



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**INSTALACIÓN DE TUBERÍAS DE POLIETILENO DE ALTA
DENSIDAD PARA EL TRANSPORTE DE RELLENO EN PASTA
PARA LOS TAJEOS DE LA UNIDAD MINERA
SAN RAFAEL – MINSUR**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. YONY CESAR ONOFRE CEREZO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO – PERÚ

2024



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

INSTALACIÓN DE TUBERÍAS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD PARA EL TRANSPORTE DE RELLENO EN PASTA PARA

AUTOR

YONY CESAR ONOFRE CEREZO

RECuento DE PALABRAS

18103 Words

RECuento DE CARACTERES

90529 Characters

RECuento DE PÁGINAS

116 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

11.7MB

FECHA DE ENTREGA

Jul 17, 2024 12:16 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jul 17, 2024 12:17 PM GMT-5

● 7% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 6% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 4% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)


Ing. David Velasquez Medina
DOCENTE F.I.M. - UNA



Dr. Americo Arizaca Avalos
Director de la Unidad de Investigación
Facultad de Ingeniería de Minas

Resumen



DEDICATORIA

A Dios, por la gracia que celestialmente me brinda su bendición en el acrecentar de mi vida.

Dedicado a mis queridos padres Jesús y María, por su incesante apoyo en la conclusión de mis estudios.

A mi hija Hanny, por ser mi motivo para subir un escalón más y crecer como persona y profesional.

Yony Cesar Onofre Cerezo.



AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento a mi madre, quien ha sido la principal impulsora de mi desarrollo como individuo y por brindarme un apoyo incondicional en mi trayectoria profesional. Además, agradezco a la Empresa Electrocons Ingenieros S.A, Unidad Minera San Rafael – MINSUR, por la valiosa oportunidad de formar parte de su equipo, lo cual ha contribuido significativamente a mi crecimiento profesional.

Yony Cesar Onofre Cerezo.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	15
ABSTRACT	16
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	17
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	18
1.2.1. Pregunta general	18
1.2.2. Preguntas específicas	18
1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.3.1. Hipótesis general	18
1.3.2. Hipótesis específicas	18
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.4.1. Objetivo general	19
1.4.2. Objetivos específicos	19
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	19

CAPÍTULO II



REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
2.2.	BASES TEÓRICAS	25
2.2.1.	Métodos de Minado.....	25
2.2.1.1.	Sub Level Stoping - Transversal	26
2.2.1.2.	Sub Level Stoping - Longitudinal	26
2.2.1.3.	Bench and Fill Stoping.....	27
2.2.2.	Tuberías de polietileno	27
2.2.3.	Clasificación de polietileno.....	28
2.2.3.1.	Tubería de polietileno de alta densidad.....	28
2.2.3.2.	Propiedades del polietileno de alta densidad	29
2.2.3.3.	Aplicaciones del polietileno de alta densidad	31
2.2.4.	Soldadura por termofusión.....	31
2.2.4.1.	Verificación durante el refrendado.....	33
2.2.4.2.	Verificación durante la unión por termofusión	33
2.2.4.3.	Inspección del cordón soldado	33
2.2.4.4.	Uniones inaceptables.....	35
2.2.5.	Proceso de soldadura por termofusión	35
2.2.6.	Relleno en pasta.....	39
2.2.6.1.	Ventajas del uso de relleno	39
2.2.6.2.	Desventajas del uso de relleno	40
2.2.6.3.	Proceso del relleno hidráulico.....	40
2.2.7.	Preparación del material	40
2.2.7.1.	Análisis de textura.....	40
2.2.7.2.	Prueba del Slump	41



2.2.8. Uso de tuberías HDPE para transporte de relleno en pasta	41
2.2.9. Selección del diámetro de la tubería HDPE	42
2.2.10. Máxima distancia horizontal de transporte de relleno	42
2.2.11. Bombeo del relave.....	43
2.2.12. Líneas de conducción del relave clasificado	44
2.2.13. Distribución subterránea de la pasta en mina.....	44
2.2.14. Recepción en el tajeo	44
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES	45
2.3.1. Minería metálica.....	45
2.3.2. Relave de mina	45
2.3.3. Tubería HDPE	45
2.3.4. Depósito de relaves.....	45
2.3.4. Supervisión de operaciones	46
2.3.6. Soldadura por termofusión	46
2.3.7. Relleno en Pasta	46
2.3.8. Agua en minería	46
2.3.9. Cemento para la elaboración de pasta	47

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN	48
3.1.1 Accesibilidad	48
3.2. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN.....	49
3.3. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN	49
3.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	50
3.4.1 Diseño estadístico y metodológico por objetivos específicos	50



3.4.1.1. Soldadura por termofusión de tuberías de polietileno de alta densidad.....	50
3.4.1.2. Determinación relleno en pasta para los tajeos	55
3.4.1.3. Determinación de diámetro de tubería y distancia para el traslado de relleno en pasta para los tajeos	61
3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	63
3.5.1. Población.....	63
3.5.2. Muestra.....	63
3.6. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	64
3.6.1. Instrumentos de recolección de datos	64
3.7. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	65
3.7.1. Variable Independiente.....	65
3.7.2. Variable Dependiente.....	65
3.8. TECNICA DE PROCESAMIENTO DE DATOS.....	66

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS EXPERIMENTALES.....	67
4.1.1. Resultado de parámetros de soldadura.....	67
4.1.2. Resultados de la prueba hipótesis de parámetros	74
4.1.3. Resultado de la instalación de tuberías de polietileno de alta densidad mediante soldadura por termofusión.....	76
4.1.3.1. Proceso de soldadura por termofusión	76
4.1.4. Resultado de la selección de diseño de relleno en pasta a transportar para tajeos	79
4.1.4.1. Resultado de las pruebas de relleno a utilizar	79



4.1.4.2. Resultados en transporte de relleno en pasta.....	82
4.1.4.3. Cálculo del diámetro de la tubería HDPE a utilizar	84
4.1.4.4. Cálculo de distancia máxima de transporte de relleno	88
4.2. DISCUSIÓN	91
V. CONCLUSIONES	93
VI. RECOMENDACIONES	94
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
ANEXOS	98

Área : Ingeniería de Minas

Tema : Servicios auxiliares requeridos en operaciones mineras.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 18 de Julio de 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Propiedades físicas de tuberías de polietileno de alta densidad.....	30
Tabla 2 Propiedades mecánicas de polietileno de alta densidad.....	30
Tabla 3 Parámetros de tiempo en la soldadura por termofusión de tuberías	32
Tabla 4 Ancho aproximado del labio producido.....	37
Tabla 5 Tiempo máximo de transferencia.....	37
Tabla 6 Periodo recomendado de enfriamiento.	38
Tabla 7 Ruta de acceso desde la ciudad de Juliaca	49
Tabla 8 Control de parámetros a una altitud de 4 334 m.s.n.m.	53
Tabla 9 Composición mineralógica	57
Tabla 10 Granulometría en la pulpa.....	58
Tabla 11 Composición químico de los relaves	59
Tabla 12 Diseño de mezcla patrón utilizado	59
Tabla 13 Diseño de mezcla relleno en pasta con cemento Yura – IP	60
Tabla 14 Diseño de mezcla relleno en pasta	61
Tabla 15 Variables	66
Tabla 16 Ensayo de tracción	67
Tabla 17 Ensayo de doblez	68
Tabla 18 Control de parámetros.....	69
Tabla 19 Estadística descriptiva.....	75
Tabla 20 Prueba	75
Tabla 21 Resultados de mezclas con cemento yura IP (estado fresco-endurecido)....	80
Tabla 22 Características de la bomba y parámetros.....	83
Tabla 23 Características de la pasta y parámetros	83



Tabla 24	Diámetro de la tubería.....	88
Tabla 25	Distancia máxima.....	90



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Estructura química del polietileno	28
Figura 2 Cordón de soldadura	34
Figura 3 Control de temperatura ambiente.....	70
Figura 4 Control de humedad relativa.....	71
Figura 5 Temperatura en la plancha	72
Figura 6 Doble de cordón.....	73
Figura 7 Evolución de la resistencia a la compresión	81



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1 Ubicación de la unidad minera San Rafael – Minsur	99
Anexo 2 Máquina de termofusión.	999
Anexo 3 Proceso de soldadura.....	101
Anexo 4 Presentación para verificar la perpendicularidad y contacto.	102
Anexo 5 Etiquetado de juntas	102
Anexo 6 Inspección y control de pegas	103
Anexo 7 Cuadro de control de pegas.....	104
Anexo 8 Características técnicas de la fabricación de tuberías	104
Anexo 9 Ensayo de doblez	105
Anexo 10 Transporte de relleno.	105
Anexo 11 Esquema de red de tubería de relleno.	106
Anexo 12 Flujograma de relleno en pasta.	107
Anexo 13 Esquema de Relaves Bofedal III.....	107
Anexo 14 Bomba centrífuga Warman 5 x 4	108
Anexo 15 Mezclado de materiales.....	109
Anexo 16 Norma ASTM F 2620	110
Anexo 17 Prueba laboratorio	111
Anexo 18 Resultado laboratorio	112
Anexo 19 Acta de entrega de terreno	113
Anexo 20 Certificado de calibración del equipo de termofusión	114



ACRÓNIMOS

HDPE:	Polietileno de una densidad alta
SDR:	Standar Dimension Ratio
ISO:	International Organization for Standardization
ASTM:	American Society for Testing and Materials
°C:	Celsius
m.s.n.m.:	Metros sobre el nivel del mar
(FPS):	Fusion Procedure Specification
(g/cm³):	Densidad
°F:	Fahrenheit
m:	Metros
mm:	Milímetros
pie/min:	Pie por minuto
Tn:	Toneladas
m³/día:	Metros cúbicos por día
m³:	Metros cúbicos
km/h:	kilómetros por hora



RESUMEN

En la Unidad Minera San Rafael – Minsur se viene utilizando relleno en pasta para el llenado de espacios dejados por los tajeos, resultado del minado por el método sublevel stopping; los rellenos trasladados para los tajeos deben de tener una resistencia óptima puesto que servirán como piso de trabajo para realizar la perforación, el disparo y su posterior acarreo del mineral a la vez servirá como sostenimiento y dar la estabilidad adecuada para que la mina no colapse debido al incremento de espacios abiertos. Se tiene como objetivo instalar tuberías de polietileno de alta densidad para el transporte de relleno en pasta para los tajeos, cuya unión de tuberías de diferentes diámetros se hace mediante soldadura por termofusión a una altitud de 4 334 m.s.n.m. los mismos que se realizó basado en estándares internacionales de calidad ISO 9001:2015 y normas ASTM F 2620 y ASTM F 714. La investigación tiene un enfoque cuantitativo, con diseño preexperimental y con nivel explicativo ya que se manipula una variable para ver el efecto que produce una a la otra; se evaluó la influencia de parámetros de soldadura a una altitud de 4 334 m.s.n.m. con un resultado de prueba positivo de parámetros, como resultado se instaló 2 395 metros de tuberías de polietileno de 4 pulgadas de diámetro y se transportó el relleno en pasta a través de tuberías instaladas a lo largo de las rampas y accesos desde el nivel 4 334 m.s.n.m. hasta el nivel 3 985 m.s.n.m. para dar estabilidad a las zonas de explotación de bloques de minado, que tienen una longitud de 150 metros, una altura de 56 metros y anchura de veta promedio de 10 metros, la finalidad es de transportar 9 793 m³/día de relleno en pasta, para crear paredes auto estables de las zonas de explotación.

Palabras clave: Altitud, cemento, línea de tubería, normas, relave.



ABSTRACT

In the San Rafael Mining Unit - Minsur, paste fill has been used to fill spaces left by the pits, the result of mining by the sublevel stopping method; The fillings moved for the pits must have optimal resistance since they will serve as a working floor to carry out the drilling, shooting and subsequent transportation of the ore. At the same time, they will serve as support and provide adequate stability so that the mine does not collapse due to the increase in open spaces. The objective is to install high-density polyethylene pipes for the transport of paste filler for the stopes, whose union of pipes of different diameters is made by thermofusion welding at an altitude of 4,334 m.a.s.l. the same ones that were carried out based on international quality standards ISO 9001:2015 and ASTM F 2620 and ASTM F 714 standards. The research has a quantitative approach, with a pre-experimental design and with an explanatory level since a variable is manipulated to see the effect that one produces on the other. The influence of welding parameters was evaluated at an altitude of 4,334 m.a.s.l. with a positive parameter test result, as a result, 2,395 meters of 4-inch diameter polyethylene pipes were installed and the paste fill was transported through pipes installed along the ramps and accessories from level 4,334 m.s.n.m. up to level 3,985 m.a.s.l. To provide stability to the exploitation areas of mining blocks, which have a length of 150 meters, a height of 56 meters and an average vein width of 10 meters, the purpose is to transport 9,793 m³/day of paste fill, to create self-stable walls of exploitation areas.

Keywords: Altitude, cement, pipeline line, standards, tailings.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

En la Unidad Minera San Rafael – Minsur se viene utilizando relleno en pasta para el rellenado de tajeos, el relleno está formado por relave más agua más cemento el cual es transportado por tuberías, debido al material de la tubería y las largas distancias se agrega más agua para evitar obstrucciones, sin embargo el relleno en pasta se desmorona; para ello se pretende utilizar aditivos que mejoren el transporte del relleno en pasta, las mezclas de relleno en pasta se pueden trabajar mejor con menos litigantes, disminuyendo la presión de bombeo y reducción de pérdida de presión, a su vez reemplazando tuberías de acero por tuberías de polietileno de alta densidad ya que presenta propiedades más favorables que las tuberías de acero como menor aspereza en su superficie interna, fácil manipulación y traslado, favoreciendo al transporte de relleno en pasta, con el uso de tuberías de polietileno se tiene mejor colocación del relleno en los tajeos, asimismo se obtiene una mejor consistencia de la mezcla y reduce la segregación de la pasta.

Realizar el transporte de relleno en pasta para los tajeos es vital para mantener la continuidad del ciclo de la mina, por tanto se garantiza la producción en la mina. Al tener algún tipo obstrucción en las tuberías que transportan el relleno en pasta esto puede provocar el derrame de las mismas en las instalaciones de la mina y repercute en procedimientos administrativos las cuales son sancionadas por las autoridades competentes.



1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Pregunta general

¿Cómo es la instalación de tuberías de polietileno para el transporte de relleno en pasta para los tajeos de la Unidad Minera San Rafael - Minsur?

1.2.2. Preguntas específicas

- a) ¿Cómo se cumple con los parámetros de soldadura por termofusión en la instalación de tuberías de polietileno de alta densidad a una altitud de 4 334 m.s.n.m. en la Unidad Minera San Rafael - Minsur?
- b) ¿Cómo se garantiza el transporte de relleno en pasta para los tajeos en la Unidad Minera San Rafael - Minsur?

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis general

Con la instalación de tuberías de polietileno de alta densidad mediante la soldadura por termofusión permite el transporte de relleno en pasta para los tajeos de la Unidad Minera San Rafael - MINSUR.

1.3.2. Hipótesis específicas

- a) Cumpliendo con los parámetros de soldadura por termofusión según la norma ASTM F 2620 se garantiza la instalación de tuberías de polietileno de alta densidad a una altitud de 4 334 m.s.n.m. en la Unidad Minera San Rafael - Minsur.



- b) Con la instalación de tuberías de polietileno de alta densidad se garantiza el transporte de relleno en pasta para los tajeos de la Unidad Minera San Rafael - Minsur.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general

Instalar las tuberías de polietileno de alta densidad mediante la soldadura por termofusión para garantizar el transporte de relleno en pasta para los tajeos de la Unidad Minera San Rafael - Minsur

1.4.2. Objetivos específicos

- a) Cumplir con los parámetros de soldadura por termofusión para la instalación de tuberías de polietileno de alta densidad se a una altitud de 4 334 m.s.n.m. según la Norma ASTM F 2620 en la Unidad Minera San Rafael - Minsur
- b) Garantizar el trasporte de relleno en pasta para los tajeos con la instalación de tuberías de polietileno de alta densidad en la Unidad Minera San Rafael – Minsur

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación ayudara a comprender la importancia del uso de tuberías de polietileno de alta densidad en el transporte de fluidos en minería, para este caso en particular el trasporte de relleno en pasta para los tajeos de la Unidad Minera San Rafael – MINSUR, para el transporte de relleno en pasta se realizara la instalación de tubería de polietileno de alta densidad con diámetros de 8 y 4 pulgadas, las tuberías con un diámetro de 8 pulgadas se instalan en las salidas de planta B-2 hasta el nivel 4 300 m.s.n.m.(boca



mina) , las tuberías con un diámetro de 4 pulgadas se instalan a partir del nivel 4 300 al 3 985 m.s.n.m.

Las uniones de los extremos de las tuberías de polietileno de alta densidad se hacen con soldadura por termofusión basados en las normas ASTM F 2620 y ASTM F 714, debido a la altitud de la mina de 4 334 m.s.n.m. se hacen pruebas para cumplir con los parámetros de soldadura por termofusión con lo cual se garantiza la instalación de tuberías de polietileno de alta densidad.

La justificación práctica del trabajo de investigación contribuirá en dar solución a los diversos problemas e inconvenientes que se tiene en la instalación de tuberías de polietileno de alta densidad en el interior de la mina cuya la finalidad es de trasportar fluidos (relave, relleno hidráulico, relleno en pasta).

La importancia del trabajo de investigación radica en comprender el transporte de fluidos a través de tuberías de polietileno de alta densidad el cual más eficiente, rápido que otros medios de transporte. En este caso el transporte de relleno en pasta (mezcla de relave más agua más cemento) para los tajeos asegurara la disminución de los espacios vacíos en interior mina.

Ambientalmente, se hace uso de los relaves que provienen de la planta de relaves B-4 y las escorias de fundición, estos materiales se utilizan para la elaboración del relleno en pasta. De esta manera se disminuye el impacto ambiental que ocasionan estos desechos en los depósitos de relaves, mejorando las propiedades de la pasta y permitiendo obtener un agregado ecológico.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Cahuana & Vásquez (2020) tuvieron como objetivo determinar como el desgaste de tuberías afecta la productividad del relleno en pasta, zona Mirko Este – Volcán Compañía Minera S. A. A. Perú de la unidad minera Chungar- Animón 2019; la metodología que emplearon es explicativo, con el fin de describir las actividades de mejoramiento en el sistema de relleno en pasta, en la investigación se enfocaron en recopilar, organizar, analizar y presentar un conjunto de datos. Por lo tanto, el diseño de la investigación es descriptivo. En uno de sus hallazgos, menciona que el aporte de relleno en pasta aumentó en un promedio mensual en el 2015 de 18 713 a 24 037 m³ mensual promedio al 2019. Concluyen que el proyecto de instalación y estandarización de 7 300 metros de tuberías HDPE de 4 pulgadas de diámetro PE 50 PN 12,5 en interior mina, permitió aumentar la cantidad de relleno en pasta en los tajeos.

Zapata (2019) ha tenido como objetivo reducir el impacto al medio ambiente mediante la reducción de las emisiones de gas con el uso de tuberías de polietileno de alta densidad. La metodología de investigación es cualitativo, en uno de sus resultados menciona que, para cualquier proyecto, las tuberías de polietileno de alta densidad son mejores que las tuberías de acero al carbono. Como resultado, las tuberías de polietileno de alta densidad son más amigables con el medio ambiente porque no requieren protección catódica ni protección contra la corrosión interna, que llevan productos químicos que pueden ser dañinos tanto para las personas como para el medio ambiente.



Gutiérrez (2018) en su tesis el objetivo fue determinar la aplicación de relaves mineros de estaño como rellenos hidráulicos en pasta con adiciones de cemento, adiciones minerales (escoria, puzolana, etc.) y aditivos como rellenos de estructuras en la Minera San Rafael para mejorar el potencial de minado, la metodología utilizada para el desarrollo de la investigación es experimental que consistió en realizar mezclas de concreto con diferentes porcentajes de reemplazo de cemento por relave y comparar luego los resultados obtenidos con los de un concreto patrón; la cantidad de relleno requerido para el rellenado de espacios que se dejaron por la extracción del mineral depende de los objetivos establecidos en el programa de producción. Finalmente concluye, que se logró la estabilidad y posterior recuperación de pilares de mineral existentes en mina, lo que permite el minado a niveles más bajos; los beneficios ambientales incluyen la utilización de 82% de los relaves para el relleno; los cuales provienen de la recuperación metalúrgica de la planta concentradora de mineral, sin clasificar, incluidos los finos.

Vidal (2019) en su tesis de investigación tuvo como objetivo determinar las dimensiones más predominantes para transportar el relleno en pasta a largas distancias en la empresa Nexa Resources; la investigación tiene un enfoque cuantitativo, hipotético deductivo, y con alcance descriptivo. Para satisfacer las expectativas que se tiene en transportar el relleno en pasta a largas distancias en la mina Cerro Lindo, este estudio examina como se mezcla, dosifica y bombea la pulpa durante el proceso de relleno de los tajos de la Unidad Minera Cerro Lindo. Cuenta con diseño no es experimental y sus resultados muestran que las resistencias obtenidas a lo largo de 7 y 28 días superaron significativamente la resistencia requerida. Se descubrió que la dimensión de la mezcla de agua constituye como el indicador fundamental en el traslado de relleno en pasta a distancias largas. Desde una densidad inicial de 2 580 (sin aditivo), la densidad del relleno



aumentó significativamente sin aumentar las presiones de bombeo. Las dosis de aditivo alcanzaron un aumento en densidad en peso de cemento de 6,6 %, 4,7 % y 4,1%, respectivamente.

Velásquez (2022) en su tesis ha tenido como objetivo “establecer el procedimiento a realizar para estandarizar e instalar las tuberías para para transportar el relleno hidráulico en interior mina, Unidad Animon, Empresa Administradora Chungar S.A.”, la metodología de investigación que ha empleado es el cualitativo. Por lo tanto, seguiremos un análisis en el mismo campo para completar todo el proceso de la problemática de la estandarización de tuberías, utilizando métodos inductivos deductivos, análisis y síntesis, así como observación in situ. El diseño de investigación es un diseño experimental que se ajusta al enfoque cuantitativo. Uno de los resultados de la investigación es que las líneas 1, 2, y 3 están hechas de polietileno de alta densidad (HDPE) y que la principal ventaja en su uso es que tiene mayor resistencia al desgaste producida por la abrasión, en comparación con la resistencia que tienen tuberías de acero. Finalmente concluye, que la planta concentradora produce 4 800,27 TMS/día en promedio de relave, del cual se utilizan 2 887 TMS por día para el relleno hidráulico, lo que equivale a 121,6 m³/h de transporte, y se bombean mediante tres líneas con una capacidad promedio de 51 L/seg.

Rodríguez (2019) en su tesis tuvo como objetivo realizar los ensayos no destructivos y ensayos mecánicos para evaluar las propiedades mecánicas y realizar el control de calidad de las uniones soldadas por termofusión de tuberías HDPE; la metodología de investigación es de tipo experimental, donde expone los ensayos no destructivos y por último los procedimientos de ensayo mecánicos y fórmulas usadas para el cálculo de resultados. Los resultados de las probetas 1, 2 y 3 de resistencia a la tracción se encuentran dentro de los parámetros que establece la Norma: ASME.IX 2015 (Pruebas



de Tracción). En su conclusión menciona, según los ensayos destructivos y no destructivos, la unión soldada de tubería de polietileno de alta densidad (HDPE) cumple con los requisitos mecánicos y de forma de la Norma ASTM.

Espinoza & Tintaya (2022) en su tesis el objetivo ha sido determinar cómo influye la temperatura de calentamiento del plato calefactor para el soldeo por termofusión a tope de las tuberías de polietileno de alta densidad a una altitud de 4 200 m.s.n.m., El estudio fue experimental porque se utilizó un solo grupo para realizar observaciones antes y después y se manipuló la temperatura y el tiempo de calentamiento para mejorar la soldadura por termofusión a tope en tuberías de polietileno de alta densidad. En uno de sus resultados, en uno de sus pruebas se logró la máxima fuerza de rotura a 90° en el ensayo de doblez con un peso de 419,7 kilogramos a una temperatura de 230° y un tiempo de calentamiento de 9 minutos, lo que demostró la conformidad de la calidad. En conclusión, es crucial el tiempo de calentamiento del plato calefactor para la soldadura por termofusión a tope las tuberías HDPE a una altitud de 4 200 m.s.n.m., ya que al aumentar el tiempo de 8 a 9 minutos, se evidencia que la polimerización de los electrones llega a fusionarse entre sí, lo que amplía la estructura molecular y la resistencia de unión es igual o superior a la del polímero.

Bravo & Muñoz (2022) en su tesis tienen como objetivo realizar el estudio del transporte de relleno en pasta para la estabilidad de pilares en minas subterráneas, región La Libertad – 2022. Enfoque de estudio es de tipo cualitativo, ya que tienen la intención de utilizar o aplicar el conocimiento que se tiene en la investigación básica para diferenciar la investigación a realizar. En este estudio el diseño de investigación es de tipo no experimental-descriptivo. Realizan observaciones de la información recopilada previamente para analizar los acontecimientos intermedios. En sus resultados mencionan



que, el relleno en pasta trasladado por camiones (30 Tn) es de 3,5 km, lo que representa un el 10% del estudio realizado; para el 90 % restante se utilizó bombas y tuberías para el transporte de relleno hidráulico desde la planta de relaves hacia galerías principales y subniveles. Este medio de transporte fue el más eficiente y su velocidad de carga fue 65,8 km/h. Concluyen que un correcto transporte del relleno en pasta se refleja el incremento de la productividad en forma considerable por el tiempo de recorrido en las tuberías 3,5 a 10 km de distancia, con una velocidad de carga de 65,8 km/h, en vacío a una velocidad de 95 km/h.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Métodos de Minado

Para determinar la elección adecuada del método de explotación en operaciones subterráneas se debe de tener en cuenta; la forma y el tamaño del filón, la composición, ley de minerales contenidos, estabilidad y la fuerza del macizo rocoso, la demanda de producción y condiciones de seguridad (aspectos casi incompatibles). A pesar de que las técnicas de minería han cambiado con el tiempo y cada mina es única, el objetivo de todas las minas es crear un entorno de trabajo seguro y rentable (Herrera, 2010).

Los condicionantes de la excavación, la eficiencia y la dilución del mineral, así como los condicionantes del macizo encajonante, condiciones sobre seguridad de trabajo en las operaciones; también juegan un papel importante en la selección del método de explotación. Por lo tanto, la selección del método depende de una amplia gama de variables relevantes. Todos estos elementos se pueden dividir en tres categorías:



- Factores geológicos
- Factores de técnica minera.
- Factores económicos.

2.2.1.1. Sub Level Stopping - Transversal

Este método se utiliza en instalaciones especializadas, como cuerpos con potencias superiores a 10 metros. Cuyo ancho del tajeo (distancia de vista longitudinal) es igual a un factor divisor de 1,5 a la potencia del cuerpo; si es menor a 20 metros, y un factor de 2 si es igual o mayor a 20 metros (Herrera, 2010).

El minado se realiza en rocas de caja y estructuras con un RMR regular a bueno. Utilizada principalmente en vetas y en cuyas potencias van de mediana a alta; a un que se puede usar en vetas de baja potencia si hay sinuosidades marcadas, particularmente en altura. El relleno en pasta se utiliza principalmente para dar estabilidad a las zonas de explotación y crear paredes auto estables en la vecindad de las zonas de explotación que permitan recuperar la mayor cantidad de mineral disponible y garantizar la continuidad de la explotación (Arapa, 2018).

2.2.1.2. Sub Level Stopping - Longitudinal

Es un método de explotación subterráneo auto soportado, se emplea pilares para abrir cavidades en el macizo rocoso. El método permite cortes de acuerdo a las condiciones de estabilidad de la caja que prevalece, principalmente se utiliza en cuerpos de menor competencia y mayor continuidad cuyos tajeos de mineral pueden ser de 15 a 30 metros



de altura y el ancho de la veta será tajeada por completa, a su vez el sub nivel superior contiene una galería que es utilizada para rellenar el tajeo de un extremo opuesto al que se está cortando, el mineral ya quebrado es acarreado desde el sub nivel inferior (Herrera, 2010).

2.2.1.3. Bench and Fill Stoping

Es más adecuado para estructuras con potencias de 3 a 10 m y un buzamiento superior a 65°. Es posible que también sea válido para potencias menores, aunque su eficiencia sería muy baja y requeriría equipos de menor tamaño para evitar sobre dilución (Herrera, 2010).

A si mismo nos indica que este método es utilizado cuando la roca encajonante tiene una baja competencia y la calidad de roca es baja a media. Por ser muy selectivo y de baja productividad, este método permite explotar cuerpos espaciales con baja regularidad y continuidad. Su aplicación se da en estructuras con potencias mayores a 3 metros principalmente para aumentar la utilización de la flota general de equipos sin afectar la selectividad del método y aumentar la productividad por disparo.

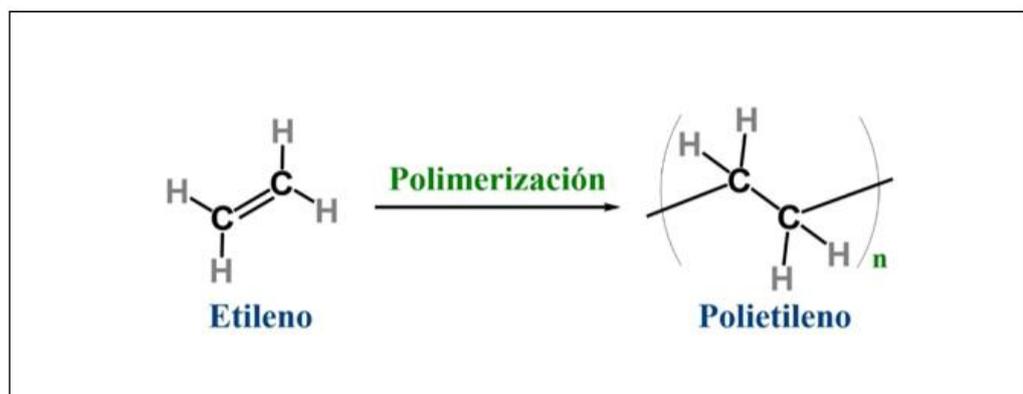
2.2.2. Tuberías de polietileno

Se trata de un polímero que pertenece a los termoplásticos, siendo el material más habitual en la industria, una de sus características es que es un material ligeramente amorfo y cristalino, con una apariencia de color translúcida y blanca (González, 2004).

La composición química de la unidad estructural del polietileno es 2 átomos de carbono unidos covalentemente, y 2 átomos de hidrógeno unidos a cada átomo de carbono, con la polimerización del etileno da como resultado el polietileno, como se ve en la figura 1.

Figura 1

Estructura química del polietileno



Nota: Ciencia y tecnología de polímeros (Álvarez, 2006).

2.2.3. Clasificación de polietileno

El polietileno se clasifica en tres, según su densidad:

- Tuberías de polietileno de baja densidad;
- Tuberías de Polietileno lineal de baja densidad;
- Tuberías de Polietileno de alta densidad.

2.2.3.1. Tubería de polietileno de alta densidad

El polietileno de alta densidad es químicamente más cercano a la estructura de polietileno puro, y está compuesto principalmente por moléculas no ramificadas con muy pocos defectos, lo que asegura su linealidad. Se puede alcanzar una elevada cristalinidad con un nivel extremadamente bajo de los defectos que obstaculizan la organización,



obteniendo resinas de alta densidad. Algunas resinas de este tipo son copolímeros con una concentración reducida de α -alquenos, con el propósito de disminuir significativamente la cristalinidad (Moreno, 2006).

2.2.3.2. Propiedades del polietileno de alta densidad

Roca (2005) afirma que las características principales del polietileno, abarcan:

- Las tuberías tiene alta estabilidad a altas y bajas temperaturas.
- Capacidad de resistencia del material: resistente a ácidos, bases y alcoholes.
- Relación de la masa y volumen: por debajo de la densidad al agua, con valores de densidad que van desde 0,945 hasta 0,960 g/cm³.
- Aspecto físico: debido a su alta densidad, es sólido, incoloro, translúcido y casi opaco.
- Punto de fusión: la temperatura en que se funde es de 135 °C, con lo cual es resistente al agua en estado de ebullición.
- Resistencia al impacto: resistente a los impactos.
- Tenacidad: presenta resistencia en su estructura.
- Flexibilidad: a bajas temperaturas mantiene su flexibilidad.
- Oxidación del polietileno: en presencia de oxígeno, el polietileno se vuelve más resistente. La oxidación térmica, tanto en estado fundido como sólido, tiene un impacto en su conducta durante los procedimientos y reduce ciertos usos.

- Propiedades eléctricas: baja constante dieléctrica, conductividad mínima, resistencia dieléctrica muy alta y circuito de corriente alterna baja.

El polietileno de alta densidad cuenta con las con las siguientes propiedades físicas los cuales se evidencian en la tabla 1:

Tabla 1

Propiedades físicas de tuberías de polietileno de alta densidad

Propiedades físicas de polietileno de alta densidad	
Difusión de masa de agua (%)	< 0,009
Relación de la masa y volumen (g/cm ³)	0,945-0,960
Reducción de la velocidad de la luz	1,541
Resistencia disipación de calor	Admisible
Resistencia a la exposición a la luz solar directa	Pésima
Expansión lineal	2 por10-4
Cristalinidad (%)	60 – 80

Nota: descripción de los valores de las propiedades físicas de la tubería de polietileno de alta densidad (Roca, 2005).

El polietileno de alta densidad cuenta con propiedades mecánicas los cuales se pueden ver en la tabla 2:

Tabla 2

Propiedades mecánicas de polietileno de alta densidad

Propiedades mecánicas de polietileno de alta densidad	
Constante elástica	1 000,00
Relación de fuerza de deslizamiento y la fuerza de retención entre dos superficies	0,291
El módulo de Young	0,50-1,20
Compresibilidad del material	0,461
Esfuerzo de tracción	15,00-40,00
Tensión de rotura	20,00-30,00
Aumento de longitud a un esfuerzo de tracción	12,00

Nota: descripción de los valores de las propiedades mecánicas de la tubería de polietileno de alta densidad (Roca, 2005).



2.2.3.3. Aplicaciones del polietileno de alta densidad

Guanilo (2017) afirma que entre sus principales aplicaciones se dan en:

- Empaques automotrices.
- Distribución de fluidos.
- Equipamiento de protección, tales como cascos, coderas y rodilleras.
- Protección en el terreno, entre otros.
- Transporte de relleno, agua, etc.

2.2.4. Soldadura por termofusión

La técnica de soldadura descrita se utiliza en tuberías con un diámetro igual o superior a 90 mm y un espesor de pared mayor a 3 mm. El procedimiento implica calentar las extremidades de los tubos a fusionar mediante una placa calefactora, cuya temperatura oscila entre 210 y 225 °C.

Luego, se lleva a cabo la unión de dichas extremidades mediante la aplicación de una presión específica, la cual está predefinida para cada máquina de soldar (Reimond & Charles, 1995).

Así mismo indican que las máquinas de soldar a tope son empleadas en tuberías con un diámetro nominal (DN) que va desde 90 mm hasta 1 600 mm. La destreza y la capacitación del operador son cruciales para llevar a cabo estas uniones. Estos equipos de soldadura están evolucionando hacia una mayor automatización, simplificando así el proceso y posibilitando la generación de informes detallados de las soldaduras; esta capacidad de documentación es esencial para proporcionar una trazabilidad de las uniones, lo cual es fundamental al justificar el progreso diario.

De la misma manera dan a conocer que las máquinas de soldar se dividen en dos categorías manuales y automáticas. El operador, en la maquina manual de soldar tiene el control sobre los parámetros de soldadura, mientras que en las automáticas, la máquina se encarga de controlar estos parámetros, sin posibilidad de modificación por parte del operador. Ver la imagen en el anexo 3 para más detalles.

Los valores de los parámetros de soldadura por termofusión se presentan en la tabla 3 de acuerdo al espesor de la tubería.

Tabla 3

Parámetros de tiempo en la soldadura por termofusión de tuberías

SDR	Calentamiento t1 segundos	Retirar de la placa t2 segundos	Presión t3 segundos
9	1 000	34	35
11	818	28	35
13,6	662	23	32
17	529	19	24
17,6	511	19	24
21	429	17	20
26	346	14	17
33	273	12	14

Nota: se muestra el tiempo de calentamiento óptimo, para una tubería con SDR 21 el tiempo de calentamiento óptimo es 429 segundos (Reimond & Charles, 1995).



Donde:

- t_1 = Tiempo del calentamiento de los extremos de la tubería.
- t_2 = Tiempo para sacar la tubería del medio de las tuberías.
- t_3 = Tiempo para alcanzar la presión de tuberías.

Se considera el siguiente orden de prioridad de los parámetros para asegurarse de que la soldadura cumpla con los requisitos y estándares de calidad:

- Tiempo del calentamiento de los extremos de la tubería (t_1)
- Presión de tuberías (t_3)
- Tiempo de retiro de la placa y unión de las tuberías (t_2)

2.2.4.1. Verificación durante el refrendado

- En el inicio de la soldadura se verifica que las tuberías tengan la perpendicularidad.
- Para revisar las aberturas de las tuberías a soldar se unen los dos extremos de la tubería.
- Para la soldadura de tuberías las dos caras de la tubería deben estar lisas.
- Se deben verificar que en las tuberías no estén contaminadas de virutas.

2.2.4.2. Verificación durante la unión por termofusión

- El soldador debe verificar y hacer cumplir los parámetros.
- Registrar los datos de inspección de juntas soldadas en tubería de HDPE.

2.2.4.3. Inspección del cordón soldado

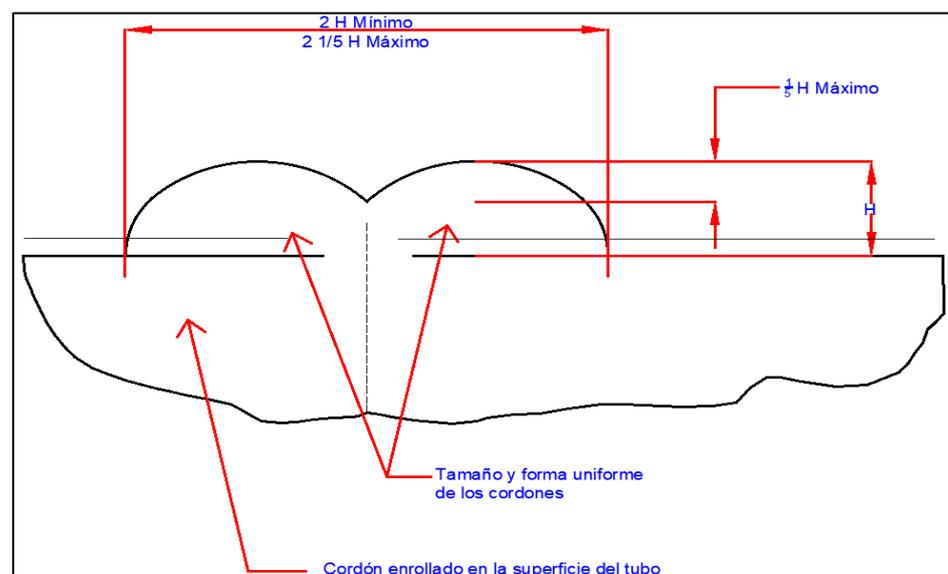
- Los labios de soldadura debe ser continuo y consistente en toda la circunferencia de la tubería soldada.

- La distancia entre los extremos fundidos no debe ser mayor que el 10% del espesor mínimo de la pared de la tubería o 1,5 mm.
- El cordón exterior debe enrollarse por completo contra la pared de la tubería/accesorio.
- La orilla externa del cordón no debe tener socavación.
- No debe existir vacíos visibles entre los cordones de la soldadura.
- El cordón de soldadura no debe tener porosidad.

En la figura 2 se puede apreciar la representación gráfica de una soldadura por termofusión de una tubería de polietileno de alta densidad, donde consta de los siguientes elementos como la altura de cordón H, cordón y doble cordón, distancia mínimo y máximo de extremos de unión de cordones.

Figura 2

Cordón de soldadura



Nota: el ancho mínimo es igual a dos veces a la altura del cordón soldado (Reimond & Charles, 1995).



2.2.4.4. Uniones inaceptables

- Las conexiones de termofusión que no cumplen con los estándares definidos por el fabricante o cualquier código mencionado entonces deben ser eliminadas.
- La junta se reconstruye y se somete a una nueva inspección después de su reemplazo.

2.2.5. Proceso de soldadura por termofusión

Proceso de soldadura mediante termofusión para tuberías de polietileno de alta densidad; este procedimiento consta de los siguientes pasos:

- Se realiza la inspección de las herramientas y equipos de trabajo a usar mediante la inspección visual y/o el *check List* de pre uso.
- Se procede a trasladar el equipo de termofusión hacia el punto de soldadura, haciendo uso de un camión grúa, teniendo en cuenta los límites de carga.
- A continuación, el técnico/operario, procede a ubicar el equipo de termofusión en una superficie estable, colocando los accesorios correspondientes a los diámetros de tubería HDPE a soldar, paralelamente se realiza la limpieza de tubería con alcohol isopropílico y trapo industrial.
- Colocación de tuberías de alineamiento.- Colocar los extremos a unir en el equipo de termofusión y sujetarlas con las abrazaderas (mordazas) de la maquina hasta que las tuberías estén perfectamente alineadas con apoyo de tacos de madera y caballetes en el extremo libre de la tubería, se alinea la tubería.
- Se ubica la tubería en el eje del equipo de termofusión en donde se llevará a cabo la actividad nivelación de borde en tubería con la plancha refrendadora, en este



proceso los colaboradores no se colocarán en la línea de fuego del equipo, paralelamente se realiza el calentamiento de la plancha calefactora hasta una temperatura de 220 °C aproximadamente, de ser necesario se fijará la tubería con postes de madera tipo rollisos.

- Presentación.- se presenta los extremos de la tubería para verificar la perpendicularidad de la tubería, el contacto de ambas tuberías y se tolera de desalineamiento de 10 % del grosor de la tubería.
- Refrendado.- Se activa la refrendadora para romper todo el material necesario hasta alcanzar el contacto total entre las caras de ambas tuberías.
- Limpieza de los extremos de la tubería con alcohol Isopropílico con trapo industrial.
- Colocación del plato calefactor.
- Fusión y unión de extremos; el valor de la temperatura recomendada en la especificación técnica está dentro del rango de 204 °C a 232 °C. Niveles próximos al extremo inferior son aplicados en tuberías de diámetro reducido debido a la facilidad para controlar el grosor del cordón, mientras que en tuberías de diámetro mayor se prefieren valores cercanos al extremo superior con el propósito de agilizar el proceso de fusión (232 °C +/- 4 °C). Se retiene los extremos de la tubería contra la plancha calefactora por un periodo de tiempo de calentamiento, periodo en el cual se formará un ancho de labio derretido de acuerdo al tamaño de la tubería como se puede ver en la tabla 4:

Tabla 4*Ancho aproximado del labio producido*

Tamaño de Tubería (NPS) (Pulgadas)	Ancho aproximado del labio producido por el derretimiento
1-1/4 a 3	1/8" (3 mm)
4 a 8	1/8" – 3/16" (3 – 5 mm)
10 a 12	3/16" a 1/4" (5 – 6 mm)
13 a 24	1/4" a 7/16" (6 – 11 mm)
26 a 36	Aproximadamente 7/16" (11 mm)
40 a 63	Aproximadamente 9/16" (14 mm)

Nota: el ancho aproximado del labio para una tubería es aproximadamente 11 mm (Reimond & Charles, 1995).

Una vez alcanzado el ancho del labio producido por el derretimiento rápidamente retire la plancha calefactora de la zona de fusión y proceda con la unión de los elementos, para esto debe tenerse cuidado de no pasar el tiempo de transferencia establecido en la especificación, el tiempo de retiro de la plancha se puede ver en la tabla 5.

Tabla 5*Tiempo máximo de transferencia*

Tamaño de tubería	Tiempo máximo de transferencia (segundos)
Menores o iguales a 3	4
4 a 12	6
13 a 24	9
26 a 36	12
40 a 63	15

Nota: el tiempo máximo de retiro de la plancha para una tuberías (Reimond & Charles ,1995).

Se juntan rápidamente los extremos fundidos a la presión de fusión según los parámetros de elemento.

- Proceso del enfriamiento de la soldadura por temofusión; se debe de sostener la presión total del medidor hasta que la pieza esté completamente fría al tacto o siga el periodo de enfriamiento recomendado. La duración del proceso puede cambiar según las dimensiones del componente, la configuración de la temperatura de la placa calefactora y las condiciones ambientales; en situaciones de calor intenso, es posible que el tiempo de enfriamiento sea prolongado, el tiempo de enfriamiento recomendado para los diferentes espesores de pared de tuberías se puede ver en la tabla 6.

Tabla 6

Periodo recomendado de enfriamiento

Espesor de la pared	Tiempo de enfriamiento (minutos)
Up a 0,2" (5mm)	20
0,2 a 0,4" (5-10mm)	20-25
0,4 a 0,6" (10-15mm)	25-30
0,6 a 0,8" (15-20mm)	30-35
0,8 a 1,2" (20-30mm)	35-40
1,2 a 1,4" (30-35mm)	40-45
1,4 a 1,8" (35-46mm)	45-50
1,8 a 2,2" (46-56mm)	50-65
2,2 a 2,6" (56-66mm)	65-85
2,6 a 3,0" (66-76mm)	85-100

Nota: el tiempo de enfriamiento varía de acuerdo al grosor de la tubería (Reimond & Charles, 1995).

No ingrese las manos a la superficie caliente hasta que este se encuentre, así mismo evite a terceros contactos con este, señalice y delimite el área. Una vez



concluido este procedimiento, se procede a aflojar las mordazas y correr las tuberías; se deja el extremo final de la tubería a la altura de la máquina.

- Etiquetado de las juntas.- una vez terminado la soldadura por termofusión, se realiza el etiquetado de las tuberías, en que se registra los datos como: número de pega, fecha de la soldadura, hora de inicio, tiempo de calentamiento, tiempo de enfriamiento, horario final, nombre del operador, diámetro de la tubería y SDR.
- Mantener el orden y limpieza en el área de trabajo en todo momento (antes, durante y después), una vez culminada el trabajo se deberá de guardar las herramientas manuales, materiales y equipos en un lugar asignado y seguro.

2.2.6. Relleno en pasta

Se hace referencia a producir una pasta espesa, un término referido a un material no segregable. Es importante destacar que el relave se genera a partir de la ganga, una sustancia sólida que se extrae fundamentalmente de la planta centradora de Flotación, esta sustancia no cuenta altas concentraciones de metales pesados. Se ha realizado un análisis granulométrico de varios agregados potenciales para determinar el material adecuado para usar como pasta de relave en el relleno hidráulico del relave (Cantorin, 2013).

2.2.6.1. Ventajas del uso de relleno

Debido a que es un subproducto del tratamiento de minerales, la obtención del material es prácticamente gratuita; al usar el relave dentro de la mina, no será necesario depositarlo en la superficie, lo que evita la contaminación del medio ambiente; no se requiere el uso de maquinaria o



equipos para depositar o alojar en los espacios vacíos de la mina (Cabrera, 2017).

2.2.6.2. Desventajas del uso de relleno

La instalación de una planta de relleno será muy costosa porque requerirá muchos equipos, maquinaria, bombas, ciclones, tuberías, equipos de control, etc. Un problema de drenaje en el trabajo de la mina es la presencia de agua para su transporte. Los contratiempos pueden surgir debido a la presencia de material fino en las galerías y cunetas después del relleno de un tajeo (Cabrera, 2017).

2.2.6.3. Proceso del relleno hidráulico

El procedimiento para rellenar un tajeo con relleno en pasta es el siguiente:

- Captación de relave.
- Preparación de relleno en pasta.
- Transporte de relleno en pasta.
- Relleno en áreas vacías de la mina.

2.2.7. Preparación del material

Se llevan a cabo varias pruebas para lograrlo:

2.2.7.1. Análisis de textura

El análisis de textura determina cómo se distribuyen los tamaños de las partículas o granos de un material. Se analiza esta distribución utilizando su porcentaje de peso total. Los fragmentos de relave grueso con



formas angulares, redondeadas o planos componen la fracción muy gruesa. Pueden ser nuevos o mostrar signos de deterioro; pueden ser duraderos o frágiles. Los gruesos son el nombre de esta fracción. Cada grano está hecho de un solo mineral en las fracciones finas y muy finas. Las partículas pueden tener formas redondeadas o angulares, tubulares o escamas (Cantorin, 2013).

2.2.7.2. Prueba del Slump

Se utiliza un cono de 10 cm de base menor, 20 cm de base mayor y 30 cm de altura; esta prueba consiste en colocar la pulpa dentro de un cono, luego se retira el cono de metal y se mide el cono formado por el material cuando se descarga el relleno; la altura de este cono debe ser de una pulgada para que pueda colocarse en el tajeo (Cabrera, 2017).

2.2.8. Uso de tuberías HDPE para transporte de relleno en pasta

Tiene una resistencia excepcionalmente fuerte a los relaves. Este polímetro cuenta con mayor resistencia a la abrasión que causan los relaves en comparación con materiales convencionales. Por ejemplo, en una situación específica, este polímetro supera al acero en duración en una relación de 4:1. Es más ligero y menos pesado, lo que lo hace más fácil de instalar en áreas donde se requieren líneas de relave. Además, es fácil de mantener y puede rotar fácilmente cuando se desgaste (Huamán, 2007).



2.2.9. Selección del diámetro de la tubería HDPE

El relleno se transporta a la cámara subterránea a través de tuberías de polietileno de alta densidad (HDPE). Debido a que el diámetro usado para transportar el relave es de 4 pulgadas, se decidió usar ese diámetro.

Rocha (2007) indica que las tuberías parcialmente llenas gastan más y tienen una velocidad media mayor que las tuberías llenas; a su vez da a conocer que los tirantes suelen diseñarse con $y = 0,75D$, donde D es el diámetro interno de la tubería.

Se considera el caudal para calcular el diámetro de la tubería. Se considera como factor de 75 %, se considera un ángulo interno de 240° y se debe convertir a radianes.

Se utilizaron las tablas de Manning para calcular el coeficiente de rugosidad de la tubería (n). El polietileno corrugado cuyas paredes interiores son lisas tiene valores que oscilan entre 0,009-0,0015. Siendo $n = 0,015$ el coeficiente de rugosidad elegido más importante en este rango.

El cálculo de pendiente, se realiza utilizando la siguiente formula:

$$S = \frac{\textit{Altura}}{\textit{Longitud}}$$

2.2.10. Máxima distancia horizontal de transporte de relleno

Para calcular la distancia máxima horizontal de transporte de relleno se utiliza la siguiente fórmula, se considera w igual 1,757 (Choquehuanca, 2015).

$$L = \frac{h (D \times 2g)}{(W \times Vt)^2}$$



D = Diámetro interno de la tubería

W = Coeficiente de resistencia de la tubería en función del diámetro

g = gravedad

V_t = Velocidad de transporte

h = Distancia vertical

2.2.11. Bombeo del relave

La pasta del mezclador se descarga en una tolva y luego se bombea a la mina en forma continua. Las bombas a utilizarse para este proceso son bombas Warman de proceso horizontales y verticales.

Las bombas a utilizarse son centrifugas de alta resistencia para el bombeo continuo de relaves o rellenos en pasta hacia interior que por la característica de dichos fluidos son densos y abrasivos este proceso se da desde alimenta los hidrociclones hacia la molienda, flotación y los relaves en las plantas de procesamiento de minerales (Cantorin, 2013).

Para elegir la bomba adecuada para este tipo de bombeo, debe conocer los parámetros siguientes:

- El flujo de pulpa que será bombeado.
- La altura dinámica total que se debe bombear.

Para obtener estos parámetros, se debe examinar las características físicas del relave que será transportado por el sistema de bombeo, así como las características que tiene el sistema de bombeo (Gutiérrez, 2018).



2.2.12. Líneas de conducción del relave clasificado

El relave que pasa por una clasificación y queda en forma de pulpa, este es enviado desde la planta concentradora a la planta de dosificación de relleno en pasta, que se encuentra cerca de la bocamina, mediante dos líneas de bombeo.

Cuenta con una línea principal y una línea auxiliar para la línea de conducción de la bomba de desplazamiento positivo (Cabrera, 2017).

2.2.13. Distribución subterránea de la pasta en mina

La pasta es transportada por medio de tuberías de polietileno de alta densidad; la tubería tiene un diámetro interno de 4 pulgadas desde la planta hasta el tajeo. Para llegar a niveles inferiores, se realizan taladros de 12 pulgadas de diámetro en los que se instalan tuberías de 4 pulgadas de diámetro interno, con roscas especiales en sus extremos, unidas y selladas con soldadura (Cabrera, 2017).

2.2.14. Recepción en el tajeo

En el nivel inferior del tajeo, donde se encuentran las labores de acceso utilizadas para extraer mineral se colocan barreras, mientras que en el nivel intermedio, se colocan barreras para perforar taladros largos. Las barreras se eliminan durante las tareas de preparación. El relleno es acumulado en la labor hasta cubrir el 80 % de la abertura utilizando Scoop. La abertura se cierra completamente pircando piedras de mayor tamaño. Luego se coloca la tela de polipropileno dentro. Para distribuir adecuadamente la pasta hasta cubrir todo el espacio del tajeo, el relleno puede ingresarse por uno, dos o tres puntos dependiendo de la longitud del tajeo (Cantorin, 2013).



2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

2.3.1. Minería metálica

El proceso de extracción de minerales se conoce como minería. Estos recursos, pueden ser metales preciosos y minerales industriales, pueden explotarse a cielo abierto o en minas subterráneas, dependiendo de la geología y la accesibilidad de los recursos.

2.3.2. Relave de mina

Es el material sólido o líquido que queda después del tratamiento de minerales. Si no se gestiona adecuadamente, puede contener sustancias tóxicas o impurezas que pueden lixiviarse en el suelo y aguas subterráneas. Por lo tanto, su disposición y gestión adecuadas son esenciales para reducir los efectos negativos ambientales.

2.3.3. Tubería HDPE

Es un conducto para transportar líquidos, gases o sólidos. Dependiendo del material, pueden ser hechas de diferentes materiales, como plástico, metal, cerámica, cemento, entre otros. Las tuberías se utilizan en una amplia gama de aplicaciones, incluidos los sistemas de suministro de agua potable y drenaje, así como la distribución de gas natural, petróleo y productos químicos, así como en la construcción y la agricultura.

2.3.4. Depósito de relaves

Un depósito de relaves es una instalación utilizada en la minería para almacenar los desechos de la extracción de minerales, conocidos como relaves.



Estos relaves generalmente consisten en una mezcla de roca molida, agua y productos químicos utilizados durante el proceso de extracción, como cianuro o ácido sulfúrico. Después de extraer los minerales valiosos de la roca, los relaves se depositan en una ubicación designada, como un embalse especialmente construido o un área de terreno seleccionada, donde se dejan asentar y secar.

2.3.4. Supervisión de operaciones

Es el proceso de monitoreo mediante el cual a una máquina, equipo o persona se observa cómo realiza dicha actividad.

2.3.6. Soldadura por termofusión

La soldadura es un proceso para unir dos o más piezas metálicas usando calor y presión, o usando un material de relleno. Este proceso conecta las piezas de manera sólida y permanente, lo que permite transferir carga y energía entre ellas.

2.3.7. Relleno en Pasta

El relleno de pasta está hecho de relave, agua y cemento, y se obstruye cuando se transporta por tuberías a largas distancias. Para evitar eso, se agrega más agua, pero el relleno se convierte en pasta. Se espera que se utilicen aditivos que mejoren el transporte de pasta a largas distancias para esto.

2.3.8. Agua en minería

El agua en minería es un insumo que es necesario en todos los procesos mineros, que va desde que se extrae el mineral hasta su procesamiento donde se requiere un gran volumen de agua; es un insumo esencial para el proceso de



producción minera porque permite la lixiviación y la flotación, y también el transporte de excedentes del proceso, donde se encuentran los relaves, así como el control del polvo en la mina.

2.3.9. Cemento para la elaboración de pasta

El cemento se utiliza como conglomerante para el diseño de la pasta en cemento posee propiedades hidratantes al entrar en contacto con el agua, cuya cantidad a utilizarse se especifica con el diseño de mezclas.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN

La investigación se llevó a cabo en la Unidad Minera San Rafael, que es propiedad de MINSUR S.A. y ubica en el paraje conocido como Quenamari, distrito de Antauta, provincia de Melgar, en el departamento de Puno. Esta unidad es uno de los principales productores de estaño del mundo. El área del proyecto se encuentra en una región montañosa con altitudes que oscilan entre los 4 500 y 5 200 metros sobre el nivel del mar, como se puede observar en el anexo 1.

Las coordenadas geográficas del proyecto son:

- Longitud oeste: 70° 19'.
- Latitud sur: 14° 15'.

Las coordenadas UTM son:

- Norte: 8 426 570.
- Este: 357 730.

3.1.1 Accesibilidad

Por vía terrestre se puede llegar desde Juliaca a través de la carretera Juliaca – Calapuja, Calapuja – Azángaro, Azángaro – San Antón, San Antón – Antauta y Antauta – San Rafael. El viaje en camioneta demora aproximadamente 03 horas, como se puede en la tabla 7.

Tabla 7

Ruta de acceso desde la ciudad de Juliaca

Ruta de acceso desde la ciudad de Juliaca			
Origen	Destino	Tipo de carretera	Tiempo (minutos)
Juliaca	Calapuja	Asfaltado	00:20:00
Calapuja	Azángaro	Asfaltado	00:50:00
Azángaro	San Antón	Asfaltado	00:50:00
San Antón	Antauta	Asfaltado	00:30:00
Antauta	San Rafael	Trocha Carrozable	00:30:00

3.2. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

El nivel de investigación es explicativo puesto que ve la causa y efecto entre las variables de estudio. Se evaluó los parámetros de soldadura a una altitud de 4 334 m.s.n.m. y como este influye en la soldadura de tuberías de polietileno de alta densidad, una vez evaluado su influencia se prosigue la instalación de tuberías de polietileno de alta densidad para garantizar el transporte de relleno en pasta para los tajeos de la Unidad minera San Rafael – Minsur.

Según Hernandez et al. (2014) menciona que el enfoque de este tipo de estudios es dar a conocer por qué ocurre un fenómeno, las condiciones de como ocurre o como se relacionan entre si dos o más variables.

3.3. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

Este trabajo de investigación tiene un método cuantitativo ya que se recopilan los datos en *chek list*, datos como control de temperatura, control de humedad, control de tiempo de calentamiento y tiempo de enfriamiento a temperatura ambiente a una altitud



de 4 334 m.s.n.m. en la Unidad Minera San Rafael – MINSUR, estos datos son cuantificables y en base a estos se realiza el análisis estadístico.

De acuerdo con Hernandez et al. (2014), este método cuantitativo sigue una serie de procedimientos de manera secuencial y con base de evidencia, el objetivo es medir las variables de interés y establecer una relación de causalidad entre ellas, así como probar la hipótesis planteada.

3.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación tiene un diseño preexperimental puesto que se trabajó con un solo grupo lo que representa la muestra, para este caso se manipulo los parámetros de soldadura de tuberías HDPE mediante termofusión; los parámetros que se evaluó son la temperatura y tiempo de calentamiento del plato calefactor, humedad relativa y temperatura ambiente a una altitud de 4 334 m.s.n.m. De acuerdo con Hernandes et al. (2014) menciona que se trata de diseños de un solo grupo cuyo grado de control es minimo.

3.4.1 Diseño estadístico y metodológico por objetivos específicos

3.4.1.1. Soldadura por termofusión de tuberías de polietileno de alta densidad

- **Equipo de soldadura por termofusión**
- Marca: ROTHENBERGER
- Modelo: SDH-1200.1
- Serie: 953201011972-2-1
- Procedencia: China



- Alcance: 160 °C a 280 °C
- División: 1°C
- Tipo: DIGITAL
- Fecha de calibración: 2023-03
- **Materiales para termofusión**
 - Eslingas.
 - Polipasto manual de cadena (tecle)
 - Llaves mixtas
 - Anemómetro
 - Vernier
 - Pirómetro
 - Nivel de mano
 - Trapo industrial
 - Libreta de apuntes
 - Alcohol isopropílico
 - Bombilla eléctrica
- **Método**

Realizar todos los cálculos respectivos en la soldadura de tuberías de alta densidad de 8 y 4 pulgadas de diámetro, registrar los datos en las 9 pruebas como: temperatura ambiente, humedad relativa, temperatura de calentamiento del plato calefactor, tiempo de calentamiento del plato calefactor, altura de cordón, cordón uniforme,



concentricidad, porosidad. El control de parámetros de las pruebas realizadas se evidencia en el anexo 6, inspección y control de pegas.

El registro de los parámetros se hace en el *check list*, ver anexo 6 inspección y control de pegas, donde se observa que a temperatura ambiente varía la humedad, temperatura de plancha o plato calefactor con un tiempo de calentamiento de 8 minutos en cada prueba.

- **Pruebas experimentales de soldadura por termofusión de tuberías de polietileno**

La prueba experimental para el presente estudio se realiza para cumplir con los parámetros de soldadura por termofusión en la instalación de tuberías de polietileno a una altitud de 4 334 m.s.n.m. donde se realiza ensayos mecánicos como ensayos de tracción y ensayos de doblez de las muestras de tuberías HDPE termofusionados. Puesto que de no cumplirse con dichos parámetros no se tendrá una buena unión de tuberías motivo por el cual no se realizara la instalación de tuberías de polietileno de alta densidad para el traslado de relleno en pasta para los tajeos en la Unidad minera San Rafael –Minsur.

- **Registro de parámetros a evaluar**

Para este proceso se realizó 9 pruebas de soldadura con un tiempo de calentamiento de 8 minutos del plato calefactor para cada prueba, donde se observa que a temperatura ambiente y humedad a una altitud de 4 334 m.s.n.m. varía la temperatura de calentamiento



del plato calefactor, por lo cual será el parámetro a evaluar, los parámetros a evaluar se pueden observar en la tabla 8.

Tabla 8

Control de parámetros a una altitud de 4 334 m.s.n.m.

Junta	Temperatura ambiente (°C)	Humedad relativa (%)	Temperatura de plancha (°C)	Tiempo de calentamiento (min)
J-01	8°	80	218°	8
J-02	15°	80	220°	8
J-03	13°	80	220°	8
J-04	10°	80	221°	8
J-05	12°	80	217°	8
J-06	13°	78	220°	8
J-07	12°	78	220°	8
J-08	15°	78	220°	8
J-09	14°	78	218°	8

Nota: en la tabla se tiene el registro de los principales parámetros de soldadura con se trabajó a una altitud de 4 334 m.s.n.m.

- Procedimiento para el proceso de soldadura de las pruebas

El procedimiento para la soldadura de tuberías de polietileno de alta densidad de las 9 pruebas fue de la siguiente manera:

- Traslado de equipos, materiales y herramientas;
- Revisión de equipos y herramientas;
- Posicionamiento y alineación de la maquina termofusión;
- Inspección de las condiciones del clima;



- Traslado, colocación y alineamiento de la tubería a soldar;
- Proceso de refrendado;
- Colocación del plato calefactor entre las caras de las tuberías;
- Se aproxima las caras de las tuberías al plato calefactor y se aplica presión hasta que el cordón formado sea uniforme;
- Se retira el plato calefactor y se procede a la unión de extremos;
- Se mantiene una buena presión entre las piezas;
- Se procede al desmontaje de piezas y se procede al control de calidad.
- **Análisis de datos para prueba de hipótesis**

Para el análisis de datos se utilizó el software Minitab19, el cual nos permite conocer la estadística descriptiva e inferencial, y se aplicó la prueba t de *student*.

Minitab19 es un estadístico de prueba que mide la concordancia entre una muestra de datos y la hipótesis nula. Cuyos valores cambian aleatoriamente de una muestra aleatoria a otra.

- **Prueba de hipótesis**
- **Planteamiento de la hipótesis**

H0: Hipótesis nula

H1: Hipótesis alterna

H0: la soldadura de tuberías de polietileno de alta densidad por termofusión donde se emplean los parámetros establecidos según la normas ASTM F 2620 y ASTM F 714 no contribuyen a una buena soldadura a una altitud de 4 334 m.s.n.m.



H1: la soldadura de tuberías de polietileno de alta densidad por termofusión donde se emplean los parámetros establecidos según la normas ASTM F 2620 y ASTM F 714 contribuyen a una buena soldadura a una altitud de 4 334 m.s.n.m.

- **Prueba estadística**

La prueba es la t de *student*, ya nuestra muestra es menor a 30.

- **Nivel de significancia**

El nivel tomado es de $\text{Alpha} = 5\% = 0,05$

- **Criterio de decisión**

Si $(p\text{-value}) < \text{Alpha} \Rightarrow$ rechaza la hipótesis nula H_0

Si $(p\text{-value}) > \text{Alpha} \Rightarrow$ se acepta la hipótesis nula H_0

3.4.1.2. Determinación relleno en pasta para los tajeos

Materiales

- Molde de plástico de 4 pulgadas de diámetro x 8 pulgadas de altura
- Bolsas de plástico
- Espátula

- **Equipos**

- Mesclador
- Balanza eléctrica
- Filtros



- Balanza *Mercy*
- Termómetro
- Prensa hidráulica
- Horno de secado

- **Insumos**
 - Relave MINSUR
 - Cemento
 - Agua
 - Escorias molidas
 - Aditivo *Normet*

- **Caracterización de la materia prima para relleno**

Los parámetros a utilizarse en mina subterránea para elaborar un adecuado diseño de relleno en pasta son los siguientes:

- Para evaluar las características físicas y la resistencia del relleno se tiene que tener en cuenta la molienda, puesto que este brinda la calidad en la liberación del mineral.
- Flujo dinámico de tratamiento; lo cual determinara la cantidad de volumen de relleno disponible.

Clasificar los relaves es un factor muy importante para la determinación de parámetros; se recomienda utilizar partículas menores a la malla 200 con menos de 20 % de fracción ya que satisface el estado de compacidad, uniformidad y velocidad de percolación.

- **Análisis Mineralógicos**

El análisis granulométrico determina la distribución del tamaño de partículas o granos del cual está constituido el material, su distribución se analiza utilizando a su porcentaje de peso total. En la tabla 9 se observa el porcentaje de composición mineralógica por partículas que conforman el relave.

Tabla 9

Composición mineralógica

Minerales	albite	Aluminum Manganese	Quartz	Muscovite	Chorite	Irpn
Relave	8,9	0,1	47,4	9,4	32,6	1.6

3.5.5.2. Análisis Granulométrico

Se realizó un análisis del tamaño de partículas de varios posibles aditivos para determinar los materiales adecuados para el relleno de pasta.

La distribución de tamaños de las partículas o partículas que componen el residuo es de suma importancia puesto que se analiza en función del porcentaje de su peso total.

En la tabla 10 se observa el tamaño de partículas, el peso del relave y el porcentaje de composición conforman la pasta.

Tabla 10*Granulometría en la pulpa*

Tamaño de partícula	Peso de relave	Porcentaje (%)	% acumulativo
11µm	100 g	20	20
15 µm	55 g	11	31
22 µm	60 g	12	43
33 µm	60 g	12	55
44 µm	15 g	3	58
53 µm	5 g	1	59
75 µm	70 g	14	73
106 µm	50 g	10	83
150 µm	45 g	9	92
212 µm	40 g	8	100

En la tabla 10 las secciones muy gruesas consisten en fragmentos de roca de uno o más minerales que pueden ser angulares, redondeados o planos. Puede estar fresco, puede mostrar signos de cambio, puede ser resistente o puede ser quebradizo. Esta parte se llama grava.

En las fracciones fina y ultrafina, cada variedad está compuesta por un solo mineral. Las partículas tienen forma angular, tubular y escamosa, pero nunca redondas.

- Análisis Químico

En la tabla 11 podemos observar la composición química de los relaves, y como actúan estos componentes en conjunto al ser utilizados como material cementante

Tabla 11*Composición químico del relave*

%	Cr ₂ O ₃	SiO ₂	Mn	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	MgO	SnO ₂	CuO	Na ₂ O	SO ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	P.F.
Relave	0,15	70,8	0,09	8,93	1,3	1,72	1,36	0,25	0,05	1,11	0,51	0,32	0,21	11,2	1,8

Nota: podemos observar que el relave está compuesto principalmente por óxidos de sílice, óxidos fierro y aluminio.

Prueba

Con la prueba se busca determinar las proporciones de mezcla para la obtención de una resistencia a la compresión de la pasta en un periodo de tiempo adecuado para su curado. En la tabla 12 se observa un diseño de mezcla patrón que se ha estado utilizado.

Tabla 12*Diseño de mezcla patrón utilizado*

Ítem	Unidades
- Tailing:	
% solidos	75
Peso húmedo	714 kg
Peso seco	1 290 Kg
Peso escoria (3,1 %)	41 kg
Cemento (2,9 %)	37 kg
- Peso de agua	50 Lt
- Características de la mezcla	
% solidos	73,5
Densidad	1 860 gr/lit
Slum	8 pulg

Nota: Los resultados para esta mezcla es la siguiente: resistencia a la compresión 350 Kpa y tiempo de curado 28 días.

Los diseños de mezclas se elaboraron con diferentes porcentajes de cemento en el nivel 4 334 m.s.n.m. ubicado en la planta PRELL. Las condiciones ambientales con la que se trabajó fueron las siguientes:

- Humedad relativa: 80,3 %;
- Temperatura de ambiente: 15,0 °C.

Los diseños de las mezclas elaborados se compararon con el diseño intermedio actualmente utilizado, este está constituido por la mezcla patrón de la tabla 12 con cemento Yura IP y escoria esto será comparado con los propuestos por Supermix con cemento Yura, estos diseños se desarrollan en base a 1 metro cúbico. Las comparaciones de mezclas se pueden ver en la tabla 13.

Tabla 13

Diseño de mezcla relleno en pasta con cemento Yura – IP

Diseño/ porcentaje	Relave 93 % Cemento 3,5 % IP Escoria 3,5 %	Relave 93 % Cemento 7,0 %	Relave 94,5 % Cemento 5,5 %	Relave 95 % Cemento 5,0 %	Relave 94 % Cemento 6,0 %	Relave 93,5 % Cemento 6,5 %
Relave MINSUR (kg)	1 369,25	1 357,19	1 381,24	1 381,24	1 382,57	1 360,47
Cemento IP (kg)	51,53	102,15	79,7	72,7	88,25	94,58
Agua (Lt)	419,57	423,56	425,64	425,39	419,36	425,08
Escoria (g)	52,53	-	-	-	-	-

Nota: se comparó el diseño estándar utilizado actualmente (sus proporciones son 3,5 % escoria, 93 % relave seco y 3,5 % cemento) mezcla utilizando cemento Yura-IP evaluado.

La tabla 14 muestra el diseño de mezcla desarrollado con 2,0 % de plastificante Normet agregado a la mezcla con un contenido 95 % de relave, 5,0 % de cemento.

Tabla 14

Diseño de mezcla relleno en pasta

Diseño / porcentaje	Diseño desarrollado en base a un metro cubico
	Cemento 5,0 % Relave 95 % Aditivo 2,0 %
Cemento IP	74,54 kg
Relave MINSUR	1 416,29 kg
Agua	412,08 Lt
Aditivo Normet 2%	51,53 kg

3.4.1.3. Determinación de diámetro de tubería y distancia para el traslado de relleno en pasta para los tajeos

- Selección del diámetro de la tubería HDPE

El transporte de relleno en pasta hacia las cámaras subterráneas se hace mediante tuberías de polietileno de alta densidad; para transportar relaves se utilizan tuberías con un diámetro de 4 pulgadas, por lo cual se decide utilizar estas mismas tuberías para el transporte de relleno en pasta.

Según Rocha (2007), las tuberías parcialmente llenas tienen una velocidad media y un gasto mayor que los de un tubo lleno. Además, sugiere que normalmente se diseñan tirantes con $y = 0,75D$, con diámetro interno de la tubería D .

Por lo tanto, en función al caudal se determina el diámetro de la tubería. Se calcula que el ángulo interno tiene un valor de $\theta = 240^\circ$ al tomar



en cuenta este factor del 75 %. Se debe convertir a radianes para poder utilizar este ángulo:

$$\theta = 240^\circ \times \frac{\pi \text{ rad}}{180^\circ} = 4.189 \text{ radianes}$$

Para corroborar si el diámetro usado es el correcto se utiliza la siguiente fórmula:

$$r = \left[\frac{2 \times Q \times n \times (2\theta)^{\frac{2}{3}}}{S^{\frac{1}{2}} \times (\theta - \text{sen } \theta)^{\frac{5}{3}}} \right]^{\frac{3}{8}}$$

Donde

A = área de tubo parcialmente lleno

R = radio hidráulico de tubería

Q = Caudal que pasa por la tubería

V = velocidad del fluido

D = diámetro interno de tubería

y = tirante de tubería

θ = ángulo en centro de tubería

n = Coeficiente de rugosidad de *Manning*

r = radio interno de tubería

S = Pendiente de tubería, se eligió el tramo más crítico

- **Máxima distancia horizontal de transporte de relleno**

La tubería que se utilizará es de 4 pulgadas de diámetro, para realizar los cálculos de la máxima distancia horizontal se utilizara la siguiente formula:



$$L = \frac{h (D \times 2g)}{(W \times Vt)^2}$$

L = Máxima distancia horizontal

D = Diámetro interno de la tubería

W = Coeficiente de resistencia de la tubería en función del diámetro

g = gravedad

Vt = Velocidad de transporte

h = Distancia vertical

3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.5.1. Población

Está constituida por todas las instalaciones de tuberías de polietileno de alta densidad con diferentes diámetros (que son de 1 pulgada – 54 pulgadas), las cuales se instalaron para el transporte, descarga y almacenamiento de relleno en pasta de la Unidad Minera San Rafael - Minsur S.A. Ríos (2017) afirma que una población es la totalidad de un grupo u objetos que se desea investigar.

3.5.2. Muestra

En esta investigación la muestra está constituida por las tuberías de polietileno de alta densidad de 8 pulgadas de diámetro que se instalan desde el nivel 4 334 hasta el nivel 4 300 m.s.n.m. con una longitud de 250 metros y tuberías de 4 pulgadas de diámetro que se instalan desde el nivel 4 300 hasta el nivel 3 985 m.s.n.m. un total de 2 395 metros. Puesto que Ríos (2017) afirma que la muestra es la parte representativa de una cantidad o población.



3.6. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para poder describir la instalación de tuberías de polietileno de alta densidad mediante la soldadura por termofusión, se tomó en cuenta todos los datos de instalación de tuberías, como el número de pegas realizadas, tiempo promedio de cada pega, el avance lineal diario, protocolos de calidad.

3.6.1. Instrumentos de recolección de datos

En la investigación se tomaron los siguientes datos:

a) Reporte diario de operación

- Número de pegas.
- Tiempo promedio de cada pega.
- Avance lineal.
- Protocolos de calidad.

b) Técnicas para el procesamiento de la información

Se utilizaron los siguientes reportes:

- Reportes diarios.
- Control de documentos.
- Control de registros.

c) Técnicas de tratamiento de datos.

Se utilizó los datos de campo para calcular lo siguiente:

- Control de pegas.



- Los tiempos de soldadura por termofusión (tiempo de calentamiento, tiempo de enfriamiento).

3.7. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.7.1. Variable Independiente

Instalación de tuberías de polietileno de alta densidad mediante la soldadura por termofusión en la Unidad Minera San Rafael – MINSUR, incluye los siguientes indicadores

- Tiempo (Hora, minutos)
- Temperatura ambiente (Grados Celsius)
- Avance lineal (metros).
- Tiempo de calentamiento (minutos).
- Tiempo de enfriamiento (minutos).
- Fuerza de tracción (KN)
- Esfuerzo (N/m^2)

3.7.2. Variable Dependiente

Transporte de relleno en pasta para los tajeos de la Unidad Minera San Rafael – Minsur incluye los siguientes indicadores:

- Diámetro de tuberías (pulgadas)
- Distancia de transporte de relleno (m)
- Caudal de relleno (m^3/s)

Tabla 15

Variables

Variable	Indicadores	Escala de medición
Independiente: instalación de tuberías de polietileno de alta densidad mediante soldadura por termofusión.	Temperatura ambiente	Grados celsius
	Avance lineal	Metros
	Tiempo de calentamiento	Minutos
	Tiempo de enfriamiento	Minutos
	Fuerza de tracción	KN
	Esfuerzo	N/m ²
Dependiente: transporte de relleno en pasta para tajeos.	Diámetro de tuberías	pulgadas
	Distancia de transporte de relleno	Metros
	Caudal de relleno	m ³ /s

3.8. TECNICA DE PROCESAMIENTO DE DATOS

Los datos se analizaron mediante la estadística descriptiva e inferencial donde se utilizó el software Minitab19, se aplicó la prueba t de student.

Minitab19 es un estadístico de prueba el cual mide el grado de conformidad entre una muestra de datos y la hipótesis nula. Cuyo valor cambia aleatoriamente de una muestra aleatoria a una muestra diferente.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS EXPERIMENTALES

4.1.1. Resultado de parámetros de soldadura

Para el resultado de parámetros de soldadura de tuberías de polietileno por termofusión son los adecuados a una altitud de 4 334 m.s.n.m. se tuvo que realizar el análisis en una muestra de probeta que se llevó al laboratorio de mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería – Lima, para realizar la prueba tracción y la prueba de dobléz en el cual podemos observar en el anexo 18.

Para el ensayo de tracción se debe aplicar un esfuerzo axial a una probeta hasta producir su fractura o rotura. Para evitar distorsionarse el resultado, la velocidad de deformación debe estar entre los más bajos. Este ensayo de tracción mide la extensión y la fuerza de la probeta, las dimensiones de la probeta, la fuerza y el esfuerzo se pueden ver en la tabla 16.

Tabla 16

Ensayo de tracción

Probeta	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Área (mm ²)	Fuerza máxima kN (kgf)	Esfuerzo máximo MPa (kg/mm ²)	Tipo	Observación
1	43,89	10,00	438,90	10,48 (106,66)	23,88 (2,43)	C	Rotura dúctil adyacente a la interfaz de fusión

Nota: los resultados en la tabla son los resultados de laboratorio.

En la tabla 16 podemos ver que tiene una rotura dúctil adyacente a la interfaz de fusión sometido a una fuerza máxima de 10,48 KN y un esfuerzo



máximo de 23,88 MPa para las dimensiones de la probeta, lo que indica que el ensayo a tracción si cumple con las normas ya que esta entre los para metros establecidos los cuales son de 22 – 25 MPa, como podemos observar en el anexo 8, características técnicas de la fabricación de tuberías de polietileno de alta densidad PE 100.

El ensayo de doblez sirve para determinar la ductilidad de una unión soldada, que se muestra por su capacidad para resistir desgarros o grietas y por la presencia de discontinuidades de tensión, en la tabla 17 podemos ver los resultados de una prueba de doblez. Podemos observar los resultados obtenidos para el ensayo a doblez, el cual mide la resistencia a la flexión, la deformación o la tensión para saber si el material es una buena opción para su uso, el resultado del laboratorio es conforme pues la muestra no tiene fisuras ni separaciones en el lugar de unión por fusión, para este ensayo se debe de cortar la unión de las tiras y examina visualmente. Ver anexo 9, Norma ASTM F 2620 – 13 unión por termofusión de tuberías de polietileno.

Tabla 17

Ensayo de doblez

Probeta	Tipo	Observación
2	Dobleza interno	Conforme
3	Dobleza externo	Conforme

- **Grafica de parámetros de soldadura**

Se determinó cómo influye la temperatura ambiente y humedad relativa en el cumplimiento de los parámetros de soldadura por termofusión de las tuberías

de polietileno a una altitud de 4 334 m.s.n.m. de la Unidad Minera San Rafael. Se realizó un total de 9 pruebas a diferentes temperaturas ambiente y humedad relativa, en la tabla 18 se observa el registro de las juntas con los parámetros que hacen posible la unión de extremos.

Tabla 18

Control de parámetros

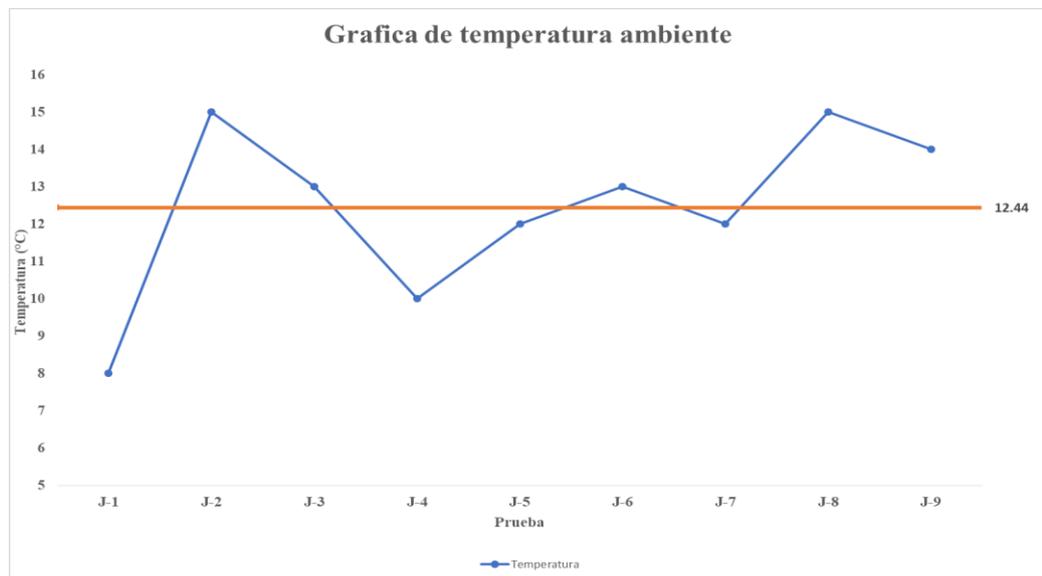
Junta	Temperatura ambiente (°C)	Humedad relativa (%)	Temperatura de plancha (°C)	Doble de cordón (mm)	Altura de cordón (mm)	Cordón uniforme	Concéntrico	Poros
J-01	8°	80	218°	24,1	6,3	Si	Si	No
J-02	15°	80	220°	24,2	6,2	Si	Si	No
J-03	13°	80	220°	24,1	6,3	Si	Si	No
J-04	10°	80	221°	24,0	6,0	Si	Si	No
J-05	12°	80	217°	24,2	6,2	Si	Si	No
J-06	13°	78	220°	24,2	6,3	Si	Si	No
J-07	12°	78	220°	24,1	6,0	Si	Si	No
J-08	15°	78	220°	24,1	6,1	Si	Si	No
J-09	14°	78	218°	24,2	6,1	Si	Si	No

La tabla 18 muestra las temperaturas ambiente y humedad relativa para la soldadura por termofusión HDPE a una altitud de 4 334 m.s.n.m., donde las 9 pruebas que se le aplicó, se evidencia que las soldaduras presenta un cordón uniforme en toda la circunferencia de la tubería, también se observa que las soldaduras de tuberías en las 9 pegas presenta una soldadura concéntrica, en las soldaduras no se ha presentado poros, lo que indica que cumple con uno de los parámetros de soldadura por termofusión de tuberías polietileno de alta densidad.

En la figura 3 se observa la gráfica del comportamiento de la temperatura en las 9 juntas a un tiempo de 8 minutos para todas las pruebas.

Figura 3

Control de temperatura ambiente

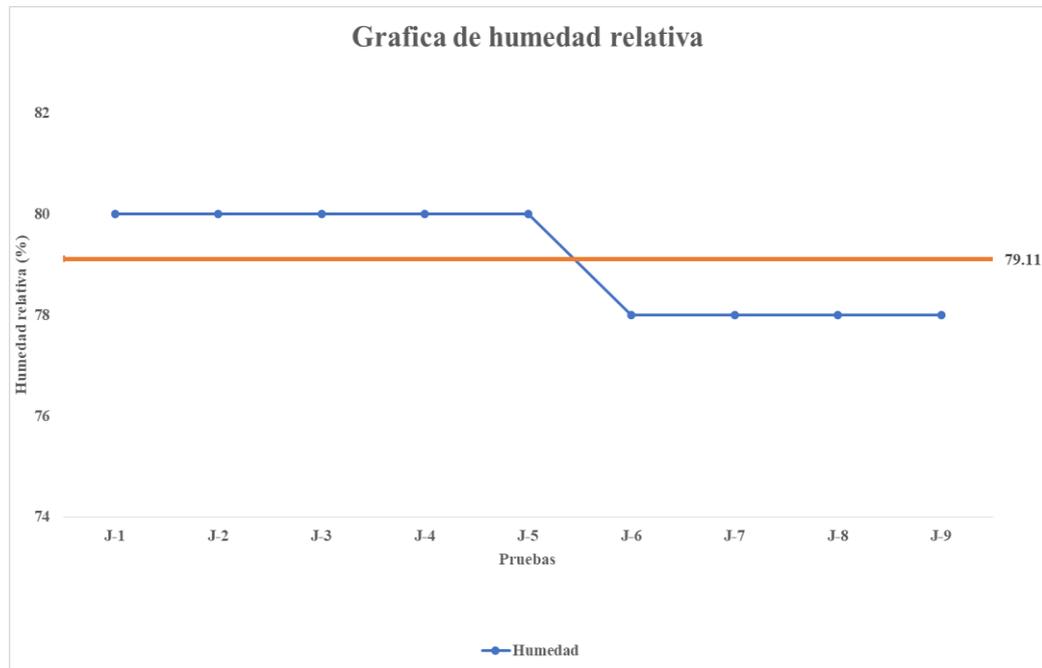


En la figura 3 se tiene 9 pruebas, donde se evidencia que la temperatura ambiente promedio con lo que se trabajó es de 12,44 °C, la mayor temperatura ambiente es de 15 °C, y la menor temperatura ambiente es de 8 °C, así mismo se indica que la temperatura ambiente de las 9 pruebas en la soldadura por termofusión de tuberías de polietileno de alta densidad, donde la prueba 1 (J-01) tiene la temperatura mínima, la prueba 02 (J-02) y la prueba 08 (J-08) presentan la temperatura máxima y el resultado es de conformidad, porque a una altitud de 4 334 m.s.n.m. no afecta en el cumplimiento de los parámetros de soldadura por termofusión.

La figura 4, la gráfica nos indica la cantidad de humedad que hay en el aire frente a una máxima cantidad que puede contener una temperatura ya establecida, se expresa en porcentaje.

Figura 4

Control de humedad relativa



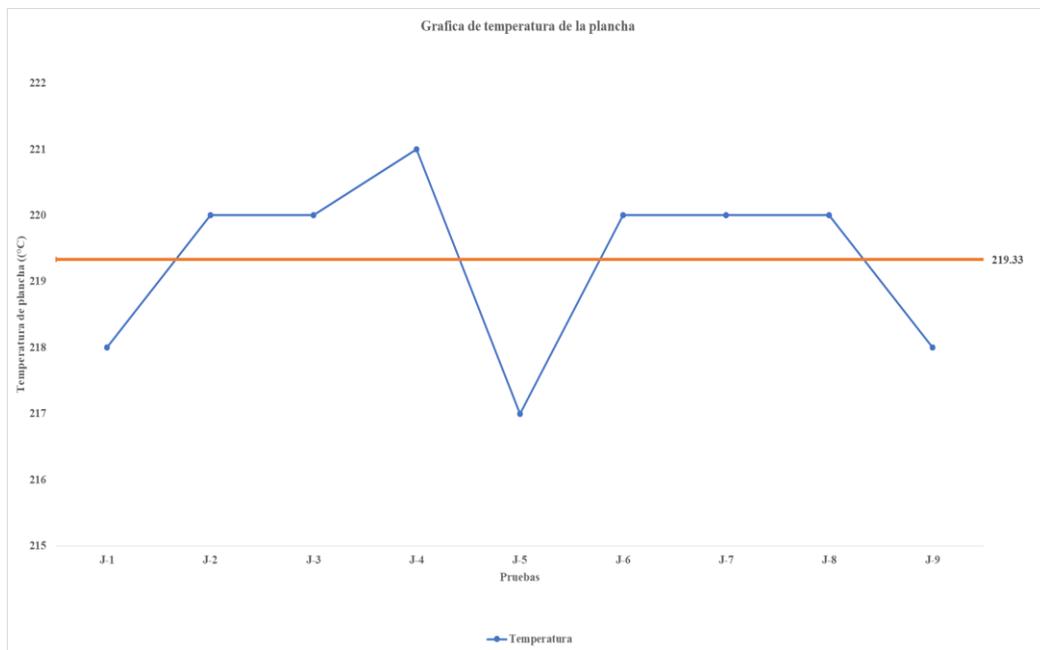
En la figura 4 se tiene 9 pruebas, donde se evidencia que la humedad relativa promedio con lo que se trabajó es de 79,11 %, la mayor humedad relativa es de 80 %, y la menor humedad relativa es de 78 %.

También se muestra la humedad relativa ambiente de las 9 pruebas en la soldadura por termofusión de tuberías HDPE, donde la prueba 1 (J-01) hasta la prueba 5 (J-05) tiene la humedad relativa máxima, la prueba 06 (J-06) hasta la prueba 09 (J-09) presentan la humedad relativa mínima y el resultado es de conformidad, porque a una altitud de 4 334 m.s.n.m. no afecta en el cumplimiento de los parámetros de soldadura por termofusión.

En la figura 5 se muestra la gráfica de las temperaturas de calentamiento de la plancha para la soldadura de las tuberías de polietileno por termofusion.

Figura 5

Temperatura en la plancha

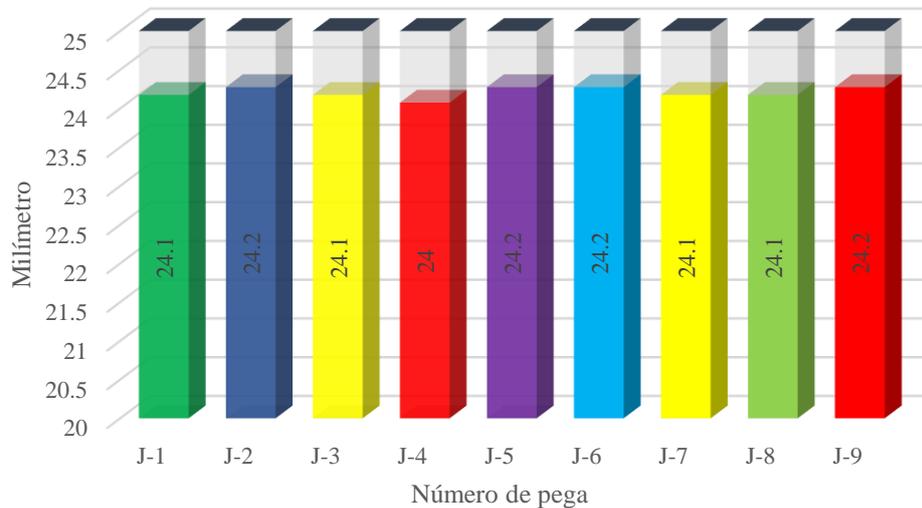


En la figura 5 se tiene 9 pruebas, donde se evidencia que la temperatura promedio con lo que se trabajó es de $219,33^{\circ}$, la mayor temperatura tiene 221° , y la menor temperatura es de 217° .

El doble de cordón cumple con el parámetro visual, de acuerdo con la Norma ASTM F 2620 – 13 uniones por termofusión de tuberías de polietileno, como se ve en la figura 6.

Figura 6

Doble de cordón.



En la figura 6 de doble de cordón se puede evidenciar que cumple con el parámetro visual, el mínimo doble de cordón es 22,1 mm y doble de cordón máxima es de 24,7 mm.

Por consiguiente podemos afirmar que los parámetros tomados a una altitud de 4 334 m.s.n.m. en la soldadura por termofusión de tuberías de polietileno si cumplen con las normas ASTM F 2620 y ASTM 714, puesto que los parámetros de soldadura como tiempo de calentamiento del plato calefactor fue de 8 minutos y la temperatura de calentamiento del plato calefactor está en los rangos establecidos por la normas las cuales son de 204 – 232 °C (400 – 450 °F) por lo cual es viable la instalación de tuberías de polietileno de alta densidad mediante soldadura por termofusion en la Unidad minera san Rafael – Minsur.

4.1.2. Resultados de la prueba hipótesis de parámetros

Se realizó la prueba “t” de student para verificar si el parámetro tomado como es la temperatura de calentamiento del plato calefactor tiene un valor significativo en la soldadura de tuberías HDPE por termofusión a temperatura ambiente a una altitud de 4 334 m.s.n.m.

a) Planteamiento de hipótesis estadística

H0: la soldadura de tuberías de polietileno de alta densidad por termofusion donde se emplean los parámetros establecidos según la normas ASTM F 2620 y ASTM F 714 no contribuyen a una buena soldadura a una altitud de 4 334 m.s.n.m.

H1: la soldadura de tuberías de polietileno de alta densidad por termofusion donde se emplean los parámetros establecidos según la normas ASTM F 2620 y ASTM F 714 contribuyen a una buena soldadura a una altitud de 4 334 m.s.n.m.

b) Nivel de significancia

El nivel tomado es de $\text{Alpha} = 5\% = 0,05$

c) Criterio de decisión

Si, $(p\text{-value}) < \text{Alpha} \Rightarrow$ se rechaza la hipótesis nula H0

Si, $(p\text{-value}) > \text{Alpha} \Rightarrow$ se acepta la hipótesis nula H0

Aplicando el software minitab19 se tiene la estadística descriptiva cuyos obtenidos se evidencian en la tabla 19.

Tabla 19 Estadística descriptiva

N°	Media	Desviación Estándar	Error estándar de la medición	IC de 95 % para μ
9	218,333	1,323	0,441	(218,316;220,350)

μ : medida de temperatura de la plancha (°C)

En la tabla 19; podemos apreciar el resultado de la estadística descriptiva de las 9 pruebas de temperatura tomadas para un nivel de confianza de 95 % los valores obtenidos están en el rango de las normas ASTM F 2620.

Para $\mu = 218$, es el promedio de las temperaturas máxima y mínima de la norma ASTM F 2620, ver anexo 16 Norma Americana – ASTM F 2620 – 13 para soldar polietileno donde la temperatura debe de estar entre 204 – 232 °C.

Hipótesis nula $H_0: \mu = 218$

Hipótesis alterna $H_1: \mu \neq 218$

En la tabla 20, tenemos el valor t que mide el tamaño de la diferencia con la variación de los datos de la muestra, el valor p que indica el criterio de decisión.

Tabla 20

Prueba

Valor T	Valor P
3,02	0,016



d) Conclusión estadística

El valor P evaluado en la tabla 10, es menor al nivel de significancia tomado ($p\text{-value} = 0,016 < \alpha 0,050$) en consecuencia se rechaza la hipótesis nula H_0 , se acepta la hipótesis alterna H_1 , lo cual indica que la soldadura de tuberías de polietileno de alta densidad por termofusión donde se emplean los parámetros establecidos según la normas ASTM F 2620 y ASTM F 714 contribuyen a una buena soldadura una altitud de 4 334 m.s.n.m. quedando demostrado estadísticamente mediante la prueba t de student.

4.1.3. Resultado de la instalación de tuberías de polietileno de alta densidad mediante soldadura por termofusión

4.1.3.1. Proceso de soldadura por termofusión

El proceso de soldadura por termofusión para tuberías de polietileno de alta densidad de 8 y 4 pulgadas consta de los siguientes pasos:

- Entrega de la documentación requerida

Al soldador se le hace alcance los siguientes documentos: plan de trabajo, memoria descriptiva de los trabajos de soldadura, protocolos de calidad, plan de seguridad, procedimiento escrito de trabajo seguro (PETS) de instalación de tuberías de polietileno de alta densidad, *check list* de los equipos a utilizar, planos.

- Inspección visual y/o el *check list* de pre uso

El soldador verifica que el espesor de las tuberías a utilizar, esté conforme indicado en los planos. Luego verifica el área de trabajo de la



máquina de tal forma que se encuentre protegida de las partículas que pueden viajar por el viento.

Verifica el correcto estado de los componentes de la máquina, con el llenado de los *check list* de pre uso de: la máquina de termofusión, polipasto manual de cadena (tecle), eslingas, herramientas manuales.

- Colocación de los accesorios (mordazas)

Se coloca las mordazas a la máquina de termofusión de acuerdo al Diámetro de la tubería HDPE a soldar, en este caso de 8 pulgadas.

- Ubicación de la tubería en el eje del equipo de termofusión

La ubicación de la tubería en el eje de la máquina de termofusión se realiza para que las tuberías estén perfectamente alineadas con apoyo de tacos de madera y caballetes en el extremo libre de la tubería, en este proceso los trabajadores no deben estar dentro de la línea de fuego de la máquina, paralelamente se realiza el calentamiento de la plancha calefactora hasta una temperatura de 220 °C aproximadamente, de ser necesario se fijará la tubería con postes de madera tipo rollizos.

- Presentación

Se presenta los extremos de la tubería para verificar la perpendicularidad de la tubería, el contacto de ambas tuberías y se tolera de desalineamiento de 10 % del grosor de la tubería,

- Refrendado

Se activa la refrendadora para romper todo el material necesario hasta alcanzar el contacto total entre las caras de ambas tuberías.

- Limpieza de tuberías



Se realiza la limpieza de los extremos de la tubería con alcohol isopropílico con trapo industrial, para eliminar partículas que puedan contaminar la tubería a soldar.

- Colocación del plato calefactor

Realizado el refrendado y la limpieza de las tuberías se coloca el plato calefactor con el camión grúa. El valor de la temperatura recomendada en la especificación técnica está dentro del rango de 204 °C a 232 °C. Se retiene los extremos de la tubería contra la plancha calefactora por un periodo de tiempo de calentamiento es de 8 minutos.

- Fusión y unión de extremos

Se retira el plato calefactor y se cierra, la actividad se realiza en el menor tiempo posible, lo recomendado es menor a 10 segundos para evitar que las superficies calentadas de los tubos se enfríen.

Una vez alcanzado el ancho del labio producido por el derretimiento rápidamente retire la plancha calefactora de la zona de fusión y proceda con la unión de los elementos, para esto debe tenerse cuidado de no pasar el tiempo de transferencia establecido en la especificación.

- Enfriamiento

Tiempo de enfriamiento recomendado de 30 minutos.

Está prohibido tocar con las manos a la superficie caliente hasta que este se encuentre, así mismo evite a terceros contactos con este, señalice y delimite el área.

- Etiquetado de las juntas



Una vez terminado la soldadura por termofusión, se realiza el etiquetado de las tuberías, en que se registra los datos como: número de pega, fecha de la soldadura, hora de inicio, tiempo de calentamiento, tiempo de enfriamiento, horario final, nombre del operador, diámetro de la tubería y SDR.

- Inspección del cordón soldado

Los labios de soldadura deben ser continuo y consistente en toda la circunferencia de la tubería soldada.

La distancia entre los extremos fundidos no debe ser mayor que el 10 % del espesor mínimo del grosor de la tubería.

El cordón exterior debe enrollarse por completo contra la pared de la tubería/accesorio.

4.1.4. Resultado de la selección de diseño de relleno en pasta a transportar para tajeos

4.1.4.1. Resultado de las pruebas de relleno a utilizar

En la tabla 21 se da a conocer los resultados de los diseños de relleno en pasta en diferentes porcentajes de relave, cemento y aditivo teniendo como base el diseño patrón, los resultados de la resistencia a la compresión son evaluados entre los periodos de fraguado de 7, 14 y 28 días.

Tabla 21

Resultados de mezclas con cemento yura IP (estado fresco-endurecido)

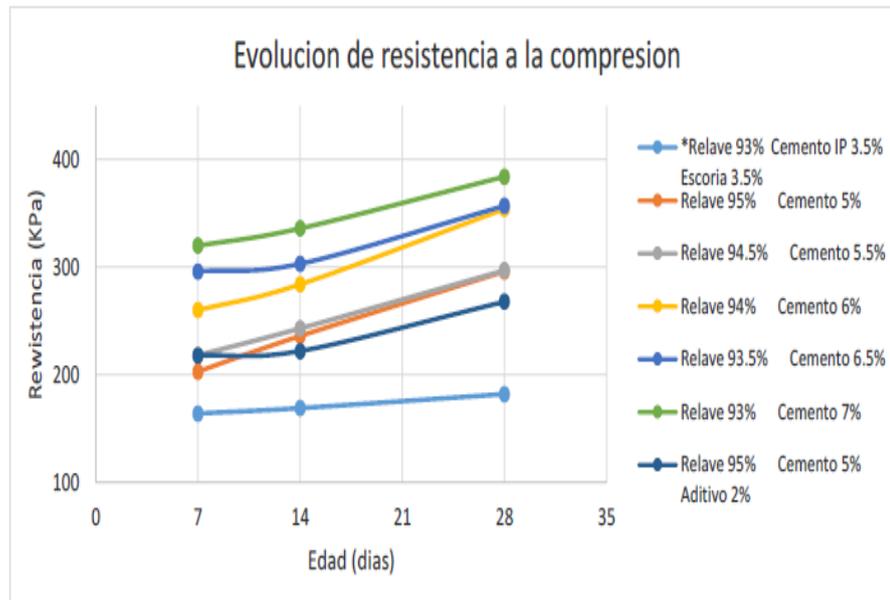
Diseño/ porcentaje	Relave 93 %	Relave 95 %	Relave 95 %	Relave 93,5 %	Relave 94,5 %	Relave 94 %	Relave 93 %
	Escoria 3,5 Cemento IP 3,5 %	Aditivo 2 % Cemento 5 %	Cemento 5,0 %	Cemento 6,5 %	Cemento 5,5 %	Cemento 6,0 %	Cemento 7,0 %
Slump (pulg)	8 ¼	8	8 ½	8	8 ¼	8	8
Relleno (°C)	21,3	16,8	17,9	20	21	21,6	18,2
Ambiente (°C)	14,7	24,7	14,7	15,7	14,2	15,3	15,5
Humedad relativa (%)	82	80	78	78	83	79	82
P.U. (Kg/m ³)	1 888	1 881	1 886	1 882	1 875	1 894	1 894
Solidos (%)	72,54	73,69	72,98	72,4	72,54	72,44	72,54
Resistencia 7 días (Kpa.)	164	218	203	296	218	260	320
Resistencia 14 días (Kpa.)	169	222	236	303	243	284	336
Resistencia 28 días (Kpa.)	182	268	296	357	297	354	384

Nota: resultado de diseños de mezclas de relleno escoria, cemento y aditivos evaluando su resistencia en 7, 14 y 28 días.

En la figura 7 podemos apreciar como es la evolución de la resistencia a la compresión de los diseños de mezclas en porcentajes de cemento, relave, escoria y aditivo. Esta evolución del diseño de mezclas se evalúa entre la resistencia a la compresión con el tiempo de fraguado que va desde 7 a 28 días.

Figura 7

Evolución de la resistencia a la compresión



Nota: incremento de resistencia a la compresión de las mezclas evaluadas en un periodo de tiempo de 7 a 28 días.

- Los nuevos resultados muestran que el asentamiento varía entre 8 y 8 1/2 pulgadas dentro de las especificaciones. Mientras tanto, la temperatura de la mezcla osciló entre 16,8 °C y 21,6 °C.

- los valores de peso unitario fueron en promedio de 1 885 kg/ m³ para este tipo de mezcla y no mostraron variaciones significativas.

- El contenido de sólidos fue similar y se mantuvo alrededor del 73,80 %. Los diseños con el aditivo plastificante *Normet*, requirieron menos agua para lograr la consistencia deseada y mayor contenido de sólidos. Aunque, esto no está relacionado con una mayor resistencia.

- Para la resistencia a la compresión, el diseño que se desarrollado con cemento Yura Minsur 5,0 % supera en 200 KPa al requeridos después



de 7 días y supera la resistencia del diseño estándar (promedio) actualmente en uso; se puede ver que es más del 20 %. Más alto que al que utiliza cemento yura IP con escoria.

- Además, al observar al diseño patrón en un periodo de 14 días este no logra la resistencia requerida.

- De igual manera, para un diseño de cemento Yura con un porcentaje de 7,0 %, se obtuvo 320 KPa de resistencia en un periodo de 14 días.

4.1.4.2. Resultados en transporte de relleno en pasta

Una vez definido el relleno en pasta en laboratorio a utilizar, este se transporta mediante tuberías de acero al carbono que se ubican a la salida de la planta y posterior por tuberías de polietileno de alta densidad, las cuales serán bombeados con bombas.

En la tabla 22 nos indica que según sus características la bomba Warman 5x4 SRC tiene la capacidad desarrollar presiones de 1500 psi durante su trabajo, y su diseño es para transportar fluidos No Newtonianos que son de alta concentración de sólidos. Ver anexo 14, Bomba centrífuga Warman 5x4.

Tabla 22

Características de la bomba y parámetros

Bomba	Parámetros
Presión de bomba	1 500 psi
Rendimiento	80 m ³ /h (promedio)

Se cuenta con una línea principal que va desde planta concentradora nivel 4 334 m.s.n.m. hasta el nivel 4 300 m.s.n.m. la cual es la línea principal de tiene una longitud 900 a 1 000 m aproximadamente de conducción de la bomba. Ver anexo 11 esquemas de red de tuberías.

El relleno en pasta es transportada mediante tuberías de acero al carbono y tuberías de polietileno de alta densidad. Las tuberías que van desde la planta concentradora hasta el nivel 4 300, tienen un diámetro de 8 pulgadas. En tabla 23 indica las características de la pasta.

Tabla 23

Características de la pasta y parámetros

Características de la pasta	Parámetros
Densidad	1 600 gr/L
Contenido de solidos	60 %
Slump	7,7 – 7,75 pulg

Nota: Parámetros determinados por el Laboratorio MINSUR

En la línea principal nivel 4 334 m.s.n.m. hasta el nivel 4 300 m.s.n.m. se cuenta tubería de acero al carbono de 8 pulgadas de diámetro soportan hasta 1 500 psi y se instalan a la salida del sistema de bombeo.



En este tramo por factores de desgaste del material de tubería se reemplazó 350 metros de tuberías de acero al carbono por tuberías de polietileno de alta densidad cuyo diámetro es de 8 pulgadas, ver anexo 10.

Para los niveles intermedios donde se tienen tramos horizontales el transporte de relleno en pasta se hace a través de tuberías de acero al carbono de material ASTM A53 GrB, estas tuberías pueden soportar hasta 900 psi. Teniendo en cuenta que estas tuberías están fijadas en esos tramos.

Las tuberías de polietileno de alta densidad soportan hasta 160 psi y se instalan en los últimos tramos desde el nivel 4 300 al nivel 3 985 m.s.n.m. haciendo un total 2 395 metros de tuberías de polietileno de 4 pulgadas de diámetro.

4.1.4.3. Cálculo del diámetro de la tubería HDPE a utilizar

El caudal que pasa por la tubería es de es de $Q = 9\,793\text{ m}^3/\text{día}$, dado por el área de planeamiento de la mina San Rafael, se convierte a m^3/s .

$$Q = \frac{9793\text{ m}^3}{\text{día}} \times \frac{1\text{ día} \times 1\text{ hora} \times 1\text{ minuto}}{24\text{ horas} \times 60\text{ minutos} \times 60\text{ segundos}}$$

$$Q = 0,113\text{ m}^3$$

Se utilizaron las tablas de Manning para calcular el coeficiente de rugosidad de la tubería (n). Los coeficientes del polietileno corrugado con paredes interiores lisas oscilan entre 0,009-0,0015. Con $n = 0,015$ es el coeficiente elegido, puesto que es el más importante en el rango.

Para el cálculo de la pendiente se ha utilizado la siguiente formula:



$$S = \frac{\textit{Altura}}{\textit{Longitud}}$$

Pendiente del nivel 4 300 – 4 220: Diferencia de cotas: 4 300 – 4 220

igual a 315 metros.

Longitud total: 980 metros.

Reemplazamos en la fórmula:

$$S = \frac{315}{980} = 0,321$$

Pendiente del nivel 4 220 – 4 140: Diferencia de cotas: 4 220 – 4 140

igual a 215 metros.

Longitud total: 675 metros.

Reemplazamos en la fórmula:

$$S = \frac{215}{675} = 0,318$$

Pendiente del nivel 4 140 – 3 985: Diferencia de cotas: 4 140 – 3 985

igual a 215 metros.

Longitud total: 740 metros.

Reemplazamos en la fórmula:

$$S = \frac{240}{740} = 0,324$$

Con los datos obtenidos se reemplaza en la siguiente fórmula:

Longitud de tubería en el nivel 4 300 – 4 220:



$$r = \left[\frac{2 \times Q \times n \times (2\theta)^{\frac{2}{3}}}{S^{\frac{1}{2}} \times (\theta - \text{sen } \theta)^{\frac{5}{3}}} \right]^{\frac{3}{8}}$$

$$r = \left[\frac{2 \times 0.113 \times 0.015 \times (2 \times 4.189 \text{ rad.})^{\frac{2}{3}}}{0.321^{\frac{1}{2}} \times (4.189 \text{ rad.} - \text{sen } 4.189 \text{ rad.})^{\frac{5}{3}}} \right]^{\frac{3}{8}}$$

$$r = 0,043 \text{ metros}$$

$$r = 1,69 \text{ pulgadas}$$

Longitud de tubería en el nivel 4 220 - 4 140:

$$r = \left[\frac{2 \times Q \times n \times (2\theta)^{\frac{2}{3}}}{S^{\frac{1}{2}} \times (\theta - \text{sen } \theta)^{\frac{5}{3}}} \right]^{\frac{3}{8}}$$

$$r = \left[\frac{2 \times 0.113 \times 0.015 \times (2 \times 4.189 \text{ rad.})^{\frac{2}{3}}}{0.318^{\frac{1}{2}} \times (4.189 \text{ rad.} - \text{sen } 4.189 \text{ rad.})^{\frac{5}{3}}} \right]^{\frac{3}{8}}$$

$$r = 0,044 \text{ metros}$$

$$r = 1,732 \text{ pulgadas}$$

Longitud de tubería en el nivel 4 140 – 3 985:

$$r = \left[\frac{2 \times Q \times n \times (2\theta)^{\frac{2}{3}}}{S^{\frac{1}{2}} \times (\theta - \text{sen } \theta)^{\frac{5}{3}}} \right]^{\frac{3}{8}}$$

$$r = \left[\frac{2 \times 0.113 \times 0.015 \times (2 \times 4.189 \text{ rad.})^{\frac{2}{3}}}{0.324^{\frac{1}{2}} \times (4.189 \text{ rad.} - \text{sen } 4.189 \text{ rad.})^{\frac{5}{3}}} \right]^{\frac{3}{8}}$$



$$r = 0,041 \text{ metros}$$

$$r = 1,614 \text{ pulgadas}$$

Para calcular el diámetro de la tubería se utiliza la siguiente formula:

Longitud de tubería en el nivel 4 300 – 4 220:

$$D = 2 \times r$$

$$D = 2 \times 1,69$$

$$D = 3,38 \text{ pulgadas}$$

Longitud de tubería en el nivel 4 220 – 4 140

$$D = 2 \times r$$

$$D = 2 \times 1,732$$

$$D = 3,464 \text{ pulgadas}$$

Longitud de tubería en el nivel 4 140 – 3 985

$$D = 2 \times r$$

$$D = 2 \times 1,614$$

$$D = 3,228 \text{ pulgadas}$$

En la tabla 24 se observa la distancia de los desniveles de 4 300 a 3 985 m.s.n.m. y el resultado del cálculo del diámetro de tubería a utilizar para esa distancias.

Tabla 24

Diámetro de la tubería

Ítem	Diferencia de alturas (metros)	Radio interno de la tubería (pulgadas)	Diámetro interno de tubería (pulgadas)	Diámetro de la tubería (pulgadas)
Longitud de tubería nivel 4 300 – 4 220	315	1,69	3,380	4
Longitud de tubería nivel 4 220- 4 140	215	1,732	3,464	4
Longitud de tubería nivel 4 140 - 3 985	240	1,614	3,228	4

En la tabla 24 podemos apreciar que las distancias de desniveles donde se instalan tuberías de polietileno de alta densidad, los cálculos de diámetros internos de tuberías en pulgadas son de 3,380; 3,464 y 3,228 los cuales son menores a 4 pulgadas; por consiguiente se elige tuberías de 4 pulgadas de diámetro para mayor fluidez de la pasta.

4.1.4.4. Cálculo de distancia máxima de transporte de relleno

Distancia de nivel 4 300 – 4 220.
$$L = \frac{h (D \times 2g)}{(W \times Vt)^2}$$

$W = 1,757$

$D = 1,9$

$Vt = 0,64$

$g = 9,8$

$h = 315$

$$L = \frac{315 (1.9 \times 2 \times 9.8)}{(1.757 \times 0.64)^2} = 1052 \text{ m}$$

Según el cálculo se puede instalar hasta 1 052 metros; tomando en cuenta que en algunos tramos de utilizan uniones, separaciones o accesorios, se



instaló un total de 980 metros de tuberías de polietileno de 4 pulgadas de diámetro.

$$\text{Distancia de nivel 4 220 – 4 140.} \quad L = \frac{h (D x 2g)}{(W x Vt)^2}$$

$$W = 1,757$$

$$D = 1,9$$

$$Vt = 0,64$$

$$g = 9,8$$

$$h = 215$$

$$L = \frac{215 (1,9 x 2 x 9,8)}{(1,757 x 0,64)^2} = 718 \text{ m}$$

Según el cálculo se puede instalar hasta 718 metros; tomando en cuenta que en algunos tramos de utilizan uniones, separaciones o accesorios, se instaló un total de 675 metros de tuberías de polietileno de 4 pulgadas de diámetro.

$$\text{Distancia 4 140 – 3 985.} \quad L = \frac{h (D x 2g)}{(W x Vt)^2}$$

$$W = 1,757$$

$$D = 1,9$$

$$Vt = 0,64$$

$$g = 9,8$$

$$h = 240$$

$$L = \frac{240 (1,9 x 2 x 9,8)}{(1,757 x 0,64)^2} = 801 \text{ m}$$

Según el cálculo se puede instalar hasta 801 metros; tomando en cuenta que en algunos tramos de utilizan uniones, separaciones o accesorios, se



instaló un total de 740 metros de tuberías de polietileno de 4 pulgadas de diámetro.

En la tabla 25, se muestra el resumen de las distancias calculadas a instalar y la distancia máxima.

Tabla 25

Distancia máxima

Ítem	Distancia máxima (metros)	Distancia a instalar (metros)
Distancia nivel 4 300 - 4 220	1 052	980
Distancia nivel 4 220 - 4 140	718	675
Distancia nivel 4140 – 3 985	801	740

En la tabla 25 podemos apreciar el cálculo de las distancias máximas que se pueden instalar tuberías de polietileno de alta densidad de un diámetro de 4 pulgadas sin tomar en cuentas uniones, accesorios los que también deben ser instalados en los tramos.

Como resultado se instalaron tuberías de polietileno de alta densidad:

- Línea 1 del nivel 4 300 al nivel 4 220 m.s.n.m. 980 metros de tubería

- Línea 2 del nivel 4 220 al nivel 4 140 m.s.n.m. 675 metros de tubería

-Línea 3 del nivel 4 140 al nivel 3 985 m.s.n.m. 740 metros de tubería



- La longitud total de tuberías de polietileno de alta densidad de 4 pulgadas de diámetro que se instaló es de 2 395 metros.

4.2. DISCUSIÓN

Los parámetros evaluados en las 9 pruebas como temperatura y tiempo de calentamiento del plato calefactor para la unión de extremos de las tuberías de polietileno de alta densidad por termofusión a la altitud de 4 334 m.s.n.m., no influye en el cumplimiento de la soldadura de tuberías HDPE, teniendo como tiempo de calentamiento 8 minutos y temperatura de calentamiento de 220 °C, sometido a un ensayo de tracción con un esfuerzo máximo de 23,88 MPa y fuerza máxima de 10,48 KN. De similar manera Espinoza & Tintaya (2022) indican, en sus pruebas donde se presenta la máxima tensión de rotura a 90°, la tensión de rotura que se obtuvo con el ensayo de doblez aplicando 419,7 kilogramos, con tiempo de calentamiento de 9 minutos y temperatura de calentamiento de 230 °C, concluyen, que el tiempo de calentamiento del plato calefactor para la unión de tuberías de polietileno HDPE no influye a la altura de 4 200 m.s.n.m. Por otra parte Rodríguez (2019) determinó que la resistencia a la tracción de las probetas 1, 2 y 3 están dentro de los parámetros establecidos por Norma. ASME.IX 2015 – Pruebas de Tracción, a su vez menciona, que según las pruebas de ensayos destructivos y no destructivos, la unión soldada de tubería de polietileno de alta densidad cumple con los requisitos mecánicos y de forma, de la Norma ASTM. Así mismo Zapata (2019) en uno de sus resultados menciona que, para cualquier proyecto con tubería HDPE son mejores que la tubería de acero al carbono, a su vez menciona que las tuberías HDPE son más amigables con el medio ambiente por que no requieren protección catódica ni protección contra corrosión interna. De similar manera Cahuana & Vásquez (2020) en uno de sus



resultados menciona, con la instalación de tuberías de polietileno HDPE en el periodo 2015 al 2019, el envío del relleno se incrementó de 18 713 m³ a 24 037 m³ mensuales.

En el diseño y la elaboración del relleno en pasta el cual se elaboró en base a una muestra patrón y a diversos porcentajes de mezcla de relave, cemento y aditivos del cual se determinó que el diseño de mezcla más óptima es la relación de 95% de relave, 5% de cemento IP adicionado y 3% de escoria. Durante los 28 días se tiene una firmeza al efecto de comprimir dentro de las especificaciones técnicas de la prueba patrón. El relleno en pasta transportada hacia a los tajeos a una distancia total de 2 395 metros mediante tuberías de polietileno de alta densidad de 4 pulgadas de diámetro y son impulsadas por bombas que tiene una presión de trabajo de 1 500 psi. A si mismo Vidal (2019) indica que las enterezas obtenidas entre los 7 y 28 exceden la resistencia requerida por el área de gomecánica de la mina, indica, el factor predominante en la transportabilidad de relleno en pasta a largas distancias es la mezcla de agua en el relleno de pasta. De igual manera Gutiérrez (2018) en sus resultados menciona, la cantidad de relleno de pasta que se requiere rellenar en las áreas vacías dejadas explotación, está en función de acuerdo al planeamiento. Concluye, Los principales beneficios ambientales que se obtiene con el uso del relleno, es producir el 82 % de los relave.



V. CONCLUSIONES

- Se tiene una contribución positiva y significativa en la instalación de tuberías de polietileno de alta densidad mediante soldadura por termofusión para el transporte y descarga de relleno en pasta para los tajeos de la Unida Minera San Rafael – Minsur.
- Con los resultados de laboratorio de la muestra y de 9 pruebas se concluye que a temperatura ambiente y humedad relativa a una altitud de 4 334 m.s.n.m. no afecta en el cumplimiento de parámetros de soldadura mediante termofusión en la instalación de tuberías de polietileno de alta densidad; donde se tuvo una temperatura mínima de 8 °C y temperatura máxima de 15 °C, en las 9 pruebas realizadas se observa una soldadura uniforme, concéntrica y sin presencia de poros, cumple con el ancho de cordón y altura de cordón de la unión de tuberías.
- A través 2 395 metros totales de las tuberías de polietileno de alta densidad de 4 pulgadas de diámetro instaladas en los 4 sub niveles se logra trasportar relleno en pasta cuya mezcla más óptima es la relación de 95 % de relave, 5 % de cemento Yura IP adicionado y 3 % de escoria las que son requerido en los tajeos, el traslado de relleno es para dar estabilidad a las zonas de explotación de bloques de minado, que tienen una longitud de 150 metros, una altura de 56 metros y anchura de veta promedio de 10 metros; se traslada un volumen de 9 793 metros cúbicos por día de relleno en pasta para crear paredes auto sostenibles de las áreas de explotación, lo que permitirá recuperar la mayor cantidad de mineral disponible y garantizar la continuidad de la explotación.



VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda evaluar los parámetros de soldadura de tuberías de polietileno de alta densidad ya sea por termofusión o electrofusión para las diferentes altitudes donde se desarrollen trabajos en minería u otros. Teniendo en consideración una base en parámetros como temperatura ambiente no menor de 3° y una humedad menor al 90 %, temperatura del plato calefactor recomendada de 220°.
- Se sugiere desarrollar pruebas para el diseño de mezclas y elaboración los rellenos en función de las especificaciones geomecánicas requeridas en interior mina.
- Para el transporte de relleno en pasta recomienda inspeccionar regularmente la red de tuberías y utilizar equipos especializados como bombas de pasta y tuberías resistentes a la abrasión para detectar oportunamente desgastes, deterioros, fallas durante la instalación de tuberías y hacer la revisión durante su funcionamiento.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvares, S. (2006). *Ciencia y Tecnología de Polímeros*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.
https://books.google.com/books/about/Ciencia_Y_Tecnolog%C3%ADa_de_Pol%C3%ADmeros.html?hl=es&id=1lqwC_XJb9IC
- Arapa, R. H. (2018). *Planificación minera a corto plazo en minería subterránea - Unidad Minera San Rafael - Minsur S. A.* Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano.
<https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3278187>
- Cabrera, J. (2017). *Aspectos Geotécnicos del Relave Cementado en la Aplicación del Método Minado Sublevel Stopping*. Perú. Universidad Continental.
<https://www.srk.com/download/file/490>
- Cahuana, R. & Vasquez, D. J. (2014). *Mejora de la productividad del sistema de relleno hidráulico en la zona Mirko Este – Volcan Compañía Minera S. A. A PERÚ – Unidad minera Chungar – Animón*. Huancayo, Perú: Universidad Continental.
<https://hdl.handle.net/20.500.12394/8471>
- Cantorín, O. (2013). *Método de relleno de pasta en la Unidad Minera San Rafael*. Puno, Perú: <https://docplayer.es/73986869-Metodo-de-relleno-en-pasta-en-la-unidad-minera-san-rafael.html>
- Choquehuanca, M.A. (2015). *Aplicación de relleno hidráulico en el método corte y relleno ascendente zona Animas - mina Bateas*. Arequipa, Perú: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/205>
- Concha-Flores, S. I. (2014). *Diseño del plan de aseguramiento de la calidad del proceso de termofusión de tuberías de polipropileno*. Callao, Perú: Universidad Nacional del Callao. <http://hdl.handle.net/20.500.12952/222>
- Contreras, A. (2005). *Instalación de tuberías de polietileno (HDPE) para redes de alcantarillado: colector Torres de Marcavalle*. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/11026>



- Espinoza, Ch. & Tintaya, S. (2022). *Soldadura por termofusión a tope en tuberías de polietileno de alta densidad en la empresa minera Antapaccay Espinar - Cusco*. Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/19359>
- González, C. (2004). *Manual Técnico Geomembranas POLYTEX*. <https://www.slideshare.net/BereniceGarces/38324122manualtecnicogeomembranas>
- Guanilo, B. (2017). *Estudio de los procesos de electrofusión y termofusión en unión de tuberías de HDPE en una refinería*. Piura, Perú: Universidad de Piura. <https://hdl.handle.net/11042/3195>
- Gutiérrez, C. H. (2017). *Estudio para el empleo de relaves del proceso minero de mina san Rafael como rellenos cementantes y fluidos utilizando adiciones minerales*. Arequipa, Perú: Universidad Nacional De San Agustín. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6947>
- Huamán, L. (2019). *Aplicación de relleno hidráulico en la Mina Jimena de Compañía Minera Poderosa S.A*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Mayor de San Marcos <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/3182>
- Herrera, J. (2010). *Introducción a la Minería Subterránea*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid. <http://oa.upm.es/62726/>
- Lopez, P. & Toapanta, H. (2019). *Análisis comparativo del comportamiento de la soldadura por termofusión frente a las soldaduras por adhesión y fricción en tuberías de polietileno (PE) para conducción de gas licuado de petróleo*. Lima, Perú: Escuela Politécnica Nacional. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20565>
- Mamani, Q. (2020). *Montaje de una tubería HDPE de 30" de diámetro, de 170m de longitud para la fundición de ILO*. Arequipa, Perú: Universidad Nacional de San Agustín. <http://hdl.handle.net/20.500.12773/12521>
- Peña, F. & Villegas, Ch. (2020). *Diseño de un sistema de agua y alcantarillado empleando tuberías de HDPE en el sector Minas del Pedregal, Huarochirí*.



Trujillo, Perú: Universidad César Vallejo.
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/89195>

Moreno, A. (2006). *Caracterización de Ramificaciones de Cadena Corta y Larga en Polietileno*. Centro de Investigación en Química Aplicada.
<https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/bitstream>

Reimond, B. S., & Charles, E. C. (1995). *Introducción a la Química de Polímeros*. Barcelona. https://www.reverte.com/libro/introduccion-a-la-quimica-de-los-polimeros_91488/

Roca, I. E. (2005). *Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del polietileno de alta densidad (PEAD)*. Guatemala.
http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0639_Q.pdf

Rocha, A. (2005). *Hidráulica de tuberías y canales*. Lima, Perú: Universidad Nacional De Ingeniería. <http://biblioteca.unfv.edu.pe>

Rodríguez, S. (2019). *Evaluación de las propiedades mecánicas de la tubería HDPE o PEAD soldado por proceso de termofusión*. Arequipa, Perú: Universidad Nacional De San Agustín. <http://hdl.handle.net/20.500.12773/15522>

Vidal, R. D. (2019). *Transportabilidad del relleno en pasta a largas distancias en la empresa Nexa Resources, 2019*. Huanayo, Perú: Universidad Continental.
<https://hdl.handle.net/20.500.12394/7762>

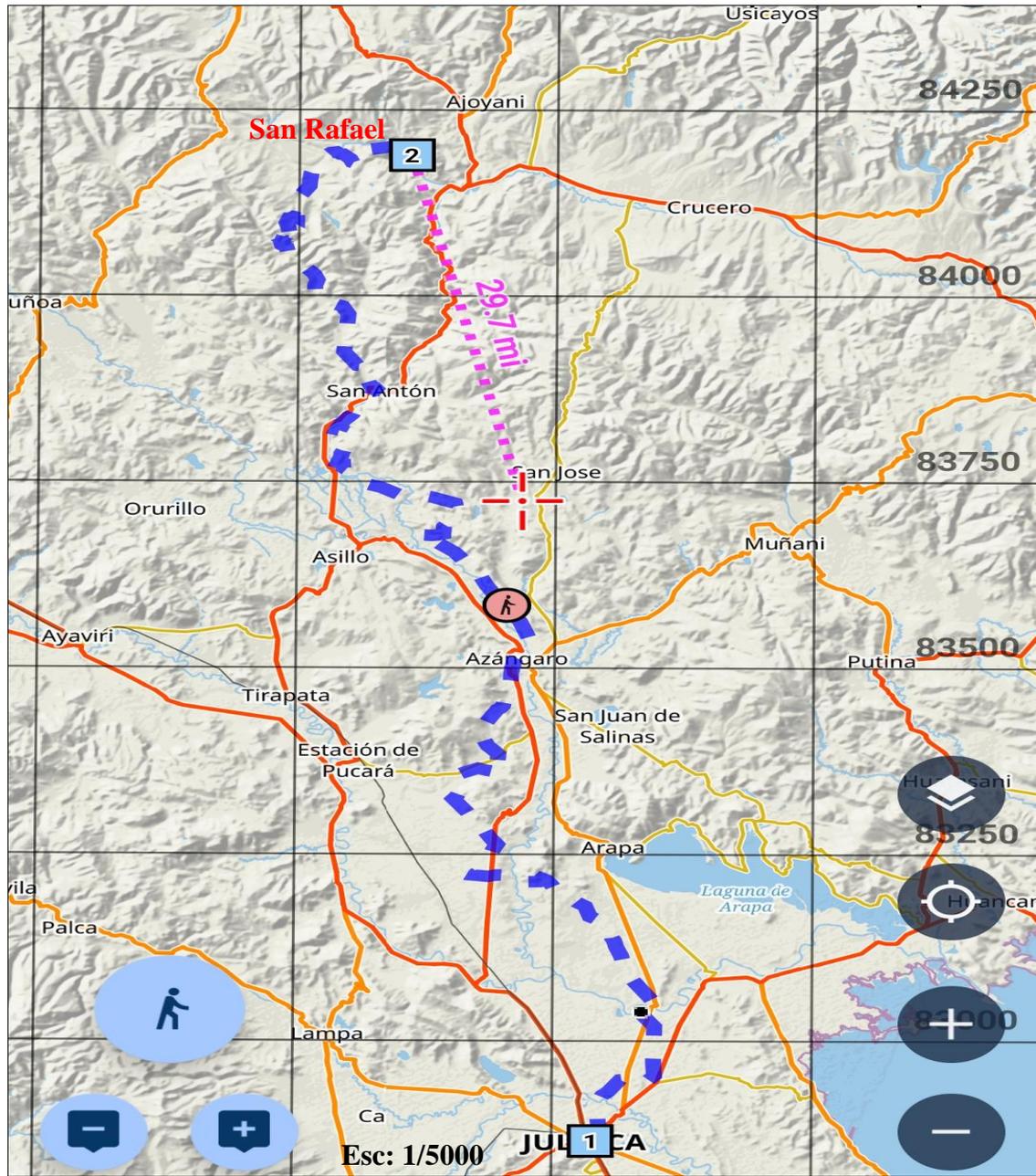
Zapata, Ch. (2019). *Uso de tubería HDPE en el sistema de recolección de gas de baja presión en noreste*. Piura, Perú: Universidad Nacional de Piura.
<http://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/3521>



ANEXOS



Anexo 1. Ubicación de la unidad minera San Rafael – Minsur

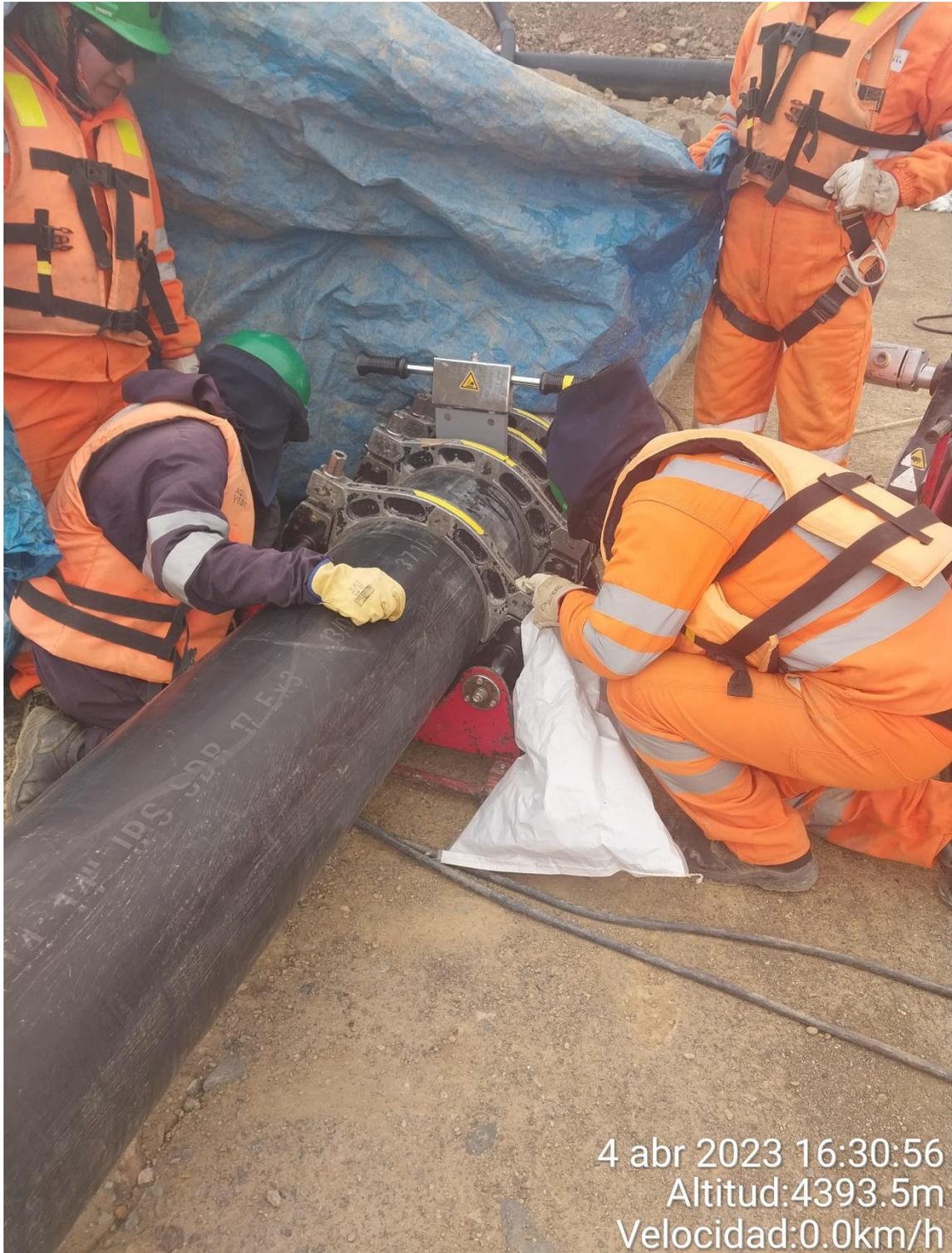


	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS			
	UBICACION: DEPARTAMENTO : PUNO PROVINCIA : MELGAR DISTRITO : ANTAUTA	Mapa de ubicación		
	DIBUJO: Y.O.C REVISADO: W.C.M.	ESCALA: INDICADA	FECHA: JUNIO-2024	
DATUM: WGS 84 SISTEMA DE COORDENADAS: UTM HEMISFERIO: Sur ZONA: 19				

Anexo 2. Máquina de termofusión.



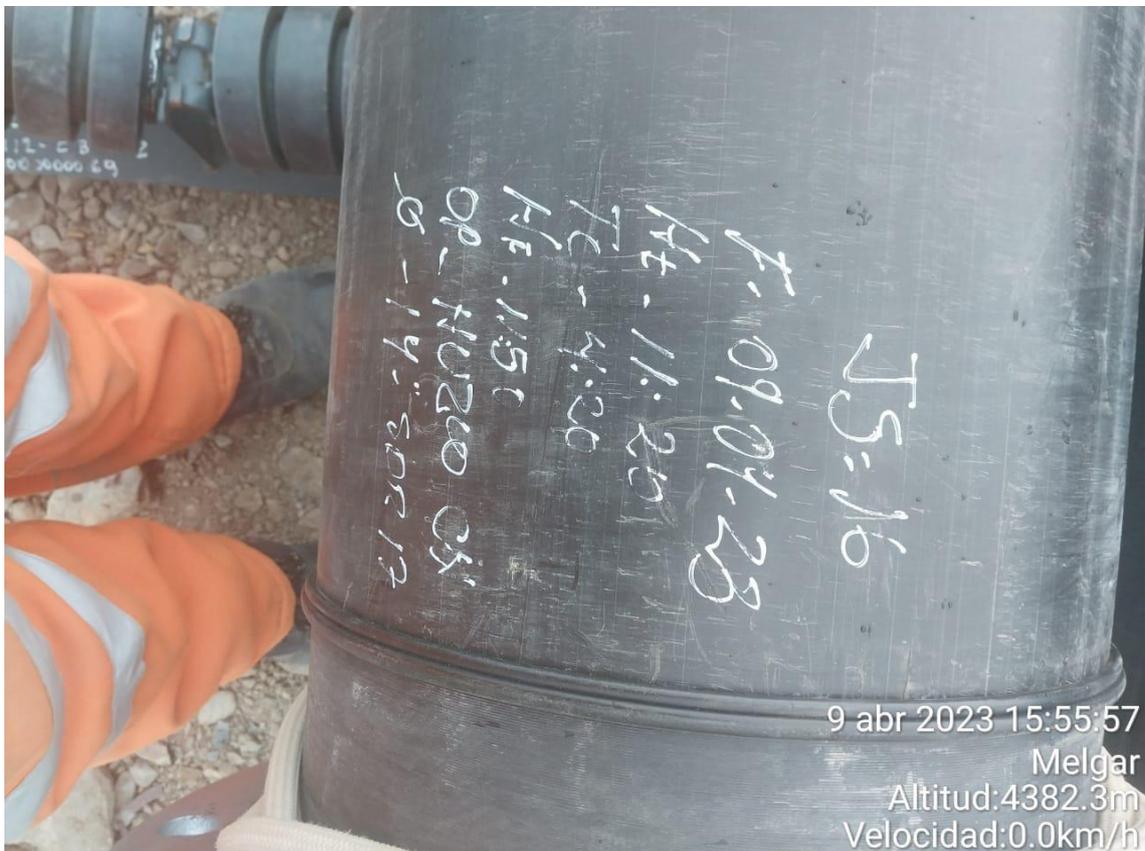
Anexo 3. Proceso de soldadura



Anexo 4: Presentación para verificar la perpendicularidad y contacto.



Anexo 5: Etiquetado de juntas





Anexo 6: Inspección y control de pegas

PROYECTO: "EXPLANACION EN EL ACCESO 1 Y CRESTA DEL DIQUE B4 PARA CAMBIO DE TRAZO DE LA TUBERIA DE 36 A LA COTA 4334".		LINEA DE TUBERIA: <i>sistema de transporte de relaves</i>		FECHA:												
REFERENCIA: <i>Progruiva 0+380 - 0+355</i>		N° DE REGISTRO: <i>01</i>														
PLANO DE REFERENCIA: <i>S/N SR-001-06-81579-7230-05-21-0110</i>																
ESPECIFICACION		DIMENSIONES DE JUNTA		ESPECIFICACION		DIMENSIONES DE JUNTA		ESPECIFICACION		DIMENSIONES DE JUNTA						
DE TUBERIA	ØNominal (Pulg.)	G(mm)	A(mm)	n(mm)	DE TUBERIA	ØNominal (Pulg.)	G(mm)	A(mm)	n(mm)	DE TUBERIA	ØNominal (Pulg.)	G(mm)	A(mm)	n(mm)		
	36	12,1	6,3	24,1		36	12,1	6,3	24,2		36	12,1	6,3	24		
SDR	21	Esp.t (mm):		Peso(kg/m):	SDR	21	Esp.t (mm):		Peso(kg/m):	SDR	21	Esp.t (mm):		Peso(kg/m):		
SDR	e(mm)	P1 (bar)	H(mm)	P2 (bar)	t1 (seg)	t2 (seg)	t3(seg)	P3 (bar)	t4 (min)	Temperatura °C						
21	42,9	44,5	3,5	3	429	17	20	44,5	53	210/235						
PARAMETROS																
JUNTA	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)	REFRENTADO	PN (BAR)	ØNominal (Pulg.)	TEMPERATURA DE PLANCHIA (°C)	PRESION DE ARRASTRE (Psi)	PRESION UTILIZADA (Psi)	TIEMPO (Seg) CALENTAMIENTO	TIEMPO (Min) ENFRIAMIENTO	ALTURA DE CORDON(mm)	DOBLE DE CORDON (mm)	CORDON UNIFORME	CONCENTRICO	POROS	OBSERVACION
J-01	8°	80	Si	46	36"	218°	145	522	487	30	6.3	24.1	Si	Si	NO	<i>Probeta.</i>
J-02	15°	80	Si	46	36"	220°	145	522	487	30	6.2	24.2	Si	Si	NO	
J-03	13°	80	Si	46	36"	220	145	522	522	30	6.3	24.1	Si	Si	NO	
J-04	10°	80	Si	46	36"	221	145	522	522	30	6.0	24	Si	Si	NO	
J-05	12°	80	Si	46	36"	217	145	522	522	30	6.2	24.2	Si	Si	NO	
J-06	13°	78	Si	46	36"	220°	145	522.13	522	30	6.3	24.2	Si	Si	NO	
J-07	12°	78	Si	46	36"	220°	145	522.13	522	30	6.0	24.1	Si	Si	NO	
J-08	15°	78	Si	46	36"	220°	145	522.13	522	30	6.1	24.1	Si	Si	NO	
J-09	14°	78	Si	46	36"	218°	145	522.13	522	30	6.1	24.2	Si	Si	NO	
OBSERVACIONES:																
OPERADOR: FELIX VASQUEZ VILLASIS															FECHA: <i>24-03-2023</i>	
APROBACION FINAL:																
ELABORADO POR: TECNICO CQC ELECTROCONS S.A.C				REVISADO POR: SUPERVISOR CQC ELECTROCONS S.A.C				APROBADO POR: RESIDENTE/SUPERVISOR ELECTROCONS S.A.C				REVISADO POR: SUPERVISOR CQA WOOD				
<i>Al Canario</i> Wilmer Canorio H.				<i>Al Canario</i> Wilmer Canorio H.				<i>Felix Vasquez</i>				<i>Jose R. Muñoz Estela</i> SUPERVISOR CIVIL CIP 78356 wood				
FECHA: <i>26-03-2023</i>				FECHA: <i>26-03-2023</i>				FECHA: <i>24-03-2023</i>				FECHA: <i>24-03-2023</i>				



Anexo 7: Cuadro de control de pegas.

ELECTROCONS INGENIEROS S.A.		CUADRO DE CONTROL DE PEGAS DE TUBERIA HDPE 36 "		MINSUR S.A.		
UNIDAD MINERA:	SAN RAFAEL				Distribución:	
RESPONSABLE:	Ing. Bernardino Mallma Nestares				- CLIENTE	
CONTRATISTA:	ELECTROCONS INGENIEROS S.A.				- Proyectos ELECTROINSA	
N° ORDEN DE COMPRA:	4600024031				FECHA: 26/03/2023	
- GOP ELECTROINSA						
- GG ELECTROINSA						
"Instalación de tuberías HDPE para transporte de relleno en pasta"						
	24 DE MARZO		25 DE MARZO		26 DE MARZO	
PEGAS PLANIFICADAS	3	J 1 (PROBETA)	3	J 4	3	J 6
		J 2		J 5		J 7
		J 3		J 6		J 8
PEGAS REALIZADAS	3	J 1 (PROBETA)	2	J 4	4	J 6
		J 2		J 5		J 7
		J 3				J 8
						J 9
	200 metros		2 metros		400 metros	
OBSERVACIONES						* FALLA DE GRUPO ELECTROGENO (INOPERATIVO)
COMENTARIOS SUPERVISION						
RESIDENTE Ing. BERNARDINO MALLMA NESTARES			SUPERVISOR CLIENTE		HORA INICIO 6:00 a. m.	
					HORA FIN 5:30 p. m.	

Anexo 8: Características técnicas de la fabricación de tuberías

Densidad	Método de ensayo	Unidad	PE 80	PE 100
Densidad	ISO 1183	gr/cm ³	0.945-0956	0.957-0.965
Resistencia a la tracción	ISO 527-2	MPa	20 – 23	22 – 25
Módulo de Tensión (fluencia)	ISO 527-2	MPa	>600	>800
Tensión de diseño	No aplica	MPa	6.3	8
Mínimo esfuerzo requerido (MRS)	No aplica	Mpa	>8	>10
Alargamiento de rotura	ISO 527-2	%	>550	>550
Coefficiente de dilatación lineal	ASTM D696	mm/m°C	0.17 – 0.2	0.2
Temperatura de fragilidad	ASTM D746	oC	< -70	< -70
Dureza Shore a 20°C	ISO 868	escala D	>55	>60

Anexo 9: Ensayo de doblez

X4. ENSAYO DE DOBLADO DE FUSIONES

X4.1 Es posible evaluar uniones de muestra con el fin de verificar la habilidad y conocimiento del operador que realizó la fusión. Cortar las uniones en tiras, (vea la Fig. X4.1) y examine visualmente y haga ensayos de la continuidad y resistencia de la unión. Para este propósito son útiles los ensayos de doblado, pelado y elongación. Estos ensayos por lo general se realizan en tamaños de tubería menores. Para las tiras de ensayo de fusión a tope, limite el espesor de pared de la tubería a 1 pulgada (25 mm) para evitar posibles lesiones durante la realización del ensayo. Inspeccione visualmente la unión cortada para detectar indicaciones de vacíos, espacios, desalineación de superficies que no han unido adecuadamente. Doble cada muestra por el lado interno de la tubería hacia afuera hasta que se toquen los extremos. El radio de doblado interno debe ser menor al espesor de pared mínimo de la tubería. Para realizar con éxito este doblado, puede ser necesario contar con una prensa de mesa. La muestra no debe tener fisuras ni separaciones en el lugar de la unión por fusión. Si se produce una falla en la soldadura en cualquiera de las muestras, entonces debe revisarse y corregirse el procedimiento de fusión. Luego de la corrección, debe hacerse otra muestra de la unión por fusión según el nuevo procedimiento y volver a ensayarse. El ensayo de doblado de tuberías con un espesor de pared superior a 1 pulgada (25 mm) puede resultar peligroso y debe hacerse con un equipo de doblado aprobado que sostenga y contenga la tubería durante el ensayo o con otro procedimiento aprobado.

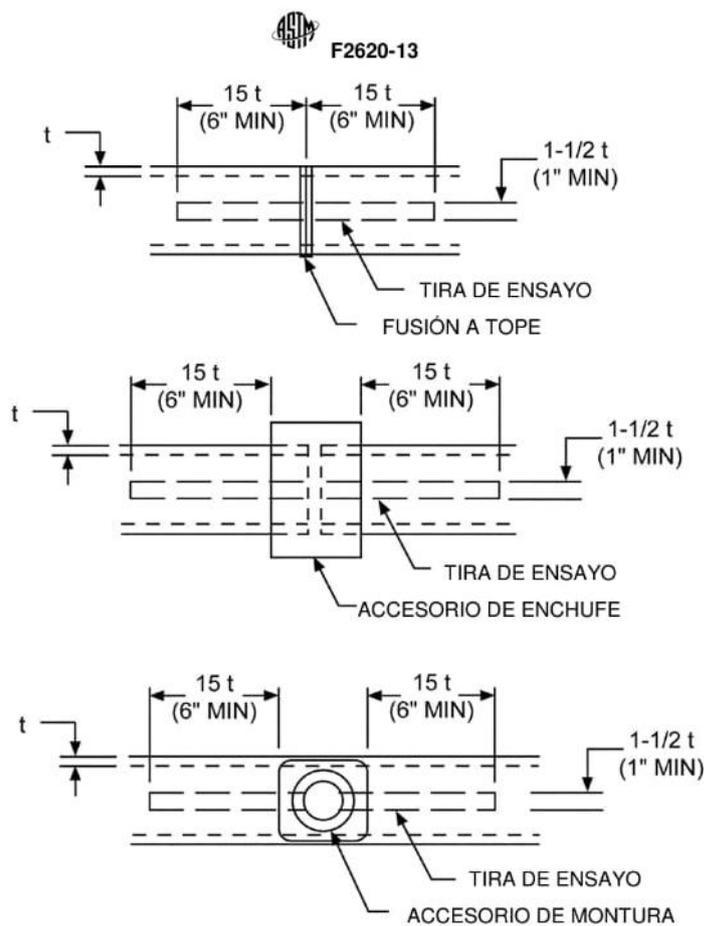
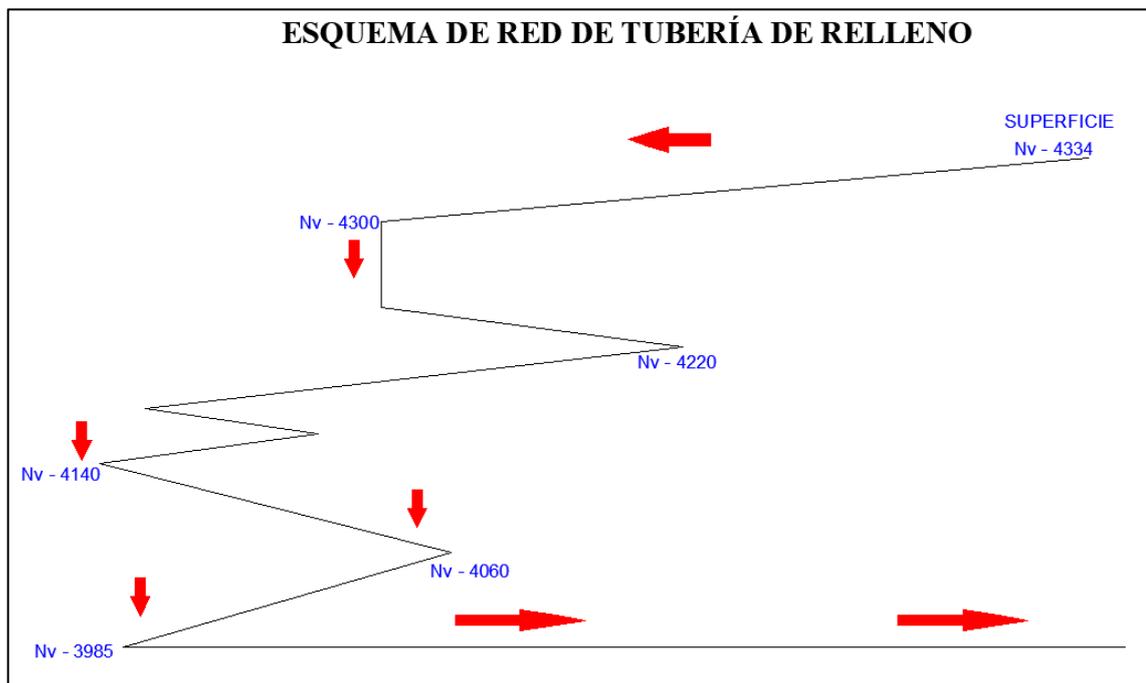


FIG. X4.1 Muestra para Ensayo de Doblado

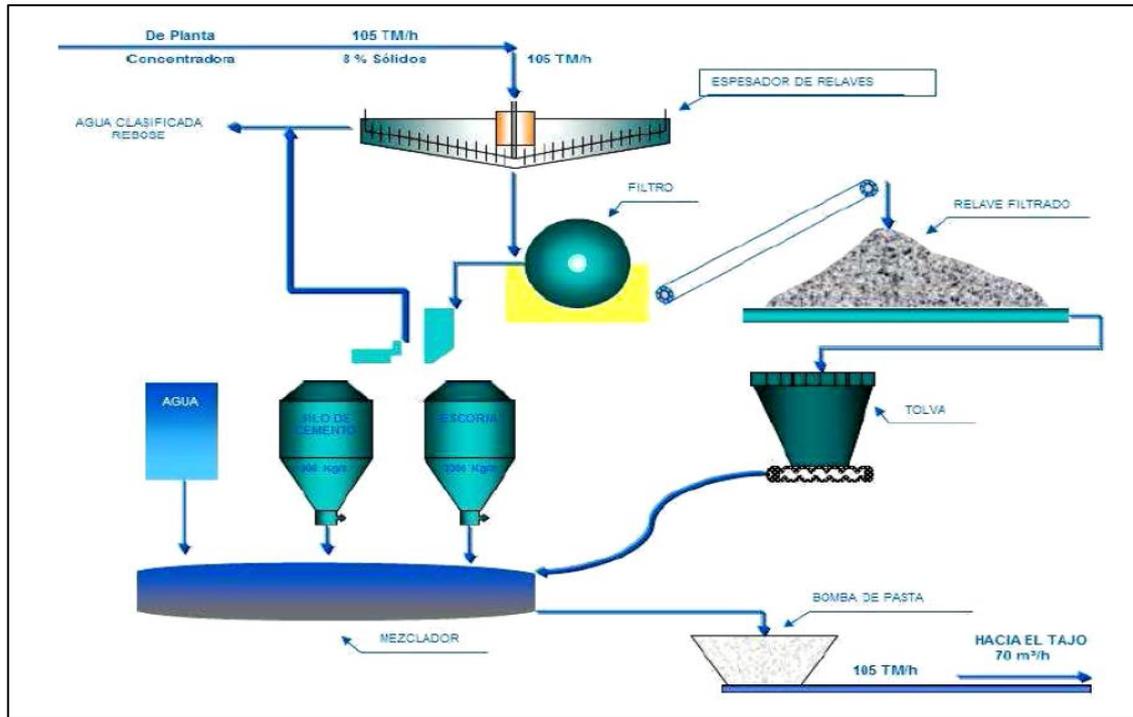
Anexo 10: Transporte de relleno.



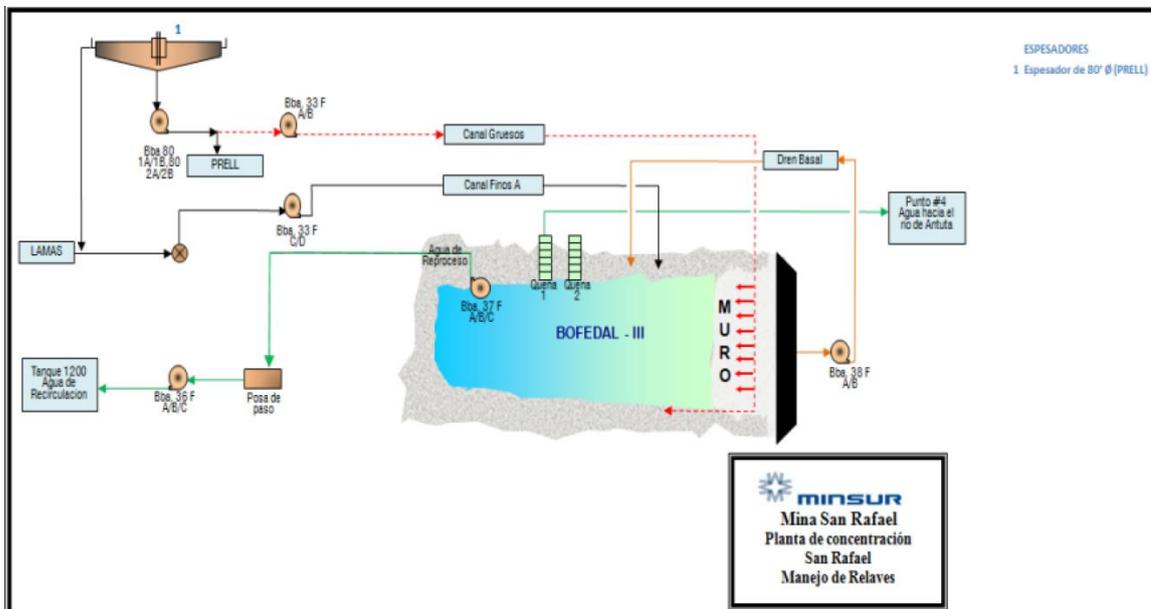
Anexo 11: Esquema de red de tubería de relleno.



Anexo 12: Flujograma de relleno en pasta.



Anexo 13: Esquema de Relaves Bofedal III.



Anexo 14: Bomba centrífuga Warman 5 x 4



Anexo 15: Mezclado de materiales



Anexo 16: Norma ASTM F 2620

NORMA AMERICANA – ASTM F 2620 – 13 PARA SOLDAR POLIETILENO PEAD HDPE

IFP: 75 PSI = 0.517 Mpa = 0.517 N/mm² = 51.71 N/cm² (Promedio entre 60 – 90 PSI)

IFP MIN (60 PSI = 0.41 Mpa = 0.41 N/mm² = 41 N/cm²)

IFP MAX (90 PSI = 0.62 Mpa = 0.62 N/mm² = 62 N/cm²)

Temperatura: 204 – 232 °C | (400 – 450 °F)

FASE 1			FASE 2		FASE 3		FASE 4		FASE 5		
Presión de Fusión P1 Hasta Formar el Rebordé mínimo B/r			Presión de Contacto P2		Remover la Plancha en el Tiempo Max. T3		Alcanzar la presión P5 en Máximo T4 segundos		Enfriamiento con Presión. Sostener la presión P5 durante el tiempo T5 en minutos		
Presión en PSI			Durante el tiempo T2		T3		T4		P5		
P1	OD	(B/r)	P2	T2	T3		T4		P5	T5	
				(s)	(s)		(s)			(m)	
A presión de fusión MIN (PG) o (F) + Arrastre	≤60	1	Reduzca la presión a presión de Arrastre sin romper el contacto IFP=30 PSI	4.5 min (270 s) x 1" (25.4 mm) de espesor de pared (T)	Esesor de pared	T Seg	Esesor de pared	T Seg	A presión de fusión (PG) o (F) + Arrastre	11 min (660 s) x 1" (25.4 mm) de espesor de pared (T)	
<i>Donde</i>	60-89	1.5			(mm)		<i>Donde</i>				
IFP=60 PSI	89-219	5					IFP=30 PSI				
	219-324	6									
	324-610	10									
	610-900	11									
	900-1625	14									
					0 – 5		4		0 – 5		4
					5 – 9		8		5 – 9		8
					9 – 14		10		9 – 14		10
			14 – 30	15	14 – 30	15					
			30 – 64	20	30 – 64	20					
			64 – 114	25	64 – 114	25					

ASTM-F-2620-PARAMETROS DE FUSION



Anexo 17: Prueba laboratorio

INFORME TÉCNICO Lb4 - 0212 - 2023	
ENSAYOS MECÁNICOS EN MUESTRAS DE TUBO DE HDPE TERMOFUSIONADO	
* SOLICITANTE : ELECTROCONS INGENIEROS S.A.- ELECTROINGSA	
* REFERENCIA : Orden de Laboratorio N° 108396	
* FECHA : Lima, 30 de marzo de 2023	
1. ANTECEDENTES	Se recibió de la empresa solicitante, dos (02) muestras de tubo de HDPE termofusionado, con la finalidad de realizar lo siguiente: * Ensayo de tracción * Ensayo de doblez interno. * Ensayo de doblez externo.
2. DE LA MUESTRA	Se identificó según la empresa solicitante, como: Dos (02) muestras de tubo de HDPE termofusionado, de características: * Técnico : FELIX VASQUEZ * D.N.I. : 42821923 * Diámetro : 36" * Espesor : 45.62 mm * SDR : 21 * Material : HDPE * Proceso : Fusión a Tope * PQR : * BPS : * Fabricante : Breyca SAC * Norma : ASTM * Fecha de termofusión : 24/03/23 * Probeta : 01 * Junta No : 01 * Máquina : PotHeimberger * Modelo : SHD1200-1 * Serie : 953201112072-4 * Proyecto : Reubicación de tubería - Cliente : MINBUR
3. EQUIPOS UTILIZADOS	* Máquina Universal de Ensayos mecánicos, marca LG, capacidad 60 Ton. * Vernier digital, marca MITUTOYO, aproximación 0,01 mm.
4. CONDICIONES DE ENSAYO	* T. : 21 °C * H.R. : 75 %

Anexo 18: Resultado laboratorio

Lb4 - 0212 - 2023

5.	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO	Norma de Procedimiento : ASME IX Norma de Ensayo : -					
RESULTADOS							
6.1 Ensayo de tracción							
Probeta	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Área (mm ²)	Fuerza Máxima kN (kgf)	Esfuerzo Máximo MPa (kg/mm ²)	Tipo	Observación
1	43.89	10.00	438.90	10.48 (1,068.66)	23.88 (2.43)	C	Rotura Dúctil Adyacente a la Interfaz de Fusión.
6.2 Ensayo de dobléz							
Probeta	Tipo					Observación	
2	Doblez interno.					Conforme	
3	Doblez externo.					Conforme	
* Código de autenticación : CCCXXIV (F LXX CDXLVI) CLXXV CCXII CADE JUÑO							

Ing. José R. Muñoz Estela
SUPERVISOR CIVIL
CIP 78356

Jefe del Laboratorio de Mecánica - Lab. Nº 4



Anexo 19. Acta de entrega de terreno

MINSUR		Delivery Record Acta de Entrega de Terreno		wood.	
Document code: / Código de documento: OTU-FMT-IC-06.01		Project Name: / Nombre del Proyecto: PROYECTOS DE SOSTENIMIENTO		Register N°: / N° de registro: NA	
		Contract Name: / Nombre del Contrato: EXPLANACION EN EL ACCESO 1 Y CRESTA DEL DIQUE B4 PARA CAMBIO DE TRAZO DE LA TUBERÍA DE 36" A LA COTA 4334"			
		Code / Contract N°: / Código / N° Contrato: OC 4600024031			
General Information / Información General:					
Contractor: / Contratista:		ELECTROCONS		Date: / Fecha: 12/03/2023	
Description / Descripción:					
Este reporte de aceptación aplica para los siguientes entregables:					
		<input type="checkbox"/> Dossier de Calidad			
		<input type="checkbox"/> Planos As Built			
		<input type="checkbox"/> Catálogos, Manuales de equipos			
		<input checked="" type="checkbox"/> Otros (Indicar)		ENTREGA DE TERRENO: PLATAFORMA DE DIQUE B4 A COTA 4334	
Information received / Información recibida:					
		<input type="checkbox"/> Documento Original		Cant. _____	
		<input type="checkbox"/> Copia del Original		Cant. _____	
		<input type="checkbox"/> Copia Digital		Cant. _____	
Detail of information / Detalle de la información:					
<p>El acta de entrega de terreno comprende para la construcción EXPLANACION EN EL ACCESO 1 Y CRESTA DEL DIQUE B4 PARA CAMBIO DE TRAZO DE LA TUBERÍA DE 36" A LA COTA 4334/784 - UIM SAN RAFAEL.</p> <p>El contratista declara haber recibido el terreno y las demás facilidades de acuerdo a la indicado en esta acta y de libre disponibilidad para el inicio de los trabajos, pudiendo iniciar siempre y cuando el Contratista cuente con la aprobaciones y permisos correspondientes establecidos en la unidad minera, sin perjuicio de considerarse. Luego de la inspección ocular y el recorrido del terreno donde se efectuarán los trabajos correspondientes el representante de la empresa ejecutora Ing. Raúl Alegre, recibe el terreno en entera satisfacción y plena conformidad. Siendo las 8.00 horas del día 12-03-23, se procede a firmar en señal de conformidad.</p>					
Final resolution / Resolución final:					
		<input checked="" type="checkbox"/> Aceptado			
		<input type="checkbox"/> Aceptado con comentarios			
		<input type="checkbox"/> Revisar y volver a entregar			
		<input type="checkbox"/> Otro (Indicar)			
Participante		Area /Cargo		Firma	
RAUL ALEGRE		Residente - ELECTROCONS ELECTROCONS			
NICHOLAS FERNANDEZ		Supervisor Senior Civil - Wood			



Anexo 20. Certificado de calibración del equipo de termofusión

Grupo Mediciones Perú S.A.C.

Soluciones Integrales en Equipos e Instrumentos de Medición

SERVICIO METROLOGICO

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 118-CLT-2023

Página 1 de 2

Fecha de Emisión : 2023-03-10

1. SOLICITANTE : **ENGINEERING GROUP
CONSTRUCCION & CALIDAD ND E.I.R.L.**

DIRECCIÓN : JR. PRIMAVERA NRO. 157 (MEDIA
CUADRA ESTADIO MARISCAL

2. EQUIPO DE TERMOFUSIÓN

MARCA : ROTHENBERGER

MODELO : SDH-1200-1

SERIE : 953201011972-2-1

PROCEDENCIA : China

Alcance : 160 °C a 280 °C

División : 1 °C

Tipo : DIGITAL

FECHA DE
CALIBRACIÓN : 2023-03-10

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

GRUPO MEDICIONES PERU S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

3. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

La calibración se efectuó por comparación directa con sensores de temperatura e indicador de temperatura.

4. LUGAR DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó en el laboratorio de GRUPO MEDICIONES PERU S.A.C



Orlando Naquiche E.
Servicio Metrológico

Este documento puede ser reproducido totalmente con autorización de GRUPO MEDICIONES PERU S.A.C.

Mantenimiento, Calibración, Certificación, Fabricación y Venta de Equipos e Instrumentos de Medición
Mz. Xx2 N°16 Parcela 10-1-Los Olivos - Lima-Perú-Central: (51-01)637 5944 / 637 5952 / Mov. 980295786 / Mov. 9965175
E-mail: ventas@grupomedicionesperu.com / medicionesperu@yahoo.es / Web: www.grupomedicionesperu.r



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Yony Cesar Onofre Cerezo
identificado con DNI 46731184 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería de Minas
informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

Instalación de tuberías de polietileno de alta densidad para el transporte de relleno en pasta para los tajeos de la Unidad Minera San Rafael - Minsur

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 12 de Julio del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Yony Cesar Onofre Cerezo
identificado con DNI 46731184 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
Ingeniería de Minas

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
" Instalación de tuberías de polietileno de alta densidad
para el transporte de relleno en pasta para los tajeros de la
Unidad Minera San Rafael - Minsur "

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 12 de Julio del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella