivos

3.2.1. Objetivo General

Demostrar la efectividad y correcta programación, conexión e iniciación electrónica empleando el sistema Daveytronic Evolution Pack 48, en un área influenciada por operación de equipos autónomos.

3.2.2. Objetivo específico

- Ubicar y mapear los puntos de iniciación electrónica (puntos de disparo), manteniendo una calidad e intensidad de señal óptima, en la zona autónoma.
- Documentar la operatividad de los equipos Daveytronic Evolution Pack 48 con interacción de frecuencias de equipos autónomos y teledirigidos, recolectando y analizando la información de todo el proceso de programación, conexión e iniciación electrónica.
- Identificar las oportunidades de mejora en el proceso de iniciación electrónica con los equipos Daveytronic Evolution Pack 48, en zonas donde operan equipos autónomos.

CAPÍTULO IV

IV. RESULTADOS, INDICADORES Y APORTES

4.1. Resultados

Se han realizado diversos procesos de iniciación electrónica, en la Fase 01Norte del tajo Quellaveco donde actualmente se viene realizando el desbroce de material y es la zona donde operan los equipos autónomos y teledirigidos. A su vez se han realizado voladuras en Quebrada Altaranito, zona donde se vienen realizando trabajos como parte del botadero de la mina, todos los procesos realizados son voladuras primarias con iniciación electrónica.

En lo que respecta la ubicación del punto de disparo se ha considerado según normativa, un radio de influencia de 200m para equipos y 500m para personas. El modo de iniciación fue inalámbrico, donde prima la comunicación entre DBD (Daveytronic Blast Driver) y DRB (Daveytronic Remote Blaster), recopilándose el nivel de calidad e intensidad de comunicación entre ambos equipos.

Como resultados se obtuvo la tabla 12 y 13 las cuales muestran el punto de disparo más recurrente con coordenadas por voladura realizada, como referencia la ubicación de un vigía en específico puesto que se debe estar fuera de los 500m para poder realizar el proceso de disparo, además de ser puntos estratégicos por la visual directa entre equipos, lo que proporcionó una buena calidad e intensidad de señal.

La recopilación de esta información nos indica el comportamiento de los equipos Daveytronic en la primera mina autónoma del Perú, el inicio de trabajos con tecnología digital moderna en los procesos convencionales.

Tabla 12:

Puntos de disparo F01Norte

Fecha	Proyecto	Voladura	Punto de Disparo			Referencia
			Este	Norte	Altura	
23/06/21	01	3660_01	326608.6	8109189.8	3704.9	VIGIA 06
29/06/21	02	3660_02	326607.8	8109189.6	3704.7	VIGIA 06
04/07/21	03	3660_03	326604.6	8109189.4	3704.8	VIGIA 06
20/07/21	01	3675_01	326951.3	8109099.7	3681.3	VIGIA 06
01/08/21	01	3645_01	326563.0	8109196.2	3705.1	VIGIA 06
08/08/21	02	3645_02	326562.8	8109198.7	3705.0	VIGIA 06
30/08/21	03	3645_03	326785.9	8109138.1	3697.5	VIGIA 05
07/09/21	01	3630_01	326545.3	8109192.6	3705.0	VIGIA 05
05/10/21	02	3630_02	326707.7	8109167.9	3701.2	VIGIA 05
09/10/21	01	3615_01	326551.5	8109198.7	3704.9	VIGIA 06
13/10/21	02	3615_02	326676.2	8109182.3	3702.3	VIGIA 06
21/10/21	04	3615_04	326591.5	8109196.4	3705.0	VIGIA 05
26/10/21	05	3615_05	326459.2	8109342.3	3820.9	VIGIA 05

Nota: Elaboración propia.

Tabla 13:

Puntos de disparo Quebrada Altaranito

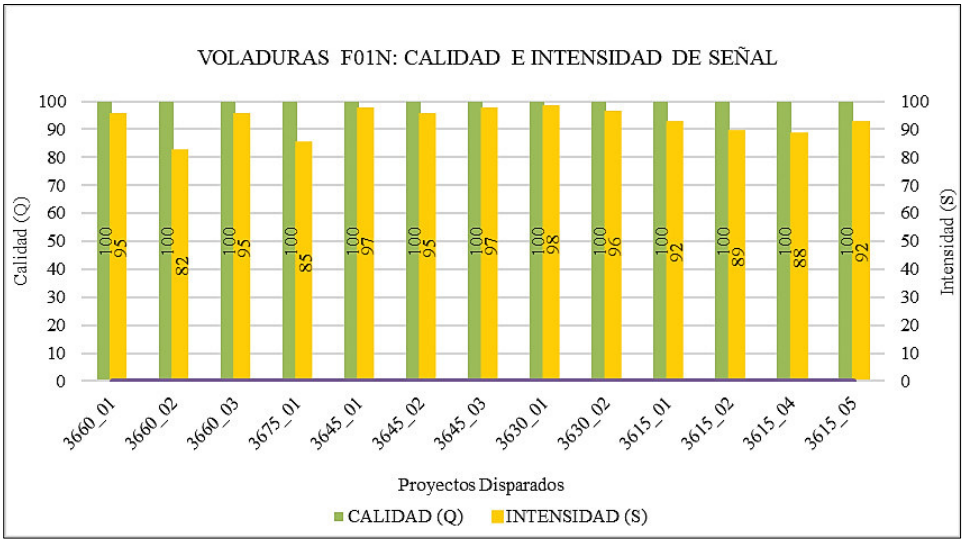
Fecha	Proyecto	Voladura	Punto de Disparo			Referencia
			Este	Norte	Altura	
26/07/21	01	3523_01	324269.1	8108753.1	3615.1	VIGIA 06
12/08/21	02	3523_02	324269.1	8108753.1	3615.1	VIGIA 06
25/08/21	01	3508_01	324269.1	8108753.1	3615.1	VIGIA 06

Nota: Elaboración propia.

La Figura 32 y Figura 33 muestran el nivel de intensidad y calidad de comunicación por voladura en F01Norte y Quebrada Altaranito. Lo cual permite identificar que el sistema Daveytronic Evolution Pack 48 no tuvo inconvenientes en comunicación inalámbrica tanto en zona autónoma y en zona convencional. Pudiendo realizar todos los procesos de disparo planificados.

Figura 32:

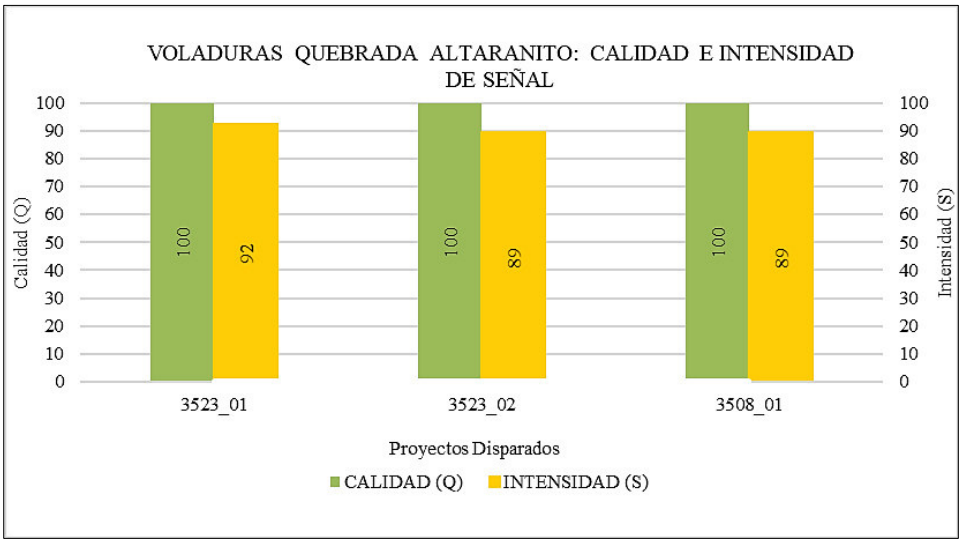
Calidad e intensidad de señal equipos Daveytronic voladuras F01Norte



Nota: Elaboración propia

Figura 33*:*

Calidad en Intensidad de señal equipos Daveytronic voladuras Quebrada Altaranito



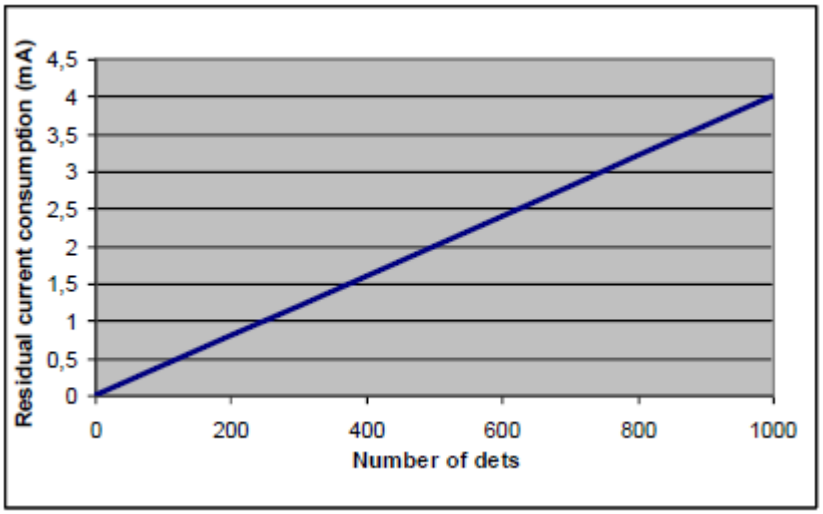
Nota: Elaboración propia

La fuga es un consumo anormal de corriente que se puede presentar en cualquier instancia durante el desarrollo del proyecto a volar, por ende, es un factor importante a considerar para poder realizar los procesos de iniciación electrónica de manera normal. Las fugas presentadas en los proyectos de voladura disparados son parte del consumo residual de corriente del mismo cable.

Se obtuvo un mapeo de fuga por proyecto de voladura, de acuerdo a la cantidad de detonadores programados y cable M35 empleado. La Figura 34 muestra el estándar del consumo de corriente por detonadores conectados a la línea.

Figura 34:

Consumo de corriente por detonadores conectados a la línea



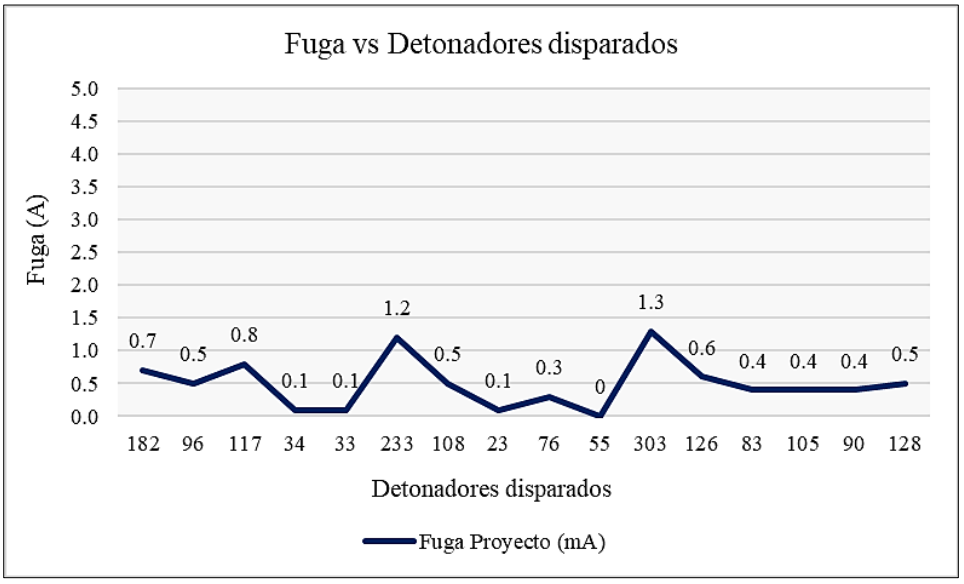
Nota: Extraído de Manual Daveytronic 2019

Para el amarre de los detonadores en malla y reducción de fuga presentada, se trabajó con polaridad en el cable M35, conectando cada detonador en un solo sentido, además de verificar la limpieza y buen estado del conector. Así mismo al término de cada paquete amarrado se realiza el test para detectar cualquier imprevisto. Estas buenas prácticas ayudan a tratar mejor la cantidad de fuga presentada.

La Figura 35 muestra la fuga presentada por cantidad de detonadores programados y disparados, en este período la fuga máxima presentada fue de 1.3 mA., para 303 detonadores electrónicos, lo cual nos indica que estamos dentro del rango establecido.

Figura 35:

Fuga vs Detonadores disparados



Nota: Elaboración propia.

En la tabla 14 se muestra el consumo de cable M35 por proyecto de voladura, este cable es empleado para el amarre de detonadores y tendido de línea hasta el punto de ubicación del Blast Driver. Se considera, burden, espaciamiento y cantidad de detonadores programados unidos a la línea de cada proyecto disparado, estos factores son muy importantes puesto que el consumo de cable puede aumentar o disminuir y no siempre depende de la cantidad de detonadores.

Antes de iniciar el proceso de amarre se verificó el estado del cable, que no presente daños superficiales, cortes, todo cable se mantuvo en su envoltura hasta el final de cada proceso, lo que ayuda a que se conserve en buen estado y las almas de cobre no sean dañadas.

Tabla 14:

Consumo de cable M35

Fecha	Voladura	B	S	Detonadores DAVEYTRONIC	Cable utilizado (m)	Consumo m/det
23/06/21	3660_01	7.5	8.6	182	2,000	11
29/06/21	3660_02	7.5	8.6	96	1,000	10
04/07/21	3660_03	7.5	8.6	117	2,000	17
20/07/21	3675_01	7.5	8.5	34	500	15
26/07/21	3523_01	5	5	33	500	15
01/08/21	3645_01	7	8	233	2,500	11
08/08/21	3645_02	7	8	108	1000	9
12/08/21	3523_02	5	5	23	500	22
25/08/21	3508_01	5	5	76	500	7
30/08/21	3645_03	7	8	55	500	9
07/09/21	3630_01	7	8	303	2500	8
05/10/21	3630_02	8	9	126	1000	8
09/10/21	3615_01	8	7	83	500	6
13/10/21	3615_02	8	9	105	500	5
21/10/21	3615_04	9	10	90	1000	11
26/10/21	3615_05	9	10	128	1500	12

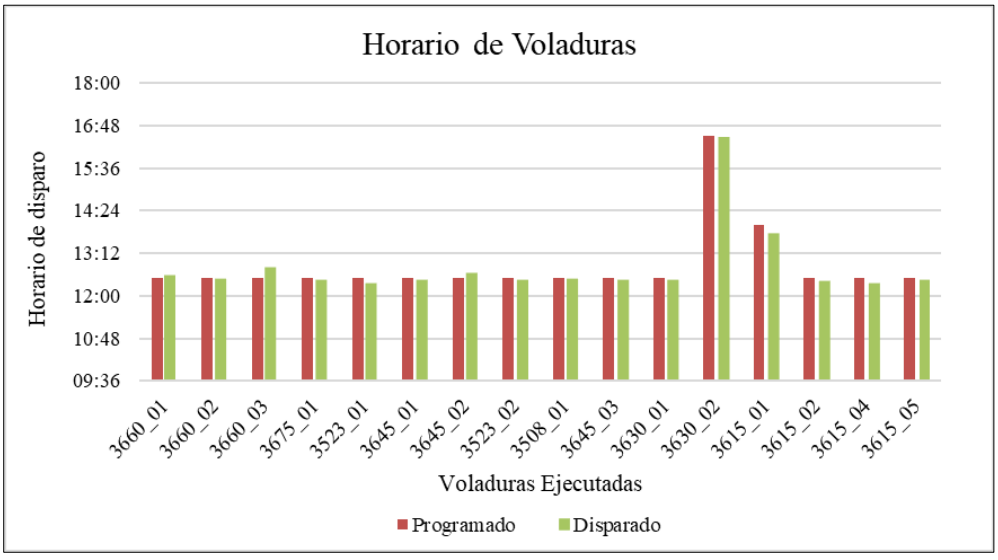
Nota: Elaboración propia.

El cumplimiento del horario de disparo establecido es un indicador del control de tiempos efectivo entre áreas de perforación y voladura, operaciones, medio ambiente, mantenimiento, geología, topografía, etc., puesto que para la liberación de área y despeje de personal se debe trabajar en coordinación adecuada asegurando el despeje del área de influencia.

La Figura 36 muestra el comparativo de cumplimiento de horarios de disparo, planificado y ejecutado. Este indicador es parte del KPI y estándar de la mina puesto que para la realización del proceso de voladura, equipos y personas detienen operaciones y el cumplir con el horario de disparo planificado demuestra la eficacia del trabajo.

Figura 36:

Horario de voladuras realizadas



Nota: Elaboración propia.

La tabla 15 muestra el resumen de las voladuras realizadas empleando los equipos Daveytronic Evolution Pack 48 en mina Quellaveco, con la descripción del proceso y mención de observaciones tratadas. Se ha identificado un retraso por error de configuración entre DRB y DBD, dicho error fue solucionado y el disparo realizado de manera óptima. Ante la ocurrencia de este evento se destaca

la importancia de realizar las respectivas pruebas con los equipos a emplear antes de iniciar todo proceso.

En campo se cuenta con dos sets de equipos Daveytronic, en caso se tuviera algún percance se tiene una maleta adicional para poder realizar el cambio, así como también se cuenta con un DBD configurado como repetidor para poder triangular la comunicación entre equipos y aumentar la calidad e intensidad de señal en caso se identificará una caída en los trenes de información en el punto de disparo.

Tabla 15:

Resumen de voladuras

Fecha	Voladura	Detonadores DAVEYTRONIC	Estado del proceso
23/06/21	3660_01	182	Disparo sin novedad.
29/06/21	3660_02	96	Disparo sin novedad..
04/07/21	3660_03	117	Disparo retrasado por error de configuración entre DRB Y DBD
20/07/21	3675_01	34	Disparo sin novedad.
26/07/21	3523_01	33	Disparo sin novedad.
01/08/21	3645_01	233	Disparo sin novedad.
08/08/21	3645_02	108	Disparo sin novedad.
12/08/21	3523_02	23	Disparo sin novedad.
25/08/21	3508_01	76	Disparo sin novedad. Empleo de doble prima.
30/08/21	3645_03	55	Disparo sin novedad.

Fecha	Voladura	Detonadores DAVEYTRONIC	Estado del proceso
07/09/21	3630_01	303	Disparo sin novedad. Activación de back up.
05/10/21	3630_02	126	Disparo sin novedad.
09/10/21	3615_01	83	Disparo sin novedad.
13/10/21	3615_02	105	Disparo sin novedad.
21/10/21	3615_04	90	Disparo sin novedad.
26/10/21	3615_05	128	Disparo sin novedad. Activación de back up.

Nota: Elaboración propia.

4.2. Indicadores

El sistema Daveytronic Evolution Pack 48 se alinea a los siguientes indicadores:

- Fuga por proyecto de voladura: la fuga es un consumo anormal de energía, a lo cual el sistema responde e identifica para poder dar solución a tiempo. Las fugas presentadas en cada proyecto de voladura fueron mínimas, también se considera el consumo residual de cable M35 empleado para el amarre de los detonadores.
- Procesos de iniciación electrónica llevados con normalidad: esto indica la correcta comunicación entre equipos, ya sea disparo alámbrico e inalámbrico, en tajo hasta le fecha se han realizado procesos de iniciación electrónica modo inalámbrico. Las figuras descritas anteriormente demuestran la correcta operatividad de los equipos, además de la calidad e intensidad de señal entre los mismos, lo que nos da la certeza del correcto funcionamiento de los mismos.

- En lo que respecta a los detonadores electrónicos, el empleo de back up por proyecto: hasta la actualidad se tiene un porcentaje de 0.11% de back up, por corte de línea en carguío y corte de línea en el proceso de tapado de taladros. Ambos eventos con solución oportuna y voladura sin retraso.
- Empleo de DBD como repetidor: en los procesos de disparo desarrollados no se ha empleado un Blast Driver adicional como repetidor puesto que la calidad e intensidad de señal fue óptima para continuar con los procesos de disparo.

4.3. Aportes

La recopilación de información, análisis e interpretación, del empleo del sistema Daveytronic Evolution Pack 48 en una mina autónoma ayuda a la empresa a identificar opciones de mejora continua, como aportes del trabajo de investigación se ha obtenido:

- En métodos de trabajo, se ha identificado los factores operacionales, manejo de tiempos y preparación oportuna de equipos para el proceso de disparo.

- Se ha logrado identificar los tiempos de programación por cantidad de detonadores, considerando el burden y espaciamiento de cada proyecto, así como también el consumo de cable M35 y el consumo residual de energía que se tendría por proyecto, pudiendo anticipar la fuga final al termino del amarre de malla.

- Se tiene mapeados los puntos de disparo para los proyectos de la F01Norte, esto permite tener identificado el punto de instalación del Daveytronic Blast Driver (DBD) con anticipación

  Pero no omite la realización de la respectiva prueba con detonadores inertes dummies antes de realizar el proceso de programación, conexión y detonación. Las pruebas de señal son indispensables para asegurar el óptimo

funcionamiento de los equipos, donde verificamos que estos pasen su respectivo autotest, nivel de batería, y correcta comunicación entre ellos.

- Se ha logrado identificar mejoras operativas, el sentido de carguío debe ser acorde a la secuencia de programación previamente diseñada, esto permite mantener un orden en la programación y optimizar tiempos de programación y amarre. Para lo cual previa reunión con el V1 se planifica las tareas a realizarse en malla, logrando un orden operativo evitando premuras en el proceso de carguío.

- Se ha capacitado al personal en manipulación y uso de la unidad de programación (PU) para el testeo de línea, al momento del tapado de taladros, o en cualquier situación que se presente en malla para obtener una pronta respuesta del personal.

CAPÍTULO V

V. ASPECTOS COMPLEMENTARIOS / RECOMENDACIONES

5.1. Aspectos complementarios

Ventajas operativas del sistema Daveytronic

En campo el sistema Daveytronic permite realizar un seguimiento al estado de la malla de voladura, a continuación, se mencionan las ventajas que se tienen en terreno al emplear este sistema:

- Monitoreo continuo de la línea, mediante el empleo de la Unidad de Programación (PU), permite detectar fugas de corriente causadas por daños o cortes en la línea descendente del detonador, identificando a tiempo el taladro y dando solución oportuna en malla.
- Retardos reprogramables, una vez se tenga la malla de voladura programada los retardos se pueden modificar accediendo al listado de programación en la PU.
- Detección de detonadores desconectados, el sistema permite identificar aquellos detonadores que fueron programados, pero no están conectados al cable M35, mostrando el número con el cual fueron programados, lo que permite verificación con el plano de secuencia de programación para dar solución inmediata en campo.
- Conteo real de detonadores, lo que permite realizar la comparación de la cantidad consumida de booster, detonadores no eléctricos y detonadores electrónicos por taladro y en todo el proyecto de voladura, antes de dirigirse al punto de disparo.
- No se produce pérdida de información, si en caso se esté realizando la programación en malla y la Unidad de Programación mostrará batería baja, o alguna avería, la información que se ha recopilado hasta el momento se puede transferir a otra PU con ayuda del Daveytronic Remote Blaster

(DRB), así el avance de programación en malla se mantiene intacto permitiendo conservar los tiempos de programación planificados.

5.2. Recomendaciones

- El modo de disparo empleado *Monoblast* ha trabajado de manera efectiva, pero se debe tener en cuenta futuros proyectos donde se realizarán disparos de mallas de voladura en simultáneo, para lo cual se deben realizar las respetivas pruebas de comunicación antes de emplear el modo *Multiblast* y *Onetouch.*
- Los resultados vistos hasta el momento se deben a un trabajo en conjunto, se debe continuar con la respectiva comunicación previa al inicio del carguío. El cumplimiento del diseño de carga planificado, control de factores como ensanchamiento por diámetro y tipo de mezcla explosiva, análisis de material empleado como taco, densidad correcta de la mezcla explosiva, temperatura de taladros, longitud de carga, etc., permitirán la obtención de mejores resultados post voladura.
- Se debe tener mapeadas las condiciones de la malla a cargar, taladros tapados, taladros cortos, taladros húmedos o con agua, taladros que no arman con rocas sueltas en el collar que podrían dañar la línea descendente del detonador en el proceso de carguío.
- El empleo correcto de herramientas para realizar el primado debe de ser continuo, puesto que solo así se logra manipular correctamente el detonador y realizar un primado optimo, que evite daños y cortes futuros.
- Continuar con el empleo de la caja protectora del BDB y el respectivo trípode, esto asegura la su protección ante posibles eyecciones de material, cuida la tarjeta RFID, y permite la formación de la zona Fresnel desde el punto de disparo.
- La prueba de señal de comunicación entre equipos antes de iniciar el proceso de programación se debe de seguir realizando de manera continua, revisar la configuración previa de cada equipo, estado de batería y que todos pasen su propio autotest en campo.

- Se debe contar con un cargador tipo araña y un conversor de corriente ante cualquier percance, si la batería de los equipos llegara a fallar o se descargue de manera improvista.
- Se puede realizar el cambio de retardos de toda la malla de voladura con el empleo del lector RFID, pero esto no debe de producirse a menudo puesto que cada secuencia de amarre es diseñada y aprobada previamente al día de disparo. Respetar los tiempos y la planificación es parte de las mejoras operativas que se deben de llevar continuamente.
- Antes de iniciar cada labor se debe verificar la pantalla, placa de acetato, placa estanca de los equipos Daveytronic.

CAPÍTULO VI

VI. REFERENCIAS

Castilla Gómez, J., Herrera , J., & Bernaola Alonso, J. (2013). *PERFORACIÓN Y VOLADURA DE ROCAS EN MINERÍA*. Madrid: Laboratorio de Tecnologías Mineras.

Crabtree, J., Gómez Perochena, T., Hurtado Sipión , E., Paredes Gonzales, M., Reyes-Hurt, A., Thorp, R., & Zambrano Chávez , G. (2019). *Diálogo y Derechos Humanos en el Sector Minero Algunas Lecciones del Perú*. Lima, Perú: Peru Support Group .

Davey Bickford. (2010). *Manual del Usuario Daveytronic SP*.

Departamento Técnico Exsa S.A. (2014). Parámetros en la voladura de rocas. *SEGURIDAD MINERA*.

ENAEX. (2019). *ENTRENAMIENTO EN SISTEMA DE INICIACIÓN ELECTRÓNICA DAVEYTRONIC SP/UG EVOLUTION*.

ENAEX. (2020). *Actualización pack 48 DAVEYTRONIC® SP/UG EVOLUTION*.

ENAEX S.A. (2020). *Memoria Anual 2020 ENAEX S.A.* El Trovador 4253 piso 5, Las Condes, Santiago.

Epiroc. (18 de Enero de 2018). *Epiroc*. Obtenido de https://www.epiroc.com/en-az/customer-stories/2020/penasquito-epiroc-autonomous-project

Epiroc. (2021). *Epiroc*. Obtenido de https://www.epiroc.com/es-cl/customer-stories/2018/proyecto-perforacion-remota-los-bronces

Espada, R. (2015). *Rincón de la Tecnología.* Obtenido de https://rincondelatecnologia.com/nuestro-espectro-electromagnetico/

Hall, M. (23 de Febrero de 2021). *Mining Technology*. Obtenido de https://www.mining-technology.com/features/digitising-drill-and-blast-operations/

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. (1979). GEOLOGÍA DEL CUADRÁNGULO DE MOQUEGUA. *Boletín 15: Serie A Carta Geológica Nacional*, 35-u.

MAGROOVE. (18 de Marzo de 2020). Obtenido de https://magroove.com/blog/es-mx/frecuencia/

Martínez-Valladares, W., Marchena-Campos, A., Otero-Aguílar, J., Cervantes-Gárate, J., & León-Lecaros, W. (2017). *Geología y controles Tectonomagmáticos de los Sistemas Porfiríticos en el Arco Magmático Occidental Sur de Perú.* INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO - INGEMMET .

Paucar, R. R. (2016). *Voladura con detonadores elecetrónicos para optimizar la fragmentación en tajo Toromocho-Minera Chinalco Peru S.A.* Huancayo.

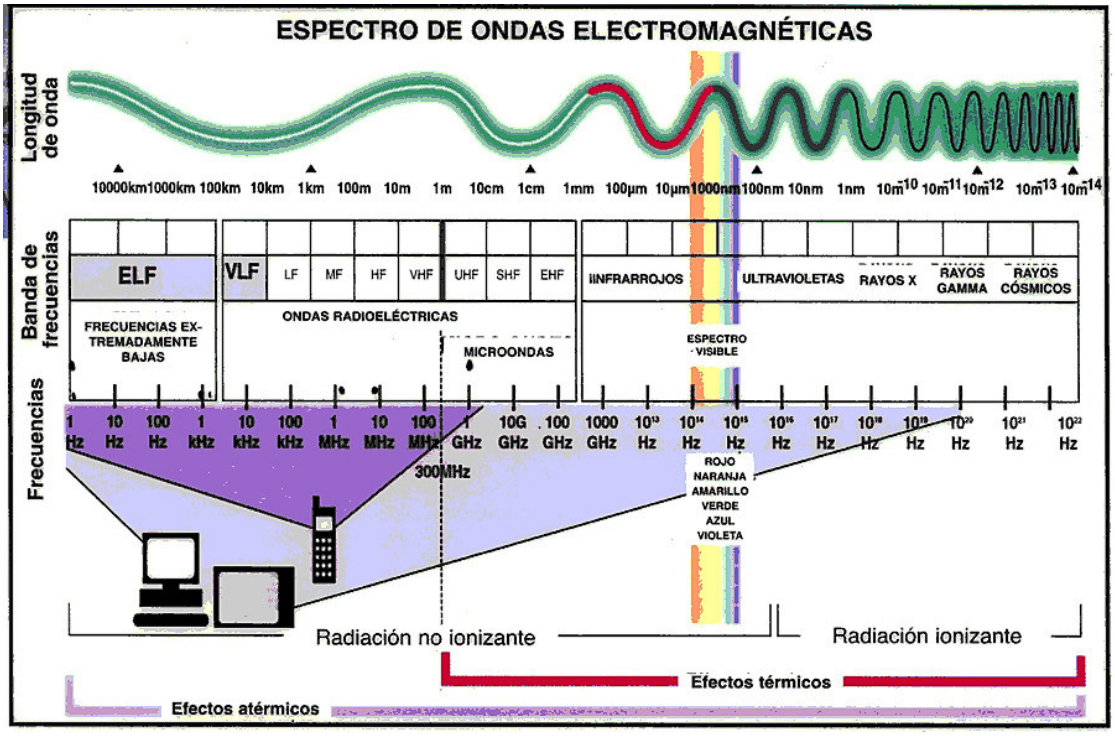
PROESMIN S.A.C. (2009). Proyecto Implementación GIS del Proyecto Quellaveco. *Al día*.

Universidad Internacional de Valencia. (12 de 10 de 2017). *Ciencia y tecnología.* Obtenido de https://www.universidadviu.com/pe/actualidad/nuestros-expertos/rfid-que-es-y-como-funciona

CAPÍTULO VII

VII. ANEXOS

Anexo 1: Espectro de Ondas Electromagnéticas



Anexo 2: Zona autónoma F01Norte - Tajo Quellaveco



Anexo 3: Check List Equipos Daveytronic

Enaex	Check list	CÓDIGO HSEC:	SG-GIP-C-002
		REVISIÓN N°:	0
	Lista de competencias diario de equipos Daveytronic	FECHA:	Octubre 2019.
		Página 1 de 1	

PATRONES DE REVISIÓN (N/A: No Aplica para el equipo)	DRB2		DRB2		DBD		DBD		PU		PU		PU		PU	
	N°		N°		N°		N°		N°		N°		N°		N°	
	✔	✘	✔	✘	✔	✘	✔	✘	✔	✘	✔	✘	✔	✘	✔	✘
N° 1. Estado de Cumplimiento según REGLAS DE ORO DE LA COMPAÑÍA																
Pantalla de equipos DRB2/PU sin daños					N/A	N/A	N/A	N/A								
Pantalla con placa acrilicas y adhesivo de protección					N/A	N/A	N/A	N/A								
Placa de acrílico de protección para RFID en buen estado	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A								
Tapa protectora y pines negros para puertos Ethernet, USB y carga sin daños																
Puertos Ethernet, USB y carga sin daños u obstrucciones																
Tapa protectora para conector de antena									N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Conector de antena sin daños o obstrucciones									N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Terminales de conexión para cable M35 para voladuras sin daños																
Terminales de conexión para cable M35 para Synchroblast sin daños	N/A	N/A	N/A	N/A					N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Conectores de presión para cable M35 de equipos DRB2/PU sin daños					N/A	N/A	N/A	N/A								
Conector amarillo para conexión a estaca de tierra sin daños o obstrucciones									N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Pines de programación en buen estado	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A								
Sistema de arnés de sujeción de equipos DRB2/PU en buen estado					N/A	N/A	N/A	N/A								
Fecha de mantención legibles y vigente																
Fecha de cambio de batería legible y vigente																
¿Confirma que los equipos DRB2, DBD y PU se encuentran limpios y sin daños?																
N° 2. Funcionalidad																
¿Los equipos completan su AUTOTEST de manera satisfactoria? "DRB2/PU Mensaje OK" , "DBD 1er LED verde parpadeando"																
¿Nivel de batería mayor a 75% y la batería se encuentra calibrada?																
¿Tarjeta RFID en buenas condiciones?																
¿El equipo puede ser tageado a través de RFID?																
¿El teclado funciona de forma correcta? ***Esto se debe verificar realizando una simulación de un disparo con detonadores inertes.***																
¿Los equipos se encuentran con la misma configuración inalámbrica? (con o sin repetidor)																

N° 3. Pruebas de comunicación (Simulación de voladuras con detos inertes)

Equipos	Intensidad (S): %	Calidad (Q):
Serial DRB2:		N/A
Serial DBD:		
Serial DRB2:		N/A
Serial DBD:		

N° 4. Consultas Operativas

1. ¿Usted utilizará alguno de estos equipos con otro equipo NO indicado en este Check List?	SI	N
Sí su respuesta es **NO** puede cerrar el Check List. Sí, su respuesta es **SI** debe realizar un Check List que debe adjuntar.		
2. ¿Las antenas que usted utilizará en terreno se encuentran debidamente rotuladas?	SI	N
3. ¿Los trípodes y bandejas que usted llevará a terreno estan en buenas condiciones?	SI	N
4. ¿Las estacas de conexión a tierra que usted llevará a terreno se encuentran en buenas condiciones?	SI	N
5. ¿Usted lleva a terreno un cargador de los equipos con conexión a puerto de camioneta?	SI	N

N° 5. Control de Revisiones

¿Conoce usted el protocolo de firmas de este Check List para la mina que se encuentra trabajando?	SI	NO
¿En la mina que usted esta trabajando su Check List requiere validación? (Validación significa que otro usuario debe comprobar técnicamente que usted completó correctamente este Check List; inspección cruzada)	SI	NO
¿En la mina que usted esta trabajando , su Check List requiere aprobación antes que los equipos sean utilizados en terreno?	SI	NO

Elementos adicionales al desarrollo de las actividades:

Conector 3M: SI Huincha aislante: SI Alicates (para conectores 3M y cables): SI Cable M35: SI Medidor de corte: SI

OBSERVACIONES:

Si algún equipo Daveytronic u accesorio no cumple con las condiciones físicas para ser utilizado en la operación, se debe realizar un Reporte preliminar de incidente (PIR)

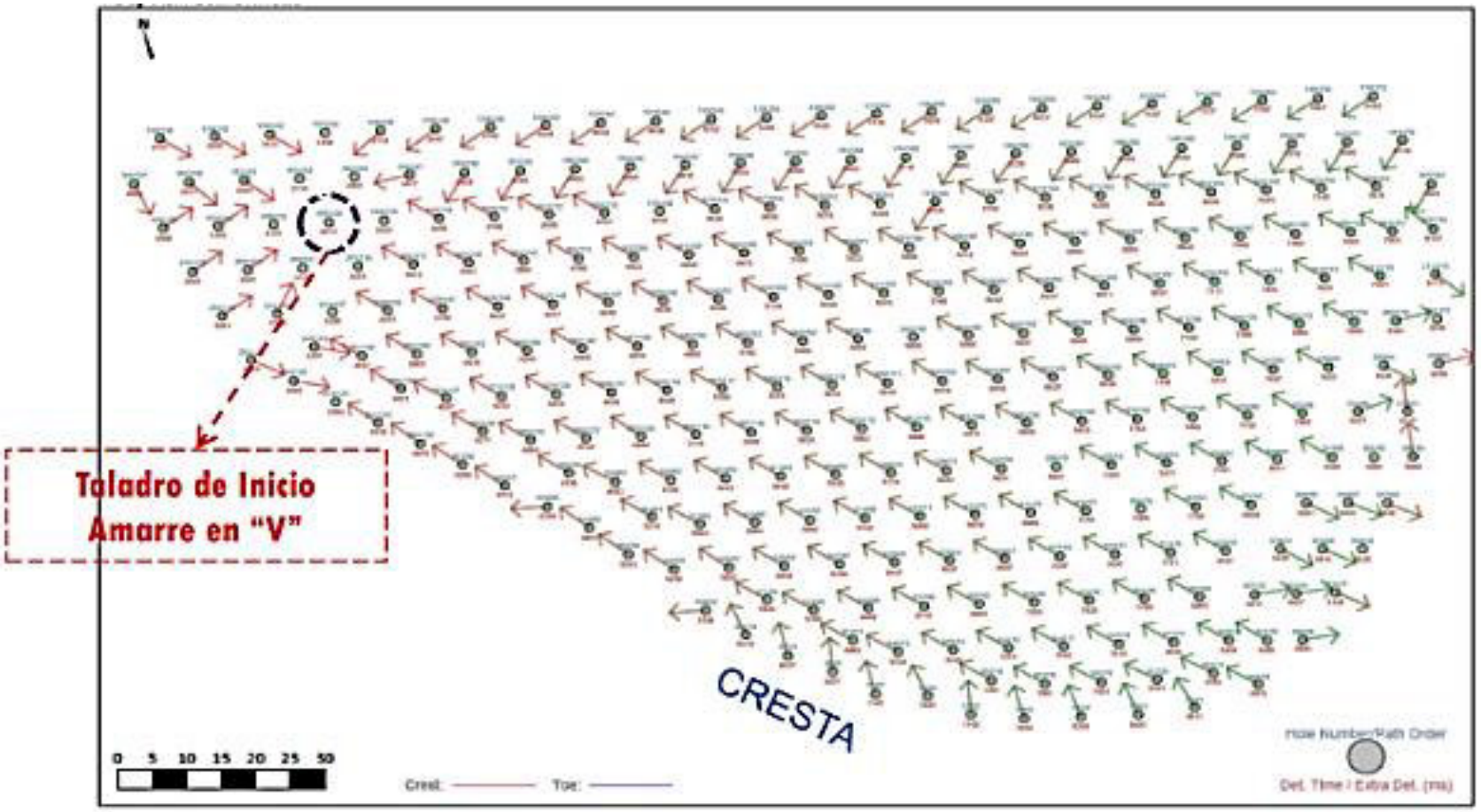
CHECK LIST REALIZADO POR: _____

CHECK LIST VALIDADO POR: _____

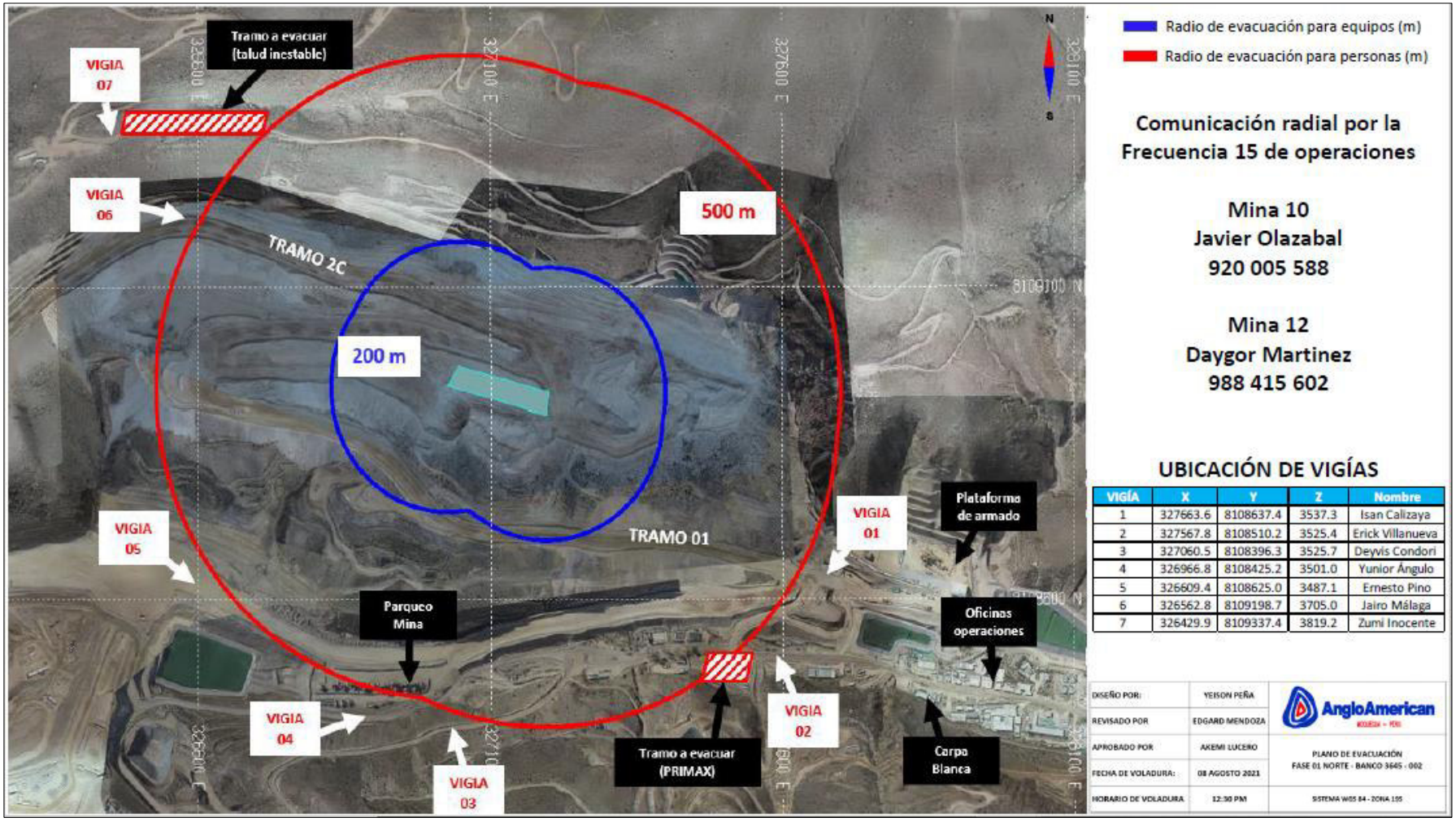
APRUEBA QUE EL CHECK LIST FUE REALIZADO ANTES DE UTILIZAR LOS EQUIPOS EN TERRENO: _____

FECHA DE VALIDACIÓN: _____

Anexo 4: Desplazamiento de material diseñado en Opitblast



Anexo 5: Plano de Radio de Influencia



"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA PARA TESIS AL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN DEL ACCESO ABIERTO DE LA UNAM

VICEPRESIDENCIA DE INVESTIGACIÓN

Formulario de autorización para la publicación electrónica en la página web del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua, de conformidad con el Decreto Legislativo N° 822, sobre la Ley de los Derechos de Autor, Ley N° 30035 del Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto de la UNAM aprobada mediante la Resolución de C.O. N° 0158-2016-UNAM.

1. DATOS PERSONALES DEL AUTOR

Apellidos y Nombres:	CÓRDOVA VILLEGAS MARILIA VERÓNICA
D.N.I.:	73004306
Otro Documento:	
Nacionalidad:	PERUANA
Teléfono:	921129991
e-mail:	marilia.vero1031@gmail.com

2. DATOS ACADÉMICOS

Escuela Profesional:	INGENIERÍA DE MINAS
Grado Académico otorgado:	BACHILLER EN INGENIERÍA DE MINAS
Título Profesional otorgado:	INGENIERO DE MINAS
Tesis (Pregrado y/o Postgrado):	PREGRADO
Modalidad de Titulación:	TRABAJO POR SUFICIENCIA PROFESIONAL

3. DATOS DE LA TESIS

Título de la tesis:	EFECTIVIDAD DE LA INICIACION ELECTRÓNICA EN ZONA DE INTERACCIÓN CON EQUIPOS AUTÓNOMOS EMPLEANDO EL SISTEMA DAVEYTRONIC EVOLUTION PACK 48, MINA QUELLAVECO. MOQUEGUA - 2021
Fecha de Sustentación:	26 - 11 - 2021
Calificación:	DIECISIETE (17)
Año de Publicación:	2021

4. DATOS DEL ASESOR

Apellidos y Nombres:	BARRIGA PARIA CHRIST JESUS
D.N.I.:	44331713
Otro Documento:	
Nacionalidad:	PERUANO
Teléfono:	996707694
e-mail:	cbarrigap@unam.edu.pe

5. AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN VERSIÓN ELECTRÓNICA

A través de la presente, autorizo la publicación del texto completo de la tesis, en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua para su explotación no exclusiva, ilimitada, perpetua y con alcance mundial, a favor de la Universidad Nacional de Moquegua.

Según el Reglamento de la Ley Nº 30035, Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto DECRETO SUPREMO N° 006-2015-PCM "TÍTULO IV GESTIÓN DE LA PROPIEDAD INTELECTUAL Y DE LOS DATOS PERSONALES; *Artículo 10º.- De los Derechos: Esta cesión de derechos comprende, mas no se limita, a los derechos de reproducción, comunicación al público, distribución, traducción, adaptación, arreglo, edición, modificación, cambio de formato u otra transformación, importación al territorio nacional de copias por cualquier medio incluyendo la transmisión, así como cualquier otra forma de utilización de las obras, datos procesados y estadísticas de monitoreo que no estén contempladas en la ley de la materia como excepción al derecho patrimonial y, en general, para cualquier tipo de utilización y explotación, que la entidad estime pertinentes, en cualquier forma o procedimiento, conocido o por conocerse, pudiendo poner a disposición las obras, datos procesados y estadísticas de monitoreo por medio de autorizaciones o licencias a favor del público en general."*

Sin perjuicio de otras obligaciones a su cargo, EL AUTOR deberá entregar una versión digital final de la TESIS sin ninguna medida tecnológica efectiva ni sistema de auto tutela, sin contraseña ni restricción, de acuerdo con los lineamientos establecidos por el Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC) en relación con el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto. Cuando las obras contengan en parte o consistan en programas de ordenador o software, además deberá entregar el código fuente, código objeto, documentación técnica y manuales. Lo dispuesto en relación con los programas de ordenador no se aplicará cuando la entidad pública sea sólo licenciataria del software.

Para facilitar la divulgación y alcance nacional e internacional de los resultados de las investigaciones en materia de ciencia, tecnología e innovación contenidos en los repositorios institucionales y en el Repositorio Nacional Digital, se autoriza la traducción automática a otros idiomas y dialectos por medio de programas de ordenador de las obras, datos procesados y estadísticas de monitoreo, así como de los metadatos de los mismos. En caso de ser fijadas o reproducidas, se deberá incluir expresamente que se trata de traducciones hechas por medios informáticos, con fines ilustrativos o referenciales.

Firma y huella digital: _____



Fecha de autorización: 09. 12. 2021