

DISEÑO DE AUTOMATIZACIÓN DE LA ALINEACIÓN Y NIVELACION DE RIELES DEL PROCESO DE SOLDADURA ALUMINOTÉRMICA EN LA VÍA FÉRREA DE LA EMPRESA CERREJÓN

Autores: Humberto de Jesús Ramos Ulloa – 21131626073, Richar Jiménez Coronado - 21131626756

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica.

Ingeniería Electromecánica

Universidad Antonio Nariño

Riohacha

hramos03@uan.edu.co – rjimenez62@uan.edu.co

Ing. Rafael Hurtado rafahurtado@uan.edu.co

RESUMEN: este proyecto tiene como objetivo general: diseñar la automatización de alineación y nivelación de rieles del proceso de soldadura aluminotérmica en la vía férrea de la empresa cerrejón. Este proceso es fundamental para continuar las operaciones de trenes después de haber quedado la línea con restricción de velocidad o fuera de servicio por rotura de un riel. Este proceso actualmente la empresa lo realiza de forma manual, es decir, utilizando unos martillos, cuñas y clavos. La anterior situación pone en riesgo al equipo de mantenimiento, provocando muchos desgastes físicos, exposición a un punto de pellizco en manos, dedos, falange, fracturas de manos, desmembramiento, aplastamiento entre la mona y la cuña etc. El realizar este paso de manera manual también está influyendo en el tiempo total que se lleva realizar el proceso completo soldadura aluminotérmica, impactando el trabajo en medio de la operación y las actividades entre trenes. Metodológicamente este proyecto se diseña en fases de acción para el cumplimiento de los objetivos específicos propuestos a través del enfoque cualitativo.

PALABRAS CLAVE: *Alineación, soldadura aluminotérmica, riel, vía férrea, ferrocarril.*

I. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

La utilidad del modelo de soldadura aluminotérmica, ha sido recomendada para la optimización del tiempo y riesgo con el empleo de herramientas funcionales durante el proceso.

1. Ferrocarril

Un ferrocarril, es un medio de transporte guiado unidireccionalmente sobre la vía a través del riel y las ruedas. Asimismo, la vía se constituye en: infraestructura, la cual es formada por la plataforma. Y la superestructura: constituida por el riel, los durmientes, las fijaciones y el balastro ver imagen 1[2].

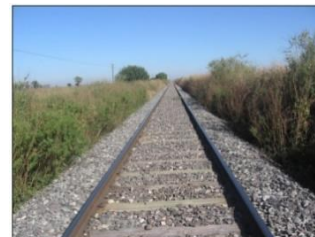


Imagen 1. Superestructura del Riel.

Fuente: [2]

2. Funciones de los componentes de la infraestructura de la vía [3].

- La plataforma debe estar bien compactada para soportar el impacto de la carga.
- La superestructura compuesta por riel, durmientes, fijaciones, balastro
- El plano de formación debe tener inclinación suficiente entre 3 a 4 cm por metro para facilitar el escurrimiento del agua de lluvia.
- El comportamiento de la plataforma no siempre está asegurado, pueden producirse

asentamientos y deformaciones que por lo general son causadas por mala calidad del suelo y compactación deficiente [3].

3. Riel

Los rieles son la parte fundamental de la vía férrea, y actúan como soporte, dispositivo de guiado. La característica técnica importante del ferrocarril es el contacto entre el riel y la rueda con pestañas, considerando sus cualidades en el material, forma y peso [4].

3.1. Fabricación y montaje

Para la fabricación del riel se hace por laminación del acero en bruto y se obtienen barras con el perfil requerido, que se cortan entamos. Luego, en el montaje se colocan las barras sobre los durmientes y se unen entre si mediante eclisa (bridas) y bulones, sujetándose al durmiente mediante algún sistema de fijación. También se ajusta a la trocha y se alinea y nivela el conjunto [5].

3.2. Partes del riel

El riel se divide en cabeza, alma y patín. En la Figura 2 se muestran las partes de un riel [6].

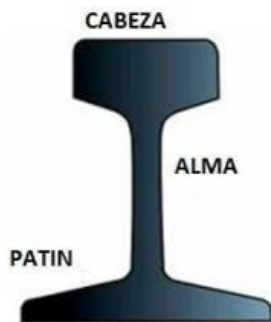


Figura 2. Partes del riel
Fuente:[6].

- Cabeza: parte superior, que se utiliza como elemento de rodadura.
- Patín: base, de anchura mayor que la cabeza, cuya superficie inferior es plana para su apoyo en la traviesa.
- Alma: Parte de pequeño espesor que une la cabeza con el patín.

3.3. Tipos de riel

- Riel ligero: el peso de este riel no excede de los 40 Kg por metro lineal. Se usa en líneas por

las que marchan trenes sin peso excesivo o que transportan cargas ligeras, y cuya velocidad no es alta [7].

- Riel pesado: Su peso oscila entre los 40 y 60 Kg por metro lineal. Se utilizan cuando aumentan las exigencias de velocidad, seguridad y carga máxima a transportar. Principalmente se emplea en ferrocarriles de mercancías o pasajeros y metropolitanos, así como líneas de alta velocidad [7].

4. Soldadura Aluminotérmica (TW)

La soldadura aluminotérmica se produce por la fusión creada por una reacción térmica que ocurre debido a la diferencia de energía libre entre el aluminio y el óxido de hierro. Esta discrepancia, produce suficiente calor para fundir el acero o cualquier otro metal o aleación sin la aplicación de otro tipo de energía. Los mecanismos para el proceso aluminotérmico son usados en polvos o gránulos. La primera reacción se inicia por una fuente de calor externa, el aluminio reduce el oxígeno del óxido de hierro, lo cual da como resultado en una solución fundida de óxido de aluminio. [8].

4.1. Soldadura aluminotérmica para uniones de rieles.

El proceso de soldeo aluminotérmico, tiene una reacción muy exotérmica entre los óxidos de hierro y el aluminio, al fundirse unen los bordes y forman la soldadura. [4].

5. Automatización

El significado de automatización hace referencia a los trabajos realizados por un operario humano y que en la Industria 4.0 pasan a ser automatizados y sustituidos por una máquina automática, un software informático o por un robot. El proceso de automatización implica mejorar los tiempos de ciclo, la productividad, la calidad del proceso y la competitividad de la empresa. Trabajar este último aspecto es de gran relevancia para las empresas. La globalización ha favorecido las importaciones y exportaciones de productos, convirtiendo el proceso de automatización en un elemento clave y

diferenciador para seguir siendo competitivo y eficiente respecto a tus competidores¹.

5.1. Objetivos y para qué sirve la automatización de los procesos

Se puede señalar que el principal objetivo de la automatización de los procesos de una empresa es lograr ser más eficientes mediante el aumento de la productividad. Todo ello se realiza a la vez que se mantiene o se mejora la calidad del producto.

6. Diseño asistido por computador (CAD) para el diseño industrial

A medida que las tecnologías mejoran y el software se vuelve más poderoso, también lo hacen las oportunidades para que los diseñadores creen productos, servicios y sistemas nuevos y emocionantes. La capacidad de crear prototipos, visualizar y compartir diseños mejora todo el ciclo de diseño, desde el análisis de datos hasta los diseños finales. El uso de CAD para simular las condiciones en las que se utilizará un producto le permite al diseñador obtener datos valiosos a bajo costo².

6.1. Tipos de software CAD

Algunos de los más importantes softwares son:

6.1.1. 2D

- Autodesk AutoCAD.
- Adobe lustrador.

6.1.2. 3D

- SolidWorks.
- Autodesk Inventor o Fusión.
- SketchUp.
- 3D Studio Max.

7. Manual Técnico de Normatividad Férrea colombiana

Por medio de la cual se adopta el Manual Técnico de Normatividad Férrea colombiana sobre factores de diseño, construcción, operación y control

ferroviario, mantenimiento, seguridad ferroviaria y otras recomendaciones

- Manual de normatividad férrea parte I

Este manual define la normativa ferre para Colombia considerando los aspectos técnicos de diseño, construcción, operación, control y seguridad.

- Manual de normatividad férrea parte II

Este manual define la normativa ferre para Colombia considerando los aspectos técnicos de mantenimiento y seguridad ferroviaria.

- Código UIC 860/0 o las normas AREMA

Antecedentes.

Para el 2015, Antony Arturo Riveros Becerra y Daniel André Luque García, en su trabajo de grado titulado “Estudio del control de calidad en uniones de rieles de grúa tipo a100 soldadas por proceso aluminotérmico con ensayos no destructivos de ultrasonido industrial y partículas magnéticas fluorescentes” [4] donde comprueba la certeza de la aplicación en campo de los métodos de ensayos no destructivos de Partículas Magnéticas Fluorescentes y Ultrasonido Industrial y su capacidad de detección de discontinuidades en este tipo de proceso de soldadura. También elaboró procedimientos específicos para la inspección de la soldadura aluminotérmica en rieles de grúa tipo A100, pudiéndose realizar nuevamente los ensayos basándonos en los procedimientos ya definidos.

Así mismo en el 2012, Edinson Santiago Tenelanda Quishpi y Milton Rodrigo Zúñiga Miranda, en su trabajo de grado titulado “comportamiento tribológico de las ruedas y rieles de los ferrocarriles sometidos a recargue por soldadura eléctrica en la empresa Ferrocarriles del Ecuador” [3] utilizó un método propuesto para la recuperación de ruedas, identificando el tipo de material con el cual están fabricados las ruedas, y rieles de los ferrocarriles. Así mismo determinó la dureza de la rueda y varilla.

En el 2018, Guillermo Montiel Varela, en su trabajo de grado titulado “Análisis experimental

1

<https://revistaderobots.com/industria/automatizacion-industrial/>

2 <https://ideasdi.com/recursos/disenio-asistido-por-computador/>.

del comportamiento del sistema ferroviario-vía por medio de señales dinámicas para monitoreo y detención de daño” [5], presenta un análisis experimental basado en la respuesta dinámica ante una excitación externa como medio para la obtención de las frecuencias naturales que fueron introducidas como indicativo para la condición estructural. El elemento estructural estudiado fue una sección de riel 115RE bajo dos análisis: en laboratorio y en campo (red ferroviaria mexicana), en ambos casos se presentó daño por desgaste del tipo artificial o natural. También se obtuvo un valor de desgaste homogéneo vinculando los efectos del daño con las tendencias y/o variaciones de las frecuencias naturales experimentadas con resultados numéricos.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Carrejón es una de las operaciones mineras de exportación de carbón a cielo abierto más grandes del mundo, un importante actor de la economía en Colombia y motor de La Guajira, región en la que concentra su actividad productiva. Integra la exploración, extracción, transporte, embarque y exportación de carbón de diversas calidades [11].

En la Guajira la infraestructura está constituida por una línea férrea de 150 km de longitud con especificaciones de trocha ancha o estándar de 1,44 m, que comunica la mina de Carrejón Zona Norte con la terminal portuaria conocida como Puerto Bolívar ubicada en Bahía Portete. El equipo empleado está conformado por 3 trenes, los cuales se desplazan a una velocidad de 70 km/h, cada uno con 3 locomotoras que mueven aproximadamente 100 vagones carboneros con una capacidad promedio de carga de 100 toneladas. Estos equipos operan 24 h/día [9].

Por su parte, el 60% del carbón minado en Carrejón es triturado y despachado en tren, y luego transportado a través de sistemas de cargue directo, que depositan el mineral directamente en las bodegas de los buques carboneros que zarpan a diferentes destinos [9]. El cerrejón para el proceso de mantenimiento de su vía férrea, específicamente cuando se requiere la unión o separación de rieles, que por algún motivo han sufrido separación o partidura afectando su compatibilidad, utiliza el proceso de soldadura aluminotérmica. La aluminotermia fue descubierta en 1893 y patentada en 1895 por un químico alemán, el doctor Hans Goldschmidt.

Consecuentemente, la reacción es llamada "reacción de Goldschmidt" o "proceso Goldschmidt". El doctor Goldschmidt estaba inicialmente interesado en producir metales muy puros evitando el uso de carbón en el proceso de fundición, pero pronto se percató de su utilidad en la soldadura. La primera aplicación comercial fue soldar tramos de vías ferroviarias en Essen, en 1899 [7].

Este proceso es fundamental para continuar las operaciones de trenes después de haber quedado la línea con restricción de velocidad o fuera de servicio por rotura de un riel. El proceso de soldadura aluminotérmica que utiliza la empresa Carrejón en el mantenimiento de la vía férrea se lleva a cabo en 7 pasos:

1. Verificar orden de trabajo
2. Alistamiento de herramientas exclusivas de la vía férrea
3. Remplazado del riel que posee la falla según la medida
4. Alinear los rieles en el hongo, Alma y patín
5. Instalación de los moldes
6. Antorcha de precalentamiento
7. Utilización de la Pulidora de vaivén

Es precisamente en el paso 4 donde se centra el estudio de este trabajo, este proceso actualmente la empresa lo realiza de forma manual como se muestra en la Figura 3, es decir, utilizando unos martillos, cuñas y clavos. La anterior situación pone en riesgo al equipo de mantenimiento, provocando muchos desgastes físicos, exposición a un punto de pellizco en manos, dedos, falange, fracturas de manos, desmembramiento, aplastamiento entre la mona y la cuña, etc. Realizar este paso de manera manual también influye en el tiempo total que lleva realizar el proceso completo, impactando el trabajo en medio de la operación y las actividades entre trenes.

Todo proceso es susceptible de ser mejorado. Sin embargo, es importante dar prioridad a aquellos que presentan tiempos de ejecución muy largos, costos elevados o que pueden permitir una diferenciación competitiva mediante el uso de la Tecnología Avanzada. Una de las herramientas tecnológicas básicas para el mejoramiento de los procesos es la automatización. Entre los principales beneficios de realizar proyectos que involucren la automatización se puede destacar que “la automatización constituye particularmente, uno de

los factores de aumento de la productividad y de mejora de la calidad”³. Adicionalmente, con la incorporación de la tecnología de automatización se disminuyen los errores en los diferentes procesos [1].

Hoy en día se cuenta con una variedad de softwares que ofrecen un abanico de soluciones para cubrir los aspectos implicados en el proceso de desarrollo del producto. Sus productos ofrecen la posibilidad de crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del diseño. Entre ellos se encuentra SOLIDWORKS, un software de diseño CAD 3D (diseño asistido por computadora) para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D⁴.

En Colombia existen deferente leyes y normas que rigen el sector ferroviario, enfocadas en factores técnicos de diseño, construcción, mantenimiento, operación, control y aspecto de seguridad. Así mismo se encuentran normas que aplican para el proceso de soldadura aluminotérmica. Es por ello que para este proyecto se tendrán en cuenta la legislación colombiana con respecto al transporte ferroviario, normativa técnica vigente colombiana, las disposiciones enmarcadas en el Manual de normatividad férrea parte I y II, así como el Código UIC 860/0 y las normas AREMA⁵.

Al respecto, con todo lo expuesto anteriormente se requiere plantear y desarrollar un diseño de automatización de la alineación y nivelación de rieles del proceso de soldadura aluminotérmica en la vía férrea de la empresa cerrejón.

Es así como se genera la interrogante de investigación sobre; ¿Qué alternativa de automatización se puede diseñar en la vía férrea de la empresa Cerrejón, con el fin de mejorar el tiempo y disminuir el riesgo en la alineación y nivelación de rieles del proceso de soldadura aluminotérmica?



Figura 3. Proceso de alineación de forma manual.
Fuente: Equipo de trabajo de grado.

III.JUSTIFICACIÓN

Entre todos los productos mineros colombianos, el carbón es el mineral de mayor volumen de exportación y, en consecuencia, es el que demanda la mayor actividad transportadora. Siendo la zona carbonífera de la Guajira una de las más conocidas y con mayor potencial de carbones térmicos tipo exportación. Actualmente el Cerrejón para la exportación del carbón, el mayor volumen que produce lo transporta por el modo férreo.

El tren se considera el transporte masivo de carbón más seguro. en realidad, esto es así, siempre que se mantengan ciertos estándares de calidad y un riguroso mantenimiento de vías y trenes [5].

Actualmente en la empresa Cerrejón el proceso aluminotérmico es utilizado en el mantenimiento de la vía férrea. Sin embargo, este proceso presenta una etapa fundamental conocida como alineación y nivelación de rieles. Esta etapa siempre está presente en el proceso, principalmente por las frecuentes situaciones que se presentan en los rieles, provocadas por: defectos de fábrica, efectos en el proceso de transporte, almacenamiento de rieles sobre rieles por mucho tiempo, la falta de un procedimiento que verifique que el riel está alineado o en su longitud, exceso de desgaste, defectos de fisuras externas e internas, soldaduras previas fallas en la soldadura que traen los rieles prefabricados, golpes de líneas o codo, etc. En la empresa esta etapa se realiza de manera manual, no se cuenta con un sistema que ayude a disminuir los riesgos y los tiempos asociados que conlleva la etapa.

³ GARCÍA, Emilio. Automatización de procesos industriales. México, Alfaomega Grupo Editor, 2002.p. 10.

⁴ <https://solid-bi.es/solidworks/>

⁵

<https://www.mintransporte.gov.co/documentos/209/proyecto-resolucion-manual-frreo-de-especificaciones-tcnicas/>

En el presente trabajo se pretende realizar una propuesta para la disminución de los tiempos y riesgos en la etapa de alineación de rieles durante los procesos de soldadura aluminotérmica en la vía férrea de la empresa Cerrejón.

IV. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Diseñar la automatización de alineación y nivelación de rieles del proceso de soldadura aluminotérmica en la vía férrea de la empresa cerrejón

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el procedimiento de alineación de rieles y nivelación del proceso de soldadura aluminotérmica en la vía férrea de la empresa Cerrejón.
- Diseñar y simular dinámicamente el sistema de automatización de alineación de rieles y nivelación del proceso de soldadura aluminotérmica de la empresa Cerrejón.
- Realizar el análisis comparativo del proceso manual versus el automatizado de alineación de rieles y nivelación del proceso de soldadura aluminotérmica en la vía férrea de la empresa Cerrejón.

V. ALCANCE

El alcance de este proyecto corresponde al Diseño de la automatización del proceso de soldadura aluminotérmica para la alineación de rieles en la vía férrea de la empresa Cerrejón

Una propuesta que busca disminuir los tiempos en el proceso de soldadura en la vía férrea, así como algunos riesgos asociados con: desgaste físico, exposición a un punto de pellizco en manos, dedos, falange, fracturas de manos, desmembramiento aplastamiento entre la mona y la cuña entre otros.

VI. METODOLOGIA

El proyecto se llevará a cabo en las fases y actividades descritas a continuación:

Fase # 1: Alineación de rieles y nivelación utilizados en el proceso de soldadura Aluminotérmica.

- Revisar las referencias bibliográficas relacionadas con el proceso de alineación y nivelación de rieles el proceso de soldadura Aluminotérmica.
- A través de las visitas de campo definir las etapas que están presente en el proceso de alineación y nivelación de rieles.
- Descripción del tipo de perfil, grado de acero, rango de dureza que utilizan los rieles en la vía férrea de la empresa Cerrejón.
- Determinar las propiedades mecánicas, tipos de defectos y zonas donde se producen los mismo en los rieles que se utilizan en la vía férrea de la empresa cerrejón.

Fase # 2 Diseñar y simular dinámicamente el sistema de automatización de alineación de rieles y nivelación del proceso de soldadura aluminotérmica de la empresa Cerrejón.

- Definir el procedimiento para la alineación de los rieles en la parte interna de la vía (lado trocha), donde el alineamiento debe tener continuidad (alinear los rieles en el hongo, alma y patín), considerando una holgura que debe quedar entre los extremos de los rieles a soldar $1'' + 1/16''$.
- Dimensionamiento y cálculos de resistencia de la estructura, la potencia eléctrica del motor elevador y el cálculo de fatiga, y regirse bajo las normas de izaje en Colombia (NTC 2880).
- Determinar las especificaciones del diseño con los componentes mecánicos, eléctricos e hidráulicos, etc.
- Diseño del sistema, estructura, simulación y planimetría a través de SOLIDWORKS, software CAD 3D (diseño asistido por computadora) y planos en 2D.

Fase # 3 Análisis comparativo del proceso manual versus el automatizado de alineación de rieles y nivelación del proceso de soldadura aluminotérmica en la vía férrea de la empresa Cerrejón.

- Realizar una matriz con cada uno de los elementos fundamentales que integran cada uno de los sistemas.

Realizar una matriz con cada uno de los elementos fundamentales que integran cada uno de los sistemas.																			
Definir algunos criterios de selección de cada uno de los sistemas.																			
Presentar un estimado de costo de cada uno de los sistemas, según sus elementos fundamelas.																			

IX. PRESUPUESTO

La consecución de los materiales, herramientas y software se llevarán a cabo bajo requerimientos del proyecto y los costos que se generen correrán por cuenta de los estudiantes. En la Tabla 2 se relacionan los costos estimados de materiales y mano de obra involucrada en el proyecto.

Tabla 2. Presupuesto estimado del proyecto.

PRESUPUESTO ESTIMADO					FUENTE DE FINANCIACION		
Gasto de Personal	Cant.	Unid.	Valor U.	Valor T.	Estudiante	Universidad Antonio Nariño	Entidad Externa
Investigación	1	UND	\$ 650.000,00	\$ 650.000,00	X		
Transporte	1	UND	\$ 50.000,00	\$ 50.000,00	X		
Papelería	1	UND	\$ 200.000,00	\$ 200.000,00	X		
Internet, Computador	1	UND	\$ 500.000,00	\$ 500.000,00	X		
Software SOLIDWORK	1	UND	-	-		X	
Asesoría directora de la UAN	1	UND	-	-		X	
TOTAL				\$ 1.400.000,00			

Fuente: Elaboración propia del equipo de trabajo.

X. BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. E. Diana Maria, "PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE VERIFICACIÓN Y DESPACHOS EN UNA EMPRESA PANIFICADORA.," Pontificia Universidad Javeriana, 2009.
- [2] Beer, F. Mecánica de Materiales. 4ta. ed. México: McGraw-Hill, 2010.
- [3] Franco, et al. Una introducción al ferrocarril. Elementos constituyentes de una superestructura. Universidad Politécnica de Valencia. España. (2016)
- [4] Malishev, N. Tecnología de los Metales. 12ed. Moscú: Mir. URSS. 2010. Pág.421
- [5] Sola, A. Elaboración de un manual para la selección y control de materiales. Ecuador: Escuela Politécnica Nacional. Marzo 2009.
- [6] N. C. A. NCA, S.A., "Manual Integral de Vías," p. 334, 2014, [Online]. Available: http://www.alaf.int.ar/publicaciones/MANUAL_INTEGRAL_DE_VIAS.pdf.
- [7] E. S. Tenelanda Quishpi and M. R. Zúñiga Miranda. Comportamiento Tribológico de las Ruedas y Rieles de los Ferrocarriles Sometidos a Recargue por Soldadura Eléctrica en la Empresa Ferrocarriles del Ecuador. Escuela Superior Politécnica de Chimborra, 2012.
- [8] Rivero, A. y Luque, D. Estudio del Control de Calidad en Uniones de Rieles de Grúa tipo A100 Soldadas por Proceso Aluminotérmico con Ensayos no Destructivos de Ultrasonido Industrial y Partículas Magnéticas Fluorescentes. Universidad Nacional de San Agustín, 2015.
- [9] Montiel, G. Análisis experimental del comportamiento del sistema ferroviario-vía por medio de señales dinámicas para monitoreo y detección de daño. 2018.
- [10] Aragón J. y A. F. Arévalo Cabrera. Análisis de Transporte y Embarque de Carbón en los Departamentos del Cesar, Guajira y Magdalena. 2019.
- [11] Rivera, J. Análisis del impacto medio ambiental de El Cerrejón a partir de sus informes GRI: 2005-2009. Pontificia Universidad Javeriana. Tesis de grado. 2011

Albania, Abril 06 de 2021

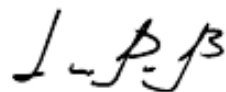
Señores,
Universidad Antonio Nariño.
Bogotá. D.C

Cordial saludo,

De la manera más atenta me permito certificar que el empleado Humberto De Jesús Ramos Ulloa, identificado con cédula de ciudadanía No. 84110203 de Albania (La Guajira), ha manifestado su interés en realizar la práctica universitaria relacionada con mejorar y automatizar la actividad de alineación y nivelación en el proceso de soldadura aluminotérmica en rieles de la vía férrea.

Para llevar a cabo esta actividad, ésta Superintendencia lo autoriza para obtener imágenes fotográficas de su interés, relacionadas con la actividad anteriormente mencionada, así como también hacer uso de la información técnica requerida relacionada con la soldadura aluminotérmica.

Atentamente,



LUCAS PAÚL BRITO DAZA
Superintendencia Ferrocarril