

Rápido Reforzamiento de Infraestructura Minera Stacker de mas de 30 Años de Uso Debido Amplificación de Carga

Guillermo Huaco PhD PE, Profesor ¹, Audry Camacho, Ing. ², and Cleiver Ayala, Ing. ³

¹Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, pccighua@upc.edu.pe

²HATCH, Peru, audry.camacho@hatch.com

³Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, cayalaf@uni.edu.pe

Resumen— Debido a operaciones mineras es necesario tener operativo las infraestructuras como maquinaria en todo momento para evitar pérdidas, por lo que para efectos de reforzamiento es necesario un procedimiento y metodologías adecuados de tal manera que se pueda reforzar los elementos metálicos comprometidos de forma rápida y eficiente. Se presenta una rampa Stacker para que siga operando especialmente después de un evento de peligro natural como un terremoto, tornados o variación de las cargas de gravedad además del incremento de carga de operaciones. Dicho Stacker mide 80m longitud, 15m altura con una inclinación de 15grados y un apoyo central a 38metros de la cabeza o parte superior dicho Stacker. Este tipo de estructura se considera esencial ya que debe ser seguro para los trabajadores durante el tiempo de operación y evitar posibles pérdidas económicas si esta instalación detiene sus operaciones después de cualquier evento sísmico principal. Se presenta la evaluación estructural de esta infraestructura y su reforzamiento. Esta infraestructura tiene 30 años de uso y está ubicada en Ayacucho Perú. Además, la capacidad de varios elementos de celosía y pórticos de acero se encontraron menores de las nuevas demandas de acuerdo con provisiones de diseño en acero estructural internacionales. Se presenta en este artículo los escenarios correspondientes para el incremento de carga y el diseño de reparación con un costo-beneficio adecuado, escenarios considerando el Stacker está en permanente operación y que perdidas altas se presentarían de no realizar el procedimiento constructivo de reforzamiento de forma rápida. Instalación de nuevos elementos metálicos como conexiones en tramos de la cabeza del Stacker fueron necesarios enfocando la rapidez del procedimiento de reforzamiento, a su vez de la verificación y justificación que los elementos de la rampa tendrán un ajuste pero adecuada respuesta estructural manteniendo la capacidad encima de la demanda definida por los usuarios en la mina y los ingenieros de operaciones.

Palabras Clave—Stacker, acero estructural, reforzamiento, evaluación estructural, infraestructura minera.

Abstract— Due to mining operations, it is necessary to have the infrastructures operating as machinery at all times to avoid losses, so for reinforcement purposes, an appropriate procedure and methodologies are necessary in such a way that the compromised metallic elements can be reinforced quickly and efficiently. A

Stacker ramp is featured to keep it operating especially after a natural hazard event such as an earthquake, tornadoes or variation of gravity loads in addition to increased operational load. The Stacker measures 80m long, 15m high with an inclination of 15 degrees and a central support 38 meters from the head or upper part of this infrastructure. This type of structure is considered essential since it must be safe for workers during operation time and avoid possible economic losses if this facility stops operations after any major seismic event. The structural evaluation of this infrastructure and its reinforcement are presented. This infrastructure has been in use for 30 years and is located in Ayacucho Peru. In addition, the capacity of various steel trusses and frames were found to be less than the new demands in accordance with international structural steel design provisions. In this article, the corresponding scenarios for the load increase and the repair design with an adequate cost-benefit are presented, scenarios considering the Stacker are in permanent operation and that high losses would occur if the reinforcement construction procedure was not carried out quickly. Installation of new metal elements such as connections in sections of the head of the Stacker were necessary focusing on the speed of the reinforcement procedure, in turn of the verification and justification that the elements of the ramp will have a tight but adequate structural response while maintaining the capacity above demand defined by users in the mine and operations engineers.

Keywords—Stacker, Structural Steel, Retrofit, structural assessment, mine infrastructure.

I. INTRODUCCIÓN

Fue requerido el reforzamiento de una infraestructura de soporte de la faja transportadora Stacker debido al incremento de carga de transporte, pero muy importante, debido a la necesidad de no parar operaciones, fue necesario plantear un tipo de reforzamiento cuyo procedimiento constructivo sea de pocas horas de ejecución. Por ello fue necesario realizar la evaluación estructural de dicha infraestructura para verificar su capacidad para soportar cargas puntuales referidas al cambio en la polea de cabeza tipo P2. Es conocido que facilidades industriales y mineras sufren deterioros por acción del tiempo debido a erosión como desgaste por fatiga [1].

Dicha instalacion se encuentra en el distrito de Cotabambas, departamento de Ayacucho en Perú, y comenzó a funcionar hace 30 años. El Stacker consta de estructuras

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.509>
ISBN: 978-958-52071-8-9 ISSN: 2414-6390

metálicas de celosía y porticos. Es una rampa de longitud mayor de 80 metros y altura mayor de 40 metros con un ángulo de inclinación de 15 grados. Además tiene un pedestal intermedio y diagonales de apoyo longitudinales. Los componentes estructurales de la faja a evaluar son la viga carrilera de polipasto de sección HM594x302 de acero Q235B (A36), y la estructura de soporte de faja transportadora (Stacker). Los perfiles metálicos son originales de fábricas en China.

Debido a estas circunstancias, el propietario de esta instalación encargó la evaluación sísmica estructural a la firma de ingeniería y consultoría HATCH para evaluar la capacidad de la estructura para las cargas actuales debido a la aplicación de nuevas cargas aumentadas.

II. DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

El sistema que se evaluará es la estructura de acero del Stacker. Esta consta de tres componentes: Stacker gallery, Stacker support y Stacker head tower, tal como se aprecia en la Figura 1 y Figura. 2.

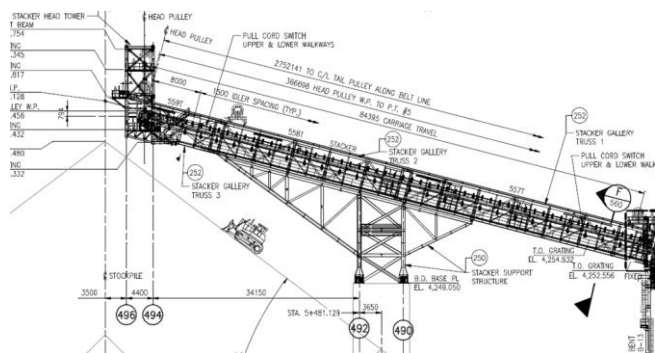


Figura. 1 Elevación del Stacker y sus componentes.

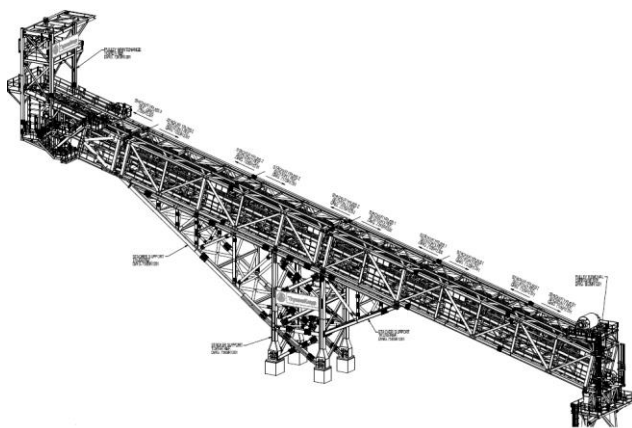


Figura. 2 Isométrico de toda la estructura del Stacker.

El acero estructural utilizado en todos los elementos estructurales existentes y los que se emplean en el refuerzo es del tipo A36. Los perfiles usados son de origen en China por

lo que sus dimensiones fueron obtenidos y luego calculado sus propiedades geométricas como mecánicas usando el AISC Construction Manual [2]

El Stacker gallery es el componente del Stacker por el que se extiende y circula la faja de carga y descarga; esta galería tiene tres cuerpos de armadura, a las que se le denomina Truss 1, 2 y 3. las armaduras de la galería del Stacker se encuentran con una pendiente cuya inclinación es 14.425°. Cada armadura consta de un esqueleto principal externo que provee rigidez estructural al sistema, y de un esqueleto secundario interno por cuyo entramado discurre la faja.

El Stacker support es la estructura que soporta y da estabilidad al sistema; es una torre de soporte y tiene 02 brazos, una que se extiende hacia el volado y ayuda a sostener la torre de cabeza, y la otra que se extiende hacia el inicio del Stacker y ayuda a sostener la galería.

El Stacker head tower es el componente donde culmina la faja de transporte y aloja a la polea de cabeza.

Dado que el escenario de análisis corresponde a maniobras de mantenimiento para el retiro de la polea de cabeza, una parte de las cargas están asociadas a estas maniobras. La carga muerta comprende las provenientes de elementos permanentes. Los cuales se detallan en Tabla 1.

TABLA I
CARGAS MUERTAS EMPLEADAS

Descripción	Código	Magnitud
Peso propio	D	7850 kgf/m ³ (automático)
Peso de polea estático	Pp	28.00 tonf
Peso de C frame	Pcf	13.54 tonf (6 x 2.257 tonf)
Peso de Winche existente	Pacab*	3,00 tonf
Peso de faja sobre polea	Pfp	5.94 tonf (con faja anclada)
Peso de carro más bastidor	Pcb	4.50 tonf (1.30 + 3.20)
Peso de pasarelas (piso incluido barandas), y elementos como guardas de protección.	Pacab*	75.00 kgf/m ² (Grating), 45.00 kgf/m ² (Grip Strut) y 15.00 kgf/m ² (Safety Guards)
Peso de cobertura de techo.	Pacab*	3.00 kgf/m ² (Roof Decking)
Peso de polines de carga	Pacab*	36.87 kgf/m
Peso de polines de descarga	Pacab*	21.33 kgf/m
Peso de los elementos de conexiones (cartelas, planchas y pernos)	D	15%D del peso de la estructura
Peso de Polipasto **	Ppolip	4.00 tonf
Peso del carro más bastidor de traslación **	Pcb	4.50 tonf (4 x 1.125 tonf)
Peso de polea **	Pp	28.00 tonf

* Pesos que tienen un tratamiento como D, en las combinaciones.

** Carga de elementos móviles, que se agrupan según cada caso.

Las cargas vivas, que son cargas provenientes de elementos móviles no permanentes o usuarios temporales. Los cuales se detallan en la Tabla 2

TABLA II
CARGAS VIVAS EMPLEADAS

Descripción	Código	Magnitud
Sobrecarga 1 (parte en volado)	L1	500 kgf/m ²
Sobrecarga 2 (parte de pasarela)	L2	500 kgf/m ²
Peso de Andamios	Pand	500 kgf/m ² (plataforma), 1.50 tonf (volado)
Fuerzas de tensión del tirfort	Ftir	10 tonf \angle -15° C/U,
Fuerzas de tensión de maniobras	Ftb	4 y 8 tonf \angle var ^o (anexo C)

Las cargas de impacto son referidas a cargas dinámicas súbitamente aplicadas. Para el caso de la viga monorriel del polipasto se considerando del factor de impacto para análisis local, con un valor de amplificación igual 20% para la componente vertical. Para el caso del carro de traslación no se consideró la carga de impacto porque se entiende que dicha carga (Peso de polea más el carro de traslación y más el bastidor) se realizará de manera lenta y controlada, por lo que no se producirá ninguna amplificación dinámica; pero sí se ha estimado una carga de frenado que es igual al 25% del peso en traslación que hace un total de 8.75 tonf, la cual se aplica directamente al winche y en la misma dirección del movimiento del carro de traslación . -15°.

Cargas adicionales como pasadizos y fuerzas sísmicas y de viento fueron calculadas usando provisiones de diseño peruanas E020 [3] y E030 [4]

III. ANÁLISIS Y VERIFICACIÓN

Para el cálculo estructural, se utilizó el programa SAP2000 como herramienta de cálculo. El modelo matemático en 3D del Stacker se ha representado los principales elementos estructurales que conforman y proveen estabilidad al sistema. Este modelo computacional se ha preparado utilizando las propiedades geométricas y mecánicas de los elementos, la distribución espacial, longitudes e interconexión entre los mismos. Estos datos se han obtenido de los planos y documentos provistos por los dueños del equipo y operadores de la mina. Además se utilizó las provisiones de diseño estructural en acero internacionales AISC 360 [5] y 341 [6]

Los 2 escenarios de carga que se modelaron y verificaron, han sido detallados por los usuarios del Stacker. El primero referido al caso de certificación y el segundo referido al caso de cambio de la polea de cabeza.

A. Escenario 1

Para certificación de Polipasto: Faja sin material, detenida, destensada. Considerando que el Polipasto carga un peso útil de 44t (110% de su capacidad) para la certificación, además del peso propio de polipasto que es de 4.00 t., que en total hacen un peso de 48 t. que está en la posición extrema de la viga carrilera; la polea de 28t en su posición de operación y la faja desconectada y sin material. La combinación de Servicio se muestra en “(1)”

$$S1 = D + L + Pp + Pc + Pfp + Pand + (Pcert+Pcf+Ppolip) \quad (1)$$

La carga que se encuentran entre paréntesis corresponde a la fuerza de izaje de 48 t. en la posición más extrema de la viga, a 1.2m del borde como se muestra a continuación en Figura 3.

La combinación de Resistencia consiste en la fuerza de izaje de 48 t. en la posición más extrema de la viga, a 1.2m del borde, se incrementó en 20% por la carga de impacto y luego esta a su vez se incrementó por la multiplicación del factor 1.6 a la carga viva, así como se ve en “(2)”.

$$R1 = 1.2D + 1.6L1 + 1.0L2 + 1.0Pc + 1.2[Pp + Pfp + Pand] + 1.6[1.2(Pcert + Pcf + Ppolip)] \quad (2)$$

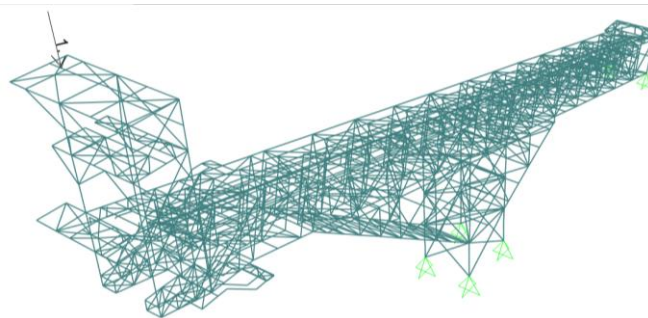


Figura. 3 Carga de certificación del polipasto.

La combinación R1 produce mayores demandas en la zona de la torre, superior a las otras combinaciones de carga incluyendo fuerzas laterales. Se verifico elementos a reforzar en la torre del Stacker. La Figura 4 muestra ratios demanda / capacidad en la zona del head tower. Como se observa en la Figura 4, se necesitaría reforzar 2 elementos en esta zona.

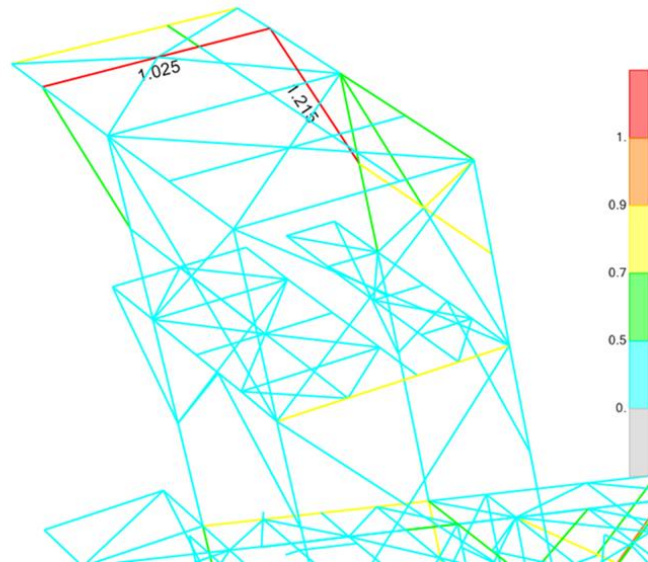


Figura. 4 Elementos que necesitan ser reforzados y su ratio demanda/capacidad excediendo la unidad

B. Escenario 2

Faja transportadora sin funcionar, sin energía, sin material, polea desconectada de faja, polea de cabeza de 28t desconectada de la estructura, polipasto y el C-frame sobre

viga monorriel, cargas de maniobra aplicadas en la estructura, las que corresponden al formado de la bolsa en la faja y las tensiones en el tirfort para el traslado de la polea y el carro.

$$S2 = D + L + F_{tb} + P_{and} + P_{cb} + (P_{Cf} + P_{polip} + P_p) \quad (3)$$

$$S3 = D + L + F_{tb} + F_{tir} + P_{and} + (P_{Cf} + P_{polip}) + (P_p + P_{cb}) \quad (4)$$

La combinación de S2, está analizando el caso en el que la polea se encuentra en el recorrido sobre la viga del polipasto, es por ello que la carga izada en este caso corresponde a los pesos agrupados de C-frame más el polipasto y la polea en movimiento, que hacen un total de 45.54 t., concentrados en el extremo más alejado del trolley.

Por otro lado, la combinación de S3, se analizó el caso en el que la polea se encuentra en el recorrido de traslación y sobre las rieles en la posición más baja; es por ello que las cargas están agrupados en dos grupos de paréntesis, el primer grupo concentra los pesos del C-frame más el polipasto sobre la viga monorriel, y el segundo grupo concentra los pesos de la polea de cabeza más el carro y bastidor sobre las rieles de traslación. Para las combinaciones de resistencia se tienen definidas en “(3)” y “(4)”. Es necesario indicar que la combinación R2 y R3 producen mayores demandas en la estructura según lo encontrado en el análisis estructural:

$$R2 = 1.2D + 1.6L1 + 1.2L2 + 1.2[F_{tb} + P_{and} + P_{cb}] + 1.2[P_{Cf} + P_{polip} + P_p] \quad (3)$$

$$R3 = 1.2D + 1.2L1 + 1.2L2 + 1.2[F_{tb} + F_{tir} + P_{and}] + 1.2[P_{Cf} + P_{polip}] + 1.2[P_p + P_{cb}] \quad (4)$$

En el caso del escenario 2 las tensiones en los tirfort solo se consideró para el segundo caso, donde el peso de la polea y el carro de traslación es llevado por los rieles. No se incluyó la tensión en el winche, ya que, según lo indicado por el cliente, solo se usaron los tirfort.

Entonces, se tomó la combinación con la carga de frenado para el escenario 2, pero esta carga de 8.75 t. sobre el winche resulta ser mucho menor que las dos tensiones en los tirfort de 10.00 t. cada uno, donde no se ve elemento a reforzar según muestra Figura 5.

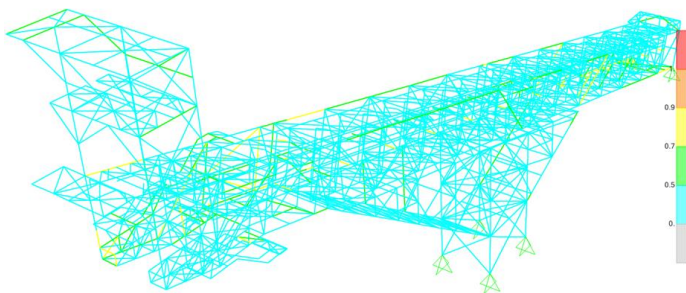


Figura. 5 Verificación de elementos a reforzar. La figura muestra ratios demanda / capacidad de todos los elementos. Como se aprecia, en esta condición no se necesita reforzar elementos.

IV. REFORZAMIENTO

Los 2 escenarios de carga que se modelarán y verificarán, han sido detallados por el cliente y se comparten en los Anexos B y C. El primero referido al caso de certificación y el segundo referido al caso de cambio de la polea de cabeza.

A. Refuerzo Viga del Polipasto: HW 394x405x18x18

Dado que se compromete la viga del polipasto, Figura 6, esta se refuerza con una plancha ASTM A36 en la ala superior, Figura 7. De esta manera su instalación es muy práctica y fácil, procurando cumplir los requerimientos de esta necesidad de reforzar el Stacker en corto tiempo o incluso en operaciones en su parte inferior rampa.

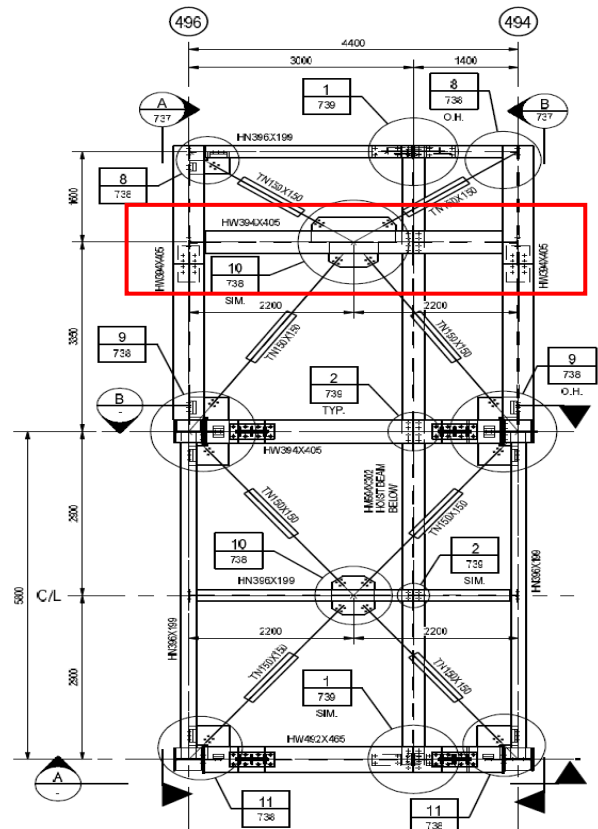


Figura. 6 Vista en planta de la viga a reforzar en plataforma de polipasto. Unidades mm

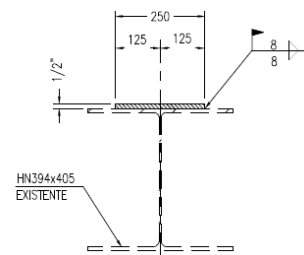


Figura 7. Esquema final de reforzamiento del elemento viga. Unidades mm

El criterio empleado para convertir una conexión de corte a conexión de corte y momento, principalmente se centra en asegurar la continuidad del módulo plástico Z_x , lo cual en este caso se realizó con planchas por sobre el ala superior y por debajo del ala inferior. Luego se verificó que esté sea capaz de soportar la máxima flexión en esta viga, usando la siguiente combinación de resistencia mostrado en "(5)": Dicha combinación se encontró que gobernaba el diseño distinto a las combinaciones que incluyen las cargas laterales de sismo o viento.

$$R4 = 1.2D + 1.6L1 + 1.0L2 + 1.0Pc + 1.2[Pp + Pfp + Pand] + 1.6PCf_{descanso} \quad (5)$$

Se muestra en la Figura 12 el refuerzo de la plataforma del descanso del C-frame. Se está considerando que las tensiones sobre las orejas corresponden al valor de su capacidad y en la dirección solicitada, por lo que estas tensiones deberán ser como máximo estos valores entregados, tanto para el alado del carro de translación, como la del alado de la faja para formar la bolsa. En la Figura 13 se observa el refuerzo en la conexión para la continuidad de las vigas reforzadas también.

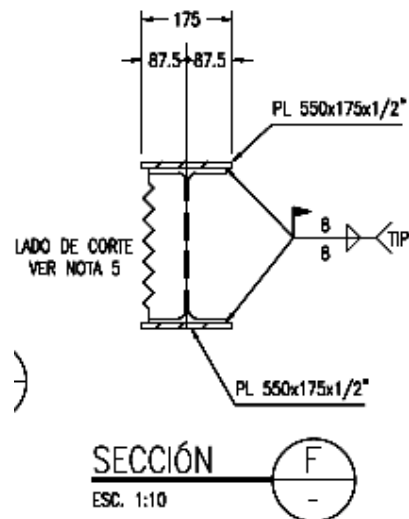
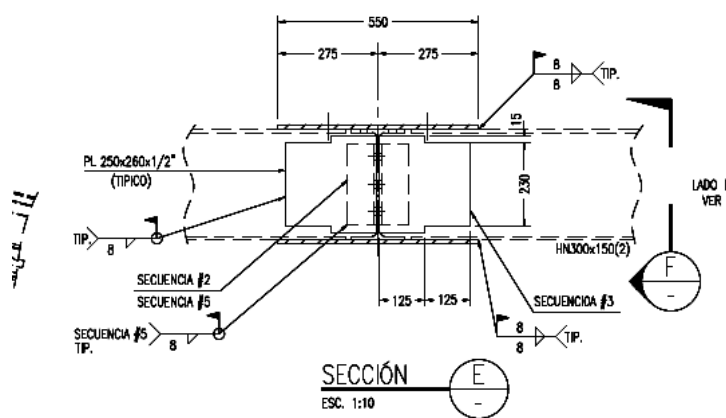


Figura 13 Vista en perfil (arriba) y de sección (abajo) de continuidad del reforzamiento de la conexión.

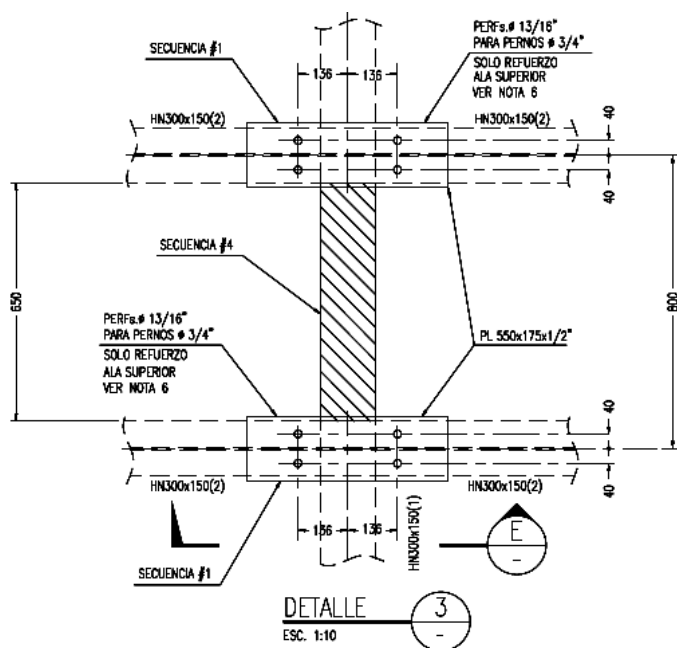


Figura 12 Vista en planta del esquema final de continuidad de conexión.

V CONCLUSIONES

Se presenta un caso de reforzamiento de infraestructura minera que es requerido un procedimiento rápido de construcción de dicho reforzamiento debido a las pérdidas económicas de no usarse este equipo.

El escenario 01 de carga concentra las cargas principalmente en la zona del extremo de la viga monorriel, cargas con las que se está solicitando mayor demanda sobre la viga monorriel y alrededores, es decir, en el Stacker head tower. Este escenario gobierna las verificaciones para la mayoría de los elementos.

Los resultados de esta verificación y los consecuentes reforzamientos son el resultado de la aplicación directa de las cargas según los dos escenarios solicitados. Los 2 escenarios que los responsables del Stacker solicita son obtenidos del Plan de maniobras para el cambio de polea.

En un eventual cambio en la ubicación o magnitud de las cargas provenientes de la maniobra de cambio de polea, se debe realizar un nuevo análisis de la estructura para las nuevas condiciones, lo mismo para posibles cambios de equipos mecánicos como: poleas, winches, polipasto, etc.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a las personas de HATCH por su apoyo en la logística del proyecto.

REFERENCIAS

- [1] Huaco Cardenas, G., Inga, W., & Camacho, A. (2019). Seismic structural assessment of a 40 years old melt shop facility. *TECNIA*, 29(2). Recuperado a partir de <http://www.revistas.uni.edu.pe/index.php/tecnica/article/view/722>
- [2] American Institute of Steel Construction, AISC Steel Construction Manual 14 th Edition.
- [3] Provisiones de Carga de Gravedad y Sismo en Peru. Norma Técnica de Estructuras, Diseño Sismoresistente NTE 020
- [4] Provision Sísmica Peruana, Norma Técnica de Estructuras, Diseño Sismoresistente NTE 030 – 2018
- [5] American Institute of Steel Construction, AISC 360-10 Specification for Structural Steel Buildings
- [6] American Institute of Steel Construction, AISC 341-10 Seismic Provisions for Structural Steel Buildings