

**Plan de evaluación y urgencia de
intervención a estructuras de
acero de soporte y pasarelas de
acceso en una Planta Productora
de Agregados aplicando la
metodología simplificada
mediante el Índice de Daño
Estructural**

Abstract

The objective of this project was to carry out an assessment of the support structures and access walkways (both of them made out of steel), of 13 conveyors of the secondary plant inside the main plant of aggregates located in Guápiles, following 2 factors: diagnosis and urgency of intervention.

The evaluation was divided into three stages, the first inspection where the characteristics of 2 models were collected: the original representing the ideal condition (starting point) and the one in the field; The other 2 phases focus on obtaining the Structural Damage Index (SDI), which combines the Corrosion Index (CI) and the Structural Index (SI), the first represents the diagnosis and the second represents the urgency of intervention

It was determined that corrosion is the main problem in the plant, being the aggressiveness of the environment and the accumulations of waste material, the main responsible agents. Access gateways with higher IC are HGU2.421-BT7, HGU2.421-BT8, HGU2.421-BT10-A and HGU2.421-BT10-B; While the conveyors with the highest IDE are HGU2.421-BT2 and HGU2.421-BT13.

Periodic cleaning of the plant is recommended to eliminate material residues, as well as the detailed evaluation of the plant, starting with the conveyors with the highest IDE.

Resumen

El objetivo de este proyecto fue realizar una evaluación de las estructuras de soporte y pasarelas de acceso, ambas en acero, de 13 transportadores de la planta secundaria de una planta productora de agregados ubicada en Guápiles, siguiendo 2 factores: diagnóstico y urgencia de intervención.

La evaluación se dividió en 3 fases, la primera de inspección donde se recolectaron las características de 2 modelos, el original que representa la condición ideal (punto de partida) y el de campo; las otras 2 fases se centran en obtener el Índice de Daño Estructural (IDE) que combina el Índice de Corrosión (IC) y el Índice Estructural (IE), el primero representa el diagnóstico y el segundo la urgencia de intervención.

Se determinó que la corrosión es el principal problema en la planta, siendo la agresividad del ambiente y las acumulaciones de material de residuo los principales agentes responsables las pasarelas con mayor IC son HGU2.421-BT7, HGU2.421-BT8, HGU2.421-BT10-A y HGU2.421-BT10-B; mientras que los conveyors con mayor IDE son HGU2.421-BT2 y HGU2.421-BT13.

Se recomienda realizar limpiezas periódicas de la planta para eliminar los residuos de materiales, también la evaluación detallada de la planta iniciando por las estructuras de soporte con mayor IDE.

Palabras clave: acero, estructuras, evaluación, diagnóstico, corrosión.

**Plan de evaluación y urgencia de
intervención a estructuras de
acero de soporte y pasarelas de
acceso en una Planta Productora
de Agregados aplicando la
metodología simplificada
mediante el Índice de Daño
Estructural**

Plan de evaluación y urgencia de intervención a estructuras de acero de soporte y pasarelas de acceso en una Planta Productora de Agregados aplicando la metodología simplificada mediante el Índice de Daño Estructural

MARIA ANASTASIA BADILLA UREÑA

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Septiembre del 2017
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Prefacio.....	1	Análisis de los resultados	47
Resumen ejecutivo	2	INFORME FASE 1	47
Introducción	4	INFORME FASE 2	49
Marco Teórico.....	6	INFORME FASE 3	50
ACERO EN LA CONSTRUCCIÓN.....	6	Conclusiones.....	53
VENTAJAS DEL ACERO	6	Recomendaciones	54
ALTA RESISTENCIA	6	Anexos	55
UNIFORMIDAD	6	ANEXO 1	56
ELASTICIDAD	6	ANEXO 2	57
DURABILIDAD.....	6	ANEXO 3	59
VERSATILIDAD	7	ANEXO 4	65
DESVENTAJAS DEL ACERO.....	7	ANEXO 5	66
CORROSIÓN	7	Referencias	75
COMPORTAMIENTO AL FUEGO.....	7		
PANDEO	7		
CORROSIÓN	7		
REVESTIMIENTO CON PINTURA.....	7		
PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE	8		
APLICACIÓN DEL REVESTIMIENTO	8		
COMPORTAMIENTO DE LOS ELEMENTOS.....	8		
FLEXIÓN	8		
COMPRESIÓN.....	8		
TENSIÓN.....	9		
CORTANTE	9		
EVALUACIÓN	9		
ÍNDICE DE DAÑO ESTRUCTURAL (IDE)	10		
Metodología.....	11		
FASE 1: INSPECCIÓN.....	11		
MODELO ORIGINAL	11		
MODELO DE CAMPO.....	11		
FASE 2: TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL	12		
CARGAS PERMANENTES.....	12		
CARGAS ACCIDENTALES.....	13		
CARGAS TEMPORALES	14		
FASE 3: IDE.....	15		
ÍNDICE DE CORROSIÓN.....	15		
ÍNDICE ESTRUCTURAL	17		
ÍNDICE DE DAÑO ESTRUCTURAL.....	17		
Resultados.....	19		
INFORME FASE 1	19		
INFORME FASE 2	28		
INFORME FASE 3	32		

Prefacio

Una Planta de Producción de Agregados está conformada a grandes rasgos por equipo mecánico especializado en la actividad (trituradores, cribas vibratorias, máquinas de lavado...), transportadores (rodillos, tambores, motores, cintas y cajas reductoras) además de las estructuras que soportan estos transportadores conocidas como conveyors y las pasarelas de acceso. Si hablamos de evaluación de equipo mecánico especializado y transportadores el ingeniero en construcción no es el profesional adecuado, por el contrario, si se trata de los conveyors y pasarelas el ingeniero en construcción es el indicado para realizar la evaluación, por lo tanto, el plan se hizo con las pasarelas y conveyors como objetos de estudio.

La planta está ubicada en Guápiles, fue instalada en el año 2001 aproximadamente y desde entonces se encuentra en constante operación, en esos 16 años no se les ha aplicado una evaluación real a las pasarelas ni a los conveyors. El material predominante en la planta es el acero, el cual como material estructural posee importantes ventajas, por mencionar algunas de ellas: alta resistencia, elasticidad, tenacidad y durabilidad; esta última es tal que se puede decir que con el mantenimiento adecuado las estructuras de acero durarán indefinidamente. Como todo material también tiene desventajas, entre ellas están: corrosión, susceptibilidad al pandeo, fatiga, fractura frágil... factores que con un plan de evaluación e intervención de estructuras se pueden mantener controlados.

Con respecto a la actividad de la planta propiamente la materia prima se extrae de un río por lo que el contacto con lodos es inevitable y como consecuencia a esto se tienen superficies húmedas que generan corrosión en el acero, continuando con la materia prima esta al ser roca cuando entrar en contacto con la estructura puede generar abolladuras y deformaciones no deseadas.

Con estos antecedentes se puede observar que la necesidad radica en que no se tiene cuantificado el daño que presenta las estructuras de soporte y pasarelas, por lo que se propone un plan de evaluación e intervención de estas estructuras, el cual parte de la comparación entre la situación actual y la óptima o de diseño (evaluación) para terminar indicando de acuerdo a la criticidad de los daños como intervenir la estructura (intervención).

Este plan responde a uno de los objetivos de la ingeniería, potencializar la eficiencia y seguridad de las estructuras mediante la evaluación de estructuras.

Agradezco primero que todo a Dios creador y señor de todas las cosas, después a mis papás Miguel Badilla Ureña y Lidia Ureña Mata quienes con mucho esfuerzo me dieron las herramientas para llegar hasta donde estoy, a mis hermanos Lucas Badilla y Maria Ester Badilla ambos apoyándome desde siempre y para siempre, al TEC mi segunda casa por casi 6 años de mi vida donde conocí grandes personas entre ellas quiero mencionar a 3 quienes fueron mis compañeros de batalla Katherine Rodriguez, Roberto Salazar y Michael Soto; y por último al equipo de Volley del TEC mi escape los lunes por la noche y miércoles al medio día, gracias por tanto.

Resumen ejecutivo

La evaluación de estructuras se trata de diagnosticar el estado real de una estructura, pero no queda solo en el diagnóstico, sino que incluye el factor de urgencia de intervención que lo que busca es conocer que tan pronto se debe atacar determinado problema o daño encontrado. En este proyecto se aplicó una evaluación a 13 transportadores que conforman la plata secundaria de una planta productora de agregados, se evaluaron lo que fueron pasarelas de acceso y conveyors de cada uno de ellos.

La planta en la que se trabajó se encuentra ubicada en Guápiles, se dedica a la producción de agregados para abastecer el sector construcción. La materia prima la toman de un río, a grandes rasgos el proceso de la planta consiste en tomar esa roca sólida extraída pasarla por trituradores y cribas que generan disminuciones en la granulometría hasta obtener el material con el tamaño deseado según la demanda en el mercado o el pedido del cliente.

La metodología aplicada está basada en el Método Simplificado de Manual de Evaluación de Estructuras afectadas por corrosión creado por GEOCISA empresa que se dedica entre otras cosas a la restauración de estructuras. Esta metodología consistió en 3 fases: inspección, tipología de la estructura y Índice de Daño Estructural. La primera fase consistió en generar 2 modelos: el original y el de campo, el original se obtuvo con ayuda de los técnicos de taller y se consideró como la condición ideal tanto de las pasarelas como de los conveyor de manera que este modelo original se tomó como punto de partida y de comparación; por otro lado, el modelo de campo resultó de un levantamiento detallado de cada una de las estructuras de interés tanto a nivel cuantitativo como cualitativo, además este segundo tipo de modelo incluye las condiciones

del entorno. La segunda etapa buscaba conocer y entender mejor el comportamiento de la estructura desde el punto de vista de transmisión de cargas y grado de importancia de los elementos si de carga soportante se habla. Por último, en la fase 3 de la metodología se calculó un Índice de Daño Estructural (IDE) que tomando en cuenta un índice de corrosión (IC) más un índice estructural (IE) logra incluir la parte de diagnóstico con el IC y la de urgencia de intervención con el IE. El IDE entre mayor sea su valor implica mayor daño por corrosión y más urgencia de intervención.

El IC se obtuvo tomando en cuenta el grado de corrosión (GC) del acero junto con la agresividad ambiental (AA) a la que está expuesta la estructura, El IE se determinó tomando en cuenta 3 factores de cada elemento, longitud no arriestrada (L), grado de importancia (I) y deformaciones encontradas (D).

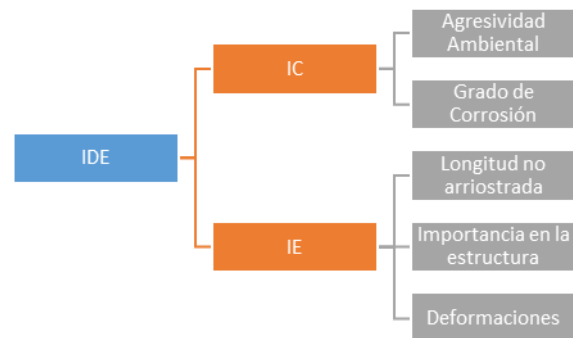


Figura 1. Diagrama de Índice de Daño Estructural y factores que intervienen.

Analizando los resultados se determinó que 4 de las pasarelas de acceso (HGU2.421-BT2, HGU2.421-BT3, HGU2.421-BT6 y HGU2-421-

BT8) tienen faltante de piezas, no poseen los angulares transversales que soportan la lámina de piso, lo que explica las deformaciones en la misma de magnitud significativa. Con respecto a los conveyors los datos reflejaron que los transportadores HGU2.421-BT8, HGU2.421-BT10-A, HGU2-421-BT10-B y HGU2.421-BT13 difieren del modelo original en la altura, generando una distribución totalmente diferente a la del modelo original y curiosamente estos 4 conveyors han necesitado de intervenciones mayores. El IDE mayor lo presentaron los conveyors HGU2.421-BT2 y HGU2.421-BT13 mientras que las pasarelas con mayor IC fueron la HGU2.421-BT7, HGU2.421-BT8, HGU2.421-BT10-A y HGU2-421-BT10-B.

Se dice que la corrosión resulta de la combinación entre el oxígeno del aire y la humedad del ambiente y esta representa uno de las principales desventajas de las estructuras de acero, si se piensa en la zona en la que tiene lugar esta planta se está en presencia de una humedad en el ambiente alta, entre 85 -88% según registros del Instituto Meteorológica Nacional, es por esta razón que el principal problema encontrado fue precisamente la corrosión. Además, en la planta por su actividad y vibración de los equipos se da la pérdida de material, depositándose en las pasarelas y conveyors generando una película que genera humedad y por ende también provoca que la corrosión se da con mayor facilidad.

En este proyecto la inspección de campo fue únicamente de tipo visual, no se aplicaron pruebas ni ensayos que respalden la información, por lo que el error humano está presente en la percepción del grado de corrosión de un transportador a otro, aunque se trató de que la escala fuera lo más clara posible con indicadores reales de diferenciación de un grado a otro, ahora también existe el tema de que son grados de corrosión asignados a cada tipo de elemento, de manera que la generalización es inevitable. También es importante mencionar que la metodología aplicada es un punto de partida, esta muestra alertas de deterioro de manera que facilite la toma de decisiones en cuanto a intervención se refiere.

Entre las principales recomendaciones se hace hincapié en la limpieza periódica de la planta en general logrando disminuir los depósitos de materiales, también se sugiere una posterior evaluación detallada de la planta empezado por los transportadores con mayor IDE. Por otro lado,

se propone analizar la idea de implementar cubiertas en los transportadores que minimicen la salida de material durante el proceso.

Introducción

La evaluación consiste en diagnosticar al mismo tiempo que se determina la urgencia de intervención, en estructuras es utilizada como mecanismo de detección de daños y causas que los provocan para así tener parámetros e información suficiente para la toma de decisiones.

La Planta Productora de Agregados en la que se trabajó se encuentra ubicada en Guápiles en la provincia de Limón, esta planta tiene como objetivo proveer material de alta calidad para la fabricación de concretos de diferentes resistencias, hidráulicos y asfálticos además de la utilización de agregados como sub-bases y bases en carreteras abasteciendo el sector de la construcción. Dentro del catálogo de productos se tiene piedra triturada, grava y arena.

La materia prima que abastece toda la planta es tomada de río por medio de vagoneta y back hoe, el proceso de la planta a grandes rasgos consiste en tomar esa roca solida tomada del río realizarle procesos de trituración, cribado y lavado de manera que se logran diferentes granulometrías según sea la necesidad del mercado.

La planta se divide en 2 plantas, la primaria y la secundaria.

Detallando un poco más el proceso de producción y la distribución de la planta, el proceso inicia en la planta primaria, la materia prima extraída es colocada por las vagonetas en una tolva de alimentación que se encuentra en el inicio de la planta primaria, esta tolva se encarga de alimentar como su nombre lo dice el triturador primario el cual inicia la disminución de tamaño de la roca sólida. Luego por medio de transportadores se direcciona el material a 2 cribas vibratorias que no son más que tamices que por medio de vibración separan el agregado según el tamaño que se quiere. De esta primera planta se obtienen 3 productos: arena natural, piedra gavión y material depositado en la pila pulmón, siendo esta

pila el material que alimenta siguiente parte del proceso, la planta secundaria.

La planta primaria cuenta con una tolva de alimentación, 2 cribas vibratorias, un tornillo y 5 transportadores que en total sumas 300.7 metros.

Por otro lado la planta secundaria es más extensa, cuenta con 546.7 metros divididos en 13 transportadores individuales de diferentes longitudes, estos van enlazando el equipo industrial: 2 conos de trituración, un triturador de impacto, 2 cribas vibratorias y 2 acuamotor.

El proceso inicia con la pila pulmón de ahí se toma el material y este es direccionado por transportadores al primer cono de trituración que se encarga de disminuir aún más el tamaño del material, luego pasa por una criba vibratoria que separa mandando la porción que cumple con el tamaño que se quiere al triturador de impacto y la otra la direcciona hacia un segundo cono de trituración que repite el proceso. Una vez se logra todo el material pase al triturador de impacto se pasa a una segunda criba vibratoria que separa el producto final, en este punto final de la producción se tienen los acuamotors que son máquinas de lavado que logran eliminar lo que son limos y arcillas logrando entregar al cliente un producto libre de impurezas. De este segundo proceso, planta secundaria, se obtiene piedra cuartilla y quintilla además de la arena industrial.

En esta planta el material predominante es el acero, el cual como material estructural posee importantes ventajas, por mencionar algunas de ellas: alta resistencia, elasticidad, tenacidad y durabilidad; esta última es tal que se puede decir que con el mantenimiento adecuado las estructuras de acero durarán indefinidamente.

Como todo material también tiene desventajas, entre ellas están: corrosión, susceptibilidad al pandeo, fatiga, fractura frágil... factores que con un plan de evaluación e

intervención de estructuras se pueden mantener controlados. Esta planta fue instalada en el año 2001 y desde entonces se ha mantenido en constante operación y no se le ha realizado una evaluación del estado de las estructuras de acero de la misma, es por esta razón que se hace necesario un plan de evaluación que permita cuantificar el daño existente y así tomar decisiones con respecto a la intervención que necesita la planta.

Como objetivo general del proyecto se planteó la elaboración de un plan de evaluación e intervención oportuna de las estructuras de soporte (conveyors) y pasarelas para la Planta Secundaria de una Planta de Producción de Agregados ubicada en Guápiles; de este se generaron 5 objetivos específicos:

1. Realizar un levantamiento de las estructuras existentes ubicando daños y fallas que se presentan en éstas por medio de inspección de campo.
2. Definir las escalas de evaluación de la criticidad y urgencia de intervención de las estructuras.
3. Aplicar las escalas de criticidad de daños y urgencia de intervención de las estructuras de soporte y pasarelas existentes.

4. Desarrollar un plan de evaluación e intervención de las estructuras de soporte y pasarelas.

Una vez realizado el levantamiento de los datos de campo se supo que el principal problema a reflejar y tratar era la corrosión, por lo cual se planteó una metodología basada en la determinación de un Índice de Daño Estructural (IDE) que combina los 2 factores que toda evaluación debe tener, diagnóstico con el índice de corrosión (IC) que evalúa, mediante la asignación de un grado de corrosión, el estado real de los elementos, IC también toma en cuenta la agresividad ambiental. El otro factor de las evaluaciones, urgencia de intervención, se ve reflejado mediante el índice estructural el cual tomando en cuenta la longitud no arriestrada, importancia en cuanto a capacidad soportante y deformaciones encontradas en los elementos determina cual elemento es el más importante dentro de la estructura; el IDE resulta de la combinación del IC y el IE. Dentro de la metodología también se incluyeron acciones que incluyen dentro del plan de evaluación los demás factores y daños encontrados.

Marco Teórico

“El acero se define como una combinación de hierro y pequeñas cantidades de carbono, generalmente menos del 1%. También contiene pequeños porcentajes de algunos otros elementos.”¹

Acero en la construcción

“El acero y su supuesta perfección hacen de este metal, tal vez el más versátil de todos los materiales estructurales, parece más razonable cuando se considera su gran resistencia, poco peso, facilidad de fabricación...”²

“El acero es el meta más importante utilizado para fines estructurales porque combina una alta resistencia, tanto en compresión como en tensión, con gran rigidez (módulo de elasticidad elevado), y facilidad de fabricación, con un precio relativamente bajo. El acero es un material dúctil por naturaleza, que tiene, además un comportamiento estable bajo inversiones de carga y tiene una relación resistencia/peso favorable.”³

Como se observa en las definiciones anteriores el acero es un material con propiedades que lo hacen un excelente para la construcción, describiendo algunas de sus propiedades más importantes.

Ventajas del acero

Alta Resistencia

Este material tiene un comportamiento muy favorable para la construcción porque posee una alta resistencia por unidad de peso, lo que logra que se tengan estructuras con gran resistencia y a la vez livianas (relación resistencia/peso).

Uniformidad

El acero logra mantener sus propiedades a lo largo del tiempo sin que estas cambien de manera significativa.

Elasticidad

Es un material que se comporta de manera similar a la teoría, lo que significa que los momentos en las estructuras pueden ser calculados de una manera más exacta a diferencia de otros materiales.

Durabilidad

Las estructuras de acero se piensan con una vida útil indefinida, siempre y cuando se les del mantenimiento adecuado en el momento adecuado.

¹ Diseño de Estructuras de Acero, pág. 5.

² Diseño de Estructuras de Acero, pág.1.

³ Manual de Diseño para la construcción de Acero, pág.13.

Versatilidad

El acero como material estructural posee ventajas como: facilidad de unión entre los elementos por medio de conexiones simples, posibilidad de prefabricar elementos, rapidez de montaje, capacidad de crear diferentes tipos de secciones y algo importante es que cuando excede su vida útil se puede vender como chatarra.

Desventajas del acero

Corrosión

Por sus propiedades químicas la mayoría de los metales son susceptibles a la acción de la corrosión, sin embargo, existen métodos efectivos que logran mantener controlado este problema.

Comportamiento al fuego

El acero expuesto a altas temperaturas pierde sus propiedades mecánicas significativamente lo que se traduce en catástrofes. Además de que el acero es un excelente conductor de calor por lo que en caso de incendio de estructuras puede transmitir el calor y generar un incendio en estructuras aledañas.

Pandeo

Cuanto más largos y esbeltos sean los miembros a compresión es mayor el riesgo a sufrir pandeo en los elementos, normalmente se necesitan elementos que rigidicen para controlar el pandeo.

Las definiciones anteriores fueron tomadas del libro Diseño de Estructuras de Acero.

⁴ Análisis del fenómeno de corrosión en materiales de uso técnico: Metales, pág.4.

⁵ Análisis del fenómeno de corrosión en metales de uso técnico: Metales, pág. 13.

Corrosión

“Se define corrosión, en general, como la destrucción lenta y progresiva de un metal por la acción de un agente exterior”.⁴

“Cuando la corrosión se tiene como un problema real se despliegan una serie de posibles fallas por fatiga en elementos que se sometan a esfuerzos cíclicos y a ambientes corrosivos ya que la resistencia del acero se ve reducida”.⁵

Si bien es cierto en el sector construcción el acero es bastante utilizado, no solo como refuerzo en los elementos de concreto, sino que también se utiliza el acero como material estructural, generando estructuras completamente de acero que se exponen a la intemperie de manera permanente como es el caso de la Planta de Producción de Agregados en cuestión. Se dice que la corrosión se da en la mayoría de los casos por la acción de la atmosfera que combina el oxígeno del aire con la humedad del ambiente generando lo que se conoce como corrosión atmosférica. Existen diferentes tipos de corrosión, sin embargo, se dice que esta se produce por 2 clases de acciones fundamentales: acción electroquímica o acción exclusivamente química.⁶

Pero es importante también recalcar que la corrosión es un problema que se puede prevenir y hasta cierto punto combatir en las primeras etapas de su ataque en el metal. Según un proyecto encontrado “Corrosión de estructuras de acero” de Access Steel se hace referencia a métodos para tratar el tema de la corrosión.

Revestimiento con Pintura

La utilización de pintura como recubrimiento en el acero es uno de los recubrimientos más utilizados y de mejor resultado, además de que es de fácil aplicación. Para garantizar una buena protección al acero por medio de este tipo de recubrimiento se deben tener algunas consideraciones básicas.

⁶ Análisis de fenómeno de corrosión en materiales de uso técnico: Metales, pág.7.

Preparación de la superficie

Si bien es cierto esto no es un método de prevención por si solo es una técnica que se tiene que tomar en cuenta para lograr una adherencia efectiva entre la superficie de acero y los sistemas de revestimiento. Consiste en eliminar todo tipo de impurezas llámese residuos de aceite, grasa, marcas de tinta con disolvente orgánicos, emulsiones desengrasantes o equivalentes; también se trata de que si la superficie esta con indicios de corrosión se debe eliminar para poder asegurar una acción adecuada del recubrimiento a colocar, en este segundo caso la limpieza puede ser de forma manual con cepillos de acero, cinceles o también se puede realizar una limpieza de tipo mecanizada que va a depender del grado de corrosión que se presente, se pueden mencionar: chorro abrasivo, limpieza por llama, chorro abrasivo húmedo.

Aunque parezca algo lógico no siempre se realiza una adecuada preparación de la superficie.

Aplicación del revestimiento

Se deben tener las siguientes consideraciones:

- Limpieza y preparación de la superficie.
- Selección de los materiales de recubrimiento, es decir seleccionar una pintura que sea anticorrosiva.
- Límites superior e inferior para el espesor de la película.
- Condiciones ambientales durante la aplicación.
- Condiciones de exposición previstas, vida útil y costo.

Con respecto a la aplicación propiamente se tiene que tener en cuenta:

- Temperatura: se recomienda de por lo menos 3°C por encima del punto de condensación, para evitar porosidades y formación de burbujas.
- Humedad en el ambiente: no debe aplicarse bajo lluvia, viento o neblina.
- Deterioro: las superficies de acero que presentan deterioro en la pintura deben prepararse nuevamente y aplicar pintura.
- Continuidad: cada capa debe ser continua, sin porosidad y con espesor uniforme.

También es importante seguir las recomendaciones del fabricante.

Comportamiento de los elementos

Todo elemento dentro de una estructura tiene un porque y una función, cuando se trata de funciones meramente estructurales se pueden diferenciar 4 tipos de comportamientos básicos a los cuales se ven sometidos los elementos: flexión, compresión, tensión y cortante. Cada uno de esos comportamientos tiene características y maneras de trabajarlos diferentes, se explican a continuación.

Las descripciones de los comportamientos se basan en el libro Diseño de Estructuras de Acero en su 5ta edición.

Flexión

Se dice que un elemento está sometido a flexión si debido a la aplicación de una fuerza este presenta una deformación en una dirección perpendicular a su eje longitudinal, en este caso se dice que se tiene un elemento sometido a flexión simétrica; si la flexión ocurre en cualquiera de los otros ejes se dice que se está en presencia de flexión asimétrica.

Este tipo de comportamiento es común en vigas, entre mayor es la longitud no arriostrada de los elementos, distancia libre sin apoyos en ella, el momento flector es mayor ya que el brazo palanca de mismo es igualmente mayor y estos son proporcionales.

Compresión

Los miembros a compresión son elementos estructurales prismáticos, sometidos a esfuerzos de compresión axial producidos por fuerzas que actúan a lo largo de sus ejes centroidales. Existen varios tipos de miembros que trabajan a compresión, el más común entre ellos es la

columna, entre los demás tipos se pueden mencionar cuerdas superiores de armaduras y elementos de arriostramiento.

La principal falla de elementos de acero sometidos a esfuerzos por compresión es la falla por pandeo, el pandeo es una deformación lateral alrededor de los 2 ejes principales y centroidales, suele ser más crítico si se da en el eje de menor resistencia del elemento.

Tensión

Un miembro en tensión a diferencia de los que se encuentran en compresión, las cargas que actúan tratan de mantenerlo recto, no existen deflexiones laterales fuera del plano donde se aplica la carga.

El área de los elementos en tensión es un parámetro de diseño importante por lo que la presencia de agujeros en ella reduce la resistencia de los elementos, mientras que en los elementos a compresión la presencia de agujeros no es de trascendental importancia.

Cortante

El esfuerzo por cortante se presenta de manera perpendicular a la superficie provocando fisuras en los elementos, un ejemplo claro de una fuerza que provoca esfuerzos cortantes en los elementos es el cortante basal generado por el sismo.

Cada uno de los comportamientos responden a una metodología de diseño diferente con parámetros y ecuaciones diferentes que no viene al caso especificar. En forma general, el análisis se puede trabajar con la metodología LRFD (Load and Resistance Factor Design) o la ASD (Allowable Strength Design), el primero de ellos trabaja, como su nombre lo dice, con factores de carga y resistencia, mientras que el ASD trabaja con esfuerzos permisibles. El más utilizado es el LRFD.

En una estructura las cargas se dan de manera simultánea por lo que estos comportamientos se combinan en un solo elemento, entonces dentro de una estructura se tienen elementos ya sea en flexo-compresión o flexo-tensión y se trabajan con ecuaciones de

iteración que combinan los esfuerzos según sea el caso.

Evaluación

Evaluación se define según el diccionario como la acción y resultado de atribuir un valor o importancia determinada a una cosa.⁷

Como se puede observar según su definición el objetivo principal de una evaluación es emitir un juicio tomando en cuenta criterios, normas, valores, importancia asignada o el significado de algo. Un proceso de evaluación puede ser aplicado en diferentes campos como la educación o salud, aunque también puede ser aplicado a campo de la industria que es ahí donde interesa el concepto para efectos de este proyecto.

Cuando se evalúa una estructura se toman en cuenta 2 partes, por un lado, se evalúa el estado actual, es decir se hace un diagnóstico de la estructura determinando cual es el estado real de la estructura evaluando las variables de criticidad del daño encontrado; mientras que en la otra parte del proceso se trabaja con la urgencia de intervención, es decir se toman decisiones de cómo intervenir la estructura para mitigar los daños encontrados.

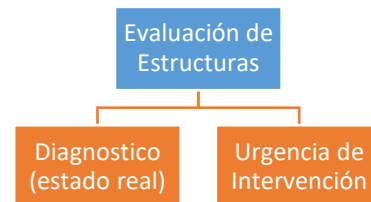


Figura 2. Diagrama de variables de evaluación.

Una forma de trabajar en la evaluación de estructuras es por medio de índices de daño, en el caso de estructuras de acero existe el Método Simplificado que propone la determinación de un Índice de Daño Estructural que incluye los 2 conceptos básicos de la evaluación el diagnóstico y la urgencia de intervención.

⁷ Diccionario online.

Índice de daño estructural (IDE)

Este índice está basado en un modelo de calificación semi empírico que tiene en cuenta los diversos factores del problema: condiciones ambientales, proceso de corrosión y nivel de daño, así como la sensibilidad de la capacidad portante de la estructura.

El índice de daño estructural resulta de la suma de 2 factores fundamentales: índice de corrosión (IC) y el índice estructural (IE). El primero de ellos toma en cuenta el grado de corrosión que tienen los elementos (ver escala de clasificación en la sección de metodología) y la agresividad ambiental a la que están expuestos; por otro lado, el índice estructural toma en cuenta factores meramente estructurales, como su nombre lo dice, logrando reflejar la sensibilidad de los elementos y el grado de importancia, el IE toma en cuenta: longitud del elemento, importancia en la estructura y deformaciones.

Metodología

Recapitulando, el proyecto en cuestión pretende desarrollar un plan de evaluación e intervención oportuna de las estructuras de soporte (conveyors) y pasarelas de la Planta Secundaria de una Planta Productora de Agregados ubicada en Guápiles.

Esta metodología busca cuantificar el daño y reflejar el mismo para la toma posterior de decisiones. Como pilar de esta metodología se tiene el Método Simplificado de Manual de Evaluación de Estructuras afectadas por corrosión creado por GEOCISA empresa mundial que se dedica entre otras cosas a la restauración de estructuras. Importante recalcar que la metodología fue adecuada a la planta, es decir que le aplicaron modificaciones que permitieran un mejor aprovechamiento de los datos obtenidos.

Este método se divide básicamente en 3 fases o etapas principales que se detallan a continuación, importante mencionar que de cada una de las fases se generó un informe, los cuales son presentados en la sección de resultados del presente documento.

Fase 1: Inspección

En esta primera fase lo que se busca es conocer tanto la condición ideal de trabajo (Modelo Original) como la real (Modelo de Campo), también determinar las causas del deterioro de la estructura y recolectar los datos necesarios que permitan reflejar ese deterioro para su posterior cuantificación.

Modelo Original

El modelo original es una representación de la condición óptima de la planta ya que se deriva del diseño original de la misma, es decir, es el resultado del análisis de todas las cargas que interactúan con la estructura. Para efectos de este

proyecto se tiene el modelo original como punto de partida y modelo a comparar, para su generación se necesitó de conocer los siguientes datos:

- Material y sus características.
- Dimensiones de los elementos y tipo de sección transversal.
- Distribución de los elementos en la estructura.

Para la obtención de los datos se siguieron los pasos que a continuación se detallan.

1. Reunión con el técnico jefe del taller de la planta: Esta planta cuenta con un taller dentro de las instalaciones, en este taller se efectúan todo tipo de reparaciones y mantenimientos tanto a los equipos mecánicos como a las estructuras de acero, lo que significa que están en un contacto constante con las estructuras que interesan, por esta razón el jefe de taller se consideró la persona más adecuada para brindar la información. De esta reunión se obtuvieron los siguientes datos: material y sus características, dimensiones de los elementos y tipo de sección transversal y por último la distribución de los elementos en la estructura.

2. Plano descriptivo de conveyor y pasarela: Con la ayuda del software AutoCAD2017 se generó el plano descriptivo del modelo original tanto de la pasarela como del conveyor.

Modelo de Campo

El modelo de campo es una radiografía o una muestra de cómo se encuentra la planta en la realidad 15 años después de instalada y con constante operación; además pretende reflejar daños que esta posee y las causas que lo provocaron o están provocando. Importante mencionar que en esta etapa no se hizo más que una exploración visual con mediciones, es decir, no se contó con pruebas de laboratorio que dieran fe de los daños encontrados, esto porque no se destinó el presupuesto para tal fin. El modelo de campo requirió de los siguientes datos:

- Material y sus características.
- Dimensiones de los elementos y tipo de sección transversal.
- Distribución de los elementos en la estructura.
- Daños en la estructura.
- Causas del deterioro de la estructura.

Nota: Cada uno de los puntos anteriores por cada transportador que se analice.

Enumerando los pasos que se siguieron para obtener los datos.

1. Hoja de Inspección de Campo: Para una mejor organización de la información se generó una hoja de inspección la cual además logro una inspección más ágil (Ver Anexo 1), como se puede observar esta hoja logra recolectar datos cualitativos como: dimensiones de los elementos, tipo de sección transversal y la distribución de los mismos al mismo tiempo que los va comparando con los datos del modelo original; también recolecta los datos sobre daños que posee la estructura.

2. Levantamiento detallado de las estructuras: La Planta Secundaria cuenta con 13 transportadores en total, cada uno de ellos con dimensiones diferentes por lo que se tuvo que ir uno a uno recolectando los datos con ayuda de la hoja de inspección de campo generada en el paso anterior. En esta etapa también se generó un registro fotográfico de los transportadores.

3. Determinación de causas de deterioro: Es importante conocer el daño, pero es aún más importante determinar qué es lo provoca ese daño, por lo que en la fase de inspección se dedicó tiempo al análisis de las posibles causas mediante la inspección del sitio y también se realizaron entrevistas informales con los operarios de la planta especialmente con los que laboran en el taller.

La determinación de las causas del deterioro de la estructura estuvo estrictamente ligada con al punto anterior, por cada problema se buscaron causas.

4. Elaboración de Planos descriptivos: Una vez recolectada toda la información se procedió con ayuda del software AutoCAD con la elaboración de los planos descriptivos de cada uno de los 13 transportadores, detallando tipo de elemento y dimensiones de los mismos.

Con la generación de ambos modelos (Original y de Campo) se da por alcanzado el objetivo de esta primera fase del proyecto.

Fase 2: Tipología Estructural

En esta fase solamente se trabajó con los conveyors de los transportadores.

En esta segunda fase se clasificaron para cada uno de los 13 conveyors de la Planta Secundaria los elementos según la función estructural que desempeñan dentro de la estructura, esto con el fin de conocer la participación y el grado de importancia que tienen en cuanto a capacidad soportante; estos funcionan ya sea a flexo-compresión o a flexo-tensión. Para lograr esta clasificación se acudió al software SAP2000v18 y se generó un modelo estructural por cada conveyor. En cada modelo se incluyeron cargas que necesitaron de investigación previa y conocer la actividad para poder ser calculadas lo más aproximado posible, las cargas incluidas en cada modelo fueron:

- Cargas Permanentes: peso propio de la estructura, sobre carga muerta, equipo instalado en el transportador y material transportado.
- Cargas Accidentales: sismo y viento.
- Cargas Temporales: Operarios.

Cargas Permanentes

- Peso Propio de la estructura: El software SAP2000v18 dentro de sus funciones tiene la de calcular el peso propio de la estructura una vez que se le incluyen los datos de secciones transversales de los elementos junto con el material del cual fueron fabricadas, además del mecanismo propio de SAP2000v18 se calculó el peso propio de cada uno de los conveyors de manera manual con ayuda del programa computacional EXCEL2016 logrando con ambos datos, el de SAP2000v18 y el calculado por EXCEL2016, la validación de los modelos con un porcentaje de error no mayor a 0.1.

- Sobrecarga muerta: En la modelación se optó por la utilización de sobre cargas muertas en 2 casos, pasarelas de acceso y techo. Si bien es cierto las pasarelas son objeto de estudio de este proyecto en este caso se decidió incluirlas como sobre carga esto porque, por la distribución de los elementos, estas están apoyadas a los conveyors siendo el conveyor el encargado de transmitir la

carga proveniente de ellas a los apoyos y por ultimo al suelo, además de que las pasarelas no se consideran estructuras sismo-resistentes. Con respecto al techo este también está representado en el modelo como una sobre carga porque no es una estructura considerada como sismo-resistente.

El cálculo de ambas cargas se realizó con la ayuda del programa computacional EXCEL2016 y la aplicación al modelo se hizo mediante la distribución de la totalidad de la carga calculada entre el número de puntos sobre los cuales se aplica la misma; como se muestra en la siguiente figura.

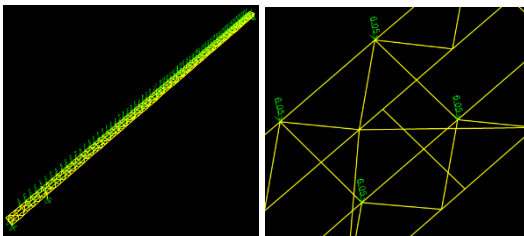


Figura 3. Aplicación de la Sobre Carga debida al Techo, HGU2.421-BT1. Fuente: SAP2000v18.

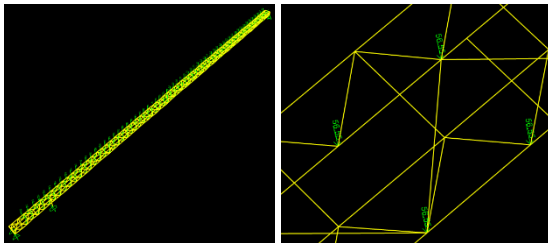


Figura 4. Aplicación de la Sobre Carga Muerta debido a la pasarela de acceso, HGU2.421-BT5. Fuente: SAP2000v18.

- **Material Transportado:** El área de producción de la planta está a cargo de una persona la cual es supervisada por el director o encargado general de la planta, por lo que se efectuó una reunión con ambos, logrando recolectar los datos correspondientes a las cargas que debe soportar cada transportador debido al material que se transporta en ellas. El departamento de producción de la planta facilitó datos de tonelaje y velocidad a la que trabajan los transportadores.

- **Equipo instalado:** Se requirió de investigación para determinar cómo afectan los equipos instalados en los conveyors desde el punto de vista estructural, se encontró un proyecto

sobre el diseño de una banda transportadora de caliza, lleva por nombre: “Diseño de Banda Transportadores para recirculación de caliza de la Criba Vibratoria al Quebrador Secador Hazemag”, es de un estudiante de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Industrial quien diseñó para la Industria Nacional del Cemento S.A, en el capítulo 5 de este informe se detalla todo lo referente al tipo de equipo que se instalan en los transportadores para la circulación de un material. Comparando actividades y según lo observado en el campo los transportadores de la planta poseen: rodillos de carga, rodillos de retorno, tambor motriz y de cola, motor y caja reductora.

Cada uno de estos equipos genera una carga estática en el conveyer, para conocer el peso aproximado de cada uno de ellos se utilizaron diferentes manuales.

- Rodillos de carga y retorno: Conveyer Idlers Catalog REXNORD.
- Tambores de Cola y Motriz: Conveyer Pulleys-Heavy Duty MARTIN.
- Motor y Cajas Reductoras: Motores Eléctricos SIEMENS.

Cargas Accidentales

- **Sismo:** Para la determinación de la carga sísmica en la estructura en un inicio se pretendía calcular mediante el método estático (análisis estático-lineal) que se indica en el Código Sísmico de Costa Rica 2010 (CSCR 2010), este método se enfoca en un solo modo de vibración que según ciertas condiciones alcanza una representación del 90% mínimo de la magnitud del cortante basal; al observar estas condiciones que debe cumplir la estructura se concluyó que no aplica para ninguno de los 13 transportadores ya que estos necesitan más de un modo de vibración para alcanzar ese 90%.

Entonces se procedió a realizar un análisis modal espectral (AME) el cual se acerca mucho más a la realidad de las estructuras en cuestión, ya que este analiza no solo un modo sino los necesarios para alcanzar el 90%. Este análisis se hace con ayuda de SAP2000v18, tomando en cuenta las características del suelo y la ductilidad se definió el espectro (CSCR 2010) a utilizar y como método de sumatoria para la obtención de la sollicitación se utilizó el SRSS.

- **Viento:** Los transportadores y sus pasarelas son estructuras tipo celosía, es decir se

considera que oponen poca resistencia al viento a tal punto que puede considerarse despreciable, esto debido a su configuración y cantidad de área libre o espacios vacíos que permiten el paso del viento; pero se tomó en cuenta la altura a la que se encuentran estas estructuras que van desde los 10 hasta los 20 metros y es ahí donde se decide tomar en cuenta la acción del viento ya que la fuerza del viento es proporcional a la altura de incidencia.

En Costa Rica el documento oficial para el cálculo de cargas de viento es el Reglamento de Construcciones, este en el artículo 7 del capítulo XX es donde hace referencia al tema, de ahí se extrajo la tabla que según la altura de sobre el terreno a la que incide el viento, el cual es un dato conocido, se puede determinar la presión básica del viento en ese punto.

Se considera que la planta se encuentra en un campo abierto ya que no hay edificios que interfieran.

El valor de presión básica de viento se puede ver afectada por 2 factores: uso (C_u) y el coeficiente topográfico (C_t) (artículo 10 del capítulo XX). EL coeficiente C_u va ligado con el artículo 1 de este mismo capítulo, de manera que obedece a la clasificación que se detalla:

- Grupo A: Cuya falla pueda significar cuantiosas pérdidas humanas o económicas o cuyo funcionamiento es vital bajo condiciones de emergencia. ($C_u = 1.2$).
- Grupo B: Para habitación, centros de trabajo, centros de enseñanza, edificios sometidos a concentraciones de personas altas, tapias de más de 2 metros cuya falla pone en peligro edificios aledaños. ($C_u = 1$).
- Grupo C: Construcciones aisladas y construcciones no permanentes, no destinadas a habitación o al uso público, todas las no clasificadas en los demás grupos. ($C_u = 0.7$).

El segundo coeficiente, el C_t tiene un valor de 0.2 y lo que busca es relacionar los efectos que pueda provocar la topografía del terreno en que está ubicada la construcción en la velocidad del viento.

Una vez calculada la presión básica de viento el Reglamento de Construcción dice que la fuerza de viento resulta de la multiplicación de la presión básica por cada uno de los 2 factores (C_u y C_t) y a la vez multiplicando el área de contacto y un

último factor de forma (C_f). El área de contacto resulta de la suma de todas las pequeñas áreas que conforman la estructura, pero son solo aquellas áreas con las que el viento hace contacto en el momento en que incide en la estructura y por último el coeficiente de forma resulta de una clasificación que se encuentra en el capítulo XX en el artículo 12 donde toma en cuenta características de la geometría de la estructura.

Los conveyors con los que se trabajó son estructuras inclinadas lo que significa que la altura varia a lo largo de la estructura, por esta razón lo ideal es realizar un diagrama de presiones obtener la ecuación que describa el comportamiento y aplicar la fuerza del viento como una presión aplicada, pero para efectos de este proyecto se decidió tomar el punto más alto de la estructura, punto donde la fuerza es máxima, calcular la fuerza y distribuirla en toda la estructura de manera uniforme, dividiendo esta entre el número de nodos sobre los cuales se aplica. Se muestra a continuación un ejemplo de cómo se calculó la fuerza de viento y el valor de los coeficientes escogidos.

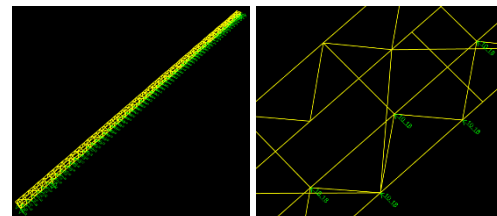


Figura 5. Aplicación de la Carga debida al Viento, HGU2.421-BT1. Fuente: SAP2000v18.

Cargas Temporales

- Operarios: La operación dentro de la planta es automatizada por lo que no se requiere de mucho personal dentro de la misma, sin embargo, en caso de que se necesite de alguna reparación o simplemente se requiera de mantenimiento preventivo se da el ingreso de personas a las pasarelas que se traduce en carga aplicada a los conveyors que estos deben estar diseñados para soportar, es por esta razón que se incluyeron 50kg/m² de carga temporal dentro de la estructura, carga que va sumada en los puntos donde se aplicó la sobre carga de la pasarela.

Como paso final para conocer el comportamiento estructural de los elementos se

procedió a combinar las cargas aplicadas al modelo, las combinaciones utilizadas fueron las que exige el CSCR 2010 en su capítulo 6 en la sección 6.2. Estas combinaciones fueron ingresadas en el modelo de SAP2000v18 el cual brindó las solicitaciones de cada elemento y fue ahí donde se logró determinar según la dirección de las fuerzas y sus diagramas el comportamiento de los elementos desde el punto de vista estructural; los comportamientos pueden ser flexo-compresión o flexo-tensión.

Otro dato importante que se extrajo de estos modelos fue el grado de importancia que poseen los elementos basados en la cantidad de carga que reciben, siendo el elemento más cargado el de mayor importancia.

Fase 3: IDE

Esta tercera fase se aplica a los conveyors y en el caso de las pasarelas solo se calculó el índice de corrosión.

En esta fase lo que se busca es organizar toda la información recopilada en las fases anteriores en 2 índices, el índice de corrosión (IC) y el índice estructural (IE). El primero de ellos trata de representar los daños actuales de la estructura, mientras que el segundo es un indicador de la sensibilidad del elemento, de manera que si se combinan ambos se tiene el Índice de Daño Estructural (IDE) que es el producto final de esta fase⁸. Se procede a explicar cada uno de los índices y la metodología con la cual fueron determinados.

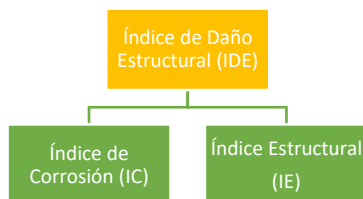


Figura 6. Diagrama de Índice de Daño Estructural.

Índice de Corrosión

⁸ Método Simplificado del Manual de Evaluación de Estructuras, GEOCISA.

Al ser un proyecto con inspección únicamente visual la escala de clasificación en esta fase la escala de clasificación utilizada es visual logrando la congruencia de los datos.

Para el caso del índice de corrosión se utilizó una escala basada en normas Suecas SIS 05590, esta norma hace la diferencia entre acero recubierto con pintura y sin recubrimiento clasificando la corrosión del acero en grados.

Acero sin recubrimiento de pintura:

- Grado A: Superficie de acero con laminación intacta en toda la superficie y prácticamente sin corrosión.



Figura 7. Grado de corrosión A.

Fuente: Clasificación del Acero según grado de corrosión, Ingepint.

- Grado B: Superficie de acero con principio de corrosión y de la cual la chapa de laminación solo se encuentra parcialmente adherida.



Figura 8. Grado de corrosión B.

Fuente: Clasificación del Acero según grado de corrosión, Ingepint.

- Grado C: Superficie de acero donde la chapa de laminación se ha perdido por efecto de la corrosión o es fácilmente eliminable por raspado al encontrarse suelta. La corrosión es generada pero no se han formado aún cavidades visibles.



Figura 9. Grado de corrosión C.

Fuente: Clasificación del Acero según grado de corrosión, Ingepint.

- Grado D: Superficie de acero con corrosión generalizada, exenta de chapa de laminación y gran cantidad de cavidades profundas.



Figura 10. Grado de corrosión D.

Fuente: Clasificación del Acero según grado de corrosión, Ingepint.

Acero recubierto con pintura:

- Grado E: Pintura prácticamente intacta, puede verse algo del primer o anticorrosivo.
- Grado F: La pintura de terminación se aprecia algo envejecida, en algunos sectores puede aparecer el anticorrosivo, leve manchado o abombado de la pintura.
- Grado G: La pintura se aprecia fuertemente envejecida con abombamiento o manchado, se da el desprendimiento de la pintura y se aprecian pequeños ataques focalizados.
- Grado H: Grandes sectores de superficie se encuentran cubiertos de productos de corrosión, pintura sin adherencia, pitting y nódulos de productos de corrosión.

La escala anterior se aplicó a cada uno de los conveyors y pasarelas asignando un valor entre 1-4 según el grado de corrosión en el que se clasificó.

Acero sin recubrimiento con pintura:

- Grado A: 1
- Grado B: 2
- Grado C: 3
- Grado D: 4

Acero recubierto con pintura:

- Grado E: 1
- Grado F: 2
- Grado G: 3
- Grado H: 4

Primero se hizo una clasificación interna, es decir se aplicó la escala a los elementos de cada estructura para después determinar mediante el concepto estadístico de promedio el grado de corrosión general de la estructura y por ende el índice de corrosión.

En el índice de corrosión se toma en cuenta además del grado de corrosión la agresividad ambiental, pero para efectos de la planta al estar toda ella expuesta a la intemperie se determinó que todas las estructuras tienen el mismo efecto de la agresividad del ambiente por lo que todas tienen el mismo valor de agresividad ambiental.

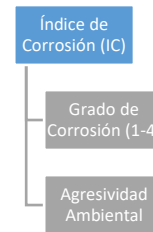


Figura 11. Diagrama de Índice de Corrosión.

Una vez calculado el IC se le aplicó la escala de clasificación para determinar la criticidad de daño logrando que los datos tengan mayor facilidad de interpretación, a continuación, se presenta la escala utilizada tomada del Método Simplificado utilizado.

Cuadro 1. Escala de Criticidad para el Índice de Corrosión

IC	CLASIFICACIÓN
0-1	MUY BAJA
1-2	BAJA
2-3	MEDIA
3-4	ALTA

Fuente: Método Simplificado, GEOCISA.

Índice Estructural

Este índice lo que busca es tomar en cuenta factores estructurales de cada elemento que logren incluir en el índice de daño estructural el tema de urgencia de intervención, se tomaron en cuenta los siguientes factores.

- **Importancia en la estructura:** Este factor lo que refleja es el porcentaje de participación de cada uno de los elementos de las estructuras en la recepción de cargas, es decir tiene que ver con la capacidad soportante de cada elemento. Este factor se obtuvo con ayuda de los modelos generados en la fase 2 ya que estos brindaron los datos de capacidad soportante de cada elemento por conveyer además del comportamiento de los mismos según las cargas aplicadas.

A este factor se le asignó una escala de clasificación que va del 1-6 esto porque cada conveyer posee 6 tipos de elementos (longitudinales, transversales, verticales, diagonales de fondo, diagonales laterales con baranda y diagonales laterales sin baranda) siendo el elemento con el valor 6 el más cargado.

- **Longitud del elemento:** Este factor pretende tomar en cuenta la longitud no arriostrada de los elementos, distancia de vital importancia a nivel estructural en temas de diseño, en este caso también se utiliza una escala de clasificación que va del 1-6 siendo el elemento al que se le asigna el número 6 el de mayor longitud no arriostrada.

- **Deformaciones:** Este último factor, pero no por ello el menos importante se basa en lo observado en la fase 1, deformaciones encontradas en los elementos que conforman los conveyers. En este caso no se tiene una escala de clasificación para la deformación, sino que lo que se hizo fue determinar si hay o no deformación, asignando un 2 en los casos en que si había y un 1 en los casos donde no había.

Tomando en cuenta los 3 factores descritos se procedió a calcular el promedio de todos y ese valor se tomó como el correspondiente al índice estructural por elemento. En este caso solo se obtuvieron IE por elemento y no por conveyer en general.

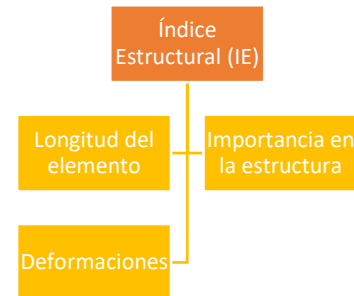


Figura 12. Diagrama de Índice Estructural.

Índice de Daño Estructural

Como paso final en esta fase 3 se procedió con el cálculo del IDE que resultó de la suma del IC y el IE, este índice fue determinado uno por cada tipo de elemento, es decir 6 índices por cada conveyer, además de un IDE global que se obtuvo del promedio de los 6 índices por elemento.

Al tener definidos los IDE se les aplicó una escala de clasificación que le inyecta el factor urgencia de intervención ya que da un tiempo recomendado de acción sobre las estructuras; la escala se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 2. Escala de Urgencia de Intervención para el Índice de Daño Estructural.

IDE	CLASIFICACIÓN	URGENCIA DE INTERVENCIÓN
0-1	DESPRECIABLE	> 10 años
1-2	MEDIO	5-10 años
2-3	SEVERO	2-5 años
3-4	MUY SEVERO	0-2 años

Fuente: Método Simplificado, GEOCISA.

Se trabajó con 2 tipos de estructuras: conveyers y pasarelas, en el siguiente diagrama se indica la metodología aplicada a cada una de ellas.

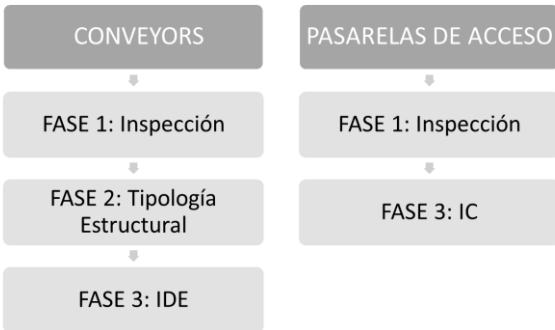


Figura. 13 Diagrama explicativo de aplicación del método simplificado en los objetos de estudio.

Como se observa en la figura 13, para lo que son los conveyors se aplicaron todas las fases de Método Simplificado según lo explicado a lo largo de la metodología, mientras que para las pasarelas de acceso se aplicó la fase 1 completa y el IC de la fase 3 únicamente; esto se debe a que las pasarelas fueron consideradas como estructuras adicionales a los conveyors es decir, no son estructuras sismoresistentes por lo que no se pudo determinar el IE.

Resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos una vez aplicada la metodología descrita, se le recuerda que por cada fase de la metodología se generó un informe de resultados, 3 en total.

Informe fase 1

Como primer objetivo de la fase 1 de la metodología aplicada se generó el plano descriptivo del Modelo Original de la pasarela de acceso.

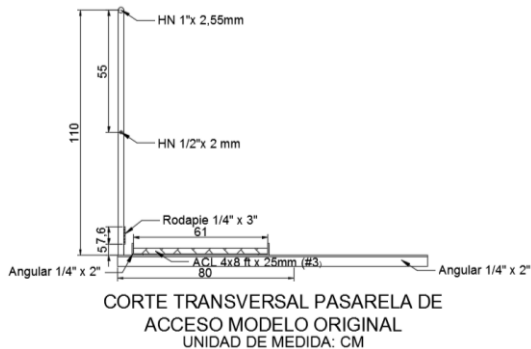


Figura 14. Corte Transversal pasarela de acceso Modelo Original. Fuente: AutoCAD17.

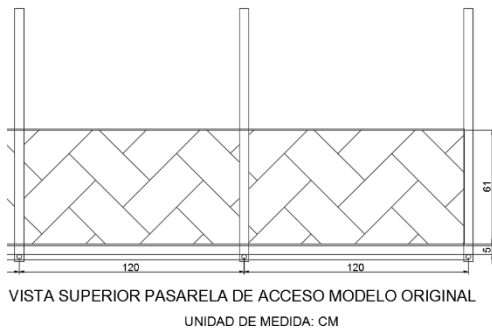


Figura 15. Vista Superior pasarela de acceso Modelo Original. Fuente: AutoCAD17.

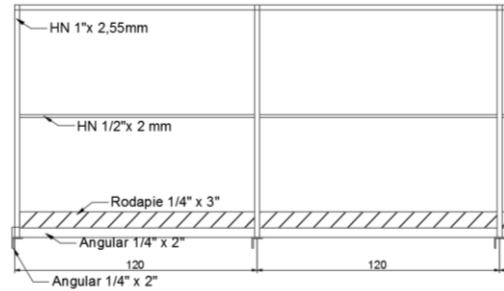


Figura 16. Vista Lateral pasarela de acceso Modelo Original. Fuente: AutoCAD17

También se generó el plano descriptivo del convector Modelo Original, se muestra a continuación.

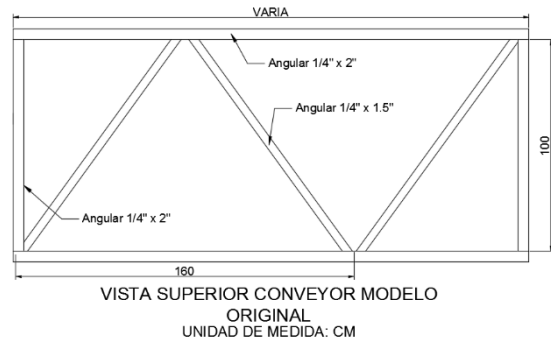


Figura 17. Vista Superior de convector Modelo Original. Fuente: AutoCAD17.

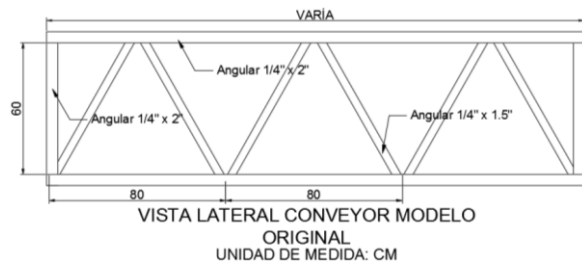


Figura 18. Vista Lateral de covveyor Modelo Original. Fuente: AutoCAD17

El levantamiento de campo se realizó y como producto se obtuvieron 2 cuadros resumen que contiene toda la información recolectada mediante las hojas de inspección, además hace una comparación entre modelo original vs de campo.

Cuadro.3 Resumen de levantamiento de campo y comparación de datos Modelo Original vs Modelo de Campo para las pasarelas de acceso.

TRANSPORTADOR	PASARELA						
	ELEMENTO	Original		Campo		Faltante	
		Sección	Longitud Total (m)	Sección (in)	Longitud Campo (m)	Comparando Secciones	Longitud Faltante (m)
HGU2.421-BT1	Angular Soporte	2"X2"X1/4"	72.870	2"X2"X1/4"	72.870	Iguales	0.000
	Angular Transversal Piso		30.135	2"X2"X1/4"	30.135	Iguales	0.000
	Angular Perimetral Piso		100.000	1"X1"X1/4"	100.000	Diferentes	0.000
	Redondo Longitudinal	1"X2.55mm	50.000	1"X2.55mm	50.000	Iguales	0.000
	Redondo Vertical		46.200	1"X2.55mm	46.200	Iguales	0.000
	Redondo	1/2"X2mm	50.000	1/2"X2mm	50.000	Iguales	0.000
	Platina	1/4"X3"	50.000	1/4"X4"	50.000	Diferentes	0.000
	Jodomex	#3	50.000	#3	50.000	Iguales	0.000
HGU2.421-BT2	Angular Soporte	2"X2"X1/4"	72.870	2"X2"X1/4"	72.870	Iguales	0.000
	Angular Transversal Piso		30.135	2"X2"X1/4"	0.000	Iguales	30.135
	Angular Perimetral Piso		100.000	1"X1"X1/4"	100.000	Diferentes	0.000
	Redondo Longitudinal	1"X2.55mm	50.000	1"X2.55mm	50.000	Iguales	0.000
	Redondo Vertical		46.200	1"X2.55mm	46.200	Iguales	0.000
	Redondo	1/2"X2mm	50.000	1/2"X2mm	50.000	Iguales	0.000
	Platina	1/4"X3"	50.000	1/4"X4"	50.000	Diferentes	0.000
	Jodomex	#3	50.000	#3	50.000	Iguales	0.000

TRANSPORTADOR	PASARELA						
	ELEMENTO	Original		Campo		Faltante	
		Sección	Longitud Total (m)	Sección (in)	Longitud Campo (m)	Comparando Secciones	Longitud Faltante (m)
HGU2.421-BT3	Angular Soporte	2"X2"X1/4"	90.220	2"X2"X1/4"	90.220	Iguales	0.000
	Angular Transversal Piso		37.485	2"X2"X1/4"	0.000	Iguales	37.485
	Angular Perimetral Piso		124.000	1"X1"X1/4"	124.000	Diferentes	0.000
	Redondo Longitudinal	1"X2.55mm	62.000	1"X2.55mm	62.000	Iguales	0.000
	Redondo Vertical		57.200	1"X2.55mm	57.200	Iguales	0.000
	Redondo	1/2"X2mm	62.000	1/2"X2mm	62.000	Iguales	0.000
	Platina	1/4"X3"	62.000	1/4"X4"	62.000	Diferentes	0.000
	Jodomex	#3	62.000	#3	62.000	Iguales	0.000
HGU2.421-BT5	Angular Soporte	2"X2"X1/4"	83.280	2"X2"X1/4"	83.280	Iguales	0.000
	Angular Transversal Piso		34.545	2"X2"X1/4"	34.545	Iguales	0.000
	Angular Perimetral Piso		114.680	1"X1"X1/4"	114.680	Diferentes	0.000
	Redondo Longitudinal	1"X2.55mm	57.340	1"X2.55mm	57.340	Iguales	0.000
	Redondo Vertical		52.800	1"X2.55mm	52.800	Iguales	0.000
	Redondo	1/2"X2mm	57.340	1/2"X2mm	57.340	Iguales	0.000
	Platina	1/4"X3"	57.340	1/4"X5"	57.340	Diferentes	0.000
	Jodomex	#3	57.340	#3	57.340	Iguales	0.000
HGU2.421-BT6	Angular Soporte	2"X2"X1/4"	60.725	2"X2"X1/4"	60.725	Iguales	0.000
	Angular Transversal Piso		24.990	2"X2"X1/4"	0.000	Iguales	24.990
	Angular Perimetral Piso		82.960	1"X1"X1/4"	82.960	Diferentes	0.000
	Redondo Longitudinal	1"X2.55mm	41.480	1"X2.55mm	41.480	Iguales	0.000
	Redondo Vertical		38.500	1"X2.55mm	38.500	Iguales	0.000
	Redondo	1/2"X2mm	41.480	1/2"X2mm	41.480	Iguales	0.000
	Platina	1/4"X3"	41.480	1/4"X3"	41.480	Iguales	0.000
	Jodomex	#3	41.480	#3	41.480	Iguales	0.000

TRANSPORTADOR	PASARELA						
	ELEMENTO	Original		Campo		Faltante	
		Sección	Longitud Total (m)	Sección (in)	Longitud Campo (m)	Comparando Secciones	Longitud Faltante (m)
HGU2.421-BT7	Angular Soporte	2"X2"X1/4"	41.640	2"X2"X1/4"	41.640	Igual	0.000
	Angular Transversal Piso		16.905	2"X2"X1/4"	16.905	Igual	0.000
	Angular Perimetral Piso		56.000	1"X1"X1/4"	56.000	Diferentes	0.000
	Redondo Longitudinal	1"X2.55mm	28.000	1"X2.55mm	28.000	Igual	0.000
	Redondo Vertical		26.400	1"X2.55mm	26.400	Igual	0.000
	Redondo	1/2"X2mm	28.000	1/2"X2mm	28.000	Igual	0.000
	Platina	1/4"X3"	28.000	1/4"X5"	28.000	Diferentes	0.000
	Jodomex	#3	28.000	#3	28.000	Igual	0.000
HGU2.421-BT8	Angular Soporte	2"X2"X1/4"	74.605	2"X2"X1/4"	74.605	Igual	0.000
	Angular Transversal Piso		30.870	2"X2"X1/4"	0.000	Igual	30.870
	Angular Perimetral Piso		102.480	1"X1"X1/4"	102.480	Diferentes	0.000
	Redondo Longitudinal	1"X2.55mm	51.240	1"X2.55mm	51.240	Igual	0.000
	Redondo Vertical		47.300	1"X2.55mm	47.300	Igual	0.000
	Redondo	1/2"X2mm	51.240	1/2"X2mm	51.240	Igual	0.000
	Platina	1/4"X3"	51.240	1/4"X4"	51.240	Diferentes	0.000
	Jodomex	#3	51.240	#3	51.240	Igual	0.000
HGU2.421-BT9	Angular Soporte	2"X2"X1/4"	41.640	2"X2"X1/4"	41.640	Igual	0.000
	Angular Transversal Piso		16.905	2"X2"X1/4"	16.905	Igual	0.000
	Angular Perimetral Piso		56.000	1"X1"X1/4"	56.000	Diferentes	0.000
	Redondo Longitudinal	1"X2.55mm	28.000	1"X2.55mm	28.000	Igual	0.000
	Redondo Vertical		26.400	1"X2.55mm	26.400	Igual	0.000
	Redondo	1/2"X2mm	28.000	1/2"X2mm	28.000	Igual	0.000
	Platina	1/4"X3"	28.000	1/4"X5"	28.000	Diferentes	0.000
	Jodomex	#3	28.000	#3	28.000	Igual	0.000

TRANSPORTADOR	PASARELA						
	ELEMENTO	Original		Campo		Faltante	
		Sección	Longitud Total (m)	Sección (in)	Longitud Campo (m)	Comparando Secciones	Longitud Faltante (m)
HGU2.421-BT10-A / 10-B	Angular Soporte	2"X2"X1/4"	41.640	2"X2"X1/4"	41.640	Igual	0.000
	Angular Transversal Piso		16.905	2"X2"X1/4"	16.905	Igual	0.000
	Angular Perimetral Piso		56.000	1"X1"X1/4"	56.000	Diferentes	0.000
	Redondo Longitudinal	1"X2.55m m	28.000	1"X2.55m m	28.000	Igual	0.000
	Redondo Vertical		26.400	1"X2.55m m	26.400	Igual	0.000
	Redondo	1/2"X2mm	28.000	1/2"X2mm	28.000	Igual	0.000
	Platina	1/4"X3"	28.000	1/4"X3"	28.000	Igual	0.000
	Jodomex	#3	28.000	#3	28.000	Igual	0.000
HGU2.421-BT11	Angular Soporte	2"X2"X1/4"	41.640	2"X2"X1/4"	41.640	Igual	0.000
	Angular Transversal Piso		16.905	2"X2"X1/4"	16.905	Igual	0.000
	Angular Perimetral Piso		56.000	1"X1"X1/4"	56.000	Diferentes	0.000
	Redondo Longitudinal	1"X2.55m m	28.000	1"X2.55m m	28.000	Igual	0.000
	Redondo Vertical		26.400	1"X2.55m m	26.400	Igual	0.000
	Redondo	1/2"X2mm	28.000	1/2"X2mm	28.000	Igual	0.000
	Platina	1/4"X3"	28.000	1/4"X5"	28.000	Diferentes	0.000
	Jodomex	#3	28.000	#3	28.000	Igual	0.000
HGU2.421-BT12	Angular Soporte	2"X2"X1/4"	32.965	2"X2"X1/4"	32.965	Igual	0.000
	Angular Transversal Piso		13.230	2"X2"X1/4"	13.230	Igual	0.000
	Angular Perimetral Piso		44.000	1"X1"X1/4"	44.000	Diferentes	0.000
	Redondo Longitudinal	1"X2.55m m	22.000	1"X2.55m m	22.000	Igual	0.000
	Redondo Vertical		20.900	1"X2.55m m	20.900	Igual	0.000
	Redondo	1/2"X2mm	22.000	1/2"X2mm	22.000	Igual	0.000
	Platina	1/4"X3"	22.000	1/4"X5"	22.000	Diferentes	0.000
	Jodomex	#3	22.000	#3	22.000	Igual	0.000

TRANSPORTADOR	PASARELA						
	ELEMENTO	Original		Campo		Faltante	
		Sección	Longitud Total (m)	Sección (in)	Longitud Campo (m)	Comparando Secciones	Longitud Faltante (m)
HGU2.421-BT13	Angular Soporte	2"X2"X1/4"	65.930	2"X2"X1/4"	65.930	Igual	0.000
	Angular Transversal Piso		27.195	2"X2"X1/4"	27.195	Igual	0.000
	Angular Perimetral Piso		90.280	1"X1"X1/4"	90.280	Diferentes	0.000
	Redondo Longitudinal	1"X2.55mm	45.140	1"X2.55mm	45.140	Igual	0.000
	Redondo Vertical		41.800	1"X2.55mm	41.800	Igual	0.000
	Redondo	1/2"X2mm	45.140	1/2"X2mm	45.140	Igual	0.000
	Platina	1/4"X3"	45.140	1/4"X4"	45.140	Diferentes	0.000
	Jodomex	#3	45.140	#3	45.140	Igual	0.000

Fuente: Levantamiento de Campo y Modelo Original pasarelas de acceso.

Cuadro.4 Resumen de levantamiento de campo y comparación de datos Modelo Original vs Modelo de Campo para los conveyors.

TRANSPORTADOR	ELEMENTO	Original		Campo		Faltante		
		Sección	Longitud Total (m)	Sección (in)	Longitud Campo (m)	Comparando Secciones	Unidades (und)	Longitud Faltante (m)
HGU2.421-BT1	Longitudinales	2"X2"X1/4"	208.00	2"X2"X1/4"	208.00	Igual	0.00	0.00
	Verticales		2.40	2"X2"X1/4"	2.40	Igual	0.00	0.00
	Transversales		4.00	2"X2"X1/4"	4.00	Igual	0.00	0.00
	Diagonales de Fondo	1-1/2"X1-1/2"X1/4"	83.24	1-1/2"X1-1/2"X1/4"	83.24	Igual	0.00	0.00
	Diagonal Lateral		187.49	1-1/2"X1-1/2"X1/4"	187.49	Igual	0.00	0.00
	Altura Conveyor	0.60	-	0.60	-	Igual	-	-
HGU2.421-BT2	Longitudinales	2"X2"X1/4"	212.48	2"X2"X1/4"	212.48	Igual	0.00	0.00
	Verticales		2.40	2"X2"X1/4"	2.40	Igual	0.00	0.00
	Transversales		4.00	2"X2"X1/4"	4.00	Igual	0.00	0.00
	Diagonales de Fondo	1-1/2"X1-1/2"X1/4"	84.52	1-1/2"X1-1/2"X1/4"	84.52	Igual	0.00	0.00
	Diagonal Lateral		190.37	1-1/2"X1-1/2"X1/4"	190.37	Igual	0.00	0.00
	Altura Conveyor	0.60	-	0.60	-	Igual	-	-

TRANSPORTADOR	ELEMENTO	Original		Campo		Faltante		
		Sección	Longitud Total (m)	Sección (in)	Longitud Campo (m)	Comparando Secciones	Unidades (und)	Longitud Faltante (m)
HGU2.421-BT3	Longitudinales	2"X2"X1/4"	254.08	2"X2"X1/4"	254.08	Igual	0.00	0.00
	Verticales		2.40	2"X2"X1/4"	2.40	Igual	0.00	0.00
	Transversales		4.00	2"X2"X1/4"	4.00	Igual	0.00	0.00
	Diagonales de Fondo	1-1/2"X1-1/2"X1/4"	101.17	1-1/2"X1-1/2"X1/4"	101.17	Igual	0.00	0.00
	Diagonal Lateral		227.87	1-1/2"X1-1/2"X1/4"	227.87	Igual	0.00	0.00
	Altura Conveyor	0.60	-	0.60	-	Igual	-	-
HGU2.421-BT5	Longitudinales	2"X2"X1/4"	234.08	2"X2"X1/4"	234.08	Igual	0.00	0.00
	Verticales		2.40	2"X2"X1/4"	2.40	Igual	0.00	0.00
	Transversales		4.00	2"X2"X1/4"	4.00	Igual	0.00	0.00
	Diagonales de Fondo	1-1/2"X1-1/2"X1/4"	94.76	1-1/2"X1-1/2"X1/4"	94.76	Igual	0.00	0.00
	Diagonal Lateral		213.45	1-1/2"X1-1/2"X1/4"	213.45	Igual	0.00	0.00
	Altura Conveyor	0.60	-	0.60	-	Igual	-	-
HGU2.421-BT6	Longitudinales	2"X2"X1/4"	175.52	2"X2"X1/4"	175.52	Igual	0.00	0.00
	Verticales		2.40	2"X2"X1/4"	2.40	Igual	0.00	0.00
	Transversales		4.00	2"X2"X1/4"	4.00	Igual	0.00	0.00
	Diagonales de Fondo	1-1/2"X1-1/2"X1/4"	70.43	1-1/2"X1-1/2"X1/4"	70.43	Igual	0.00	0.00
	Diagonal Lateral		158.64	1-1/2"X1-1/2"X1/4"	158.64	Igual	0.00	0.00
	Altura Conveyor	0.60	-	0.60	-	Igual	-	-
HGU2.421-BT7	Longitudinales	2"X2"X1/4"	121.76	2"X2"X1/4"	121.76	Igual	0.00	0.00
	Verticales		2.40	2"X2"X1/4"	2.40	Igual	0.00	0.00
	Transversales		4.00	2"X2"X1/4"	4.00	Igual	0.00	0.00
	Diagonales de Fondo	1-1/2"X1-1/2"X1/4"	47.38	1-1/2"X1-1/2"X1/4"	47.38	Igual	0.00	0.00
	Diagonal Lateral		108.17	1-1/2"X1-1/2"X1/4"	108.17	Igual	0.00	0.00
	Altura Conveyor	0.60	-	0.60	-	Igual	-	-

TRANSPORTADOR	ELEMENTO	Original		Campo		Faltante		
		Sección	Longitud Total (m)	Sección (in)	Longitud Campo (m)	Comparando Secciones	Unidades (und)	Longitud Faltante (m)
HGU2.421-BT8	Longitudinales	2"X2"X1/4"	210.48	2"X2"X1/4"	210.48	Iguales	0.00	0.00
	Verticales		2.40	2"X2"X1/4"	1.60	Iguales	0.00	0.80
	Transversales		4.00	2"X2"X1/4"	4.00	Iguales	0.00	0.00
	Diagonales de Fondo	1-1/2"X1-1/2"X1/4"	84.52	1-1/2"X1-1/2"X1/4"	74.95	Iguales	13.00	9.57
	Diagonal Lateral		189.65	1-1/2"X1-1/2"X1/4"	135.74	Iguales	51.00	53.91
	Altura Conveyor	0.60	-	0.40	-	Diferentes	-	-
HGU2.421-BT9	Longitudinales	2"X2"X1/4"	121.68	2"X2"X1/4"	121.68	Iguales	0.00	0.00
	Verticales		2.40	2"X2"X1/4"	2.40	Iguales	0.00	0.00
	Transversales		4.00	2"X2"X1/4"	4.00	Iguales	0.00	0.00
	Diagonales de Fondo	1-1/2"X1-1/2"X1/4"	48.66	1-1/2"X1-1/2"X1/4"	48.66	Iguales	0.00	0.00
	Diagonal Lateral		108.17	1-1/2"X1-1/2"X1/4"	108.17	Iguales	0.00	0.00
	Altura Conveyor	0.60	-	0.60	-	Iguales	-	-
HGU2.421-BT10	Longitudinales	2"X2"X1/4"	120.80	2"X2"X1/4"	120.80	Iguales	0.00	0.00
	Verticales		2.40	2"X2"X1/4"	1.60	Iguales	0.00	0.80
	Transversales		4.00	2"X2"X1/4"	4.00	Iguales	0.00	0.00
	Diagonales de Fondo	1-1/2"X1-1/2"X1/4"	48.66	1-1/2"X1-1/2"X1/4"	42.43	Iguales	8.00	6.24
	Diagonal Lateral		109.61	1-1/2"X1-1/2"X1/4"	76.84	Iguales	32.00	32.77
	Altura Conveyor	0.60	-	0.40	-	Diferentes	-	-
HGU2.421-BT11	Longitudinales	2"X2"X1/4"	121.68	2"X2"X1/4"	121.68	Iguales	0.00	0.00
	Verticales		2.40	2"X2"X1/4"	2.40	Iguales	0.00	0.00
	Transversales		4.00	2"X2"X1/4"	4.00	Iguales	0.00	0.00
	Diagonales de Fondo	1-1/2"X1-1/2"X1/4"	48.66	1-1/2"X1-1/2"X1/4"	48.66	Iguales	0.00	0.00
	Diagonal Lateral		108.17	1-1/2"X1-1/2"X1/4"	108.17	Iguales	0.00	0.00
	Altura Conveyor	0.60	-	0.60	-	Iguales	-	-

TRANSPORTADOR	ELEMENTO	Original		Campo		Faltante		
		Sección	Longitud Total (m)	Sección (in)	Longitud Campo (m)	Comparación Secciones	Unidades (und)	Longitud Faltante (m)
HGU2.421-BT12	Longitudinales	2"x2"x1/4"	90.08	2"x2"x1/4"	90.08	Igual	0.00	0.00
	Verticales		2.40	2"x2"x1/4"	2.40	Igual	0.00	0.00
	Transversales		4.00	2"x2"x1/4"	4.00	Igual	0.00	0.00
	Diagonales de Fondo	1-1/2"x1-1/2"x1/4"	29.45	1-1/2"x1-1/2"x1/4"	29.45	Igual	0.00	0.00
	Diagonal Lateral		66.34	1-1/2"x1-1/2"x1/4"	66.34	Igual	0.00	0.00
	Altura Conveyor	0.60	-	0.60	-	Igual	-	-
HGU2.421-BT13	Longitudinales	2"x2"x1/4"	188.48	2"x2"x1/4"	188.48	Igual	0.00	0.00
	Verticales		2.40	2"x2"x1/4"	1.60	Igual	0.00	0.80
	Transversales		4.00	2"x2"x1/4"	4.00	Igual	0.00	0.00
	Diagonales de Fondo	1-1/2"x1-1/2"x1/4"	75.56	1-1/2"x1-1/2"x1/4"	60.19	Igual	12.00	15.37
	Diagonal Lateral		170.18	1-1/2"x1-1/2"x1/4"	135.57	Igual	48.00	34.61
	Altura Conveyor	0.60	-	0.40	-	Diferentes	-	-

Fuente: Levantamiento de Campo y Modelo Original conveyor.

En el cuadro resumen del levantamiento de campo, tanto para los conveyores como para las pasarelas de acceso, se tienen 3 columnas principales fuera de las que componen el encabezado del cuadro. La primera de ellas con el nombre de Original, esta hace referencia a los datos que se obtuvieron con el Modelo Original, son los datos de referencia. La segunda columna tiene el nombre de Campo, esta refleja los datos recolectados del levantamiento de campo que describen la situación real de cada estructura. Por último, se tiene la columna con el nombre de Faltante que lo que hace es comparar los datos del Modelo Original contra los datos del Modelo de Campo.

Con respecto al plano descriptivo de los modelos de Campo lo que se generaron fueron dibujos en 3 dimensiones por cada transportador, se muestra el modelo del transportador HGU2.421-BT11 como ejemplo.

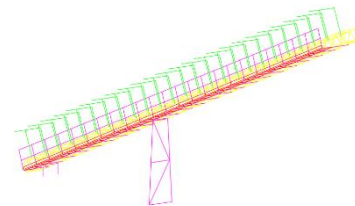


Figura 19. Vista 1 de transportador HGU2.421-BT11, Modelo de Campo. Fuente: AutoCAD17

Explicando un poco la figura anterior, en ella se reflejan 4 estructuras, la de color verde representa la estructura de techo, la de color magenta y rojo es la pasarela de acceso, por otro lado, la de color amarillo representa el conveyer, mientras que las estructuras de los apoyos están representadas con el color magenta.

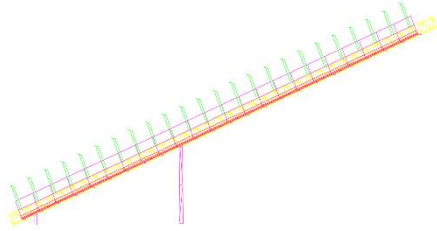


Figura 20. Vista 2 de transportador HGU2.421-BT11, Modelo de Campo. Fuente: AutoCAD17

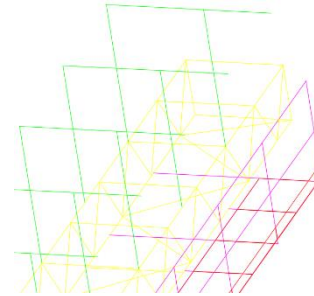


Figura 21. Vista 3 de transportador HGU2.421-BT11, Modelo de Campo. Fuente: AutoCAD17

El entorno también fue analizado y de este análisis se generó el siguiente cuadro que resume lo encontrado en el campo.

Cuadro.5. Problemas encontrados en el entorno de trabajo con sus causas y posibles soluciones.

Problema	Causa	Solución
Deformaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Caída de material de las bandas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de cubiertas en los transportadores.
Corrosión	<ul style="list-style-type: none"> • Ambiente húmedo. • Falta de Pintura en los elementos. • Presencia de agua en los procesos de lavado. • Acumulación de material que genera humedad. • Materia prima proviene de río. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de cubiertas en los transportadores. • Realizar el mantenimiento a la pintura que se utiliza como recubrimiento. • Limpieza diaria de pasarelas de acceso removiendo acumulaciones de material
Acumulaciones de Material	<ul style="list-style-type: none"> • Caída del material de las bandas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Limpiezas diarias de estas acumulaciones.
Ergonomía de los trabajadores	<ul style="list-style-type: none"> • Portones a la entrada de cada pasarela. 	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminar portones.
Falta de Pintura	<ul style="list-style-type: none"> • Corrosión. • Falta de mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar el debido mantenimiento de la pintura de toda la planta.

Fuente: Levantamiento de Campo.

Informe fase 2

Para determinar la tipología de los conveyors se necesitó de datos de tonelaje y velocidades a las cuales trabajan los transportadores, se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 6. Tonelaje y velocidades de trabajo de la Planta Productora de Agregados.

PLANTA	TRANSPORTADOR	TONELAJE (T/h)	VELOCIDAD (m/s)
PRIMARIA	HGU2.411-BT1	400.00	1.56
	HGU2.411-BT2	360.00	1.77
	HGU2.411-BT3	40.00	2.77
	HGU2.411-BT4	26.00	2.16
	HGU2.411-BT5	-	1.33
SECUNDARIA	HGU2.421-BT1	250.00	2.53
	HGU2.421-BT2	300.00	2.47
	HGU2.421-BT3	50.00	1.86
	HGU2.421-BT4	300.00	2.33
	HGU2.421-BT5	250.00	1.38
	HGU2.421-BT6	250.00	1.99
	HGU2.421-BT7	150.00	1.21
	HGU2.421-BT8	150.00	1.91
	HGU2.421-BT9	40.00	1.37
	HGU2.421-BT10-A	40.00	1.37
	HGU2.421-BT10-B	40.00	1.37
	HGU2.421-BT11	60.00	1.75
	HGU2.421-BT12	60.00	1.28
HGU2.421-BT13	60.00	0.97	

Fuente: Departamento de Producción de la Planta Productora de Agregados.

Otro de los datos que suministró la empresa en conjunto con manuales que se consultaron fueron los pesos debido a equipo instalado en los conveyors, se buscó un peso estándar por tipo de equipo; se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 7. Pesos de equipo instalado en conveyors

Rodillos (kg)		Tambores (kg)		Motor (kg)	Caja Reduc (kg)
Carga	Retorno	Motriz	Cola		
12.701	7.711	44.452	44.452	109.000	36.333

Fuente: Manuales del fabricante.

En la modelación con SAP2000v18 se realizó un Análisis Modal Espectral, justificando la utilización de este tipo de análisis se presenta el siguiente cuadro.

Cuadro 8. Modos de Vibración necesarios para superar el 90% de participación de masa.

TRANSPORTADOR	% PARTICIPACION DE MASA >90%	
	$\sum X$ (#modo)	$\sum y$ (#modo)
HGU2.421-BT1	147	17
HGU2.421-BT2	136	19
HGU2.421-BT3	139	34
HGU2.421-BT5	215	30
HGU2.421-BT6	128	74
HGU2.421-BT7	102	62
HGU2.421-BT8	120	22
HGU2.421-BT9	105	29
HGU2.421-BT10-A/10-B	86	60
HGU2.421-BT11	99	26
HGU2.421-BT12	58	22
HGU2.421-BT13	124	25

Fuente: Modelos SAP2000v18.

Dentro de las cargas accidentales se encuentra la carga de viento que para su cálculo necesitó de la determinación de la presión básica de viento según a altura de incidencia, para ello se utilizó a siguiente tabla.

Tablas para presión básica del viento

Altura sobre el terreno (m)	Ciudad o rugosidad comparable q (kg/m ²)	Campo abierto o rugosidad comparable q (kg/m ²)
0	55	70
1	55	70
7	65	95
10	69	105
15	75	120
20	85	125
30	95	135
40	105	145
50	110	150
75	120	165

Figura 65 Presión básica de viento en función de la altura sobre el terreno.

Fuente: Reglamento de Construcciones de Costa Rica, 1983.

Una vez corridos los modelos se logró determinar el comportamiento de los elementos de cada conveyor, resultado que se muestra en el cuadro siguiente.

Cuadro.9 Comportamiento estructural de los elementos en cada conveyer.

TRANSPORTADOR	ELEMENTO	COMPORTAMIENTO
HGU2.421-BT1	Verticales	Flexión+Tensión+Cortante
	Diagonales de Fondo	Flexión+Tensión+Cortante
	Diagonales Laterales (Baranda)	Flexión+Compresión+Cortante
	Diagonales Laterales	Flexión+Compresión+Cortante
	Longitudinales	Flexión+Compresión+Cortante
	Transversales	Flexión+Tensión+Cortante
HGU2.421-BT2	Verticales	Flexión+Compresión+Cortante
	Diagonales de Fondo	Flexión+Tensión+Cortante
	Diagonales Laterales (Baranda)	Flexión+Tensión+Cortante
	Diagonales Laterales	Flexión+Tensión+Cortante
	Longitudinales	Flexión+Tensión+Cortante
	Transversales	Flexión+Compresión+Cortante
HGU2.421-BT3	Verticales	Flexión+Tensión+Cortante
	Diagonales de Fondo	Flexión+Compresión+Cortante
	Diagonales Laterales (Baranda)	Flexión+Compresión+Cortante
	Diagonales Laterales	Flexión+Compresión+Cortante
	Longitudinales	Flexión+Compresión+Cortante
	Transversales	Flexión+Tensión+Cortante
HGU2.421-BT5	Verticales	Flexión+Compresión+Cortante
	Diagonales de Fondo	Flexión+Compresión+Cortante
	Diagonales Laterales (Baranda)	Flexión+Compresión+Cortante
	Diagonales Laterales	Flexión+Compresión+Cortante
	Longitudinales	Flexión+Compresión+Cortante
	Transversales	Flexión+Tensión+Cortante
HGU2.421-BT6	Verticales	Flexión+Tensión+Cortante
	Diagonales de Fondo	Flexión+Compresión+Cortante
	Diagonales Laterales (Baranda)	Flexión+Compresión+Cortante
	Diagonales Laterales	Flexión+Compresión+Cortante
	Longitudinales	Flexión+Tensión+Cortante
	Transversales	Flexión+Tensión+Cortante

TRANSPORTADOR	ELEMENTO	COMPORTAMIENTO
HGU2.421-BT7	Verticales	Flexión+Tensión+Cortante
	Diagonales de Fondo	Flexión+Tensión+Cortante
	Diagonales Laterales (Baranda)	Flexión+Compresión+Cortante
	Diagonales Laterales	Flexión+Compresión+Cortante
	Longitudinales	Flexión+Compresión+Cortante
	Transversales	Flexión+Compresión+Cortante
HGU2.421-BT8	Verticales	Flexión+Tensión+Cortante
	Diagonales de Fondo	Flexión+Tensión+Cortante
	Diagonales Laterales (Baranda)	Flexión+Compresión+Cortante
	Diagonales Laterales	Flexión+Compresión+Cortante
	Longitudinales	Flexión+Compresión+Cortante
	Transversales	Flexión+Tensión+Cortante
HGU2.421-BT9	Verticales	Flexión+Tensión+Cortante
	Diagonales de Fondo	Flexión+Tensión+Cortante
	Diagonales Laterales (Baranda)	Flexión+Compresión+Cortante
	Diagonales Laterales	Flexión+Compresión+Cortante
	Longitudinales	Flexión+Compresión+Cortante
	Transversales	Flexión+Compresión+Cortante
HGU2.421-BT10-A/10-B	Verticales	Flexión+Compresión+Cortante
	Diagonales de Fondo	Flexión+Tensión+Cortante
	Diagonales Laterales (Baranda)	Flexión+Compresión+Cortante
	Diagonales Laterales	Flexión+Compresión+Cortante
	Longitudinales	Flexión+Tensión+Cortante
	Transversales	Flexión+Compresión+Cortante
HGU2.421-BT11	Verticales	Flexión+Tensión+Cortante
	Diagonales de Fondo	Flexión+Tensión+Cortante
	Diagonales Laterales (Baranda)	Flexión+Compresión+Cortante
	Diagonales Laterales	Flexión+Compresión+Cortante
	Longitudinales	Flexión+Compresión+Cortante
	Transversales	Flexión+Tensión+Cortante

TRANSPORTADOR	ELEMENTO	COMPORTAMIENTO
HGU2.421-BT12	Verticales	Flexión+Compresión+Cortante
	Diagonales de Fondo	Flexión+Compresión+Cortante
	Diagonales Laterales (Baranda)	Flexión+Compresión+Cortante
	Diagonales Laterales	Flexión+Compresión+Cortante
	Longitudinales	Flexión+Tensión+Cortante
	Transversales	Flexión+Tensión+Cortante
HGU2.421-BT13	Verticales	Flexión+Compresión+Cortante
	Diagonales de Fondo	Flexión+Compresión+Cortante
	Diagonales Laterales (Baranda)	Flexión+Compresión+Cortante
	Diagonales Laterales	Flexión+Compresión+Cortante
	Longitudinales	Flexión+Compresión+Cortante
	Transversales	Flexión+Tensión+Cortante

Fuente: Modelos de SAP2000v18.

Informe fase 3

En este tercer informe de resultados se calculó el IDE que es el parámetro que se utilizó para la toma de decisiones.

Como resultado inicial se muestra el siguiente cuadro que resume los resultados obtenidos en cuanto a IC de pasarelas se refiere.

Cuadro.10 Resumen de IC de pasarelas de acceso.

NOMBRE	IC GLOBAL	CLASIFICACIÓN
HGU2.421-BT7	1.81	BAJA
HGU2.421-BT8	1.81	BAJA
HGU2.421-BT10-A/10-B	1.81	BAJA
HGU2.421-BT1	1.75	BAJA
HGU2.421-BT2	1.75	BAJA
HGU2.421-BT3	1.75	BAJA
HGU2.421-BT5	1.75	BAJA
HGU2.421-BT9	1.63	BAJA
HGU2.421-BT11	1.63	BAJA
HGU2.421-BT12	1.50	BAJA
HGU2.421-BT13	1.50	BAJA
HGU2.421-BT6	1.38	BAJA

Continuando con el IC, también se generaron figuras que representan el estado de la planta y sus estructuras, en el Anexo 5 se

muestran los cuadros de los cuales se obtuvieron dichas figuras. De la figura 23 a la 29 se muestran los resultados obtenidos del cálculo del IC para las pasarelas de

acceso, estas figuras hacen referencia al cuadro 11 del Anexo 5.

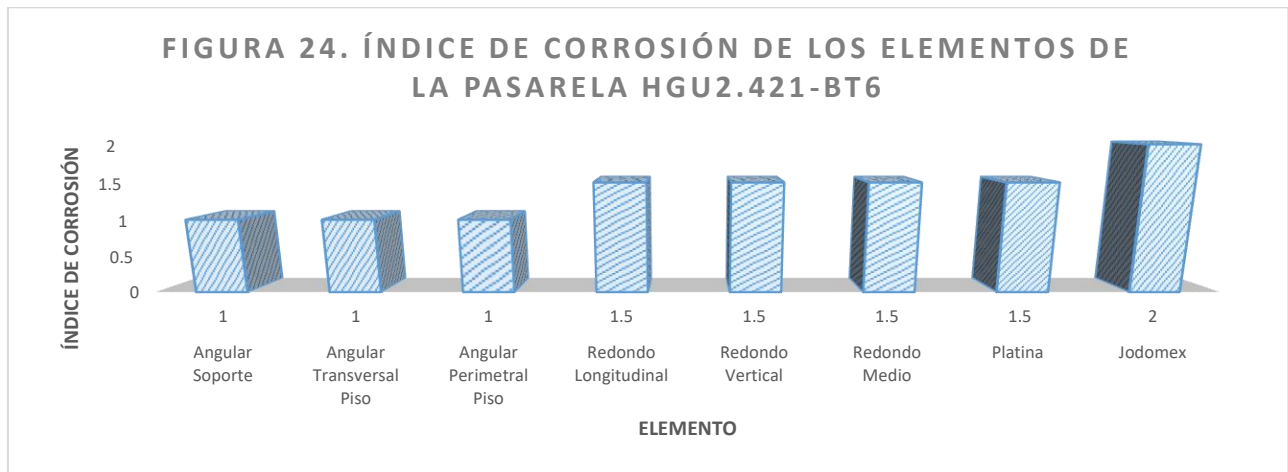
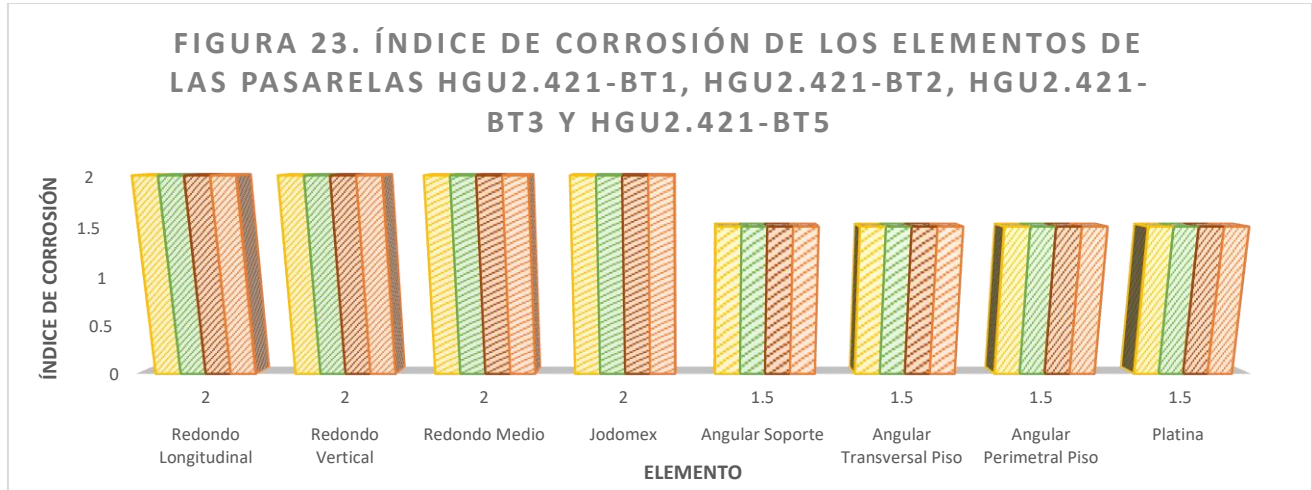


FIGURA 25. ÍNDICE DE CORROSIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA PASARELA HGU2.421-BT7

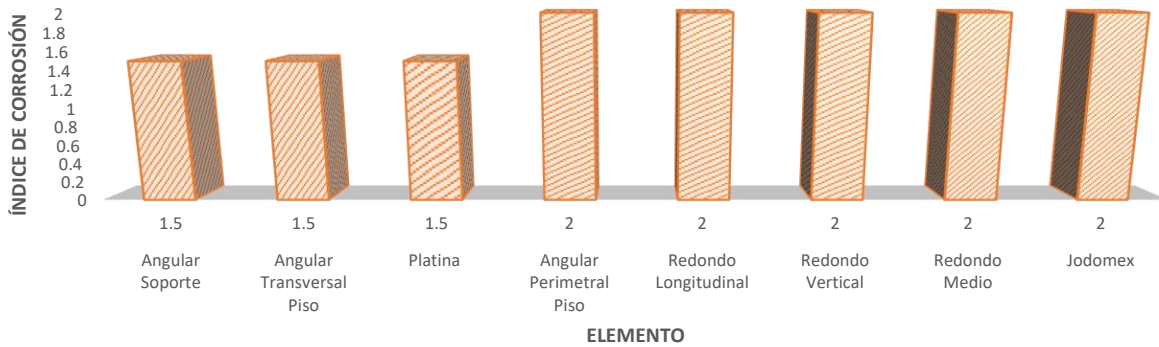


FIGURA 26. ÍNDICE DE CORROSIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA PASARELA HGU2.421-BT8

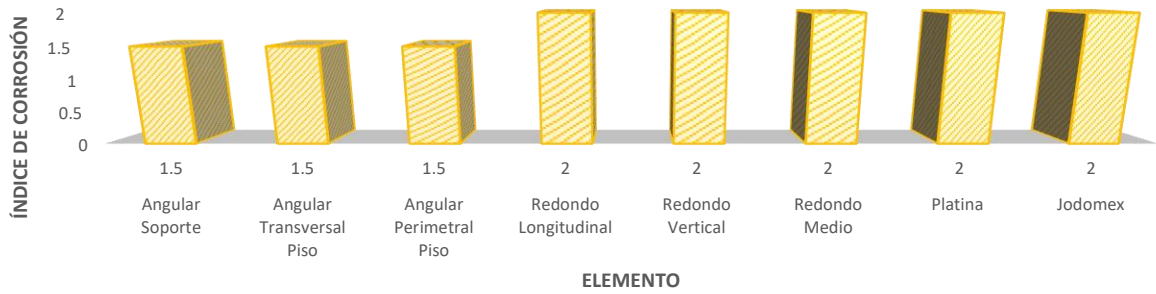


FIGURA 27. ÍNDICE DE CORROSIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA PASARELA HGU2.421-BT9 Y HGU2.421-BT11

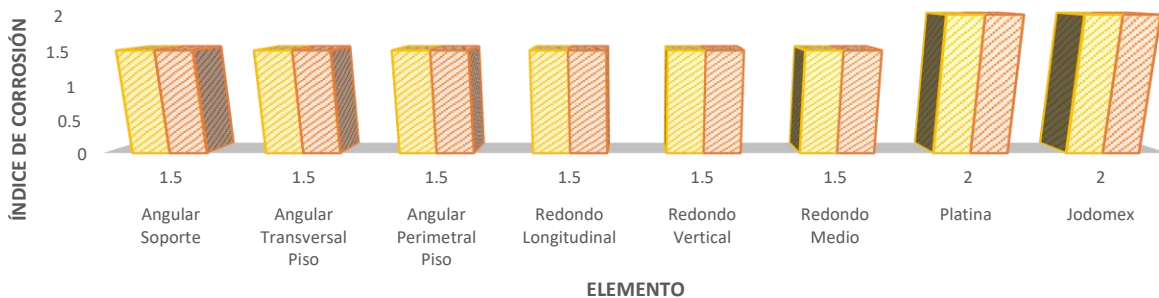


FIGURA 28. ÍNDICE DE CORROSIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA PASARELA HGU2.421-BT10-A/10-B

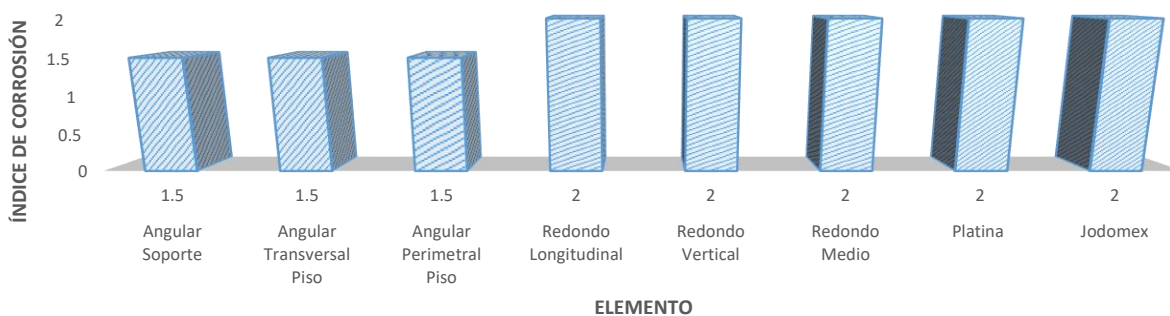
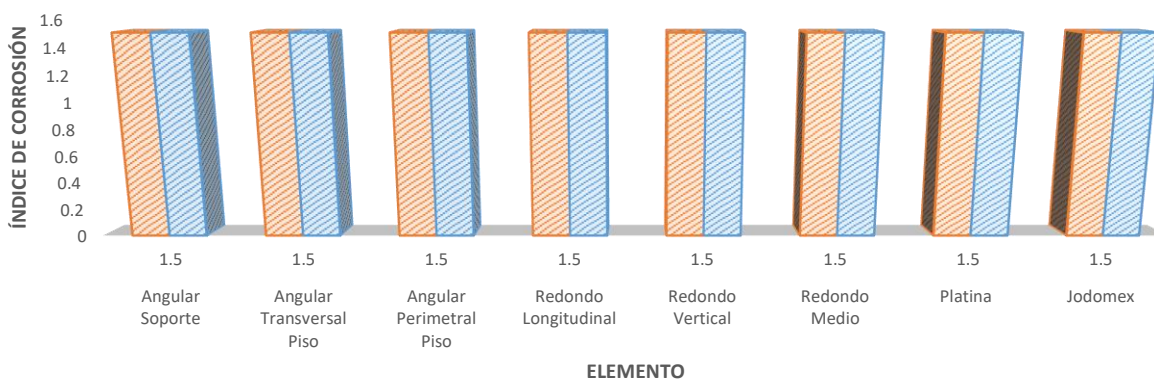
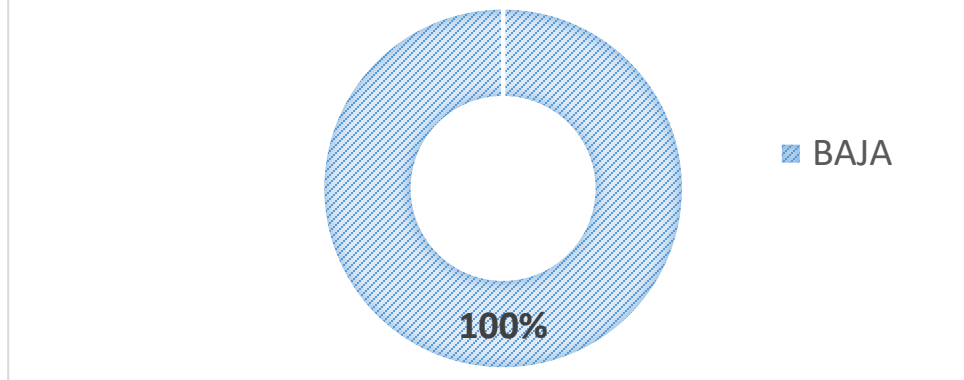


FIGURA 29. ÍNDICE DE CORROSIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA PASARELA HGU2.421-BT12 Y HGU2.421-BT13



En la figura 30 se muestra un gráfico global del estado de la planta con respecto a las pasarelas de acceso y el IC. Tomada del cuadro 11 del Anexo 5.

FIGURA 30. ESTADO GENERAL DE LA PLANTA SECUNDARIA CON RESPECTO AL IC DE LAS PASARELAS



El índice estructural es el segundo dato que fue necesario generar para la obtención del

IDE, se muestra a continuación. Recordar que este índice aplica únicamente para los conveyors.

Cuadro.11 Índice Estructural global y por elemento de conveyors.

TRANSPORTADOR	ELEMENTO	LONGITUD (1-6)	IMPORTANCIA (1-6)	DEFORMACIONES (1 ó 2)	INDICE ESTRUCTURAL	
					ELEMENTO	GLOBAL
HGU2.421-BT1	Verticales	2	2	1	1.667	2.778
	Diagonales de Fondo	5	3	1	3.000	
	Diagonales Laterales (Baranda)	3	6	1	3.333	
	Diagonales Laterales	3	5	1	3.000	
	Longitudinales	6	4	1	3.667	
	Transversales	4	1	1	2.000	

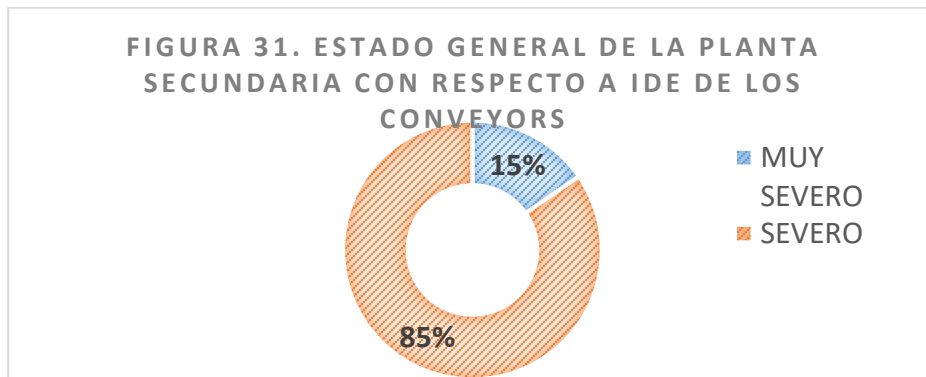
TRANSPORTADOR	ELEMENTO	LONGITUD (1-6)	IMPORTANCIA (1-6)	DEFORMACIONES (1 ó 2)	INDICE ESTRUCTURAL	
					ELEMENTO	GLOBALE
HGU2.421-BT2	Verticales	2	1	1	1.333	2.778
	Diagonales de Fondo	5	3	1	3.000	
	Diagonales Laterales (Baranda)	3	5	1	3.000	
	Diagonales Laterales	3	6	1	3.333	
	Longitudinales	6	4	1	3.667	
	Transversales	4	2	1	2.333	
HGU2.421-BT3	Verticales	2	3	1	2.000	2.778
	Diagonales de Fondo	5	2	1	2.667	
	Diagonales Laterales (Baranda)	3	5	1	3.000	
	Diagonales Laterales	3	6	1	3.333	
	Longitudinales	6	4	1	3.667	
	Transversales	4	1	1	2.000	
HGU2.421-BT5	Verticales	2	3	1	2.000	2.778
	Diagonales de Fondo	5	2	1	2.667	
	Diagonales Laterales (Baranda)	3	6	1	3.333	
	Diagonales Laterales	3	5	1	3.000	
	Longitudinales	6	4	1	3.667	
	Transversales	4	1	1	2.000	
HGU2.421-BT6	Verticales	2	2	1	1.667	2.778
	Diagonales de Fondo	5	3	1	3.000	
	Diagonales Laterales (Baranda)	3	6	1	3.333	
	Diagonales Laterales	3	5	1	3.000	
	Longitudinales	6	4	1	3.667	
	Transversales	4	1	1	2.000	

TRANSPORTADOR	ELEMENTO	LONGITUD (1-6)	IMPORTANCIA (1-6)	DEFORMACIONES (1 ó 2)	INDICE ESTRUCTURAL	
					ELEMENTO	GLOBAL
HGU2.421-BT7	Verticales	2	3	1	2.000	2.778
	Diagonales de Fondo	5	2	1	2.667	
	Diagonales Laterales (Baranda)	3	4	1	2.667	
	Diagonales Laterales	3	5	1	3.000	
	Longitudinales	6	6	1	4.333	
	Transversales	4	1	1	2.000	
HGU2.421-BT8	Verticales	2	2	1	1.667	2.778
	Diagonales de Fondo	5	3	1	3.000	
	Diagonales Laterales (Baranda)	3	4	1	2.667	
	Diagonales Laterales	3	5	1	3.000	
	Longitudinales	6	6	1	4.333	
	Transversales	4	1	1	2.000	
HGU2.421-BT9	Verticales	2	4	1	2.333	2.778
	Diagonales de Fondo	5	2	1	2.667	
	Diagonales Laterales (Baranda)	3	5	1	3.000	
	Diagonales Laterales	3	6	1	3.333	
	Longitudinales	6	3	1	3.333	
	Transversales	4	1	1	2.000	
HGU2.421-BT10-A/10-B	Verticales	2	2	1	1.667	2.778
	Diagonales de Fondo	5	3	1	3.000	
	Diagonales Laterales (Baranda)	3	5	1	3.000	
	Diagonales Laterales	3	6	1	3.333	
	Longitudinales	6	4	1	3.667	
	Transversales	4	1	1	2.000	

TRANSPORTADOR	ELEMENTO	LONGITUD (1-6)	IMPORTANCIA (1-6)	DEFORMACIONES (1 ó 2)	INDICE ESTRUCTURAL	
					ELEMENTO	GLOBA L
HGU2.421-BT11	Verticales	2	3	1	2.000	2.778
	Diagonales de Fondo	5	2	1	2.667	
	Diagonales Laterales (Baranda)	3	6	1	3.333	
	Diagonales Laterales	3	5	1	3.000	
	Longitudinales	6	4	1	3.667	
	Transversales	4	1	1	2.000	
HGU2.421-BT12	Verticales	2	2	1	1.667	2.778
	Diagonales de Fondo	5	3	1	3.000	
	Diagonales Laterales (Baranda)	3	6	1	3.333	
	Diagonales Laterales	3	4	1	2.667	
	Longitudinales	6	5	1	4.000	
	Transversales	4	1	1	2.000	
HGU2.421-BT13	Verticales	2	2	1	1.667	2.778
	Diagonales de Fondo	5	3	1	3.000	
	Diagonales Laterales (Baranda)	3	5	1	3.000	
	Diagonales Laterales	3	4	1	2.667	
	Longitudinales	6	6	1	4.333	
	Transversales	4	1	1	2.000	

Por último, se combinaron los 2 índices (IC + IE) generando el IDE, en esta sección se obtuvo un gráfico que muestra la situación global de la

planta, mostrado en la siguiente figura, fue tomado del cuadro 12 del Anexo 5.



De la figura 32 a la 37 se muestran los porcentajes de daño que presenta cada conveyer de forma general en sus elementos.

En el Anexo 5 se muestra el cuadro 12, del cual se derivan cada una de estas figuras.

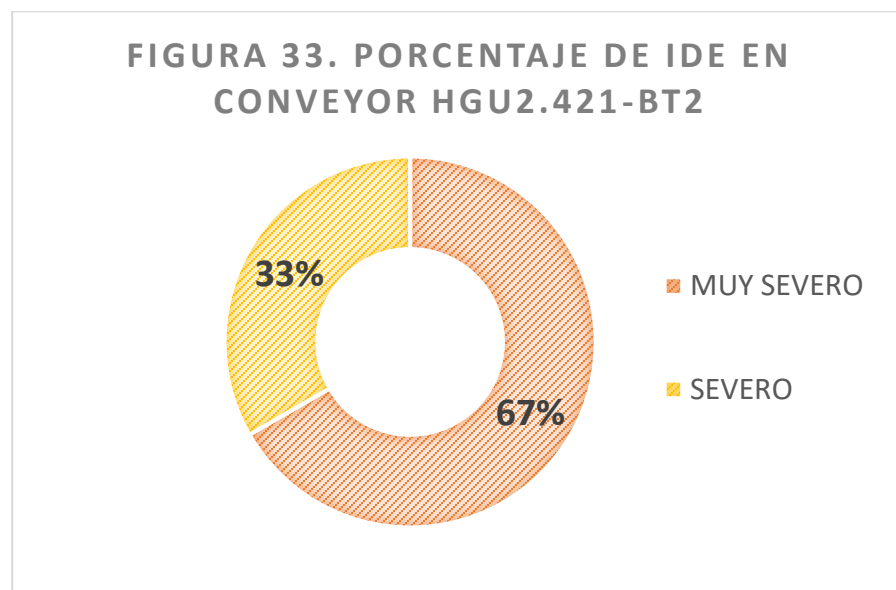
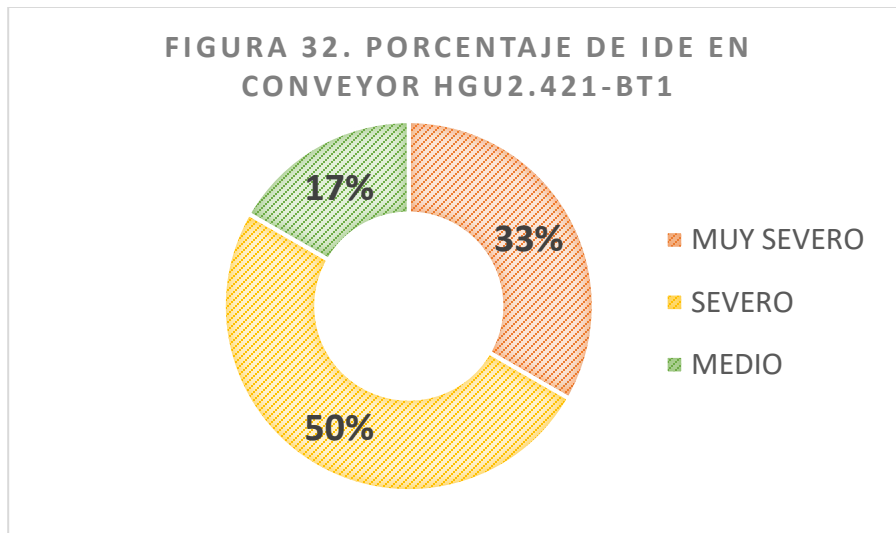


FIGURA 34. PORCENTAJE DE IDE EN CONVEYOR HGU2.421-BT3, HGU2.421-BT5, HGU2.421-BT8, HGU2.421-BT9 Y HGU2.421-BT12

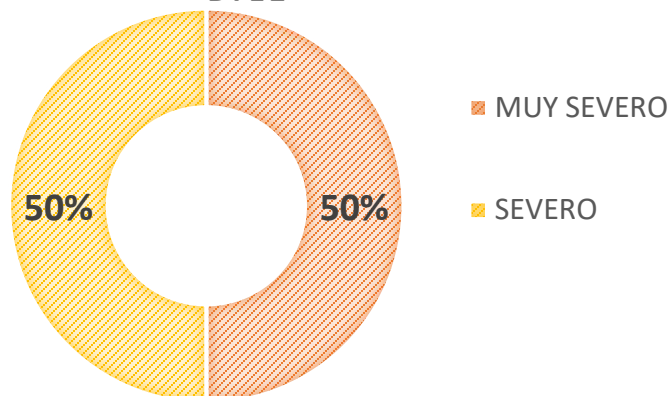


FIGURA 35. PORCENTAJE DE IDE EN CONVEYOR HGU2.421-BT6, HGU2.421-BT10-A/10-B

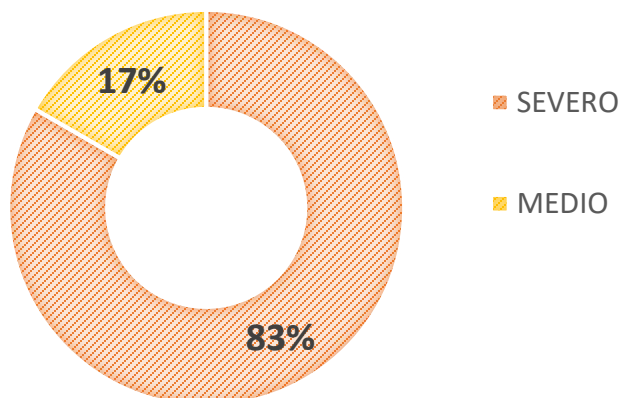


FIGURA 36. PORCENTAJE DE IDE EN CONVEYOR HGU2.421-BT7 Y HGU2.421-BT11

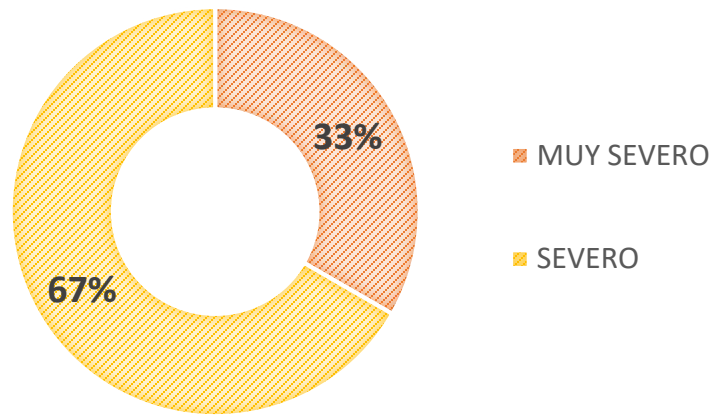
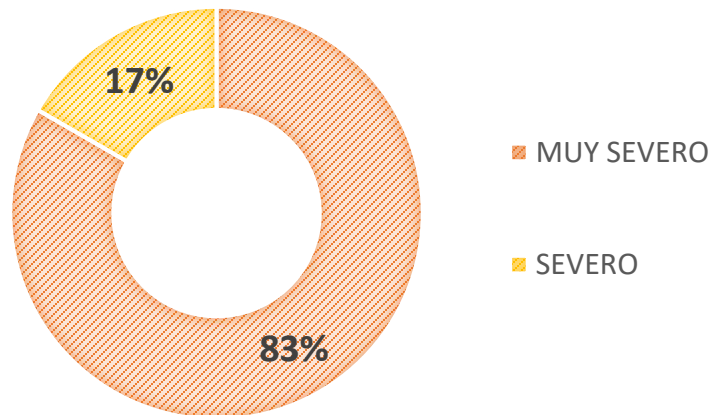


FIGURA 37. PORCENTAJE DE IDE EN CONVEYOR HGU2.421-BT13



Por último de la figura 37 a la 48 se muestran los gráficos de IDE por elemento de cada conveyor.

Al igual que las figuras anteriores se derivan del cuadro 12 que se encuentra en la sección de Anexos en el Anexo 5 para ser más específicos.

FIGURA 38. ÍNDICE DE DAÑO ESTRUCTURAL DE LOS ELEMENTOS DEL CONVEYOR HGU2.421-BT1

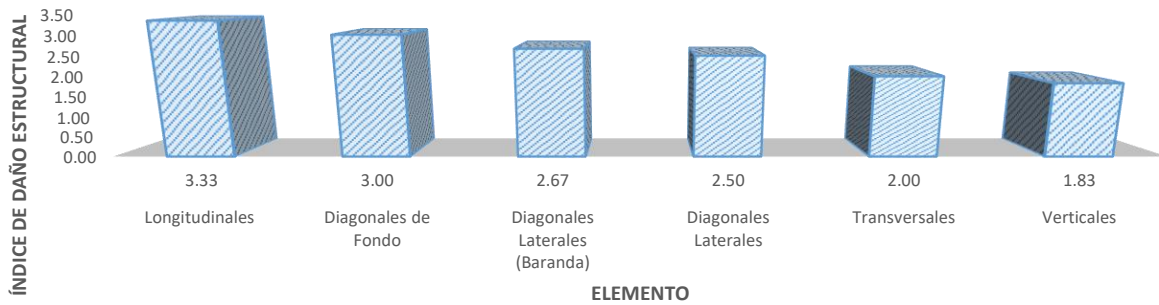


FIGURA 39. ÍNDICE DE DAÑO ESTRUCTURAL DE LOS ELEMENTOS DEL CONVEYOR HGU2.421-BT2

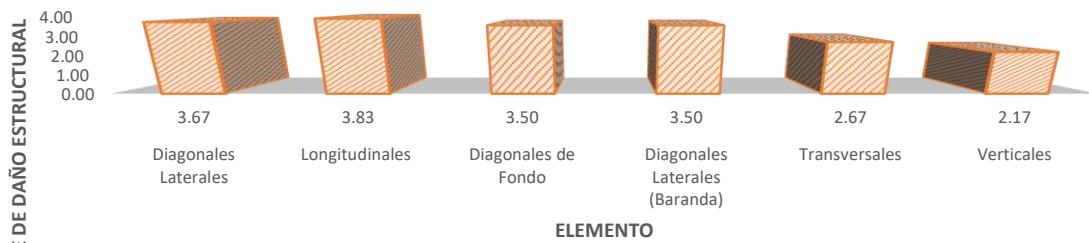


FIGURA 40. ÍNDICE DE DAÑO ESTRUCTURAL DE LOS ELEMENTOS DEL CONVEYOR HGU2.421-BT3

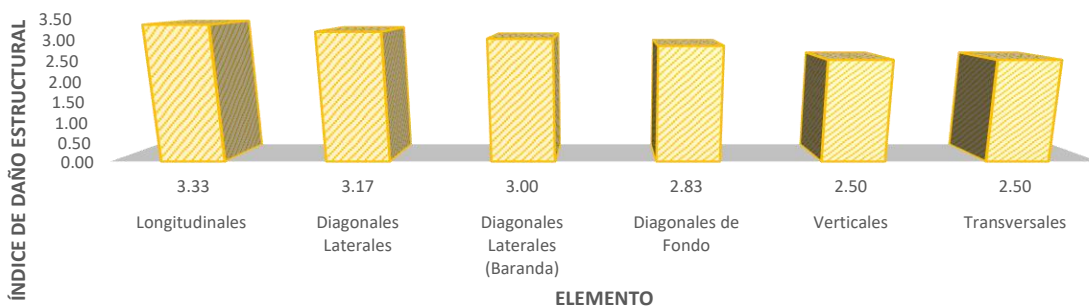


FIGURA 41. ÍNDICE DE DAÑO ESTRUCTURAL DE LOS ELEMENTOS DEL CONVEYOR HGU2.421-BT5

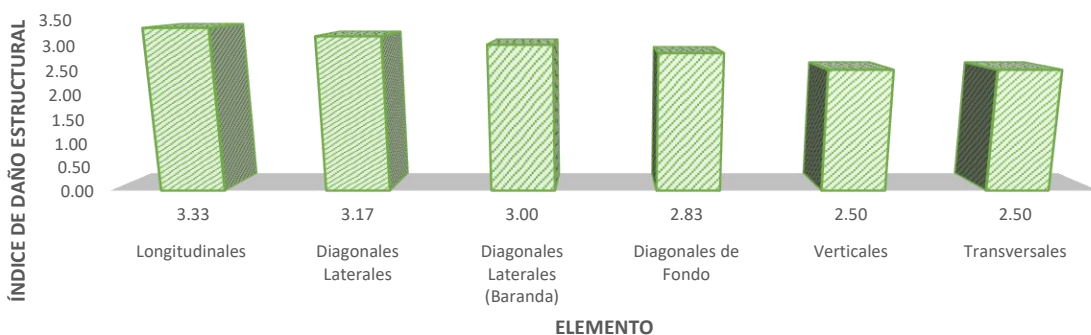


FIGURA 42. ÍNDICE DE DAÑO ESTRUCTURAL DE LOS ELEMENTOS DEL CONVEYOR HGU2.421-BT6

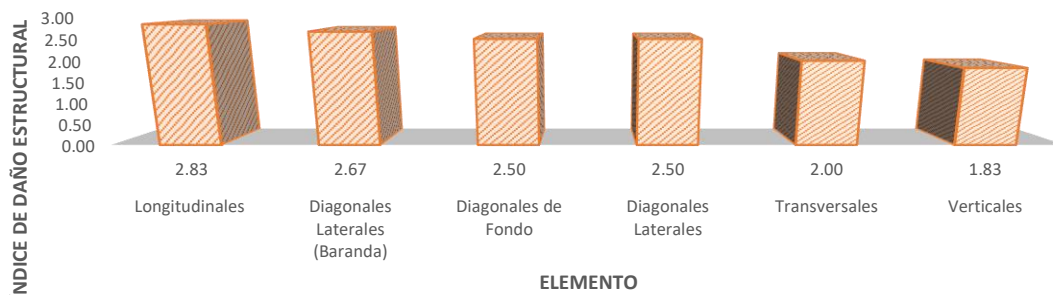


FIGURA 43. ÍNDICE DE DAÑO ESTRUCTURAL DE LOS ELEMENTOS DEL CONVEYOR HGU2.421-BT7

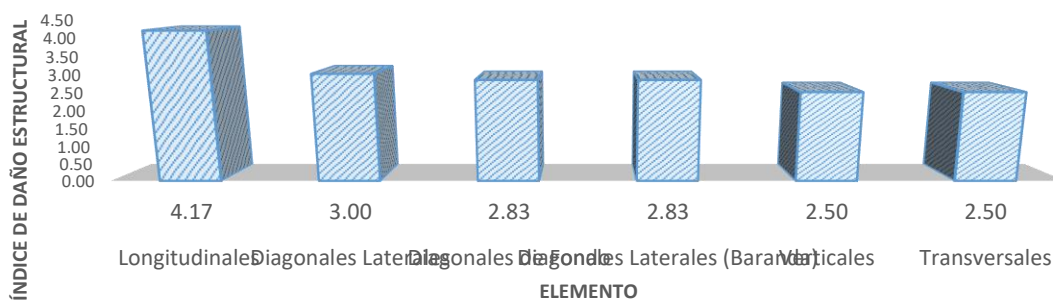


FIGURA 44. ÍNDICE DE DAÑO ESTRUCTURAL DE LOS ELEMENTOS DEL CONVEYOR HGU2.421-BT8

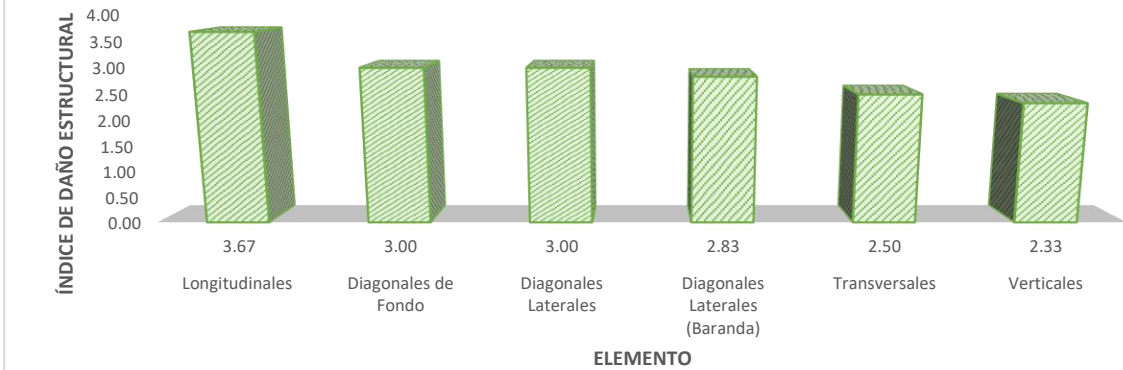


FIGURA 45. ÍNDICE DE DAÑO ESTRUCTURAL DE LOS ELEMENTOS DEL CONVEYOR HGU2.421-BT9

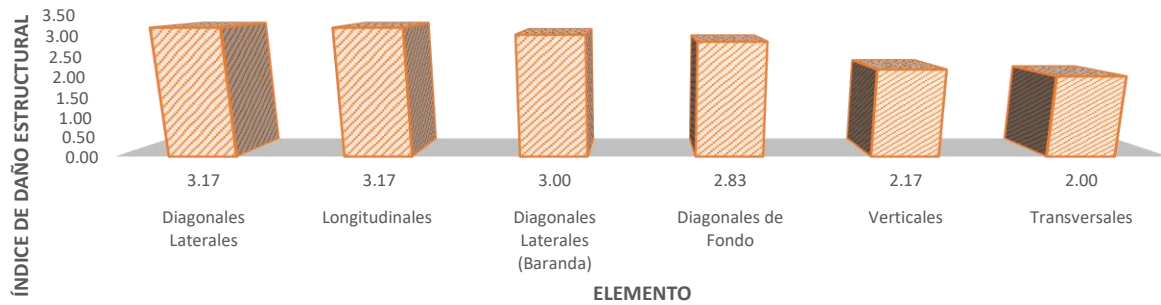


FIGURA 46. ÍNDICE DE DAÑO ESTRUCTURAL DE LOS ELEMENTOS DEL CONVEYOR HGU2.421-BT10-A/10-B

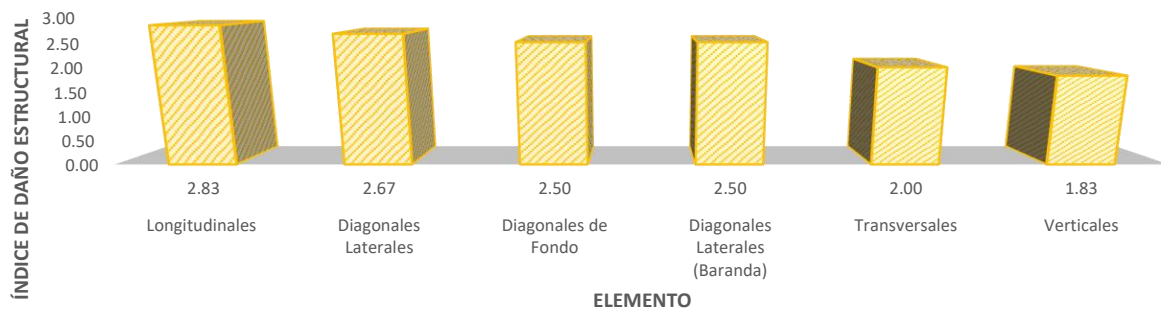


FIGURA 47. ÍNDICE DE DAÑO ESTRUCTURAL DE LOS ELEMENTOS DEL CONVEYOR HGU2.421-BT11

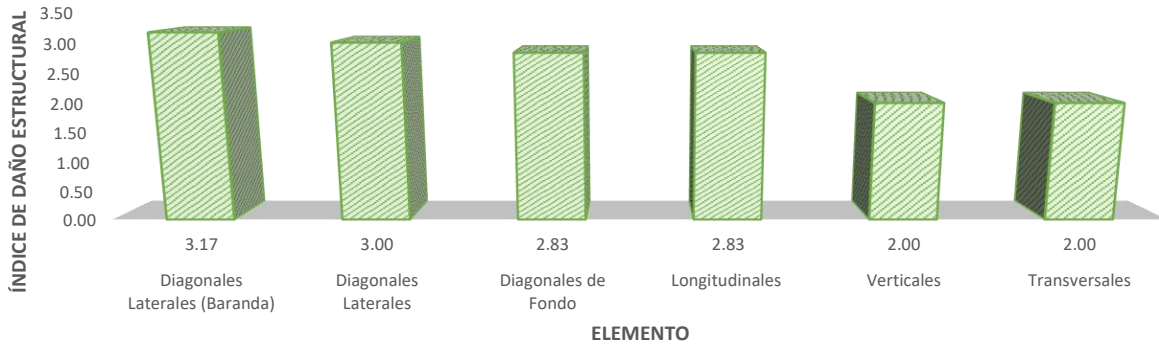


FIGURA 48. ÍNDICE DE DAÑO ESTRUCTURAL DE LOS ELEMENTOS DEL CONVEYOR HGU2.421-BT12

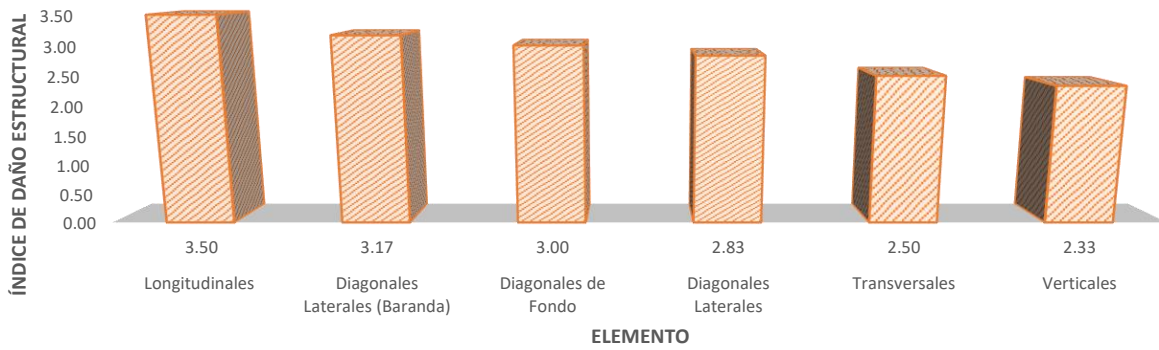
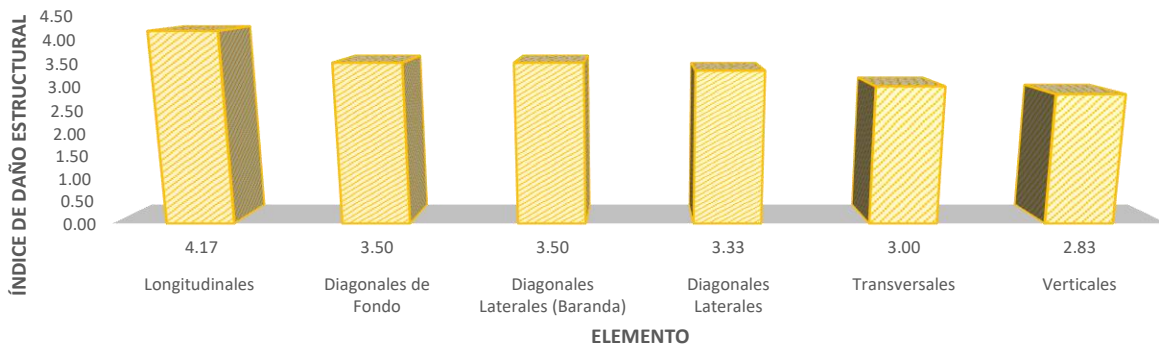


FIGURA 49. ÍNDICE DE DAÑO ESTRUCTURAL DE LOS ELEMENTOS DEL CONVEYOR HGU2.421-BT13



Análisis de los resultados

En la sección de resultados los datos obtenidos se dividieron, al igual que la metodología, en 3 fases por lo que el análisis de resultados no va a ser la excepción.

Informe fase 1

El objetivo principal de esta fase 1 consistía en la inspección y recopilación de datos, información dividida en 2: Modelo Original y Modelo de Campo.

En las figuras 14, 15 y 16 se observan diferentes vistas del modelo original, la primera de ellas muestra un corte transversal de la pasarela de acceso en el cual se pueden identificar 3 estructuras: baranda conformada por tubos redondos tipo HN de 1" y ½" junto con una platina que funciona como rodapié de 3", luego se puede diferenciar la estructura de piso, formada por una lámina de jordomex y perfiles angulares de 2" que sostienen y encajona la lámina de piso. Por último, se tiene la estructura de soporte que son angulares de 2" de lado que unen la pasarela a la estructura principal del transportador. En la figura 15 se muestra una vista superior de la pasarela donde se observa como los angulares de soporte se distribuyen a lo largo de toda la longitud de la pasarela uniendo la misma al conveyer, por otro lado, en la Figura 16 se observa una vista lateral, figura que revela como dato importante en la distribución de los elementos que los elementos verticales de la baranda coinciden en separación con los angulares de soporte, es decir, donde hay angular de soporte hay

tubo vertical de baranda, además en esta misma figura se observa que la baranda posee, a media altura posee un elemento medianero.

En las figuras 17 y 18 se observan vistas del modelo original, pero en este caso de los conveyers, en la primera de ellas se observa una vista superior donde se puede apreciar el tejido de fondo en angulares de 1.5" que se distribuye a lo largo de toda la estructura; también se pueden diferenciar 2 tipos de estructuras: perímetro de conveyer con angulares de 2" y los diagonales de fondo con angulares de 1.5". La vista lateral del conveyer es la que se presenta en la figura 18 en ella se puede observar los diagonales laterales, ambos lados de la estructura tienen la misma configuración, el tejido es en angulares de 1.5", un dato importante es la altura del conveyer que según el modelo original es de 60cm.

La distribución de la planta y sus estructuras responden a un diseño inicial que se generó hace aproximadamente 15 años, distribución que se ha mantenido; es por esta razón que el modelo original, que es producto de este diseño inicial, se tomó como punto de partida y situación ideal. Al llegar a la planta esta no cuenta con la documentación suficiente que respalde y describa el diseño, el modelo original utilizado se obtuvo gracias a la colaboración del técnico del taller de la planta; es importante mencionar esto porque como se dijo el modelo original fue el punto de partida de este proyecto y es necesario conocer el origen del mismo, hubiera sido preferible que la documentación original se

encontrara en la planta, pero al no estar la opción más confiable.

Los cuadros 3 y 4 resumen la información recopilada en el levantamiento de campo, es decir la información para generar los 13 modelos de campo.

El cuadro 3 muestra los datos por tipo de elemento de cada una de las pasarelas de acceso, en él se comparan ambos modelos, original y de campo, desde 2 factores: sección transversal y longitud del elemento. Comparando las secciones transversales se notan discrepancias en todas las pasarelas en los angulares que soportan el piso siendo el modelo original un angular de 2" de lado mientras que en campo se tienen angulares de 1", se reduce la sección transversal del elemento en una pulgada de lado, lo que implica un elemento menos resistente que puede comprometer la estructura del piso a que este es el soporte de la lámina de jordomex, al ser todas las pasarelas las que difieren se puede pensar que es un error del diseño original y no de los modelos de campo pero se volvió a corroborar el dato con el jefe de taller y este insistió en que esa es la sección que debe usarse como soporte de lámina de piso. Aún con respecto a ese mismo factor (sección trasversal) se tienen diferencias en cuanto al ancho de la platina de rodapié de la baranda prácticamente todas las pasarelas, las únicas 3 que cumplen con el ancho del modelo original son la HGU2.421-BT6, HGU2.421-BT10-A y HGU2.421-BT10-B; todas las demás pasarelas agregan una o dos pulgadas de ancho a dicha platina, se puede pensar que es algo insignificante y que al no ser elementos estructurales, sino que son elementos de seguridad para los operarios, no pasa nada pero este aumento de sección implica mayor peso propio en la estructura lo que puede comprometer la estructura. Los demás elementos de la pasarela cumplen con la sección transversal del modelo original. Siguiendo con el mismo cuadro pero ahora con el factor de longitud de los elementos, lo que busca es conocer si existe o no faltante de piezas, se observa que

4 de los 13 pasarelas cuenta con faltante de piezas en el elemento denominado angular transversal de piso que lo que hace es generar junto con el angular de soporte y el angular de perímetro de piso la plantilla en la que se apoya la lámina de jordomex, el faltante de esta pieza lo que genera son áreas de esta lamina mayores a las de diseño provocando deformaciones que de hecho se evidencian en el campo; las 4 pasarelas son BT-2, BT-3, BT-6 y BT-8.

En el cuadro 4 se observa la comparación entre modelo original vs los modelos de campo de los conveyors, en este cuadro se evaluaron los mismos factores que en el cuadro anterior. En el caso de las secciones transversales no se encontraron diferencias entre modelos, pero en cuanto a la altura del conveyor (ver figura 16) el modelo original propone una altura de 60cm, medida que en 4 de los conveyors no se cumple: HGU2.421-BT8, HGU2.421-BT10-A, HGU2.421-BT10-B y HGU2.421-BT13. En estos 4 conveyors la altura es de 40cm, lo que implica un modelo totalmente diferente al modelo original en cuanto a longitudes se refiere. Curiosamente estas 4 estructuras de las que se está hablando son las que han requerido mayor intervención, la BT-10A y BT-10B en un inicio era una solo estructura, pero se pandeo de tal manera que se tuvo que dividir en 2 independientes, BT8 es el transportador más inestable de la planta, es decir, es el que requiere de mayor cantidad de intervenciones porque se encuentra pandeada sobre su eje longitudinal entonces se le colocan refuerzos en secciones claves, además de disminuir el peso de la parte más alta del mismo para evitar el colapso. Importante mencionar que estas estructuras poseen un apoyo móvil en uno de sus extremos ya que son las que apilan el material al final de proceso (En la sección de anexos se presenta un registro fotográfico de todos los trasportadores, se recomienda observarlo). Se podría pensar que el no cumplimiento con las características del

modelo original se presentan los inconvenientes descritos.

Las figuras 19,20 y 21 muestran un ejemplo de los modelos de campo generados.

En esta fase de inspección también se realizó un levantamiento de daños, es decir se tomaron en cuenta problemas observados en los elementos al mismo tiempo que se analizaba el entorno para determinar las causas y proponer soluciones, en el cuadro 5 se hace referencia a esta información. La corrosión es el principal problema que tiene esta planta, la mayoría de elementos poseen este problema como se describió en el marco teórico la corrosión se por la combinación del oxígeno del aire y la humedad del ambiente, analizando el clima de la zona se tiene que la humedad en la zona donde se encuentra la planta ronda entre un 85-88% (Instituto Meteorológico Nacional) por lo que es un ambiente que propicia el desarrollo de la corrosión, por otro lado dentro del proceso se cuenta con máquinas de lavado que utilizan el agua además de que la materia prima de todo el proceso se extrae de un río; todas estas causas mencionadas son propias del proceso y del ambiente en el que trabaja la planta por lo que son inevitables y se debe lidiar con ellas, pero también existen causas que se pueden trabajar para disminuir su aporte a la generación de corrosión. La acumulación de residuos de material se consideró como una de las causas del deterioro, los transportadores llevan el material de un equipo a otro y en esos trayectos se da la caída de material por acción del viento y las vibraciones propias del proceso de manera que se acumula en las pasarelas, uniones entre elementos... convirtiéndose en capas de material que generan humedad localizada que con el paso del tiempo se traduce en corrosión, además de que interviene de manera negativa el ambiente de trabajo seguro; la acumulación de estos materiales se puede ver disminuida en gran cantidad si se efectuaran limpiezas periódicas de la planta donde se removiera estos residuos además de colocar cubiertas en los trayectos donde el

material sea de una granulometría tal que el viento y la vibración provoquen su caída. Otra de las causas que pueden ser mitigadas se menciona la falta de mantenimiento del recubrimiento con pintura del acero de toda la planta, si se sabe que es un ambiente propicio para la generación de corrosión y se tiene la pintura como mecanismo de defensa el mantenimiento periódico es fundamental.

Informe fase 2

La fase 2 se trató de modelación en SAP2000 con el fin de conocer 2 factores: comportamiento de los elementos dentro de la estructura y la importancia en cuanto a la capacidad soportante de cada elemento. En esta etapa se trabajó con los conveyors únicamente.

En el cuadro 6 se muestran las condiciones de trabajo de cada uno de los transportadores, de ahí se puede observar que de la planta secundaria la BT2 y BT4 son las que poseen mayor tonelaje mientras que las BT-9, BT-10-A y BT-10-B son las que poseen el menor; es de esperarse que los primeros transportadores sean los que trasporten mayor tonelaje porque el proceso se trata de ir disminuyendo por medio de la trituración y el cribado la granulometría del material.

En el cuadro 7 se muestran los pesos utilizados en la modelación para representar el equipo instalado en los conveyors, como se observa en el cuadro solo se tiene un valor para cada tipo de equipo, lo que quiere decir que se utilizó el mismo valor para todos los modelos, esto porque para efectos de este proyecto no es tan necesaria la exactitud de las cargas sino el lugar donde se aplican para así conocer cómo se distribuye la misma a lo largo de la estructura generando esfuerzos en los elementos.

Las cargas accidentales utilizadas en el modelo fueron la carga de sismo y la de viento. El sismo representa una de las cargas

más importantes a considerar en Costa Rica por la gran actividad de este tipo que se genera, existen diferentes tipos de análisis para tratar el sismo en estructuras, el método más común es el estático pero este tiene como condición que para poder aplicarse la estructura en su primer modo de vibración debe considerar el 90% o más del porcentaje de participación de masa, condición que en ninguno de los 13 transportadores se cumple como se muestra en el cuadro 6 por lo que se decidió implementar un Análisis Modal Espectral para el cálculo de la fuerza sísmica.

Por otro lado, para el cálculo de la carga de viento se utilizó el Reglamento de Construcciones de Costa Rica como guía. En un inicio se pensó en omitir la fuerza del viento debido al tipo de estructura que se tiene, tipo celosía que oponen muy poca resistencia al paso del viento, pero al final se decidió incluir por el hecho de que los transportadores son estructuras con ángulo de inclinación importante porque lo que el extremo más alto ronda los 20 metros y como se sabe que la presión del viento aumenta con respecto a la altura de incidencia se tomó en cuenta. En la figura 65 se tiene la tabla para presión básica del viento de la cual se extrajeron los valores utilizados en la modelación.

En el cuadro 9 se muestra el comportamiento de los elementos dentro de la estructura, con este cuadro se puede observar como varían de un transportador a otro lo que indica que la estandarización en este tipo de estructuras no es una buena idea, cada uno de los conveyors poseen características geométricas diferentes como la longitud total y el ángulo de inclinación generando que la distribución de esfuerzos varíe. Los nodos de una armadura son aquellos puntos donde se unen los elementos de manera que se genera la transferencia de cargas, como principio del diseño se recomienda se hagan todo lo que son intersecciones porque evitan la generación de excentricidades y momentos innecesarios, en el diseño y armado de los conveyors no se tomó en cuenta este principio las

intersecciones entre pasarelas de acceso y conveyors se dan en cualquier punto sin importar si es nodo o no, lo mismo pasa con la ubicación de los rodillos tanto de carga como de retorno. En proyectos donde interactúen diferentes disciplinas como es el caso de la planta en cuestión es necesario trabajar en conjunto para evitar este tipo de cosas, de manera que ambos diseños tanto el mecánico (distribución de los equipos) como el civil (estructuras de soporte) se den de manera conjunta.

Informe fase 3

En esta última fase se trató de trabajo de oficina que culminó en el cálculo del índice de Daño Estructural (IDE), pero antes se determinaron los 2 índices que dieron vida al IDE, índice de corrosión (IC) y el índice estructural (IE).

El IC entre mayor es su valor quiere decir que posee mayor grado de corrosión, el IE entre mayor es más urgente es la intervención, por lo que al sumar los 2, IDE, entre mayor sea se debe intervenir con prioridad.

En el cuadro 10 de la sección de resultados se puede observar un resumen de lo que indicó el IC en las pasarelas de acceso, se puede observar que las pasarelas HGU2.421-BT7, HGU2.421-BT8, HGU2.421-BT10-A y HGU2-421-BT10-B son las que presentan mayor índice de corrosión, pero sin embargo toda la planta se encuentra dentro de la calificación baja, lo que quiere decir que las pasarelas no están en un estado crítico de corrosión, en ese mismo cuadro se puede deducir que las pasarelas BT13 Y BT6 son las que tienen menor índice de corrosión.

De la figura 23 a la 29 se muestra el índice de corrosión de pasarelas de acceso tomando en cuenta el calculado por cada elemento. Del cuadro anterior se dedujo que las pasarelas más afectadas eran las BT7, BT8 Y BT10-A/10-B, las cuales se encuentran

representadas en las figuras 25, 26 y 28 respectivamente, donde las 3 pasarelas comparten que los elementos con mayor corrosión son los que conforman la baranda, es decir, los perfiles redondos, sumado a esto se tiene que el jordomex también presenta un grado de corrosión mayor con respecto a los demás elementos.

Haciendo referencia a la escala de grado de corrosión que se utilizó se tiene que el jordomex se encuentra en un grado C, es decir este posee la película de superficie totalmente envejecida, el jordomex de ninguna de las pasarelas se encuentra pintado o con algún tipo de protección visible contra la corrosión. Después de la lámina de jordomex sigue en grado de corrosión descendente los elementos de las barandas, que a pesar de estar pintados poseen un grado de corrosión F, donde la pintura falta en secciones y se observa envejecida.

En la figura 30 se observa un gráfico circular que muestra el estado general de las pasarelas de la planta donde se tiene que el 100% de ellas presentan un estado de corrosión bajo.

Recordar que la inspección en la fase 1 fue meramente visual por lo que el error humano está presente sin lugar a dudas, además de que se puede generar error de percepción de un transportador a otro, aunque se trató de que la escala fuera lo más clara posible con indicadores reales de diferenciación de un grado a otro, ahora también existe el tema de que son grados de corrosión asignados a cada tipo de elemento es decir ese grado generaliza la corrosión de todos los elementos de su mismo tipo pudiendo existir uno de ellos que no posee corrosión del todo. Las pruebas de laboratorio serían un buen respaldo de manera que se apliquen no a todas las bandas sino solo a las que este plan determinó con mayor corrosión.

El cuadro 10 se ve representado el cálculo del índice estructural, si se observa la columna donde se evaluaron las deformaciones todos los elementos de todos los conveyors tienen un valor de 1, lo que

significa que ninguno de ellos posee deformación visible. Con respecto a la longitud de los elementos se tomó en cuenta porque un elemento entre más alargado y esbelto sea más propenso a falla está y al ser elementos tipo angulares de longitudes mayores a su ancho se consideró la que la longitud no arriostrada o libre es un parámetro importante a nivel estructural. Con la importancia de cada elemento en cuanto a la capacidad portante se determinó con ayuda de los modelos de SAP2000 generados, pero se puede observar que pasa lo mismo que con el comportamiento de los elementos, no existe una tendencia marcada, el orden de importancia cambia de un transportador a otro. Siguiendo en el mismo cuadro se puede observar como el índice de daño estructural global es igual para todos los transportadores, lo cual es esperable porque poseen la misma cantidad de elementos y del mismo tipo; pero si se observa el índice estructural por elemento se puede observar cómo de un transportador a otro se tienen pequeñas diferencias en el orden de importancia según el IE, pero se puede decir que los diagonales laterales y los longitudinales son los elementos con mayor IE seguidos de los diagonales de fondo y los verticales, siendo los transversales los elementos con menor importancia dentro de la estructura.

Según se vio en la sección de marco teórico la evaluación de estructuras incluye 2 factores, diagnóstico y urgencia de intervención, el IC responde al primero de ellos y el IE al segundo. Es por esta razón que a combinación de ambos genera un parámetro completo para la toma de decisiones.

En la figura 31 se tiene un gráfico de círculo que muestra el estado de la planta en general, se puede ver que el 15% de los conveyors se encuentran en situación muy severa mientras que el 85% restante se encuentra en estado severo. Según la escala de urgencia de intervención, cuadro 2 de la metodología, se puede decir que el 15% de la planta necesita una evaluación detallada en

un periodo no mayor a 2 años, mientras que el resto de la planta se puede intervenir entre 2 y 5 años.

De la figura 32 a la 37 se muestran gráficos que indican el porcentaje de los elementos de cada conveyer y de la figura 38 a la 49 se tienen graficos que barra que indican el IDE de cada elemento por separado; ambos tipos de gráficos basados en la clasificación asignada con respecto al IDE. El análisis se va a centrar en las figuras que corresponden al 15% de la planta que se encuentra en estado muy severo.

En la figura 33 y 39 se graficaron los datos correspondientes al conveyer BT2, en la primera de ellas se puede observar que el 33% de los elementos se encuentran en un estado severo de IDE mientras que el restante 67% se encuentra en estado muy severo, mientras que, en la segunda figura, la 39, se tiene que ese 33% está representado por los elementos diagonales y longitudinales, siendo estos según el IE los elementos con mayor importancia dentro de la estructura.

En las figuras 37 y 49 se tienen los datos referentes a la BT13 que es el otro conveyer en situación muy severa. En la figura 37 se observa que el 83% de sus elementos están en situación muy severa mientras que el restante 17% están en situación severa, hilando mas delgado se puede decir gracias a la figura 49 que ese 83% está representado por los elementos diagonales y longitudinales, al igual que la BT2 pero a este le sumamos los elementos transversales.

Tomando en cuenta el análisis anterior se puede decir que se debe comenzar la evaluación detallada en un periodo no mayor a 2 años con el conveyer BT13 seguido del BT2 y después por orden de IDE se evalúan los demás conveyors.

En la sección de anexos en el tercero de ellos se presenta un registro fotográfico que evidencia lo discutido.

Conclusiones

1. El Método Simplificado aplicado a lo largo de todo el proceso se basa en la inspección visual y posterior análisis de datos, siendo este un punto de partida para la toma de decisiones con respecto a la intervención oportuna.

2. Con la inspección de campo se determinó que la principal causa de deterioro de la planta es la corrosión provocada por características propias del lugar y de la actividad.

3. Comparando el Modelo de Campo vs el Modelo Original se logró determinar que todas las pasarelas difieren del modelo original en la sección transversal del angular de soporte del jordomex siendo 2x2x1/4 pulgadas el original y 1x1x1/4 pulgadas el de campo.

4. Las pasarelas HGU2.421-BT2, HGU2.421-BT3, HGU2.421-BT6 y HGU2.421-BT8 no cuentan con angulares transversales de piso provocando mayor deformación en el jordomex.

5. Los conveyors HGU2.421-BT8, HGU2.421-BT10-A/10-B y HGU2.421-BT13 difieren del modelo original en el peralte siendo 0.6 cm la original y 0.4 cm la de campo.

6. El comportamiento de los elementos de los conveyors no es un parámetro que se puede generalizar encontrando una sola tendencia, cada transportador al contar con características geométricas diferentes genera diferentes tipos esfuerzo en los elementos. Lo mismo pasa con la importancia en cuanto a capacidad soportante se refiere de cada elemento.

7. El mejor lugar para la transferencia de cargas en una armadura es el nodo, por lo que es ahí donde debe procurarse la intersección de elementos y la concentración de cargas.

8. El índice de corrosión por elemento indica que las pasarelas mas corroídas son HGU2.421-BT1, HGU2.421-BT2, HGU2.421-BT3, HGU2.421-BT5 y HGU2.421-BT10-A/10-B; por otra parte las pasarelas HGU2.421-BT12 y HGU2.421-BT13 son las menos corroídas.

9. El 15% de los conveyors de la Planta Secundaria se encuentra en un nivel muy severo de índice de daño estructural, mientras que el 85% del total se encuentra en condición severa.

10. El 15% de los conveyors lo representan los conveyors HGU2.421-BT2 y HGU2.421-BT13 con los mayores IDE, 3.22 y 3.39 respectivamente.

11. Analizando el conveyor HGU2.421-BT2 se determinó que el 67% de los elementos están en condición muy severa y estos son los elementos diagonales y los longitudinales, mencionados en orden de mayor a menor IDE, siendo los diagonales laterales los que presentan mayor importancia en cuanto a capacidad soportante se refiere.

12. El conveyor HGU2.421-BT13 tiene el 83% de sus elementos en condición muy severa, estos son diagonales, longitudinales y transversales.

13. El IE global de todos los conveyors tiene el mismo valor porque todos tienen la misma cantidad y tipo de elementos en sus estructuras, sin embargo, el IE por elemento mayor lo tienen los diagonales laterales y los elementos longitudinales.

Recomendaciones

1. Colocar en las pasarelas de acceso HGU2.421-BT2, HGU2.421-BT3, HGU2.421-BT6 y HGU2.421-BT8 los angulares transversales de piso, estos se colocan a cada 1.22 m de manera intercala con los angulares de soporte.

2. Para los transportadores HGU2.421-BT8, HGU2.421-BT10-A, HGU2.421-BT10-B y HGU2.421-BT13 se debe realizar una evaluación más detallada que implique pruebas de deformación y fatiga de elementos, ya que, al cambiar toda la configuración con respecto al modelo original, su capacidad de soporte se puede poner en duda.

3. Con respecto al pandeo que presenta el transportador HGU2.421-BT8 y HGU2.421-BT13 se recomienda como medida preventiva la eliminación de la sección de pasarela extra que posee en el extremo más alto, además de estar en un constate monitoreo.

4. Realizar limpiezas periódicas en la planta con el fin de eliminar o reducir la cantidad de material acumulado producto de la caída desde los transportadores y la acción del viento.

5. Considerar la implementación de cubiertas en los transportadores de manera que se evite la acumulación de material en lugares donde no debe.

6. Se recomienda la eliminación de portones en las pasarelas de acceso, generan tiempo muerto y no tienen ninguna función importante dentro de la planta.

7. Realizar una evaluación de los apoyos de las estructuras ya que se observó un grado alto de corrosión en ellos.

8. Se recomienda intervenir en un periodo no mayor de 2 años los conveyors HGU2.421-BT2 y HGU2.421-BT13 (15% que está en condición muy severa), de manera que se les aplique una evaluación, pero en este caso de tipo detallada que incluya pruebas de laboratorio que respalden el grado de corrosión y las consecuencias en la capacidad mecánica de los elementos.

9. Para el resto de la planta, es decir el 85% restante se recomienda una evaluación detallada entre 2 y 5 años.

10. Se recomienda cada 2 años aplicar el Método Simplificado utilizado en esta oportunidad de manera que se logre con el paso del tiempo implementar la prevención en la planta.

Anexos

En total se presentan 5 anexos, el primero de ellos presenta la hoja de inspección elaborada como herramienta de inspección en la fase 1 de la metodología, esta hoja se hizo con ayuda de EXCEL 2016 y con los datos obtenidos del modelo original tanto de pasarelas como conveyors.

El Anexo 2 son diagramas que representan la división de elementos que se realizó además del nombre asignado a cada uno de ellos, estos diagramas se realizaron con ayuda del software AutoCAD2017.

El Anexo 3 es un registro fotográfico que logra evidenciar la situación encontrada en el campo, las fotografías fueron recolectadas durante el levantamiento de campo.

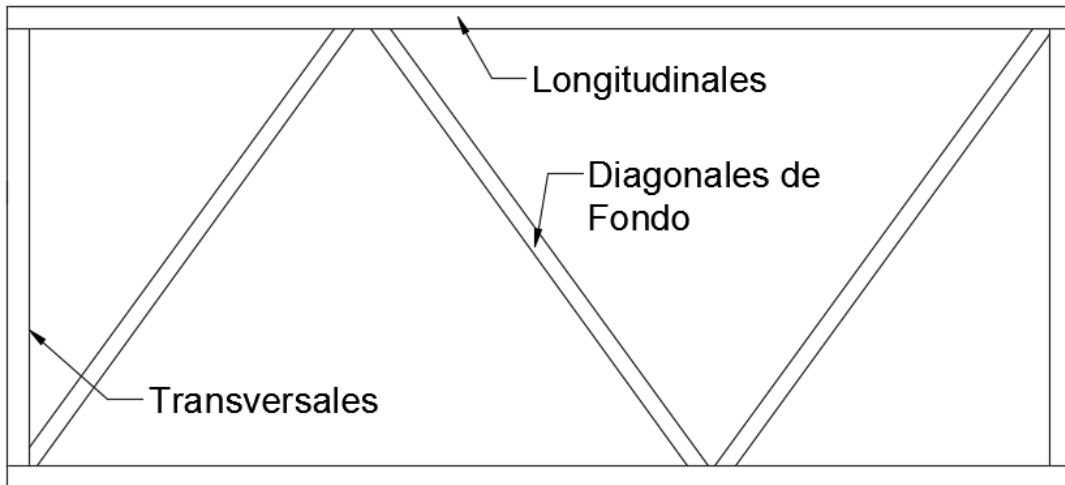
El Anexo 4 muestra la simbología aplicada en la planta para nombrar tanto los transportadores como equipo especializado en la actividad.

Por último, el Anexo 5 muestra los cuadros resumen de donde se derivan todas las figuras de la sección de resultados.

Anexo 1

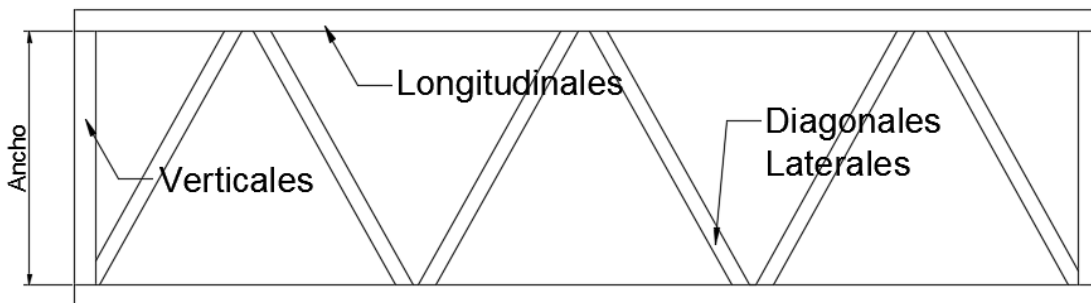
Inspección Preliminar Pasarelas de Acceso				N°		
Planta de Agregados de HOLCIM (Costa Rica)						
Nombre de Banda:						
Ubicación:						
Características Generales:						
REVISIÓN CUANTITATIVA DE ELEMENTOS PASARELA						
Elemento		Medidas		Faltante	ANÁLISIS	
		Original	Campo			
Angular Marco Perimetral	Longitudinal	1/4" x 2"				
	Transversal	1/4" x 2"				
Seccion sin soporte	a	61 cm				
	h	61 cm				
Angular de Soporte		1/4" x 2"				
Tubo HN (Baranda / Laterales)		1" x 2.55mm				
Tubo HN (Baranda / Medio)		1/2" x 2mm				
Platina (Rodapie)		1/4" x 3"				
Altura de Baranda		110 cm				
REVISIÓN CUANTITATIVA DE ELEMENTOS CONVEYOR						
Elemento		Medidas		Faltante	ANÁLISIS	
		Original	Campo			
Perímetro Conveyor	Longitudinal	1/4" x 2"				
	Transversal	1/4" x 2"				
Tejido de Conveyor	Lateral	1/4" x 1 1/2"				
	Fondo	1/4" x 1 1/2"				
Altura de Conveyor		60 cm				
Separación Lateral		80 cm				
Separación Fondo		160 cm				
REVISIÓN CUALITATIVA DE ELEMENTOS						
Elemento		Deformacion	Corrosión	Fisura Agujero	Pintura	Otros
Angular Marco Perimetral	Longitudinal					
	Transversal					
Angular de Soporte						
Tubo HN (Baranda / Laterales)						
Tubo HN (Baranda / Medio)						
Platina (Rodapie)						
Jordomex						

Anexo 2



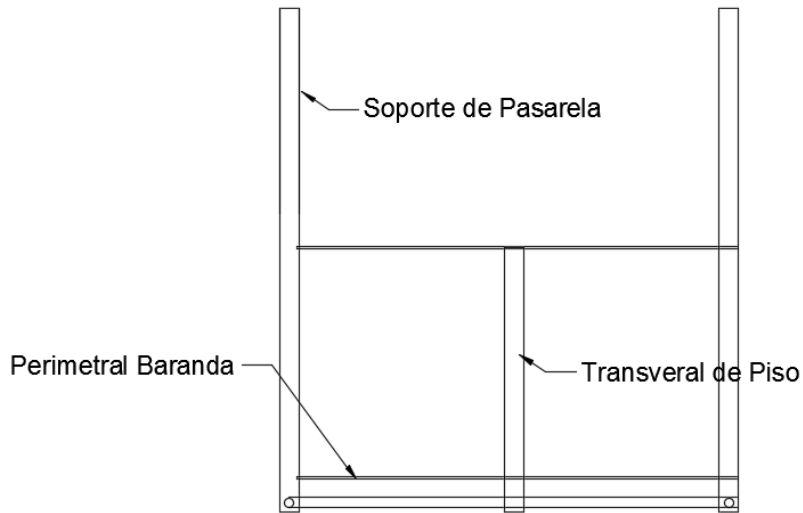
VISTA SUPERIOR CONVEYOR: Nombres asignados a los elementos según el tipo.

Figura 50. Vista Superior de conveyor: nombres de los elementos según el tipo.



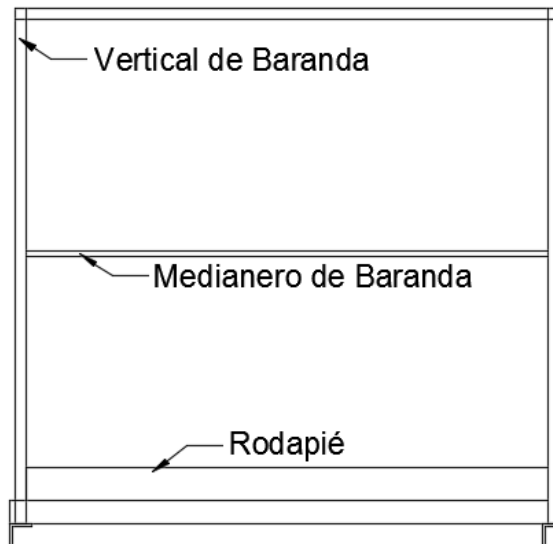
VISTA LATERAL CONVEYOR: Nombres asignados a los elementos según el tipo.

Figura 51. Vista Lateral de conveyor: nombres de los elementos según el tipo.



VISTA SUPERIOR PASARELA: Nombre asignado a los elementos según el tipo.

Figura 52. Vista Superior de pasarela de acceso: nombre de los elementos según el tipo.



VISTA LATERAL PASARELA: Nombre asignado a los elementos según el tipo.

Figura 53. Vista Lateral: nombre de elementos según el tipo.

Anexo 3



Figura 54. Corrosión en pasarelas, Transportador HGU2.421-BT1.



Figura 55. Vista lateral de Conveyer, transportador HGU2.421-BT1.



Figura 56. Corrosión en conveyor, transportador HGU2.421-BT2.



Figura 57. Vista inferior, transportador HGU2.421-BT2.



Figura 58. Detalle unión, transportador HGU2.421-BT3.



Figura 59. Corrosión en uniones y apoyos, transportador HGU2.421-BT3.



Figura 60. Vista Lateral de conveyor, transportador HGU2.421-BT5.

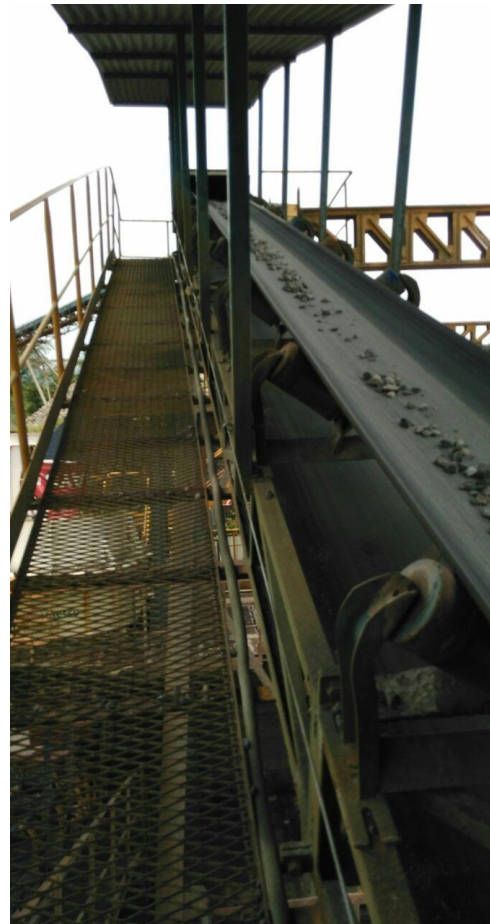


Figura 61. Vista de pasarela de acceso, transportador HGU2.421-BT5.



Figura 62. Vista lateral de conveyor, transportador HGU2.421-BT6.



Figura 63. Corrosión presente en la estructura, transportador HGU2.421-BT7.




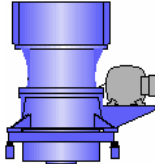

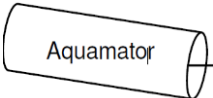


Figura 64. Vista de transportador HGU2.421-BT13.



Figura 65. Vista de transportador HGU2-421-BT8.

Anexo 4

SIMBOLOGÍA		
Planta Primaria		411
Planta Secundaria		421
NOMBRE	DIBUJO	CÓDIGO
Tolva de Alimentación		HGU2.411-AV1
Triturador Primario		HGU2.411-TM1
Criba Vibratoria		HGU2.411-CV 1
		HGU2.411-CV2
		HGU2.421-CV1
		HGU2.421-CV2
Triturador de Cono		HGU2.421-TI1
		HGU2.421-TI2
Triturador de Impacto		HGU2.421-TB1
Aquamotor		HGU2.421-SP1
		HGU2.421-SP2
Banda Transportadora	NA	HGU2.411-BT #
		HGU2.421-BT #

Anexo 5

Cuadro.12 Índice de Corrosión para las pasarelas de acceso.

TRANSPORTADOR	ELEMENTO	ESCALA CORROSIÓN		AGRESIVIDAD AMBIENTAL	ÍNDICE DE CORROSIÓN			
		GRADO (A-F)	VALOR (1-4)		ELEMENTO	CLASIFICACIÓN	GLOBAL	CLASIFICACIÓN
HGU2.421-BT1	Angular Soporte	F	2	1	1.5	BAJA	1.8	BAJA
	Angular Transversal Piso	F	2	1	1.5	BAJA		
	Angular Perimetral Piso	F	2	1	1.5	BAJA		
	Redondo Longitudinal	G	3	1	2	MEDIA		
	Redondo Vertical	G	3	1	2	MEDIA		
	Redondo Medio	G	3	1	2	MEDIA		
	Platina	B	2	1	1.5	BAJA		
	Jodomex	C	3	1	2	MEDIA		
HGU2.421-BT2	Angular Soporte	F	2	1	1.5	BAJA	1.8	BAJA
	Angular Transversal Piso	F	2	1	1.5	BAJA		
	Angular Perimetral Piso	F	2	1	1.5	BAJA		
	Redondo Longitudinal	G	3	1	2	MEDIA		
	Redondo Vertical	G	3	1	2	MEDIA		
	Redondo Medio	G	3	1	2	MEDIA		
	Platina	B	2	1	1.5	BAJA		
	Jodomex	C	3	1	2	MEDIA		

TRANSPORTADOR	ELEMENTO	ESCALA CORROSIÓN		AGRESIVIDAD AMBIENTAL	ÍNDICE DE CORROSIÓN			
		GRADO (A-F)	VALOR (1-4)		ELEMENTO	CLASIFICACIÓN	GLOBAL	CLASIFICACIÓN
HGU2.421-BT3	Angular Soporte	F	2	1	1.5	BAJA	1.8	BAJA
	Angular Transversal Piso	F	2	1	1.5	BAJA		
	Angular Perimetral Piso	F	2	1	1.5	BAJA		
	Redondo Longitudinal	G	3	1	2	MEDIA		
	Redondo Vertical	G	3	1	2	MEDIA		
	Redondo Medio	G	3	1	2	MEDIA		
	Platina	B	2	1	1.5	BAJA		
	Jodomex	C	3	1	2	MEDIA		
HGU2.421-BT5	Angular Soporte	F	2	1	1.5	BAJA	1.8	BAJA
	Angular Transversal Piso	F	2	1	1.5	BAJA		
	Angular Perimetral Piso	F	2	1	1.5	BAJA		
	Redondo Longitudinal	G	3	1	2	MEDIA		
	Redondo Vertical	G	3	1	2	MEDIA		
	Redondo Medio	G	3	1	2	MEDIA		
	Platina	B	2	1	1.5	BAJA		
	Jodomex	C	3	1	2	MEDIA		

TRANSPORTADOR	ELEMENTO	ESCALA CORROSIÓN		AGRESIVIDAD AMBIENTAL	ÍNDICE DE CORROSIÓN			
		GRADO (A-F)	VALOR (1-4)		ELEMENTO	CLASIFICACIÓN	GLOBAL	CLASIFICACIÓN
HGU2.421-BT6	Angular Soporte	E	1	1	1	BAJA	1.4	BAJA
	Angular Transversal Piso	E	1	1	1	BAJA		
	Angular Perimetral Piso	E	1	1	1	BAJA		
	Redondo Longitudinal	F	2	1	1.5	BAJA		
	Redondo Vertical	F	2	1	1.5	BAJA		
	Redondo Medio	F	2	1	1.5	BAJA		
	Platina	B	2	1	1.5	BAJA		
	Jodomex	C	3	1	2	MEDIA		
HGU2.421-BT7	Angular Soporte	F	2	1	1.5	BAJA	1.8	BAJA
	Angular Transversal Piso	F	2	1	1.5	BAJA		
	Angular Perimetral Piso	G	3	1	2	MEDIA		
	Redondo Longitudinal	G	3	1	2	MEDIA		
	Redondo Vertical	G	3	1	2	MEDIA		
	Redondo Medio	G	3	1	2	MEDIA		
	Platina	B	2	1	1.5	BAJA		
	Jodomex	C	3	1	2	MEDIA		

TRANSPORTADOR	ELEMENTO	ESCALA CORROSIÓN		AGRESIVIDAD AMBIENTAL	ÍNDICE DE CORROSIÓN			
		GRADO (A-F)	VALOR (1-4)		ELEMENTO	CLASIFICACIÓN	GLOBAL	CLASIFICACIÓN
HGU2.421-BT8	Angular Soporte	F	2	1	1.5	BAJA	1.8	BAJA
	Angular Transversal Piso	F	2	1	1.5	BAJA		
	Angular Perimetral Piso	F	2	1	1.5	BAJA		
	Redondo Longitudinal	G	3	1	2	MEDIA		
	Redondo Vertical	G	3	1	2	MEDIA		
	Redondo Medio	G	3	1	2	MEDIA		
	Platina	G	3	1	2	MEDIA		
	Jodomex	C	3	1	2	MEDIA		
HGU2.421-BT9	Angular Soporte	F	2	1	1.5	BAJA	1.6	BAJA
	Angular Transversal Piso	F	2	1	1.5	BAJA		
	Angular Perimetral Piso	F	2	1	1.5	BAJA		
	Redondo Longitudinal	F	2	1	1.5	BAJA		
	Redondo Vertical	F	2	1	1.5	BAJA		
	Redondo Medio	F	2	1	1.5	BAJA		
	Platina	G	3	1	2	MEDIA		
	Jodomex	C	3	1	2	MEDIA		

TRANSPORTADOR	ELEMENTO	ESCALA CORROSIÓN		AGRESIVIDAD AMBIENTAL	ÍNDICE DE CORROSIÓN			
		GRADO (A-F)	VALOR (1-4)		ELEMENTO	CLASIFICACIÓN	GLOBAL	CLASIFICACIÓN
HGU2.421-BT10-A/10-B	Angular Soporte	F	2	1	1.5	BAJA	1.8	BAJA
	Angular Transversal Piso	F	2	1	1.5	BAJA		
	Angular Perimetral Piso	F	2	1	1.5	BAJA		
	Redondo Longitudinal	G	3	1	2	MEDIA		
	Redondo Vertical	G	3	1	2	MEDIA		
	Redondo Medio	G	3	1	2	MEDIA		
	Platina	G	3	1	2	MEDIA		
	Jodomex	C	3	1	2	MEDIA		
HGU2.421-BT11	Angular Soporte	F	2	1	1.5	BAJA	1.6	BAJA
	Angular Transversal Piso	F	2	1	1.5	BAJA		
	Angular Perimetral Piso	F	2	1	1.5	BAJA		
	Redondo Longitudinal	F	2	1	1.5	BAJA		
	Redondo Vertical	F	2	1	1.5	BAJA		
	Redondo Medio	F	2	1	1.5	BAJA		
	Platina	G	3	1	2	MEDIA		
	Jodomex	C	3	1	2	MEDIA		

TRANSPORTADOR	ELEMENTO	ESCALA CORROSIÓN		AGRESIVIDAD AMBIENTAL	ÍNDICE DE CORROSIÓN			
		GRADO (A-F)	VALOR (1-4)		ELEMENTO	CLASIFICACIÓN	GLOBAL	CLASIFICACIÓN
HGU2.421-BT12	Angular Soporte	F	2	1	1.5	BAJA	1.5	BAJA
	Angular Transversal Piso	F	2	1	1.5	BAJA		
	Angular Perimetral Piso	F	2	1	1.5	BAJA		
	Redondo Longitudinal	F	2	1	1.5	BAJA		
	Redondo Vertical	F	2	1	1.5	BAJA		
	Redondo Medio	F	2	1	1.5	BAJA		
	Platina	F	2	1	1.5	BAJA		
	Jodomex	B	2	1	1.5	BAJA		
HGU2.421-BT13	Angular Soporte	F	2	1	1.5	BAJA	1.5	BAJA
	Angular Transversal Piso	F	2	1	1.5	BAJA		
	Angular Perimetral Piso	F	2	1	1.5	BAJA		
	Redondo Longitudinal	F	2	1	1.5	BAJA		
	Redondo Vertical	F	2	1	1.5	BAJA		
	Redondo Medio	F	2	1	1.5	BAJA		
	Platina	F	2	1	1.5	BAJA		
	Jodomex	B	2	1	1.5	BAJA		

Cuadro.13 Índice de Daño Estructural para conveyors.

TRANSPORTADOR	ELEMENTO	IDE			
		ELEMENTO	CLASIFICACIÓN	GLOBAL	CLASIFICACIÓN
HGU2.421-BT1	Verticales	1.8333	MEDIO	2.556	SEVERO
	Diagonales de Fondo	3.0000	MUY SEVERO		
	Diagonales Laterales (Baranda)	2.6667	SEVERO		
	Diagonales Laterales	2.5000	SEVERO		
	Longitudinales	3.3333	MUY SEVERO		
	Transversales	2.0000	SEVERO		
HGU2.421-BT2	Verticales	2.1667	SEVERO	3.222	MUY SEVERO
	Diagonales de Fondo	3.5000	MUY SEVERO		
	Diagonales Laterales (Baranda)	3.5000	MUY SEVERO		
	Diagonales Laterales	3.6667	MUY SEVERO		
	Longitudinales	3.8333	MUY SEVERO		
	Transversales	2.6667	SEVERO		
HGU2.421-BT3	Verticales	2.5000	SEVERO	2.889	SEVERO
	Diagonales de Fondo	2.8333	SEVERO		
	Diagonales Laterales (Baranda)	3.0000	MUY SEVERO		
	Diagonales Laterales	3.1667	MUY SEVERO		
	Longitudinales	3.3333	MUY SEVERO		
	Transversales	2.5000	SEVERO		
HGU2.421-BT5	Verticales	2.5000	SEVERO	2.889	SEVERO
	Diagonales de Fondo	2.8333	SEVERO		
	Diagonales Laterales (Baranda)	3.1667	MUY SEVERO		
	Diagonales Laterales	3.0000	MUY SEVERO		
	Longitudinales	3.3333	MUY SEVERO		
	Transversales	2.5000	SEVERO		
HGU2.421-BT6	Verticales	1.8333	MEDIO	2.389	SEVERO
	Diagonales de Fondo	2.5000	SEVERO		
	Diagonales Laterales (Baranda)	2.6667	SEVERO		
	Diagonales Laterales	2.5000	SEVERO		
	Longitudinales	2.8333	SEVERO		
	Transversales	2.0000	SEVERO		

TRANSPORTADOR	ELEMENTO	IDE			
		ELEMENTO	CLASIFICACIÓN	GLOBAL	CLASIFICACIÓN
HGU2.421-BT7	Verticales	2.5000	SEVERO	2.972	SEVERO
	Diagonales de Fondo	2.8333	SEVERO		
	Diagonales Laterales (Baranda)	2.8333	SEVERO		
	Diagonales Laterales	3.0000	MUY SEVERO		
	Longitudinales	4.1667	MUY SEVERO		
	Transversales	2.5000	SEVERO		
HGU2.421-BT8	Verticales	2.3333	SEVERO	2.889	SEVERO
	Diagonales de Fondo	3.0000	MUY SEVERO		
	Diagonales Laterales (Baranda)	2.8333	SEVERO		
	Diagonales Laterales	3.0000	MUY SEVERO		
	Longitudinales	3.6667	MUY SEVERO		
	Transversales	2.5000	SEVERO		
HGU2.421-BT9	Verticales	2.1667	SEVERO	2.722	SEVERO
	Diagonales de Fondo	2.8333	SEVERO		
	Diagonales Laterales (Baranda)	3.0000	MUY SEVERO		
	Diagonales Laterales	3.1667	MUY SEVERO		
	Longitudinales	3.1667	MUY SEVERO		
	Transversales	2.0000	SEVERO		
HGU2.421-BT10-A/10-B	Verticales	1.8333	MEDIO	2.389	SEVERO
	Diagonales de Fondo	2.5000	SEVERO		
	Diagonales Laterales (Baranda)	2.5000	SEVERO		
	Diagonales Laterales	2.6667	SEVERO		
	Longitudinales	2.8333	SEVERO		
	Transversales	2.0000	SEVERO		
HGU2.421-BT11	Verticales	2.0000	SEVERO	2.639	SEVERO
	Diagonales de Fondo	2.8333	SEVERO		
	Diagonales Laterales (Baranda)	3.1667	MUY SEVERO		
	Diagonales Laterales	3.0000	MUY SEVERO		
	Longitudinales	2.8333	SEVERO		
	Transversales	2.0000	SEVERO		

TRANSPORTADOR	ELEMENTO	IDE			
		ELEMENTO	CLASIFICACIÓN	GLOBAL	CLASIFICACIÓN
HGU2.421-BT12	Verticales	2.3333	SEVERO	2.889	SEVERO
	Diagonales de Fondo	3.0000	MUY SEVERO		
	Diagonales Laterales (Baranda)	3.1667	MUY SEVERO		
	Diagonales Laterales	2.8333	SEVERO		
	Longitudinales	3.5000	MUY SEVERO		
	Transversales	2.5000	SEVERO		
HGU2.421-BT13	Verticales	2.8333	SEVERO	3.389	MUY SEVERO
	Diagonales de Fondo	3.5000	MUY SEVERO		
	Diagonales Laterales (Baranda)	3.5000	MUY SEVERO		
	Diagonales Laterales	3.3333	MUY SEVERO		
	Longitudinales	4.1667	MUY SEVERO		
	Transversales	3.0000	SEVERO		

Referencias

- ACCESS STEEL. (s.f.). *Fundamentos de corrosión y metodos de protección*.
- AHMSA. (Enero de 2003). *Manual de Diseño para la Construcción con Acero, Capítulo 1*. Obtenido de http://www.ahmsa.com/Acero/Complem/Manual_Construccion_2013/Capitulo_1.pdf
- AutoDesk. (2017). AutoCAD 2017.
- Barabady, J. (2005). *Reliability and Maintainability Analysis of Crushing Plants in Jajarm Bauxite Mine of Iran*. Lulea, Sweden.
- Boyd, K. (s.f.). *Crushing Plant Design and Layout Considerations*. Vancouver .
- Centro de Escritura Javierano. (s.f.). Normas Apa 6ta edición.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. (1983). *Reglamento de Construcciones de Costa Rica*.
- Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica. (2010). Código Sísmico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.
- CONTITECH. (s.f.). Manual de Ingeniería . *Bandas Transportadoras*.
- GEOCISA. (abril de 2017). *Manual de evaluación de estructuras afectadas por corrosión de la armadura*. Obtenido de http://www.geocisa.com/?page_id=887
- INGEPINT: Ingeniería en pinturas. (s.f.). *Clasificación del acero por estado de corrosión*. Santiago de Chile.
- Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica. (Abril de 2017). *Datos climáticos según la zona*. Obtenido de <https://www.imn.ac.cr/web/imn/inicio>
- J. M., & S. C. (2012). *Diseño de Estructuras de Acero* (Vol. 5ta Edición). (L. Á. Díaz, Ed.) Mexico: Alfaomega Grupo Editor.
- MARTIN. (s.f.). Drum Pulleys. *Conveyor Pulleys - Heavy duty*, 4-39.
- Martin Engineering. (2009). Foundations. *The practical resource for cleaner, safer, more productive dust and material control*. Neponset, USA: Worzalla Publishing Company.
- Peralta, M. (2016). Análisis Elástico con SAP. *Teoría del análisis modal*.
- REXNORD. (2014). Rex Clasical Idlers. *Rex Conveyor Idlers*, 9-21.
- SAP 2000. (2017). SAP 2000V18.

SIEMENS. (s.f.). Motores Trifásicos. *Motores Eléctricos* , 3-22.

Solis, L. E. (diciembre de 2002). Informe Practica de Especialidad para optar por el grado de bachiller en Ingeniería en Mantenimiento Industrial. *Revisión y establecimiento de rutinas de mantenimiento preventivo para la Unidad de Materias Primas. Diseño de Banda Transportadora para recirculacion de caliza de la Criba Vibratoria al Quebrador Secador Hazemag*. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica.