

**EVALUACIÓN Y REDISEÑO DE LAS ATRACCIONES PRINCIPALES DE LA
ZONA ACUÁTICA DEL PARQUE DEL AZÚCAR**



**JHON EDWARD DORADO MARTINEZ 2141371
JUAN JOSE SILVA RODRIGUEZ 2146352**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE ENERGÉTICA Y MECÁNICA
PROGRAMA INGENIERÍA MECÁNICA
SANTIAGO DE CALI
2020**

**EVALUACIÓN Y REDISEÑO DE LAS ATRACCIONES PRINCIPALES DE LA
ZONA ACUÁTICA DEL PARQUE DEL AZÚCAR**



**JHON EDWARD DORADO MARTINEZ
JUAN JOSE SILVA RODRIGUEZ**

**Pasantía institucional para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

**Director
Emerson Escobar Núñez
PH.D. Ingeniería Mecánica**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE ENERGÉTICA Y MECÁNICA
PROGRAMA INGENIERÍA MECÁNICA
SANTIAGO DE CALI
2020**

Nota de aceptación:

Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniero Mecánico

Héctor Enrique Jaramillo

Jurado

Santiago de Cali, 18 de marzo de 2019

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por permitirnos la vida, así como de decidir ingresar a la carrera universitaria que escogimos y culminar con este proceso.

Agradecimiento a nuestros profesores: Emerson Escobar Núñez director de proyecto por su colaboración en el desarrollo de la pasantía y al ingeniero Ramiro Catacolí por compartirnos su conocimiento, además de la ayuda brindada en desde el inicio hasta la culminación del proyecto.

Agradecemos fuertemente a la Empresa Clinicpiscinas y Jacuzzis por permitirnos desarrollar la pasantía, en especial el Ingeniero Emmanuel Bedoya por su disposición y apoyo durante todo el proceso.

CONTENIDO

	pág.
GLOSARIO	13
RESUMEN	17
INTRODUCCIÓN	18
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
2. JUSTIFICACIÓN	21
3. OBJETIVOS	22
3.1 OBJETIVO GENERAL	22
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
4. ANTECEDENTES	23
4.1 NIVEL MUNDIAL	23
4.1.1 Código de prácticas para atracciones de feria	23
4.1.2 Principios de protección de estructuras metálicas en situación de corrosión y fuego.	23
4.2 NIVEL NACIONAL	24
4.2.1 Guía para el mantenimiento y protección de elemento metálicos	24
4.3 NIVEL REGIONAL	24
4.3.1 Evaluación estructural de las torres de soporte de toboganes y estructuras de juegos infantiles interactivos fabricados por DOFORMAS LTDA.	24

5. MARCO TEÓRICO	25
5.1 ESTRUCTURAS METÁLICAS	25
5.1.1 Tipos de sistemas estructurales.	25
5.2 DISEÑO MECÁNICO.	26
5.2.1 Curva esfuerzo deformación.	26
5.2.2 Elementos Finitos.	27
5.2.3 Teorías de falla.	27
5.2.4 Factor de seguridad.	27
5.3 PARQUES DE DIVERSIONES.	28
5.3.1 PARQUES ACUÁTICOS.	28
5.3.1.1 Toboganes:	28
5.4 MANTENIMIENTO	29
5.4.1 Mantenimiento preventivo:	29
5.4.2 Mantenimiento correctivo:	29
5.5 PANDEO	30
6. REGLAMENTACIÓN NECESARIA	32
6.1 NORMATIVA ACOLAP.	32
6.1.1 Ley 1225 de 2008	32
6.1.2 Resolución 0958 2010	33
6.1.3 Resolución 880 de 2017	34
6.1.4 Resolución 543 de 2017	35
7. DIAGNOSTICO Y AJUSTES.	37
7.1 DIAGNÓSTICO DE AGENTES EXTERNOS	38

7.2 DIAGNÓSTICO Y MODELADO DE LAS ESTRUCTURAS	39
7.2.1 Plataforma	40
7.2.2 Tobogán curvilíneo.	48
7.2.3 Tobogán recto.	59
7.2.4 Ajustes en los apoyos.	64
7.2.5 Tirolesa.	66
8. PLAN DE MANTENIMIENTO	69
8.1 CORRECTIVOS	69
8.1.1 Correctivo Plataforma.	69
8.1.2 Correctivo Tobogán curvilíneo.	70
8.1.3 Correctivo Tobogán recto.	75
8.1.4 Correctivo Tirolesa.	76
Recomendaciones:	78
8.2 PREVENTIVOS	78
8.2.1 Preventivo en toboganes.	79
8.2.2 PREVENTIVO TIROLESA	80
8.2.3 Observaciones:	81
8.2.4 Costos de mantenimiento.	82
9. CONCLUSIONES.	84
REFERENCIAS	85
ANEXOS	89

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Fig. 1. Diagrama Esfuerzo vs deformación [28, p. 68]	26
Fig. 2. Columna al aplicarle una carga [33, p. 610].	30
Fig. 3. Formula de Euler para columnas [33, p. 617].	31
Fig. 4. Vista general zona acuática Parque Del Azúcar.	37
Fig. 5. Plataforma para toboganes.	38
Fig. 6. Apoyo Tobogán curvilíneo.	39
Fig. 7. Daño en la plataforma.	40
Fig. 8. Plataforma metálica.	41
Fig. 9. Condiciones plataforma.	42
Fig. 10. Enmallado plataforma.	42
Fig. 11. Gráfico plataforma esfuerzo vs tamaño de malla.	43
Fig. 12. Esfuerzo máximo registrado en plataforma.	44
Fig. 13. Deformación total en la plataforma (a) Vista general. (b) Acercamiento deformación total.	45
Fig. 14. Deformación eje Y plataforma.	45
Fig. 15. Perfil de las vigas.	46
Fig. 16. Diagrama de cuerpo libre de la plataforma	47
Fig. 17. Desajuste tobogán curvilíneo torre 2.	48
Fig. 18. Torre de soporte 3 para tobogán curvilíneo.	49
Fig. 19. Torre de soporte (a). Vista general. (b) Acercamiento torre de soporte.	50
Fig. 20. Condiciones para torre de soporte.	51
Fig. 21. Grafico para torre de soporte Esfuerzo vs tamaño de malla.	51

Fig. 22. Diagrama de cuerpo libre el sistema de soporte.	52
Fig. 23. Cable tensor enmallado (10 mm).	54
Fig. 25. Diagrama de cuerpo libre para Torre de soporte.	54
Fig. 26. Apoyo número 2.	56
Fig. 27. Condiciones iniciales en los apoyos.	57
Fig. 28. Esfuerzo equivalente respecto al tamaño de malla para el caracol 1.	58
Fig. 29. Datos de concreto tobogán recto.	60
Fig. 30. Deformación plástica de la cercha.	61
Fig. 31. Daños en los apoyos.	61
Fig. 32. Apoyo tobogán recto número 3	62
Fig. 33. Grafica de la convergencia de malla para el apoyo 3	62
Fig. 34. Condiciones iniciales para el apoyo 3.	64
Fig. 35. Esfuerzo máximo de von Mises.	64
Fig. 36. Esfuerzo equivalente en apoyo con cercha.	65
Fig. 37. Datos registrados en estudio de convergencia de malla.	65
Fig. 38. Cercha en varilla corrugada.	66
Fig. 39. Apoyo de tirolesa grande.	67
Fig. 40. Apoyo de tirolesa pequeña.	67
Fig. 41. Cable de alma de acero.	68
Fig. 42. Vista detallada del cable de alma de acero.	68
Fig. 43. Lámina metálica de la plataforma.	70
Fig. 44. Datos de concreto en deterioro.	71
Fig. 45. Fisura presentada en tramo de tobogán.	72

Fig. 46. Daño en una lámina del tobogán curvilíneo. (a) lamina doblada en fibra de vidrio. (b) vista lateral lamina doblada.	73
Fig. 47. viga en torre de soporte corroída.	74
Fig. 48. Solución problema por acumulación de agua [18, p. 24].	74
Fig. 49. Desajuste tornillos. (a) Vista general. (b) Vista detallada.	75
Fig. 50. Arandelas a presión [11].	75
Fig. 51. Corrosión y tornillo desajustado tobogán recto. (a) vista general. (b) vista detallada.	76
Fig. 52. Polea sin tuerca.	77
Fig. 53. Cuerda a punto de romperse	77

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla I	Especificaciones para las torres de soporte	50
Tabla II	Convergencia de malla	53
Tabla III	Características de los apoyos	56
Tabla IV	Resultados apoyos Tobogán curvilíneo	59
Tabla V	Dimensiones apoyos tobogán recto	60
Tabla VI	Resultados apoyos Tobogán recto	63
Tabla VII	Presupuesto mantenimiento de toboganes correctivos	82
Tabla VIII	Presupuesto mantenimiento de toboganes preventivos	82
Tabla IX	Presupuesto mantenimiento de la tirolesa	83

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO. A. Estándares de Mantenimiento de las Atracciones y Dispositivos de Entretenimiento.	89
ANEXO. C. Condiciones y requisitos para operación de toboganes acuáticos.	91
ANEXO. D. Descripción técnica	93
ANEXO. E. Planos para los tramos del tobogan	94
ANEXO. F. Propiedades mecánicas de aceros al carbono.	96
ANEXO. G. Factores de seguridad a la fatiga para diferentes usos de cables metálicos	98
ANEXO. H, Calculos realizados.	99
ANEXO. I Especificación para la preparación de superficies en aceros - especificación SSPCC	102
ANEXO. J. Fichas técnicas para inspección.	104

GLOSARIO

ABRASIÓN: Se refiere al deslizamiento de un material duro contra uno más blando. La superficie dura escarba en el material más blando y lo remueve [1, p. 360].

ANSYS: Software para análisis por elementos finitos, incluye las fases de preparación de pre procesamiento, ejecución y post proceso, el programa ejecuta análisis de piezas sometidas a fenómenos físicos usadas en ingeniería [2].

ASTM: Asociación Americana De Ensayo De Materiales [3]

ATRACCIONES ACUÁTICAS DE INMERSIÓN: son dispositivos donde el usuario tiene contacto primario con el agua, dentro de ellos se encuentran incluidos toboganes y deslizadores [3].

CABLE DE ACERO O GUAYA: es un conjunto de alambre de acero o hilos de hierro que conforman un cuerpo único como elemento de trabajo. Estos alambres pueden estar enrollados de forma helicoidal en una o más capas, generalmente alrededor de un alambre central, formando los cables espirales. Estos cables pueden ser utilizados como elementos de sujeción y seguridad o ser parte integral del movimiento de una atracción, como en el caso de las tarabitas, en donde proveer, la guía del movimiento de los pasajeros [3].

CERCHAS: Una cercha es una estructura triangulada, de sección variable, auto portante, que aprovecha al máximo el material del que está compuesta, minimizando los esfuerzos de las barras y respondiendo, con su forma, eficientemente a su función [4, p. 5].

CORROSIÓN: se presenta en casi todos los materiales excepto en los nobles como el oro y es el que deteriora las estructuras metálicas debido a las condiciones que se encuentra (Humedad, temperatura, condiciones del aire). La forma de corrosión más común es la oxidación [5, p. 364].

CORROSIÓN POR AIREACIÓN DIFERENCIAL: una celda de aireación diferencial puede ser desenvuelta en cualquier situación donde el agua está en contacto con una superficie. Así que, debe tenerse cuidado para prevenir el ingreso de agua en áreas donde puede ser retenida por largos periodos. Las grietas potenciales causadas por diferencias en el nivel de oxigenación del electrolito son todavía más comúnmente observadas y causan estragos todavía mayores [6, p. 26].

DEFORMACIÓN: La deformación es el cambio físico de forma o tamaño que puede sufrir algún elemento, debido a esfuerzos externos productos de fuerzas aplicadas sobre el mismo [7, p. 47].

DESGASTE: pérdida de material como resultado de una interacción mecánica [8, p. 349].

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (E.N.D.): Son pruebas que se realizan a estructuras con el propósito de determinar las propiedades mecánicas a las que se encuentra el material [9].

EMBARQUE: recibe el nombre de embarque al lugar que permita al usuario ingresar a las atracciones [3].

ESFUERZO: El esfuerzo es la intensidad de fuerza por unidad de área. Puede ser de tracción, si el esfuerzo hala de la cara, o de compresión, si la empuja.

ESFUERZO FLUENCIA: Limite de esfuerzo en el cual el material sufre deformaciones plásticas o permanentes y genera un endurecimiento del material [10, p. 69].

ESFUERZO ÚLTIMO: Esfuerzo más alto que experimenta el material en el diagrama esfuerzo deformación, y se caracteriza porque el material sufre estricción y por último es el valor que delimita cuando se factura el material [10, p. 69]. **ARANDELA A PRESIÓN:** Hace referencia un anillo cuyos extremos están abiertos y deformados, de forma que para aplanarse se requiere un par de torsión adicional para evitar el aflojamiento de los pernos, en conjuntos expuestos a la vibración [11].

HOJA DE VIDA O BITÁCORA DE MANTENIMIENTO: es el documento de la atracción o dispositivo de entretenimiento, en el cual se deben registrar todas las operaciones de mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo, las modificaciones o reformas importantes del sistema operativo del equipo e igualmente el mantenimiento predictivo que, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante o instalador de la atracción o dispositivo de entretenimiento, deba practicarse a través de ensayos no destructivos para el análisis de vibraciones que permita determinar posibles fallas en aquellos equipos rotativos, como es el caso de los motores [3].

MANTENIMIENTO CORRECTIVO: este tipo de mantenimiento no solo busca reparar la máquina o componente averiado, sino que también trata de buscar, diagnosticar y corregir la causa real que provocó el fallo, éste método solo es aplicable cuando existe disponibilidad suficiente de equipos de repuesto y la sustitución es rápida, económica y no supone de interrupciones del proceso productivo [12, p. 12].

MANTENIMIENTO PREVENTIVO: es un mantenimiento cuyo objetivo es prevenir el fallo. El más común es el planificado y se basa en el establecimiento de una rutina sustitución de piezas a intervalos periódicos de tiempo. En la mayoría de casos la sustitución del componente se realiza sistemáticamente, independiente del estado de la pieza, basándose en número de ciclos realizados o el tiempo de trabajo de la máquina y en la información histórica del tiempo medio de fallos [12, p. 12].

OXIDACIÓN: es la reacción de un metal con el oxígeno en el aire o en el agua formando óxidos.

PLAN DE MANTENIMIENTO: es una descripción general y breve de frecuencias de inspección, lubricación, ajustes, calibraciones y actividades similares que aparecen en el Capítulo de “Instrucciones de Mantenimiento” del Manual de Operación o Mantenimiento suministrado por el fabricante. Es decir, se trata de una relación detallada de las actuaciones de mantenimiento que requiere un equipo, sistema, componente o parte y de los intervalos con que deben efectuarse [3].

PLATINA PUNTO CRITICO: un punto crítico puede ser también aquel en el cual se prevea que la resistencia puede ser baja comparada con la de otros puntos. Esto puede ocurrir, por ejemplo, cuando las cargas son variables o cuando la temperatura no sea constante en todos los puntos [13, p. 82].

TOBOGÁN ACUÁTICO: toda atracción formada por una superficie pendiente, regada por agua, por la que los usuarios se deslizan directamente o sobre una plataforma [14].

TOBOGANES DE CUERPO: son toboganes que no necesitan ningún vehículo para deslizarse [14].

TOBOGANES DE LLANTA: el vehículo utilizado es una llanta robusta que se desliza sobre todo el trayecto del tobogán [14].

TOBOGANES RÁPIDOS: En esta atracción el usuario logra alcanzar una velocidad de 25 pies/s [14].

TOBOGÁN DE SERPENTINA O CURVILINEO: Este tipo de tobogán cuenta con una trayectoria curvilínea, vista como un camino deslizante geométrico [14].

TOBOGANES PARA NIÑOS: Este tipo de tobogán está diseñado para personas con estatura menor a 1.21 metros, tiene una distancia máxima de caída de 7,6 metros y la profundidad del agua no es mayor a 0.6 metros según normativa internacional [14].

RESUMEN

El presente trabajo tiene como propósito desarrollar un estudio para diagnosticar el estado en que se encuentran las principales atracciones en la zona acuática dentro del Parque Del Azúcar. Para ello basándose en teoría de resistencia de materiales y utilizando el método de elementos finitos se logró dar una evaluación del comportamiento de las estructuras y corroborar que los elementos en sus zonas críticas cuentan con un factor de seguridad mayor a uno, donde los elementos no fallan estáticamente.

También se constató que las estructuras presentan daños debidos a agentes externos y se encontró que existen elementos que desempeñan una función diferente a la que fueron concebidos, por esta razón en el plan de mantenimiento recomendado, se da solución a dichos inconvenientes.

Por ultimo basándose en las recomendaciones de la normativa nacional para parques de diversiones, se propone utilizar una plantilla para ficha técnica de inspección en mantenimiento que supla con las características requeridas por la norma.

Palabras clave: Análisis de falla, Estructuras metálicas, Plan de Mantenimiento, Rediseño.

INTRODUCCIÓN

La recreación es un aspecto importante en la vida del ser humano ya que esto le permite desarrollarse en el ámbito cultural y social, asimismo cabe destacar que esta propicia elementos que permitan desenvolverse como individuo. Los parques acuáticos son considerados centros de recreación masivos, construidos y equipados con atracciones que utilizan el agua como medio de entretenimiento de manera que sean seguras para conservar la integridad de las personas que asisten a éste tipo de lugares. Un parque acuático es como un recinto cerrado donde se ofrece al usuario múltiples y diversas atracciones que aumentan el disfrute del agua como elemento principal de un juego estimulante que, para evitar riesgos, debe hacerse en el marco de una normativa adecuada [15].

En Colombia la normativa encargada recreación y diversión del público por medio de atracciones se denomina la ACOLAP. [16]. Recrear Palmira-Parque del azúcar es una corporación dedicada a la prestación de servicios de recreación hace 33 años, dentro de sus instalaciones cuentan con diferentes tipos de atracciones, las 3 principales son el tobogán curvilíneo, el tobogán recto y la tirolesa; éstas atracciones presentan ciertos problemas de diseño y de mantenimiento, desde su construcción y su funcionamiento a lo largo del tiempo no se llevó a cabo un buen proceso de diseño de ingeniería.

Por tal motivo, ésta pasantía tiene como objetivo hacer un análisis y rediseño a las principales atracciones acuáticas del parque del azúcar, con el fin de crear un plan de mantenimiento el cual le ayude a la corporación a preservar sus atracciones principales y hacer de ellas un sitio más seguro para que las personas que visiten éste lugar puedan usarlas sin poner en riesgo sus vidas.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las estructuras se ven afectadas diariamente por situaciones adversas, las cuales comprometen de manera directa las propiedades mecánicas del material y de todos sus elementos de composición. Además, el uso al que se le somete a diario y su método de instalación son factores que también afectan a las estructuras, por tanto, se deben tomar acciones que mantengan y prolonguen la funcionalidad, seguridad y estabilidad de dichas estructuras.

El desgaste de una estructura se puede ver afectado por: exposición al agua, radiación solar, contacto con el viento, cambios climáticos, cargas fluctuantes, cargas muertas, sensibilidad química múltiple, materiales sintéticos, entre otros; estas situaciones comprometen críticamente el estado de una estructura ya que pueden generar abrasiones y acelerar el proceso de oxidación natural del material [17, p. 18].

En este sentido, los soportes para toboganes en los parques acuáticos son solo algunos de los tantos usos que pueden tener las estructuras metálicas. Estas se diseñan para soportar cargas de servicio, por lo cual factores como el viento, la temperatura, movimiento natural de la tierra, cargas vivas y cargas muertas, están en constante interacción con este tipo de soportes. El problema con este tipo de estructuras es que están expuestas al constante deterioro, daños, desgastes, fatiga, elementos en su zona plástica y agua con diferentes componentes que la hace más corrosiva.

Como plantea la Asociación Colombiana de Atracciones y Parques de Diversiones (ACOLAP) [16], su principal enfoque está en promover el desarrollo, la innovación y el crecimiento de la industria del entretenimiento en el país, velando así porque los parques temáticos ubicados en el territorio nacional cumplan con los requerimientos necesarios para que la vida útil de las atracciones principales se preserven, garantizando la integridad física de las personas que acuden a éstos lugares. Esta institución pretende calificar la calidad de las atracciones con ciertas gestiones que garanticen el buen estado de estas y que a su vez cumpla con los estándares nacionales. Entre ellas están: el mantenimiento de las atracciones, estándares de operación, políticas de operación, programas de inspección, desarrollo de ensayos no destructivos y reemplazo de partes pertenecientes a las atracciones.

Con base en lo anterior y teniendo en cuenta los datos obtenidos en una visita realizada a las instalaciones de Recrear Palmira-Parque del Azúcar, en el mes de diciembre de 2018, se evidenciaron deficiencias de diseño y mantenimiento en las

principales estructuras de la zona acuática, que desde el punto de vista del diseño mecánico se pueden presentar de la siguiente manera:

- Problemas de diseño, ya que el centro recreativo no cuenta con los planos de la estructura, es decir no se cuenta con información sobre las dimensiones de todos los componentes empleados para su construcción, ni datos numéricos pertinentes, los cuales den constancia de que la estructura se encuentre bien diseñada o ajustada a los cánones que otorgan los estándares.
- Baja calidad de construcción, esto se debe a que en la estructura existen elementos que no cumplen ninguna función al no estar sometidos a ningún tipo de cargas, lo cual adiciona peso innecesario.
- Medidas de aseguramiento nulas, ya que no cuentan con ningún tipo de plan de mantenimiento ya sea de ámbito predictivo, correctivo o preventivo, debido a esto la estructura desde su construcción no ha tenido un mantenimiento apropiado para conservar su estado.

En otras palabras, las atracciones acuáticas no cumplen con las exigencias establecidas por el ACOLAP para parques acuáticos:

Art. 39° requisitos generales de seguridad, que plantea que deben existir diseños especiales, para garantizar una vulnerabilidad alta en un incidente.

Como pregunta de investigación se puede plantear: ¿Cuál sería la mejor solución de diseño para que las atracciones principales del Parque del Azúcar cumplan con los estándares de calidad que exige la ACOLAP?

2. JUSTIFICACIÓN

Las atracciones turísticas deben contar con normativas necesarias que garanticen un control y estándares de calidad debido a la responsabilidad que tienen al operar con público, por este motivo, el diseño de las atracciones juega un papel importante, dado que un error en cálculos iniciales o un plan de mantenimiento mal planificado y ejecutado, puede reducir la vida útil de la atracción y poner en riesgo la vida de los usuarios. En Colombia, la ACOLAP enfoca su labor en promover el desarrollo, la innovación y el crecimiento de la industria del entretenimiento, velando porque los parques temáticos cumplan con los requerimientos necesarios, con el fin de que disminuyan al máximo los riesgos derivados con su operación, salvaguardando la vida de las personas que acuden a estos lugares. Algunas de las actividades que se deben desarrollar son: mantenimiento de las atracciones, estándares de operación, políticas de operación de estas, programas de inspección, el desarrollo de ensayos no destructivos, el reemplazo de partes pertenecientes a las atracciones, entre otros, todas estas actividades deben ser categorizadas en programas de mantenimiento.

A la ACOLAP se encuentran afiliadas organizaciones tales como Recrear Palmira-Parque del azúcar; estas empresas deben estar dentro de la normativa requerida por las leyes, para garantizar un funcionamiento óptimo y de calidad. Debido a que no se ha llevado un plan de mantenimiento óptimo a lo largo de los años dentro del parque y no se cuenta con documentación técnica requerida por la normativa, es necesario realizar una intervención por parte de ingenieros para lograr que cumpla con todos los estándares de calidad.

A partir de la intervención de los ingenieros encargados del proyecto podrá mejorar la seguridad debido a fallas estructurares, brindar un plan de mantenimiento eficiente y realizar un reemplazo de componentes de ser necesario. De esta manera poder brindarles un espacio más seguro a las personas que adquieren los servicios recreativos de este parque acuático.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Rediseñar las atracciones tobogán y tirolesa de la zona acuática del parque del azúcar, de forma que cumplan con las normas establecidas por la ACOLAP.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar el estado actual del sistema estructural de soporte de las atracciones: tobogán y tirolesa del parque del azúcar.
- Modelar mediante análisis por elementos finitos, el sistema estructural de las atracciones: tobogán y tirolesa, con el fin de determinar su estado actual y realizar los ajustes estructurales necesarios para que las atracciones cumplan con la norma ACOLAP.
- Diseñar un plan de mantenimiento correctivo y preventivo para el sistema estructural de la tirolesa y tobogán ubicados en la zona acuática.

4. ANTECEDENTES

4.1 NIVEL MUNDIAL

4.1.1 Código de prácticas para atracciones de feria

Este documento tiene como propósito brindar información sobre la normativa que se lleva internacionalmente en las atracciones de parques de diversiones, desde su proceso de diseño, instalación, manufactura y revisión [9]

El documento aporta información relevante en el capítulo 2 para un proceso de diseño, donde brinda los valores a los cuales se deben aproximar los cálculos que se llevarán a cabo y que se tienen en cuenta para lograr un proceso de diseño óptimo, así mismo indica los parámetros que se deben considerar al momento de trabajar con estructuras que interactúen con las personas.

4.1.2 Principios de protección de estructuras metálicas en situación de corrosión y fuego

El objetivo de éste artículo tiene como fin, guiar al lector de forma explícita a través de todos los conceptos de la corrosión aplicada a los aceros, dando conocimientos básicos sobre la corrosión y sus efectos en estructuras constituidas principalmente de aceros al carbono, también brinda información para su tratamiento en caso de que se presente corrosión en alguna estructura, propone un paso a paso el cual va desde diferentes tipos de preparaciones de la superficie con sus respectiva normativa, hasta los aditivos y pinturas que se le puede aplicar a la estructura para su conservación [18, p. 24].

Este documento sirve como referencia para el desarrollo del plan de mantenimiento, donde se tocan temas de corrosión en estructuras metálicas, de manera que brinda las recomendaciones para preparar las estructuras antes de utilizar algún tipo de recubrimiento. Además, permite solucionar diversas problemáticas encontradas en el mantenimiento correctivo.

4.2 NIVEL NACIONAL

4.2.1 Guía para el mantenimiento y protección de elemento metálicos

El objetivo de éste trabajo es dar información importante al lector sobre un buen diseño de estructuras metálicas soldadas, se encuentran elementos como diseños de vigas, columnas, procesos óptimos de soldadura y control de calidad y mantenimiento.

Dentro del escrito se encuentra información sobre diferentes tipos de ensayos ya sean destructivos o no destructivos para el diagnóstico de la estructura metálica, entre los cuales están las tintas penetrantes y el ultrasonido, a su vez da recomendaciones sobre diferentes procedimientos a la hora de llevar a cabo mediciones a las estructuras, como también un posible proceso de mantenimiento [19, p. 11].

4.3 NIVEL REGIONAL

4.3.1 Evaluación estructural de las torres de soporte de toboganes y estructuras de juegos infantiles interactivos fabricados por DOFORMAS LTDA

El documento habla sobre una problemática, la cual presenta la empresa DOFORMAS LTDA, que se encarga del diseño, instalación y mantenimiento de atracciones acuáticas, dentro de la tesis se desarrolla un análisis estructural bajo el método de elementos finitos, de estructuras que entre la más destacada se encuentra el tobogán en espiral.

Dentro del escrito se puede obtener información relevante para el desarrollo del modelado 3D que se necesitará para cumplir los objetivos que se han planteado anteriormente, además puede brindar teoría y componentes estructurales de los soportes de toboganes que pueden ser utilizados [20].

5. MARCO TEÓRICO

5.1 ESTRUCTURAS METÁLICAS

Con el objetivo de abordar el problema de investigación que se plantea en este proyecto, se hace necesario conocer qué son las estructuras metálicas y los diferentes factores que las componen, de modo que se puedan tener conceptos claros del diseño mecánico, que sirvan como fundamento para realizar una propuesta de rediseño de las estructuras principales de la zona acuática del Parque del Azúcar.

A partir de lo anteriormente expuesto, se hallan diferentes fuentes que dan datos importantes sobre las estructuras metálicas. Una de ellas es Nonnast Robert, quien afirma que las estructuras metálicas son el tipo de construcción más indicado para soportar carga, pues con éstas se logra distribuir el peso a lo largo de ellas y estabilizarlas para diferentes tipos de movimientos que puedan afectarlas [21, p. 229].

Adicionalmente, Jack C. McCormac plantea que “las estructuras de acero se adaptan muy bien a posibles ampliaciones. Se pueden añadir nuevas crujías e incluso alas enteras a estructuras de acero ya existentes, y con frecuencia se pueden ampliar los puentes de acero” [22, p. 4]. Además, la estructura debe estar construida de forma que se minimicen las deflexiones, grietas o daños en el material [23, pp. 35–54].

5.1.1 Tipos de sistemas estructurales

Existen diferentes tipos de estructuras de ingeniería, las cuales se constituyen en armaduras, entramados y máquinas usadas en la ingeniería para transmitir o soportar cargas.

Según Ferdinand P. Beer, las armaduras son concebidas para soportar cargas y acostumbra a ser estructuras estacionarias completamente ligadas. Estas armaduras están compuestas exclusivamente de miembros rectos conectados por articulaciones situadas en los extremos de cada miembro. Los miembros rectos de las armaduras suelen recibir el nombre de barras y los puntos donde se articulan son denominados nodos [24, pp. 271–272].

Por otra parte, Russell Hibbeler define a las armaduras como una estructura compuesta de miembros esbeltos unidos entre sí en sus puntos extremos. Sus miembros pueden estar constituidos de madera o metal principalmente y sus conexiones están formadas por pernos o soldadura en los extremos de los miembros unidos [25, pp. 257–258]. Cabe resaltar que Beer manifiesta que los sistemas estructurales se destinan frecuentemente a la construcción de puentes, cerchas, marcos o pórticos [24, pp. 271–272].

5.2 DISEÑO MECÁNICO

Según el profesor Richard G. Budynas, “el diseño mecánico es un proceso con muchas fases interactivas” [26, p. 920]. Esto quiere decir que en la mayoría de los casos es imposible predecir y/o calcular exactamente ciertos tipos de variables que afectan al sistema, de manera que, al modelar matemáticamente algún problema del diseño mecánico se provocará que los cálculos a realizar sean engorrosos.

Por otra parte, Robert L. Mott postula en su manuscrito Diseño de Elementos de Máquinas que el objetivo del diseño mecánico es satisfacer las necesidades de un cliente por medio de un producto, garantizando que éste sea seguro, eficiente, económico y de fácil manufactura [27, p. 921].

5.2.1 Curva esfuerzo deformación

Es necesario conocer el comportamiento de un material y sus valores de esfuerzos registrados en ensayos de tracción realizados con probetas en laboratorio; de esta manera se pueden estimar sus propiedades mecánicas (Fig.1).

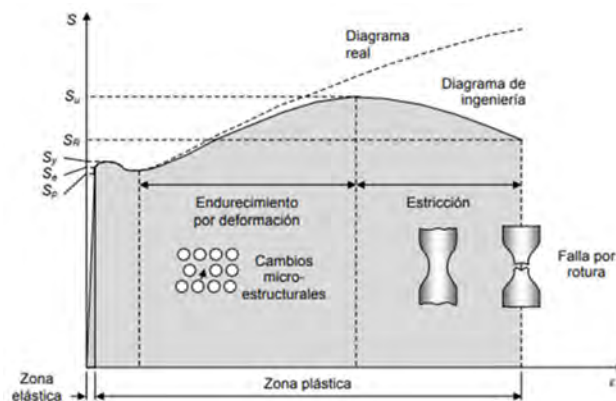


Fig. 1. Diagrama Esfuerzo vs deformación [28, p. 68]

Si el material no excede el límite elástico (σ_e) el material no sufrirá deformaciones permanentes en su geometría. Cuando el material supera el valor de la resistencia a la fluencia (σ_y) pasa a la zona plástica donde el cuerpo experimenta deformaciones permanentes y genera un endurecimiento del material.

Cuando los esfuerzos toman valores iguales al esfuerzo ultimo (σ_u) o resistencia última el cual es el punto más elevado del diagrama, ocurre una falla súbita a partir del punto de estricción del material hasta llegar al esfuerzo de ruptura.

En la práctica se deben tener en cuenta 2 valores cuando un elemento se somete a carga estática. El σ_y que indica cuando el material va a sufrir una deformación permanente y el σ_u señalando cuando el material va a romperse [28, pp. 66–69].

5.2.2 Elementos Finitos

Los elementos finitos o FEA, (por sus siglas en inglés) están definidos como un método numérico usado como una herramienta de análisis de diseño, puesto que este método discretiza geometrías complejas en miles o millones de elementos[27, p. 921]. Un ejemplo muy didáctico de este método es el niño que juega con LEGO®, el cual usa diferentes piezas de un tamaño reducido, para crear estructuras diversas [29, p. 1].

5.2.3 Teorías de falla

Las teorías de falla son modelos matemáticos que permiten comparar los estados de esfuerzos a los cuales se somete la pieza, versus los esfuerzos admisibles que puede soportar el mismo de acuerdo a las propiedades del material a emplear [30, p. 35].

5.2.4 Factor de seguridad

Se denomina factor de seguridad al cociente que existe entre el esfuerzo que es capaz de soportar un material o una estructura y al que se genera como resultado de las acciones internas cuando esté en servicio, amén de esto, el factor de seguridad debe tener valores mayores a uno, ya que si esto no es así querrá decir

que la carga de servicio supera a la carga admisible que puede soportar el material, aumentando la probabilidad de que falle [30, p. 35].

5.3 PARQUES DE DIVERSIONES

Según ACOLAP un parque de diversiones es un espacio destinado a la recreación y diversión del público por medio de atracciones ya sean mecánicas, recreación de animales, máquinas y juegos, en estos parques no van incluidos juegos de azar. [16].

Los parques de diversiones se pueden dividir en: permanentes con sus estructuras fijas dentro de una zona delimitada y variables, que una su gran mayoría se les atribuye dichas características a parques metálicos de atracciones dinámicas.

5.3.1 PARQUES ACUÁTICOS

Son parques cuya principal característica es la de recrear y entretener a partir del manejo del agua. Estos parques pueden ser instalados de manera permanente o no permanente y de entro de ellos se encuentran trampolines, toboganes, piscinas entre otros;

5.3.1.1 Toboganes

Normalmente es considerado la parte central de un parque de diversiones, consiste en una plataforma que se encuentra a una altura deseada por el parque de diversiones, la cual va unida a una rampa en fibra de vidrio siendo posible deslizarse sobre ella.

A partir de la normativa establecida por la ley 1225 del año 2017 ACOLAP [16] establece los diferentes tipos de tobogán que existen:

Los toboganes pueden encontrarse abiertos o cerrados y se dividen en varios tipos como lo son:

Toboganes de cuerpo: son toboganes que no necesitan ningún vehículo para deslizarse.

Toboganes de llanta: El vehículo utilizado es una llanta robusta que se desplaza sobre todo el trayecto del tobogán

Tobogán de serpentina o curvilíneo: cuentan con una trayectoria curvilínea, vista como un camino deslizante geométrico

Toboganes rápidos: el usuario logra alcanzar una velocidad de 25 pies/s

Toboganes para niños: diseñados para personas con estatura menor a 1.21 metros, tiene una distancia máxima de caída de 7,6 metros y la profundidad del agua no es mayor a 0.6 metros según normativa internacional.

5.4 MANTENIMIENTO

Según el libro de mantenimiento mecánico de máquinas, el mantenimiento es un aspecto fundamental para conseguir una producción o una prestación de servicios óptima, ya que una parada larga en un tiempo no previsto causada por la avería de alguna máquina puede afectar la producción por horas o días, y causar grandes pérdidas económicas. Otra manera de entender el mantenimiento refiere a que es una actividad que condiciona la eficiencia de la industria, por lo antes mencionado [31, p. 7].

5.4.1 Mantenimiento preventivo

Es un mantenimiento cuyo objetivo es prevenir el fallo. El más común es el planificado y se basa en el establecimiento de una rutina o sustitución de piezas a intervalos periódicos de tiempo. En la mayoría de los casos la sustitución del componente se realiza sistemáticamente, independiente del estado de la pieza, basándose en número de ciclos realizados o el tiempo de trabajo de la máquina y en la información histórica del tiempo medio de fallos [12].

5.4.2 Mantenimiento correctivo

Este tipo de mantenimiento no solo busca reparar la máquina averiada, sino que también trata de buscar, diagnosticar y corregir la causa real que provocó el fallo, este método solo es aplicable cuando existe disponibilidad suficiente de equipos de repuesto y la sustitución es rápida, económica y no supone de interrupciones del proceso productivo [12].

5.5 PANDEO

El pandeo es un fenómeno de inestabilidad elástica que normalmente se da en elementos tipo columna, se manifiesta por la generación de desplazamientos transversales debido a la acción compresiva sobre los elementos. Por lo tanto, a la hora de diseñar elementos que estén sometidos a compresión no será necesario solamente evaluar la máxima carga que pueda soportar, sino también la resistencia al pandeo [32, p. 256].

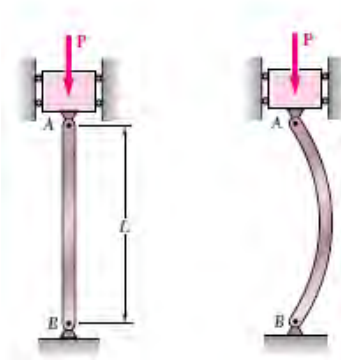


Fig. 2. Columna al aplicarle una carga [33, p. 610].

Si la carga a la que ésta sometida la columna supera la carga crítica de pandeo, la columna puede fallar sin que sus esfuerzos superen la resistencia del material. Una forma de solucionar esto es modificar la esbeltez del elemento, puesto que la altura y la esbeltez de una columna es indirectamente proporcional a la capacidad de carga de esta.

$$Re = \frac{L}{K}$$

$$K = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Donde K es el radio de giro, A es el área de sección transversal, I es el momento de inercia y L es la longitud de la columna.

Otro aspecto importante de las columnas son sus condiciones de apoyo, ya que esto influye en gran parte para la estabilidad de esta.

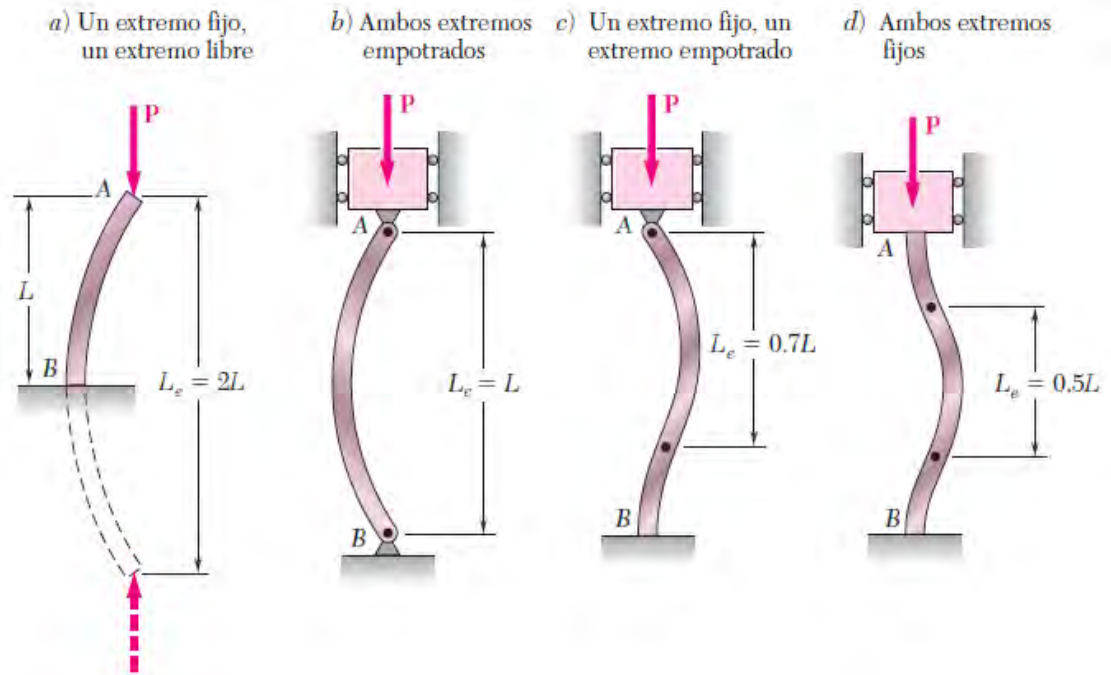


Fig. 3. Formula de Euler para columnas [33, p. 617].

Es relevante la definición de longitud efectiva, que se define como la longitud de una columna equivalente articulada [34, p. 663], en otras palabras, es la longitud que verdaderamente se padea la columna al aplicarle una carga.

6. REGLAMENTACIÓN NECESARIA

6.1 NORMATIVA ACOLAP

Las leyes y resoluciones que fueron necesarias a tener en cuenta para el desarrollo del proyecto fueron las siguientes

6.1.1 Ley 1225 de 2008

Funcionamiento y operación de los parques de diversiones atracciones o dispositivos de entretenimiento, atracciones mecánicas y ciudades de hierro, parques acuáticos, temáticos, ecológicos, centros interactivos, zoológicos y acuarios en todo el territorio nacional y se dictan otras disposiciones.

Artículo 2°. Definiciones.

Artículo 4°. Requisitos de operación y mantenimiento.

En el artículo se encuentra unas pautas para llevar un plan de mantenimiento que la asociación colombiana considera eficiente, además explica cuáles son los requisitos mínimos necesarios para abordar el plan de mantenimiento (Anexo. B).

Parágrafo 2°. El fabricante o instalador podrá incluir en la sección apropiada del manual de la Atracción o Dispositivo de Entretenimiento, un listado y localización de los componentes y áreas críticas que requieren inspección con base en E.N.D.

Parágrafo 3°. Los componentes que no resulten conformes de acuerdo con los ensayos no destructivos deberán reemplazarse o reacondicionarse de acuerdo con las normas de mantenimiento. Los componentes que se encuentren conformes o que han sido reemplazados o reacondicionados serán programados para futuros ensayos de acuerdo con los literales d. y e. anteriores.

Cuando el operador lo estime conveniente y no existan recomendaciones del fabricante o instalador, podrá contratar un profesional o agencia de Ingeniería con calificaciones, entrenamiento y certificaciones en el tema para que desarrolle el programa de inspección de E.N.D de las Atracciones o Dispositivos de Entretenimiento o sus componentes.

Parágrafo 4°. El Operador de una Atracción o Dispositivo de Entretenimiento deberá implementar un programa de ensayos basado en las recomendaciones de este artículo.

6.1.2 Resolución 0958 2010

Artículo 2°. Definiciones

Artículo 11. Para el cumplimiento de los estándares de mantenimiento de que trata el artículo 4° numeral 2 de la Ley 1225 de 2008, los Manuales de Mantenimiento serán aquellos que haya entregado el fabricante o el instalador, o que el propio Operador defina con base en su experiencia, y sobre ese Manual se implementará el programa de mantenimiento, según lo previsto en el mismo artículo.

Parágrafo. En el caso de atracciones o dispositivos de entretenimiento que, por su característica de funcionamiento, el fabricante, instalador u Operador no considere necesario el Manual de Mantenimiento, este no será requisito obligatorio, pero sí lo será el Programa de Mantenimiento.

Requisitos de operación y mantenimiento

Artículo 12. Las listas de chequeo diario de verificación, tanto de mantenimiento como de operación, que debe llevar el Operador en cumplimiento de los artículos 4° y 5° de la Ley 1225 de 2008, deberán llevarse por cada máquina o dispositivo de entretenimiento y archivarse por el término mínimo de un (1) año en la bitácora de cada máquina o dispositivo de entretenimiento, para que puedan ser revisados por la autoridad a la que corresponda ejercer el control y vigilancia, de acuerdo con lo previsto en el artículo 31 de esta resolución.

Artículo 13. Los chequeos diarios, semanales, mensuales, trimestrales, semestrales o anuales, que deban realizarse según la recomendación del fabricante, del instalador o del Operador, y de acuerdo con el Manual de Mantenimiento, deberán documentarse detallando las operaciones que se realizaron, las partes, piezas o elementos que se hayan reemplazado y deberán igualmente ser auditados por el supervisor de mantenimiento o la persona que el operador designe.

Artículo 16. El Programa de Mantenimiento de cada máquina o dispositivo de entretenimiento, debe contener como mínimo lo siguiente:

1. Definir la periodicidad de las operaciones de mantenimiento.
2. Descripción de la asignación del mantenimiento preventivo.
3. Descripción detallada de las operaciones que deben realizarse.
4. Instrucciones especiales de seguridad, donde aplique.
5. Recomendaciones adicionales del fabricante, o instalador, o del Operador.

6.1.3 Resolución 880 de 2017

Artículo 43. Modificaciones.

Las modificaciones a las atracciones o dispositivos de entretenimiento de tipo acuático no pueden realizarse sin una aprobación escrita del fabricante.

“PAR. —En caso de que el fabricante no apruebe una modificación, el operador puede consultar a un fabricante diferente o ingeniero/diseñador, o ambas, para completar o aprobar la modificación. El ingeniero diseñador debe tener experiencia mínima de 5 años en diseño y fabricación de toboganes y atracciones acuáticas, expedida por un fabricante o por la empresa para la cual trabaja.

Artículo 46. Condiciones generales que deben reunir los toboganes acuáticos. Los toboganes deberán reunir las siguientes condiciones generales (Anexo. C):

Artículo 49. Requisitos mínimos para la operación de un tobogán acuático.

Aparecen los requisitos mínimos para la operación de un tobogán acuático, que se numerará de uno (1) a once (11) cada requisito y apoyándose en normativas internacionales ASTM F 2291 F2376 (Anexo. C)

“PAR. —Todos los toboganes acuáticos deben cumplir con los estándares establecidos en la norma práctica ASTM F2376 para la clasificación, diseño, fabricación, construcción y operación de sistemas de toboganes.

6.1.4 Resolución 543 de 2017

La cual implementa unas modificaciones a la normativa ACOLAP establecida en la ley 1225 de 2008

Artículo 3. Conceptos

Se añaden conceptos que se consideran pertinentes a la ley 1225.

Artículo 7 Descripción técnica.

Paso a paso de cómo debe ser una ficha técnica que debe utilizar el personal encargado de las atracciones (Anexo. D).

Artículo 26. Programa de mantenimiento.

Para la ejecución del programa de mantenimiento, se seguirá lo dispuesto en el artículo 4° de la Ley 1225 de 2008 y el Capítulo III de la Resolución número 0958 de 2010 [18] del Ministerio- de Comercio, Industria y Turismo.

Artículo 27. Inspección de mantenimiento a equipos en los parques.

La inspección técnica que se realice a los equipos en los parques deberá llevarse a cabo dentro del marco de la seguridad y análisis de la integridad de los equipos. Se debe verificar la correcta, y adecuada operación y desempeño de las máquinas y revisar el cumplimiento de la ley en lo referente a ejecución de un programa de mantenimiento, capacitaciones, personal idóneo, etc. También se debe realizar una inspección al equipo para evaluar su estado general, de seguridad, adecuado desempeño y primordialmente, todas las condiciones que demuestren que el mismo ofrece la seguridad para los usuarios, de acuerdo con la Ley 1225 de 2008 y la Resolución número 0958 de 2010 del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo [18].

Artículo 28. Reemplazo de partes o repuestos para atracciones mecánicas y dispositivos de entretenimiento.

1. Para lo dispuesto en el numeral 1 del artículo 6° de la Ley 1225 de 2008, el reemplazo o repuesto deberá obtenerse por medio del fabricante de la atracción mecánica o dispositivo de entretenimiento, con uso de la nomenclatura de identificación apropiada (que para tal efecto es la suministrada por el fabricante).

2. Para lo dispuesto en el numeral 2 del artículo 6° de la Ley 1225 de 2008, el reemplazo o repuesto deberá obtenerse o producirse usando dibujos, planos o especificaciones de manufactura originales, si están disponibles.

3. Para lo dispuesto en el numeral 3 del artículo 6° de la Ley 1225 de 2008, el reemplazo o repuesto deberá obtenerse o producirse usando especificaciones derivadas de un análisis adecuado, para asegurar que los repuestos tengan la funcionalidad y la calidad equivalentes a las suministradas por el fabricante original.

Artículo 39. Requisitos generales de seguridad para parques y atracciones acuáticos.

Artículo 43. Modificaciones. Las modificaciones a las atracciones o dispositivos de entretenimiento de tipo acuático no pueden realizarse sin una aprobación escrita del fabricante. En caso de que el fabricante no apruebe una modificación, el propietario/operador puede consultar a un fabricante diferente o ingeniero/diseñador, o ambas, para completar o aprobar la modificación. El ingeniero o diseñador, debe tener experiencia en diseño y fabricación de toboganes y atracciones acuáticas, expedida por un fabricante o por la empresa para la cual trabaja.

7. DIAGNOSTICO Y AJUSTES

El lunes 1 de marzo del 2019 se realizó una visita a las instalaciones del parque del azúcar ubicado en la ciudad de Palmira, con el motivo de hacer una inspección de las estructuras que se encontraban en la zona acuática y dialogar con la persona encargada del servicio de mantenimiento del lugar. La persona encargada de la inspección y control dentro del parque del azúcar Raúl Aguirre Torres, comenta que se encuentra desempeñando ese cargo desde hace 27 años; Además, él explicó que diariamente el verifica las atracciones y demás elementos que constituyen el parque.

Debido a que recrear Palmira se encuentra inscrito en ACOLAP, los funcionarios de esta empresa desarrollan una inspección periódica y presentan observaciones para un uso óptimo de las instalaciones. Para el propósito referido, dentro del parque se decide en un lapso de 2 años hacer un cambio en elementos que se encuentren en mal estado y agregar una capa de pintura especial a las estructuras de la zona acuática, logrando disminuir daños por agentes externos debido al grado de humedad y exposición al sol.

No obstante, a lo anterior es preciso destacar que la práctica de mantenimiento de tratamiento superficial, no la antecede un tratamiento de preparación de la superficie.



Fig. 4. Vista general zona acuática Parque Del Azúcar.

Una vez terminada la entrevista, se precisó realizar una inspección más detallada a los toboganes con el uso de elementos de seguridad para trabajo en alturas que permitieran de forma segura el recorrido que desempeña la atracción y poder ubicar de manera más exacta posibles puntos de falla para los materiales (Fig.5).



Fig. 5. Plataforma para toboganes.

7.1 DIAGNÓSTICO DE AGENTES EXTERNOS

Las atracciones principales dentro del parque del azúcar están constituidas por un acero estructural AISI1020, el cual presenta un bajo contenido de carbono típicamente menor o igual al 0.2%, debido a su composición molecular, este acero, es propenso a ser atacado químicamente al encontrarse una alta concentración de agua y primordialmente su contenido de cloro en el entorno en el cual se encuentra. Como el lugar a tratar presenta un alto grado de humedad, es necesario realizar un chequeo buscando descartar elementos que estuvieran siendo atacados por agentes externos promotores de la corrosión.

En un análisis visual a los toboganes desde la parte baja de las estructuras es notable que las bases en que se encuentran apoyados los toboganes presenten un alto grado de corrosión, donde la capa de pintura que se ha añadido ha sido completamente eliminada (Fig.6). Esta situación es muy similar en las zonas más

bajas de las estructuras donde las películas de pintura que se agregan han sido reducidas en su gran mayoría y son visibles algunas partes de acero que componen los elementos.



Fig. 6. Apoyo Tobogán curvilíneo.

7.2 DIAGNÓSTICO Y MODELADO DE LAS ESTRUCTURAS

Para un análisis más detallado de las estructuras fue necesario dividir los componentes principales del parque acuático en los siguientes:

- Plataforma.
- Tobogán curvilíneo.
- Tobogán recto.
- Tirolesa.

7.2.1 Plataforma

Plataforma es la estructura que da inicio al recorrido de los dos toboganes, dicha plataforma se encuentra formada por 3 láminas, en su parte inferior una metálica, la segunda en fibra de vidrio y un recubrimiento en cemento.

La plataforma cuenta con una altura de 15 m desde su base, en la parte inferior de dicha plataforma hay un cuarto de almacenamiento de flotadores y tubería por donde fluye agua para ambos toboganes a través de las bombas ubicadas en el cuarto de máquinas.

Al inspeccionar la parte superior de la plataforma, el nivel de la superficie presenta irregularidades, estas irregularidades pueden ocasionar una posible caída de las personas que accedan al punto de embarque, además dentro de la estructura, aparecen daños en la placa metálica, la cual evidencia pérdidas de masa debida a un alto grado de corrosión que afecta directamente al material (Fig. 7).



Fig. 7. Daño en la plataforma.

Con ayuda del software Solidworks[35] fue posible realizar un diseño 3D de la plataforma (Fig.8), de esta manera permite exportar el formato CAD a un modelo CAE para un análisis bajo elementos finitos.

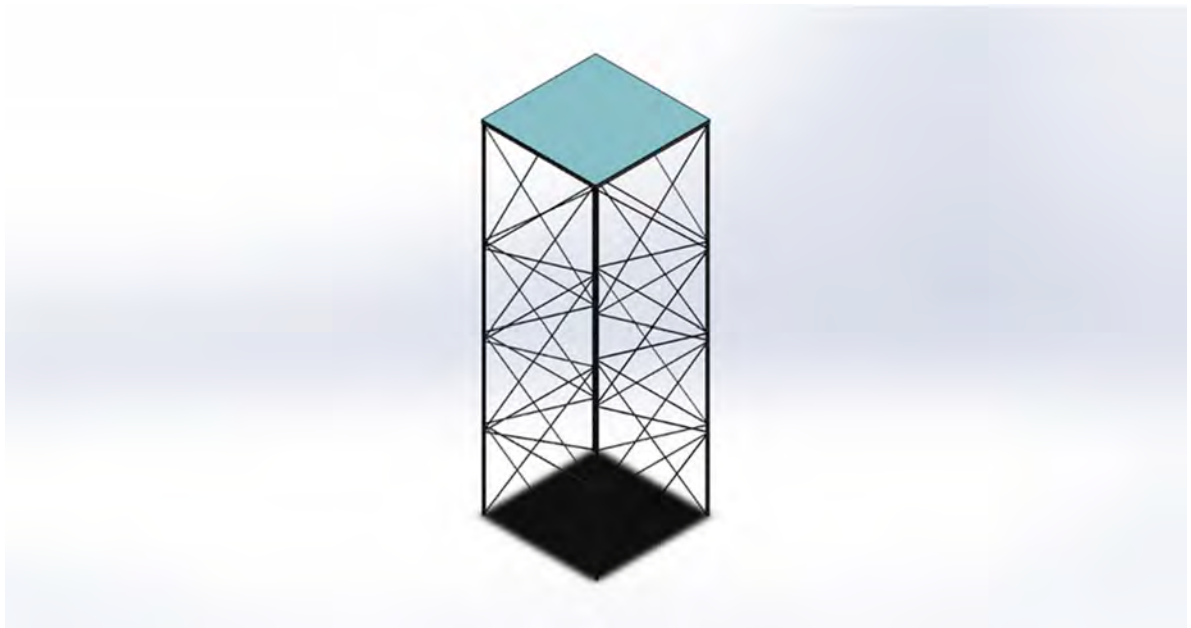


Fig. 8. Plataforma metálica.

Para el análisis estructural fue necesario utilizar la extensión del programa ANSYS[2] denominado Workbench, donde al aplicarle las condiciones que experimenta la estructura, permite localizar de manera idónea los puntos más sensibles de la plataforma. Fueron consideradas las fuerzas, como lo es el peso de la estructura, así como el que debe soportar para su capacidad máxima, donde en este caso se estimó un peso de 800 kg equivalente a un promedio de 10 personas.

Otras condiciones agregadas fueron soportes fijos en la parte inferior de las columnas mostrando que aparecen empotradas. Asimismo, se tuvo en cuenta el peso que ejercen el tramo inicial de los toboganes que se encuentra apoyados, para ello se desarrolló un diseño 3D en el Solidworks a partir de las dimensiones de los toboganes (Anexo. E), en el que una vez obtenido el volumen del cuerpo y asignada la densidad del material (Gelcoat [36]) el programa arroja el valor de la masa que para este caso serían 18.36 kg equivalentes a un peso de 180 N.

Por último, fue necesario tener en cuenta la presión que ejercen las placas de fibra de vidrio y cemento sobre la metálica. Con ayuda de las dimensiones de la placa obtenidas por el personal del lugar, se tiene como resultado un peso de 5000 N, el cual fue representado en unidades de presión referente a la carga aplicada a la placa de acero estructural (Fig.9).

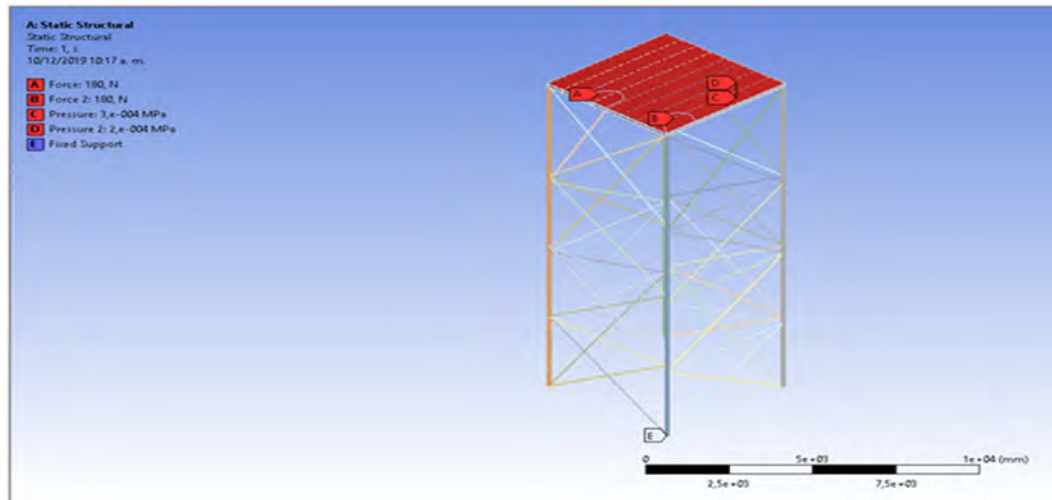


Fig. 9. Condiciones plataforma.

Las extensiones del programa requieren un enmallado, en el cual fue necesario realizar un estudio de convergencia de malla utilizando 2 valores como lo es el esfuerzo principal con respecto al tamaño de enmallado, de este modo verificar su comportamiento y encontrar valores que coincidan y pudieran presentar una respuesta más acertada (Fig. 10).

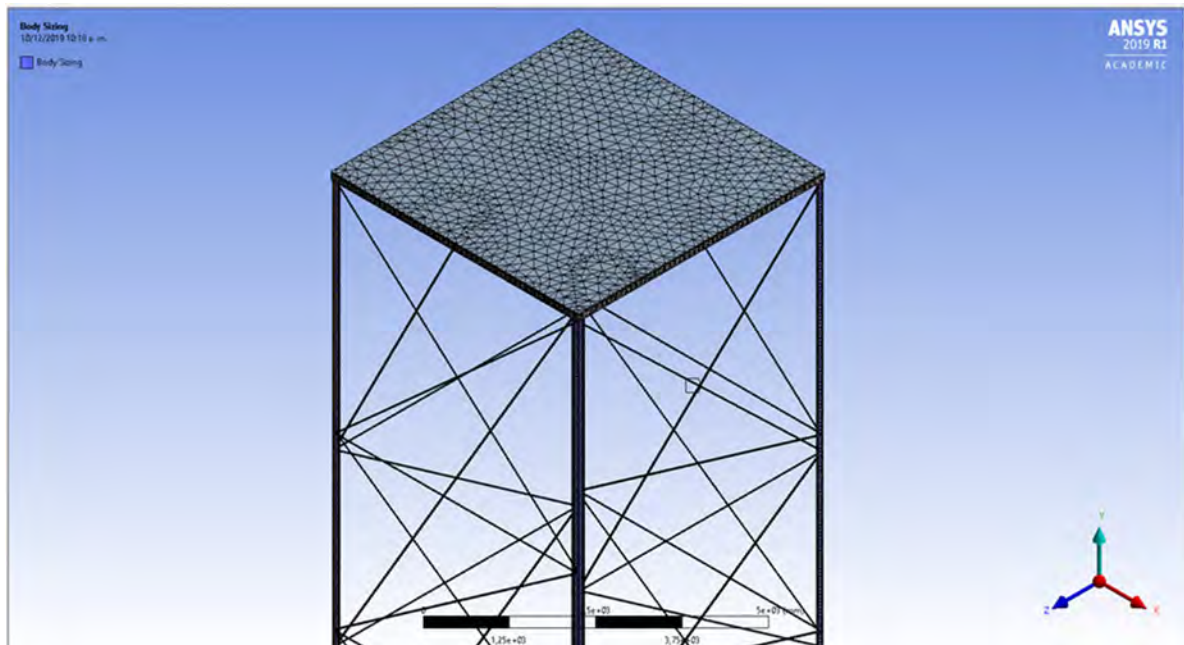


Fig. 10. Enmallado plataforma.

Se realizó un análisis de datos para para el tamaño de malla a partir de un tamaño de enmallado de 100 mm y se fue reduciendo hasta el valor mínimo de 40 que permitiera correr el programa sin que indicara algún tipo de error.

Para analizar la plataforma se utilizó un acero estructural con las características que se encontraban en la base de datos en la extensión del programa, utilizando elementos triangulares con interpolación lineal y teniendo en cuenta que todas las superficies de contacto fueran configuradas como unidas (bounded), permitiendo una solución lineal, de manera que Longitud/Área de contacto no cambiara durante la aplicación de la carga.

Los resultados muestran un comportamiento para 6 de los puntos en los cuales el material arroja valores alrededor de los 155,3 MPa, por esta razón se tomó 65 mm para el tamaño de enmallado (Fig.11), a partir de ello se pueden obtener los resultados que fueron tomados como válidos.

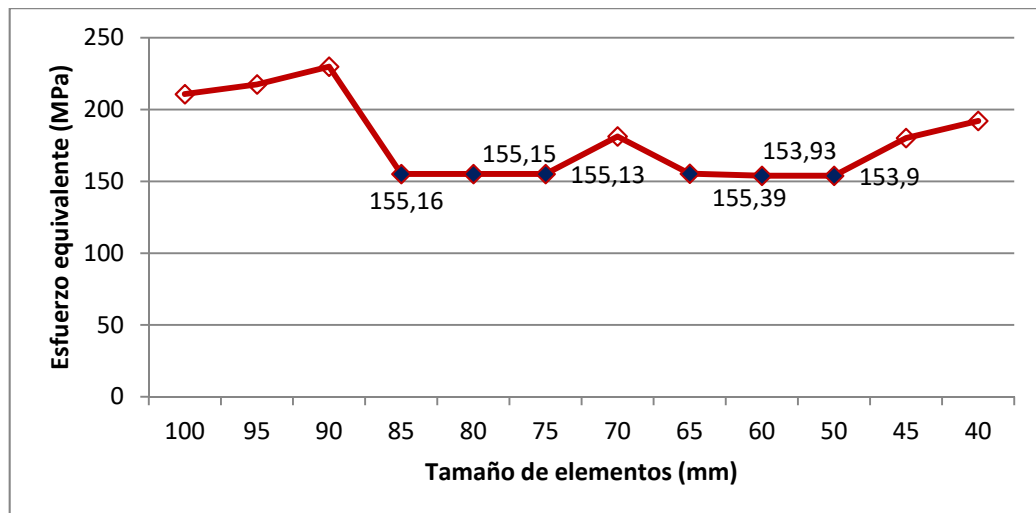


Fig. 11. Gráfico plataforma esfuerzo vs tamaño de malla.

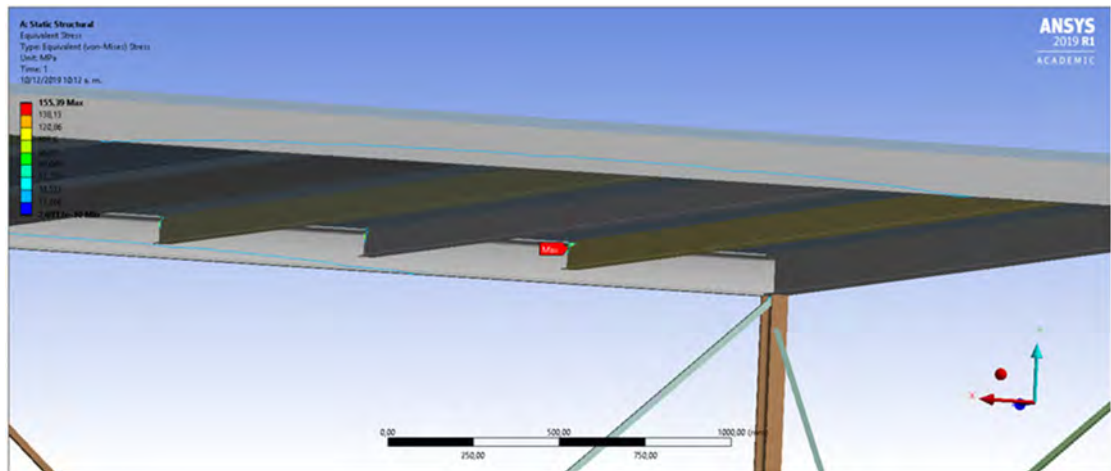


Fig. 12. Esfuerzo máximo registrado en plataforma.

El esfuerzo máximo obtenido fue de 155.39 MPa que debe ser menor al esfuerzo de fluencia del material el cual tiene un valor de 220 MPa (Anexo F). Esto indica que el material no va a sufrir ningún cambio permanente en su estructura.

El punto donde asoma el valor máximo registrado por el programa aparece en la parte que se une la placa metálica de la plataforma con los perfiles donde va apoyada dicha placa, los resultados de los esfuerzos aplicado a esta zona pueden ser generados a partir de concentradores de esfuerzos debido al tipo de perfil de los apoyos y su unión con la placa (Fig.12).

Fue prudente que la zona la cual registra los esfuerzos máximos es la que contó con los valores mínimos para el factor de seguridad, debido a que el factor de seguridad más bajo fue de 1.60 el sistema se encuentra seguro.

Los desplazamientos máximos registrados presentan un valor de 4.04 mm (Fig.13), como los esfuerzos de la estructura no superan la zona elástica del material, las deformaciones que sufren en los diferentes ejes de referencia no fueron permanentes además dentro de la normativa establecida por el Código de prácticas para parques de diversiones [9] se debe tener un valor de factor seguridad mínimo de 1.5, valor que superan los resultados encontrados.

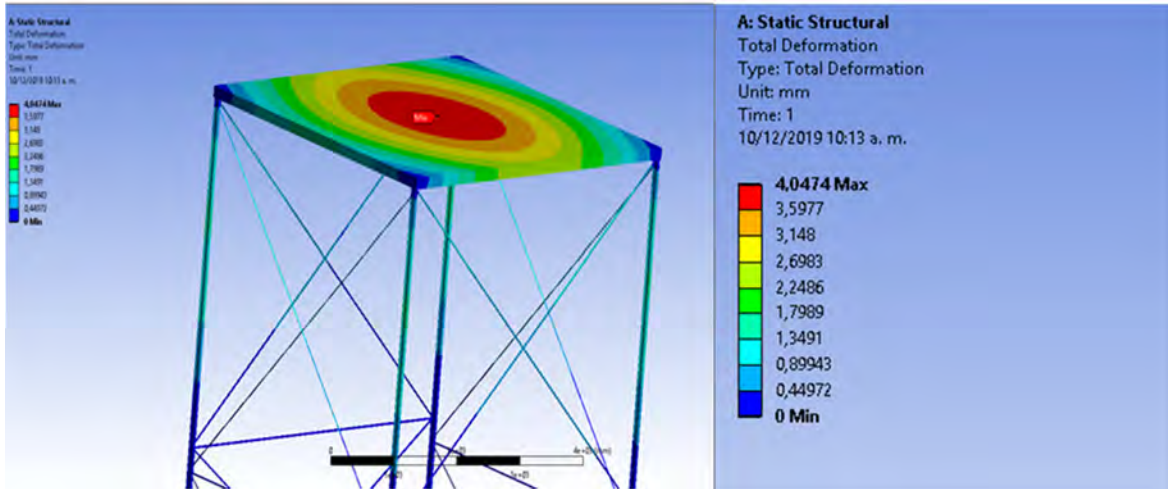


Fig. 13. Deformación total en la plataforma (a) Vista general. (b) Acercamiento deformación total.

Se pudo observar que el sistema sufre una deformación total máxima de 7.7×10^{-4} m en el centro de las placas de la plataforma debido a que ese punto alcanza la fuerza máxima aplicada. Este resultado presenta un valor de 77.29% comparado con el desplazamiento máximo que puede tener el material para no sufrir deformaciones permanentes.

Asimismo, su valor mínimo que experimenta se encuentra en la parte media de las columnas al ser un elemento sometido a compresión pura, los esfuerzos máximos aparecen situados en la mitad de estos.

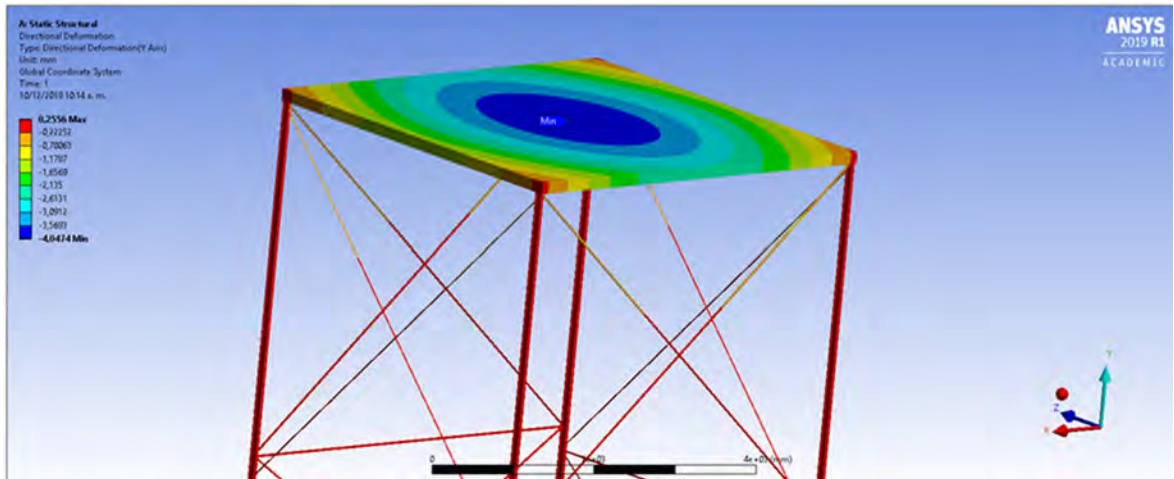


Fig. 14. Deformación eje Y plataforma.

7.2.1.1 Pandeo de la plataforma

A pesar de que los esfuerzos presentes en la torre de soporte no superan la resistencia del material el cual está constituido, si es necesario hacer un análisis de pandeo a las columnas que soportan a la plataforma, puesto que anteriormente se propuso que una estructura podía fallar por pandeo si la carga a la que está sometida el elemento supera la carga crítica de pandeo.

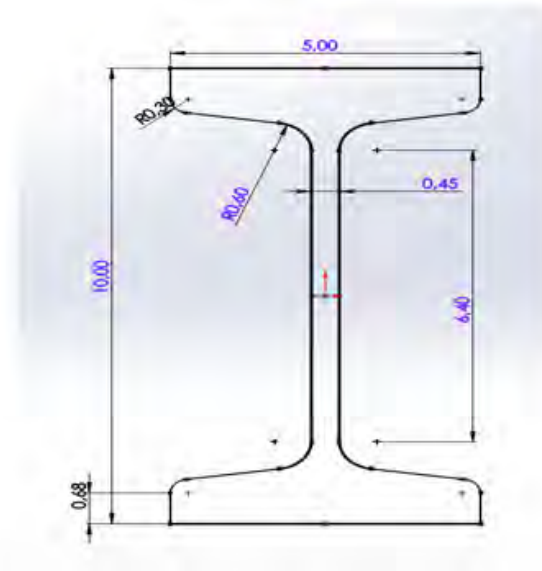


Fig. 15. Perfil de las vigas.

$$A = 10.6 \text{ cm}^2 ; I_x = 171 \text{ cm}^4 ; I_y = 12.2 \text{ cm}^4$$

$$K_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = 4.05 \text{ cm} ; K_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 1.07 \text{ cm}$$

$$Re = \frac{Le}{K_y} = 7.01$$

Como se puede apreciar la columna al ser un perfil en I, ésta va a tener dos momentos de inercia, se trabaja con el momento de inercia más pequeño ya que la columna tenderá a pandearse por el eje correspondiente al momento de inercia más pequeño.

$$P_{crit} = \frac{\pi^2 * E * A * n^2}{Re^2}$$

Donde n son el número de nodos presentes en las columnas; si n es igual a 4, entonces

$$P_{crit} = \frac{4^2 * \pi^2 * 200 \times 10^9 \text{ Pa} * 0.00106 \text{ m}^2}{\left(\frac{0.5 * 15 \text{ m}}{0.0107 \text{ m}}\right)^2} = 68139.7 \text{ N}$$

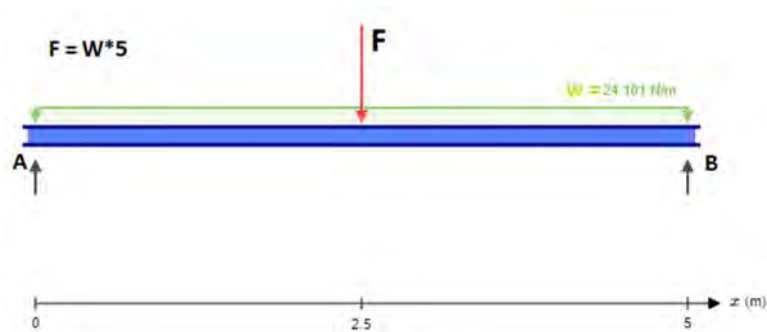


Fig. 16. Diagrama de cuerpo libre de la plataforma

$$\sum M_B = 0$$

$$F * 2.5 - R_A * 5 = 0$$

$$R_A = \frac{F * 2.5}{5}; R_A = W * 2.5$$

$$R_A = 24101 \text{ N} * 2.5; R_A = 60252.5 \text{ N}$$

De modo que la carga crítica tiene que ser menor que la reacción en la columna

$$P_{crit} > \frac{R_A}{4}$$

$$P_{crit} > 15063.125 \text{ N}$$

A partir del resultado anterior, el valor de la carga crítica de pandeo no es superado por la carga real a la que está sometido el sistema.

$$F.S = \frac{P_{crit}}{P_{real}} ; F.S = \frac{68,139.7 N}{15,063.125 N}$$

$$F.S = 3.99$$

El factor de seguridad de pandeo da aproximadamente 4, esto nos indica que la columna está bien diseñada contra el pandeo, y no requerirá hacerle ningún tipo de cambio.

7.2.2 Tobogán curvilíneo

Los toboganes curvilíneo y recto son fabricados a partir de fibra de vidrio, debido a las propiedades que tiene este material al contacto con el agua; el tobogán curvilíneo cuenta con 43 secciones que son unidas por medio de roscas con sus respectivas tuercas, buscando así un buen ajuste y mitigación de vibraciones.

Dentro del tobogán curvilíneo aparecen daños debido a una deformación plástica y agentes corrosivos en la estructura metálica, como lo visto en la figura seis (Fig.6), así mismo existen secciones que no se encuentran bien ajustadas por los pernos y que podrían ser contraproducentes al momento de que se le añadan cargas en dicha sección (Fig. 17).



Fig. 17. Desajuste tobogán curvilíneo torre 2.

Para todo el sistema denominado Tobogán curvilíneo aparecen elementos que brindan estabilidad en toda su trayectoria, dichos elementos son llamados Torres de soporte y Apoyos.

7.2.2.1 Torres de soporte

Este sistema cuenta con 4 Torres de soporte que se hallan instaladas sobre dados de concreto, tres de ellas que unen los cables tensores a los tramos curvados de tobogán y una torre de soporte sin tensores donde se encuentra apoyado una parte del tobogán.

Los tensores que están en el inicio y final de cada tramo del tobogán, cumplen la función de soportar un peso de 100 kg por cada tensor.

Al desarrollar la inspección se encontró que existe un cable tensor que no se encuentra unido a algún elemento en uno de sus 2 puntos, de manera que no completa su propósito de reducir cargas referentes al peso generado por ese tramo curvado (Fig.18).



Fig. 18. Torre de soporte 3 para tobogán curvilíneo.

Tabla I
Especificaciones para las torres de soporte

NUMERO DEL SOPORTE	DIÁMETRO EXTERNO (cm)	NUMERO DE TENSORES
1	35	6
2	35	5
3	35	8
4	35	0
ESPESOR TUBO	12.5 mm	
MATERIAL	Acero estructural 1020	
RECUBRIMIENTO	Poliuretano	
ESPESOR BASE	1.7 cm	
BASE	40x40 cm	

Nota: Esta tabla muestra las especificaciones para cada una de las cuatro torres de soporte.

La tabla I, muestra las características de los soportes que serán enumerados de 1 a 4 de acuerdo con su recorrido desde la plataforma. A partir de las especificaciones de la torre de soporte fue desarrollado un modelo 3D CAD (Fig. 19), de esta manera lograr un análisis más cuidadoso utilizando el Workbench (ANSYS)



Fig. 19. Torre de soporte (a). Vista general. (b) Acercamiento torre de soporte.

Para obtener las condiciones iniciales fue necesario tener en cuenta que debe soportar un peso de 100 kg referente a una persona y entender que el inicio y el final de un tramo curvado del tobogán, está situado sobre cada uno de los brazos metálicos en las torres de soporte. Por tal motivo se debe tener en cuenta el peso completo de un tramo (equivalente a 73.46 kg) (Fig. 20).

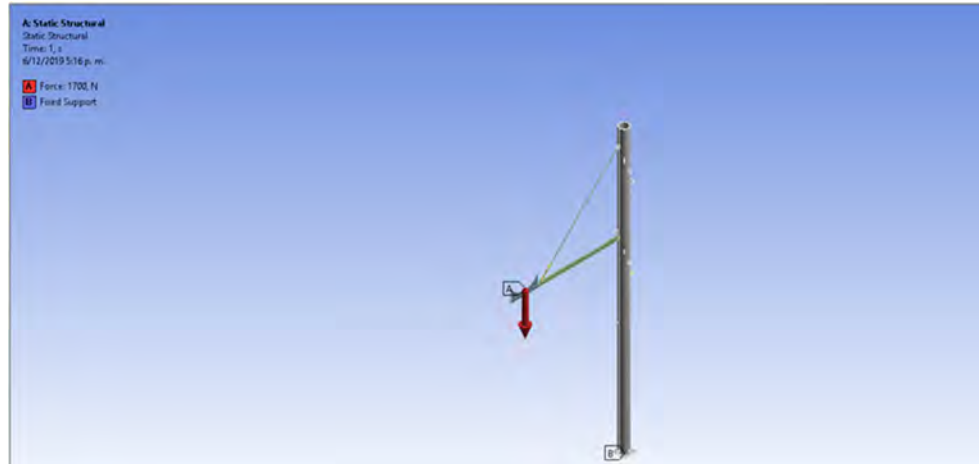


Fig. 20. Condiciones para torre de soporte.

Fueron analizados 15 datos utilizando esfuerzo principal con respecto al tamaño de enmallado dando como resultado 6 puntos que comparten resultados similares, donde se toma el valor de 15mm (Fig. 21) mostrando una malla más fina.

Se corroboró que los datos para el esfuerzo principal en las torres no superan el límite de fluencia (Anexo F).

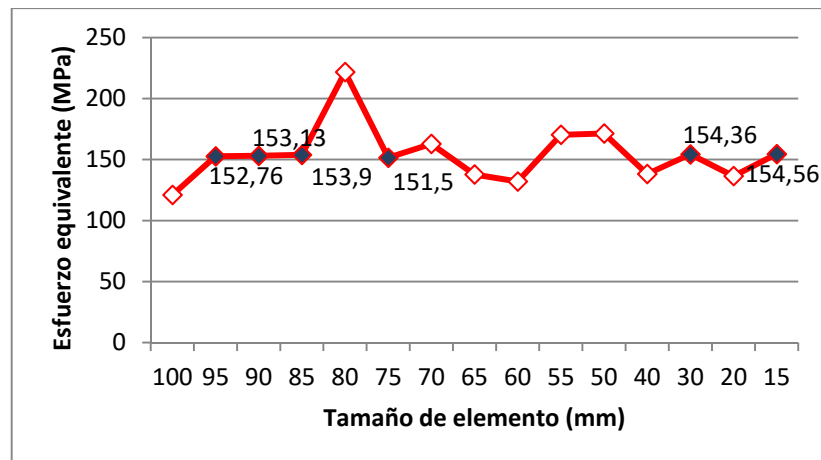


Fig. 21. Grafico para torre de soporte Esfuerzo vs tamaño de malla.

El cable tensor es un elemento de acero estructural el cual está sometido a carga axial pura, en cada uno de sus extremos se encuentra articulado a la torre principal y un elemento “viga” que soporta al tobogán en su extremo.

Se calculó la tensión a la cual trabaja el cable tensor, para eso se hizo un diagrama de cuerpo libre (Fig. 22).

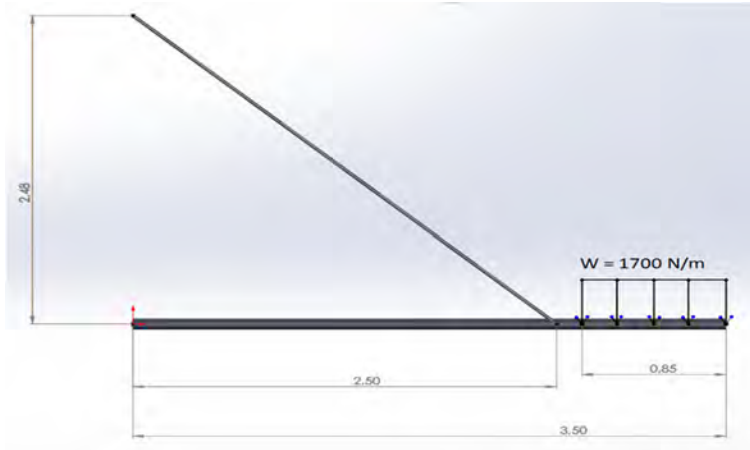


Fig. 22. Diagrama de cuerpo libre el sistema de soporte.

La tensión del cable fue de 2523.7 N (Anexo H), esto con el fin de poder hacer un estudio en el módulo de análisis estructural de ANSYS.

Se realizó una convergencia de malla, para determinar al tamaño de elemento finito es el más apropiado.

Tabla II
Convergencia de malla

Datos barra de soporte		
Número de toma	Tamaño (mm)	Esfuerzo (MPa)
1	5	99.997
2	6	99.77
3	7	99.491
4	8	101.55
5	9	98.664
6	10	100.39
7	11	100.39
8	12	95.346
9	13	96.225
10	14	100.39
11	15	106.96
12	25	103.1

Nota: Esta tabla comparte los resultados de esfuerzo principal obtenido para cada tamaño de enmallado para una torre de soporte

Los resultados obtenidos en ANSYS muestran que los datos de esfuerzo principal no superan el límite de fluencia del material lo que indico que el material no sufre deformaciones. Sin embargo, en la gráfica no se mostró una curva suave lo que indicaría una convergencia suave. A partir que hay picos generando un cambio brusco en los valores no tienen una convergencia definida, no obstante, los valores de los esfuerzos no sufren cambios tan grandes, ya que si se mira detalladamente los esfuerzos están en un rango de 95.3 MPa a 106.9 MPa (Tabla II).

Dicho lo anterior se escogió un tamaño de malla de 10 mm, ya que es el valor que corresponde a la media de los esfuerzos principales que se muestra en la tabla.

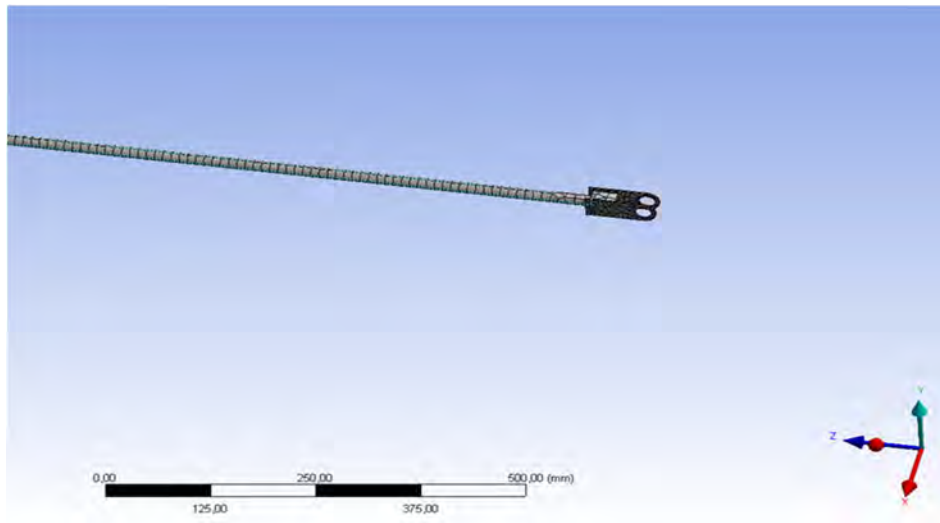


Fig. 23. Cable tensor enmallado (10 mm).

En un estudio más general se destaca que el factor de seguridad supera el valor mínimo necesario, pero fue necesario hacer un análisis la torre de soporte, considerándola como una columna y de esta manera poder evitar que se presente pandeo.

7.2.2.2 Pandeo de la torre de soporte

A la torre de soporte también se le requiere realizar un análisis de pandeo, puesto que es una estructura que soporta carga a lo largo de toda su circunferencia.

La siguiente figura muestra el diagrama de cuerpo libre de la torre de soporte, de manera que permita hacer un análisis numérico.

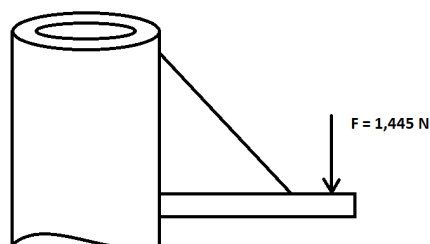


Fig. 24. Diagrama de cuerpo libre para Torre de soporte.

$$I_{out} = \frac{1}{4} * \pi * R^2 = 7.4x10^{-4}m^4$$

$$I_{in} = \frac{1}{4} * \pi * r^2 = 4.833x10^{-4}m^4$$

$$I_{tot} = I_{out} - I_{in} = 2.567x10^{-4}m^4$$

$$A_{tot} = (\pi * r_0^2 - \pi * r_i^2)$$

$$A_{tot} = (\pi * (0.175 m)^2 - \pi * (0.1575 m)^2) = 0.0183 m^2$$

$$K = \sqrt{\frac{2.567x10^{-4} m^4}{0.0183 m^2}} = 0.011844 m$$

Por lo tanto, la carga crítica de pandeo es:

$$P_{crit} = \frac{\pi^2 * E * A}{Re^2}$$

$$P_{crit} = \frac{\pi^2 * 200x10^9 Pa * 0.0183 m^2}{\left(\frac{2 * 12 m}{0.11844 m}\right)^2} = 879,741.6325 N$$

7.2.2.3 Apoyos

En el recorrido del tobogán curvilíneo existen adicionales de las torres de soporte, 5 apoyos cuya función es reposar los tramos rectos de este tobogán (Fig. 26)



Fig. 25. Apoyo número 2.

Tabla III

Características de los apoyos

TOBOGAN CURVILINEO			
NUMERO DEL APOYO	ALTURA (m)	ANCHO PARTE BAJA (m)	ANCHO PARTE ALTA (m)
1	1.35	0.8	0.8
2	1.96	0.8	0.8
3	2.43	0.8	0.8
4	3.69	0.8	0.8
5	6.32	1.63	0.96
MATERIAL: ACERO AISI 1020			
RECUBRIMIENTO: POLIURETANO			
TIPO DE PERFIL: PERFIL TIPO C			

NOTA: la tabla anterior aparece las dimensiones y material, los cuales se encuentran formados cada uno de los apoyos.

En un análisis más preciso se desarrolló un estudio para cada uno de los apoyos, dentro del programa ANSYS, donde se tuvo como condición inicial el peso por cada tramo recto del tobogán, adicional del peso que una persona promedio ejecutaba en ellos.

Para el propósito arriba mencionado se utilizaron los planos (Anexo E) para una sección recta del tobogán con el fin de obtener su masa y agregar el valor referente al de una persona. Este resultado dio un peso de 2550 N que se dividió en 2 partes iguales debido a las zonas de contacto entre la cercha y el perfil (Fig.27).

Utilizando 21 datos para un estudio de convergencia de malla que aparecen en la tabla número 4 (Tabla III) se seleccionó un tamaño de 13 mm (Fig.28).

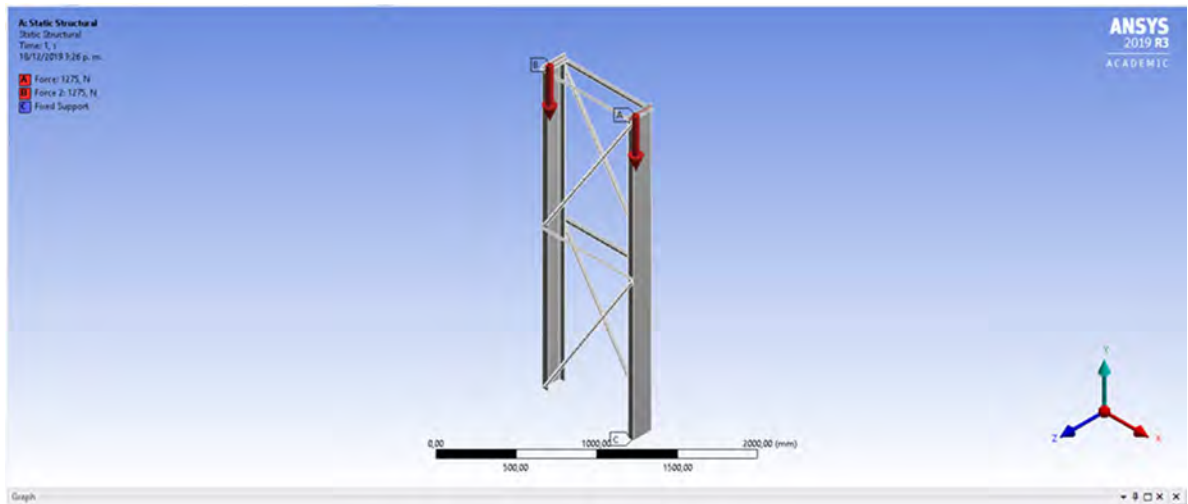


Fig. 26. Condiciones iniciales en los apoyos.

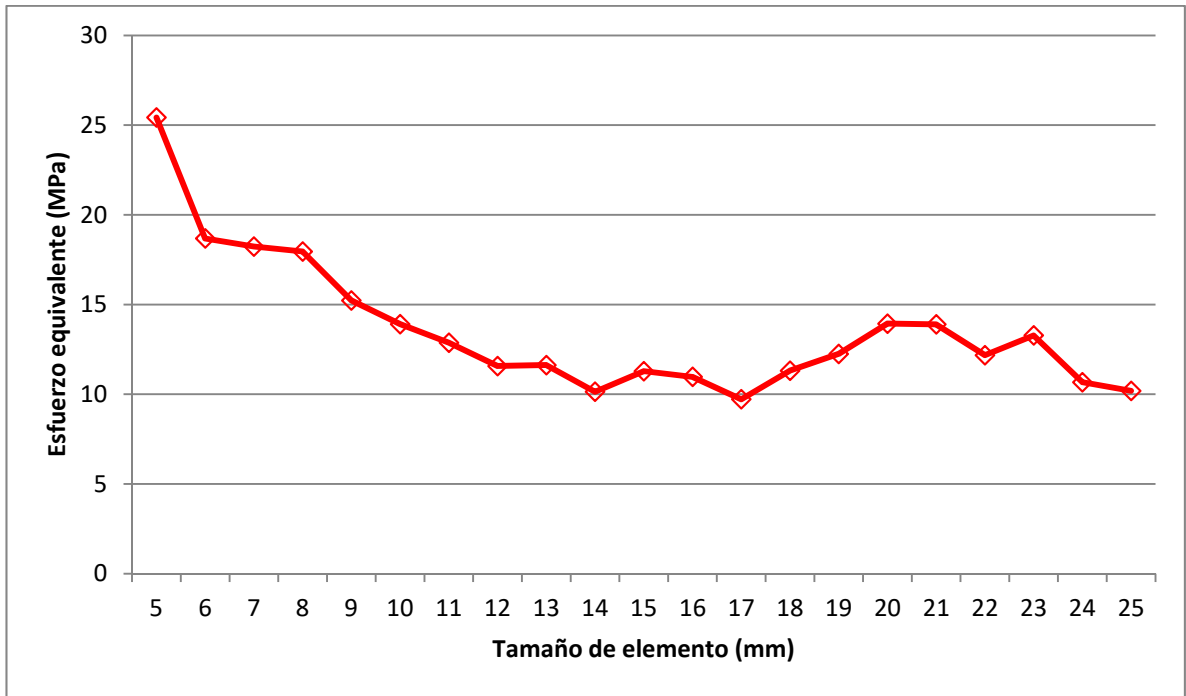


Fig. 27. Esfuerzo equivalente respecto al tamaño de malla para el caracol 1.

Los resultados de los esfuerzos que aparecieron en los caracoles se encuentran muy por debajo del límite de fluencia y debido a que se encuentran bajo las mismas condiciones presentan un comportamiento similar.

A continuación, en la siguiente tabla (Tabla IV) se puede apreciar los resultados de esfuerzos máximos para cada tobogán además del tamaño de malla con el cual cuenta cada uno.

Tabla IV

Resultados apoyos Tobogán curvilíneo

CARACOL 1	
Tamaño de malla	13 mm
Deformación Total	0.01629 mm
Esfuerzo máximo	11.624 MPa
CARACOL 2	
Tamaño de malla	8 mm
Deformación Total	0.013475 mm
Esfuerzo máximo	14.664 MPa
CARACOL 3	
Tamaño de malla	12 mm
Deformación Total	0.02358 mm
Esfuerzo máximo	15.355 MPa
CARACOL 4	
Tamaño de malla	19 mm
Deformación Total	0.02152 mm
Esfuerzo máximo	11.624 MPa
CARACOL 5	
Tamaño de malla	16 mm
Deformación Total	0.03477 mm
Esfuerzo máximo	20.4991 MPa

Nota: Esta tabla muestra los datos arrojados por el programa ANSYS para los cinco apoyos en el tobogán curvilíneo.

7.2.3 Tobogán recto

El tobogán recto cuenta con 15 secciones fabricadas en fibra de vidrio, estas secciones se encuentran soportadas por 3 bases metálicas también denominados apoyos (Tabla V) y directamente sobre 2 dados de concreto descansa el último tramo del tobogán (Fig.29).



Fig. 28. Dados de concreto tobogán recto.

Tabla V

Dimensiones apoyos tobogán recto

TOBOGAN CURVILINEO			
NUMERO DEL APOYO	ALTURA (m)	ANCHO PARTE BAJA (m)	ANCHO PARTE ALTA (m)
1	0.7	0.8	0.8
2	1.48	0.8	0.8
3	12	2.03	1.19
MATERIAL: ACERO AISI 1020			
RECUBRIMIENTO: POLIURETANO			
TIPO DE PERFIL: PERFIL TIPO C			

Nota: la anterior tabla muestra las dimensiones que constituyen los tres diferentes apoyos para el tobogán recto.



Fig. 29. Deformación plástica de la cercha.

En la inspección visual se logró ver que en el apoyo número 2 (donde el tobogán experimenta un cambio de dirección), la cercha constituida por varilla corrugada presenta una deformación plástica del material (Fig. 30).

Otro aspecto importante que se pudo apreciar en la inspección visual fue la presencia abundante de corrosión en algunas de las juntas soldadas que hay tanto en la estructura, como en la cercha, esto debido a las condiciones de trabajo que experimenta (Fig. 31).



Fig. 30. Daños en los apoyos.

A diferencia del tobogán curvilíneo éste no presenta estructuras adicionales a la cercha y los apoyos, para este caso se va a analizar el apoyo más grande, el cual mide 12 m de alto, al ser la estructura que tiene más altura, es la que está más propensa a sufrir deflexión.

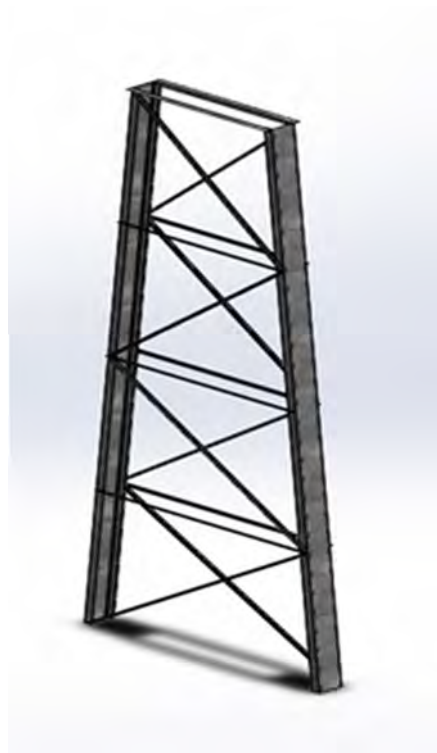


Fig. 31. Apoyo tobogán recto número 3

Al igual que con los apoyos del tobogán curvilíneo, se realizó un estudio detallado en ANSYS, para el cual se tuvo en cuenta las mismas condiciones de peso de cada tramo de tobogán y del peso de las personas, puesto que se asume que el tobogán recto y el curvilíneo se hicieron con un mismo molde, para lo que tendrían las mismas dimensiones.

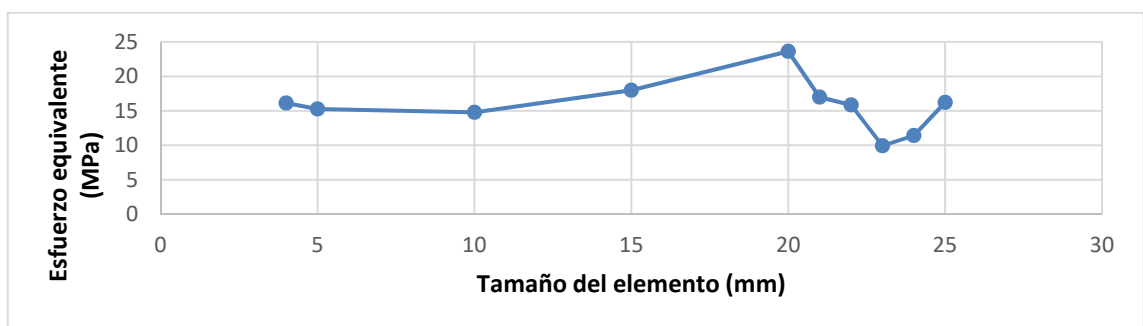


Fig. 32. Grafica de la convergencia de malla para el apoyo 3

Al igual que el tobogán recto, los esfuerzos que se aprecian anteriormente (Fig. 33) están muy por debajo del límite de fluencia del material, aun así, los datos que se

tomaron de referencia corresponden al soporte más grande, dicho lo anterior, en el apoyo más alto es donde se encuentran los esfuerzos más grandes.

A continuación, en la siguiente tabla (Tabla VI) se puede apreciar los resultados de esfuerzos máximos y mínimo para cada tobogán, además del tamaño de malla con el cual cuenta cada uno.

Tabla VI

Resultados apoyos Tobogán recto

KAMIKAZE 1	
Tamaño de malla	22 mm
Deformación total	10.688 mm
Esfuerzo máximo	16.12 MPa
KAMIKAZE 2	
Tamaño de malla	10 mm
Deformación total	5.33 mm
Esfuerzo máximo	9.67 MPa
KAMIKAZE 2	
Tamaño de malla	15 mm
Deformación total	2.8 mm
Esfuerzo máximo	7.35 MPa

Nota: Esta tabla muestra los datos arrojados por el programa ANSYS para los 3 apoyos en el tobogán curvilíneo.

Para la simulación en ANSYS fue necesario el planteamiento de unas condiciones iniciales, las cuales consisten en 2 fuerzas distribuidas, 2 momentos y dos soportes fijos, las fuerzas distribuidas se aplican a lo largo de una línea diagonal trazada en la planita ubicada en la parte superior de la estructura, esto se debe a que la estructura y la cercha están unidas mediante un cordón de soldadura (Fig. 34).



Fig. 33. Condiciones iniciales para el apoyo 3.

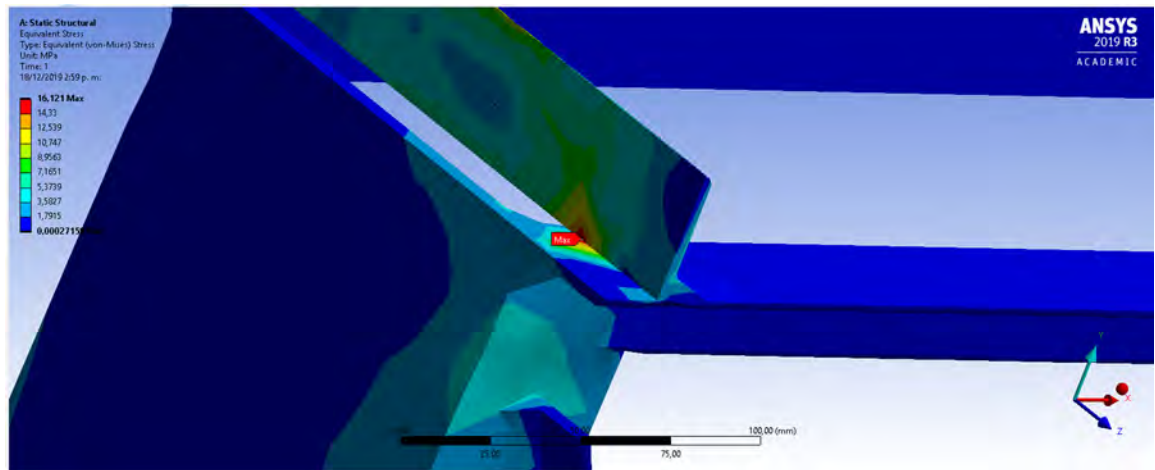


Fig. 34. Esfuerzo máximo de von Mises.

7.2.4 Ajustes en los apoyos

Al unir los apoyos y las cercha, de manera que en los resultados sean incluidos los esfuerzos de la cercha, aparecen valores máximos que superan el límite de fluencia del material. (Fig.36-Fig.37)

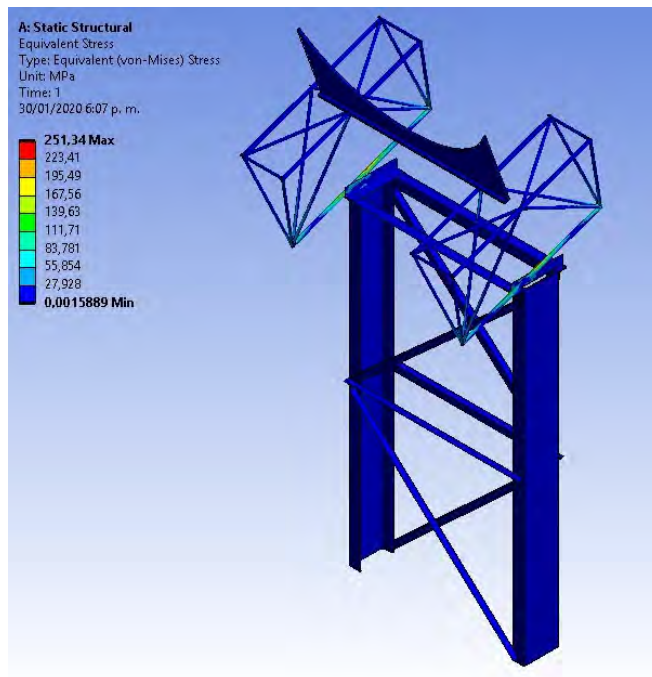


Fig. 35. Esfuerzo equivalente en apoyo con cercha.

Table of Design Points						
	A	B	C	D	E	F
1	Name	P2 - Mesh Element Size	P1 - Equivalent Stress Maximum	<input type="checkbox"/> Retain	Retained Data	Note
2	Units	mm	MPa			
3	DP 0 (Current)	25	251,34	<input checked="" type="checkbox"/>	✓	
4	DP 1	24	340,32	<input type="checkbox"/>		
5	DP 2	23	249,96	<input type="checkbox"/>		
6	DP 3	22	364,8	<input type="checkbox"/>		
7	DP 4	21	247,03	<input type="checkbox"/>		
8	DP 5	20	256,56	<input type="checkbox"/>		
9	DP 6	19	267,12	<input type="checkbox"/>		
10	DP 7	18	266,33	<input type="checkbox"/>		
11	DP 8	17	271,96	<input type="checkbox"/>		
12	DP 9	16	265,72	<input type="checkbox"/>		
13	DP 10	15	299,48	<input type="checkbox"/>		
14	DP 11	14	247,83	<input type="checkbox"/>		
15	DP 12	13	251,97	<input type="checkbox"/>		
16	DP 13	12	228,05	<input type="checkbox"/>		
17	DP 14	11	278,36	<input type="checkbox"/>		
18	DP 15	10	252,41	<input type="checkbox"/>		
19	DP 16	9	249,98	<input type="checkbox"/>		
20	DP 17	8	357,1	<input type="checkbox"/>		
21	DP 18	7	276,86	<input type="checkbox"/>		
22	DP 19	6	331,01	<input type="checkbox"/>		
23	DP 20	5	323,23	<input type="checkbox"/>		

Fig. 36. Datos registrados en estudio de convergencia de malla.

Los resultados se encuentran por encima del esfuerzo de fluencia y el esfuerzo último del material, por esta razón fue prudente realizar un análisis (Fig.38) por individual a la cercha, el cual reitera los resultados del análisis en conjunto cercha-apoyo. Mostrando que en los puntos críticos se concentran en las zonas soldadas donde se une la cercha con el perfil en acero.

Dentro de la norma internacional ANSI/AWS D1.4 las varillas se encuentran catalogadas como estructuras de acero para refuerzos, que según la norma estas cerchas no deberían cumplir la función que se les ha asignado puesto que no es recomendable según expertos internaciones.

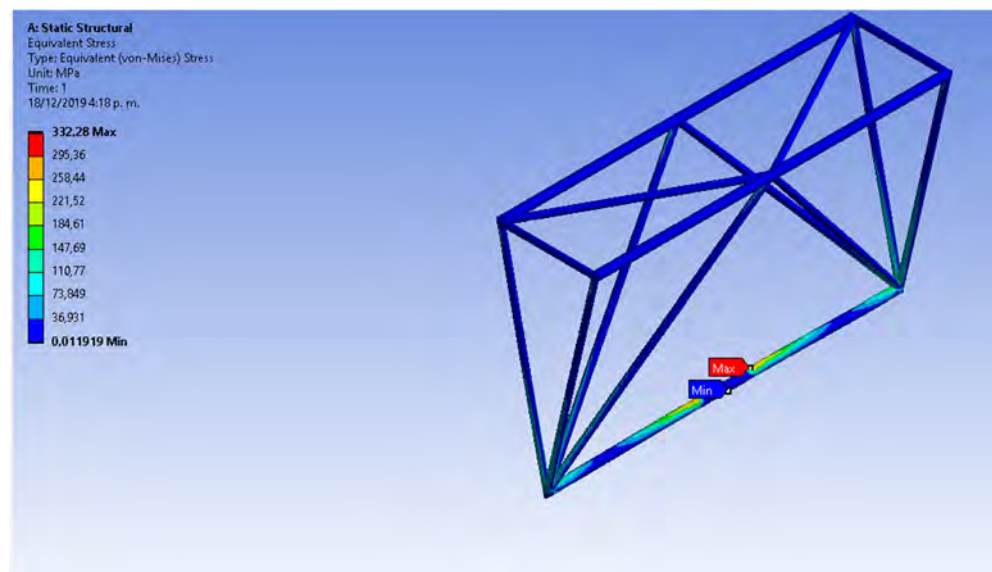


Fig. 37. Cercha en varilla corrugada.

A partir de los puntos arriba mencionados se recomienda realizar el reemplazo de esos elementos por unos más competentes para el trabajo que se les asigna, así evitando posteriores deformaciones plásticas como las encontradas o en un caso de mayor gravedad la ruptura del material y un accidente.

7.2.5 Tirolesa

La tirolesa es un cable en alma de acero sometido a tensión, está constituida por dos armazones de acero estructural AISI 1020 en forma de "T", los cuales permanecen empotrados al suelo. El armazón más grande (Fig. 39) se encuentra distanciado del pequeño (Fig.40) por aproximadamente 32.2metros y que 4 metros bajo el recorrido que delimita la cuerda, se ubica la piscina.

Los armazones como otras estructuras metálicas dentro de la zona acuática experimentan corrosión en uniones soldadas.



Fig. 38. Apoyo de tirolesa grande.



Fig. 39. Apoyo de tirolesa pequeña.

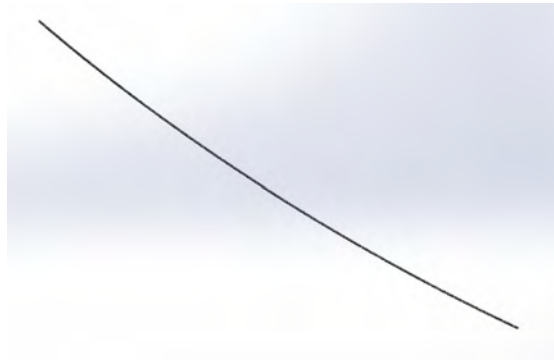


Fig. 40. Cable de alma de acero.

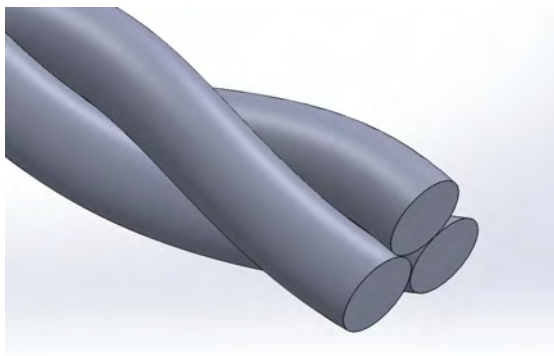


Fig. 41. Vista detallada del cable de alma de acero.

Mediante la inspección visual además de la corrosión no se registró ningún otro problema, se concluyó que estas estructuras no iban a sufrir algún tipo de inconveniente debido a la carga, de manera que el peso soportado por dichas, es despreciable a comparación de la resistencia del material, sin embargo, la corrosión debe ser tratada ya que esta puede comprometer la resistencia de la estructura.

Debido a la complejidad de la geometría se optó por realizar un estudio analítico del cable tirolesa (Anexo H), esto debido a la cantidad de variables a tener en cuenta a la hora de hacer el modelamiento en ANSYS. [37, p. 883].

$$\eta_f = 7.6$$

Tomando como referencia (Anexo H), para lo cual se asume que la tirolesa se comporta como unos elementos de sujeción, dando como resultado el valor del factor de seguridad a la fatiga de 3.5, esto quiere decir que se encuentra por encima del valor permitido, dicho lo anterior se puede entender que el sistema se encuentra sobredimensionado.

8. PLAN DE MANTENIMIENTO

De acuerdo con el compromiso suscrito en los objetivos específicos, fue necesario desarrollar un plan de mantenimiento el cual se va a implementar a continuación partiendo de la normativa de la ACOLAP donde se encuentra afiliado.

Por esta razón según la resolución 543 del 2017 permite [3] En caso de que el fabricante no apruebe una modificación, el propietario/ operador puede consultar a un fabricante diferente o ingeniero/diseñador, o ambas, para completar o aprobar la modificación. Además, que según la ley 1225 de 2008- Art 4 -parágrafo 3 el propietario u operador puede contratar personal para el desarrollo de ensayos no destructivos.

Que según la resolución 0958 de 2010 el plan de mantenimiento debe tener como mínimo 5 requisitos esenciales.

- Definir la periodicidad de las operaciones de mantenimiento.
- Descripción de la asignación del mantenimiento preventivo.
- Descripción detallada de las operaciones que deben realizarse.
- Instrucciones especiales de seguridad, donde aplique.
- Recomendaciones adicionales del fabricante, o instalador, o del Operador.

8.1 CORRECTIVOS

8.1.1 Correctivo Plataforma

Descripción: La lámina metálica de la plataforma (Fig.9) se encuentra en un mal estado y debe ser reemplazada.

Ubicación: plataforma.

Origen: las condiciones que experimentaba esa zona además que existía un estancamiento de agua en la parte superior, pudieron ser el casual de el alto índice de corrosión existente.



Fig. 42. Lámina metálica de la plataforma.

Solución:

- Remover lamina de acero y sustituir otra con las mismas dimensiones.
- Incorporar una salida del agua para evitar futuros estancamientos.
- Es recomendable adherir un gotero comúnmente llamado en obras civiles o en su defecto un orificio conectado a tubería desde la zona central la plataforma hasta el nivel del suelo permitiendo la extracción del líquido.
- Evitar utilizar materiales absorbentes porosos, debido a que ellos actúan como una esponja almacenando líquidos. Dicho esto, es recomendable colocar un recubrimiento que aisle la capa de concreto en la superficie.

8.1.2 Correctivo Tobogán curvilíneo

Descripción: **Silla apoyada sobre dados de concreto deteriorado con agrietamiento.**

Ubicación: tobogán fibra de vidrio entre el tramo número 41 y 42 del tobogán curvilíneo.

Origen: exposición al agua de piscina con contenido de cloro además de altas temperaturas.



Fig. 43. Dados de concreto en deterioro.

Solucion: utilizar otros dados de concreto y preparar la silla de manera optima utilizando metodos de preparacion para aceros(Anexo. I) al momento de ser adherida al bloque de concreto.

Descripcion : **Cercha en varilla corrugada doblada.**

Ubicación: Apoyo numero 2 tobogan curvilineo.

Origen: punto critico donde el material sufre los esfuerzos maximos y uso de acero para refuerzo(varilla corrugada) de manera erronea.



Solución: como se recomendó en el capítulo 7, la varilla corrugada debería ser removida de las estructuras, de manera que son consideradas como aceros de refuerzo y no deben desempeñar la función que ejercen, dicho esto es recomendable realizar un cambio de estos elementos por celosía tubular.

Descripción: **Fisura presentada en tramo de tobogán.**

Ubicación: Entre el tramo número 22 y 23 del tobogán curvilíneo.

Origen: se pueden presentar de la siguiente manera:

- Lamina en fibra de vidrio con espesor muy delgado.
- Impacto generado por el usuario debido al cambio de dirección y aceleración en los tramos mencionados.



Fig. 44. Fisura presentada en tramo de tobogán.

Solución:

- Pulir la zona agrietada en la fibra de vidrio y después añadir en su parte inferior un refuerzo del mismo material, de esta manera lograr un mayor espesor en la zona donde aparece la figura (backing).
- Cambio de la sección por otra con mayor espesor en su parte baja.

Descripción: **lamina doblada.**

Ubicación: Entre el tramo número 22 y 23 del tobogán curvilíneo.

Origen:

- Platina Falla por esbeltez.
- Espesor insuficiente o inadecuado de la platina.



Fig. 45. Daño en una lámina del tobogán curvilíneo. (a) lamina doblada en fibra de vidrio. (b) vista lateral lamina doblada.

Solución:

- Agregar otra lamina de acero unida entre la viga y la brida.
- Agregar otra lamina de mayor espesor que reemplace la existente.

Descripción: **viga en torre de soporte corroída.**

Ubicación: torre de soporte número 4 tobogán curvilíneo.

Origen: posición inadecuada, permite acumulación de agua (humedad residual) debido a que es un perfil en U o tipo canal.



Fig. 46. viga en torre de soporte corroída.

Solución: remover la estructura.

- Agregar nueva viga en posición invertida.
- Agregar nueva viga y crear goteros o cizallas.

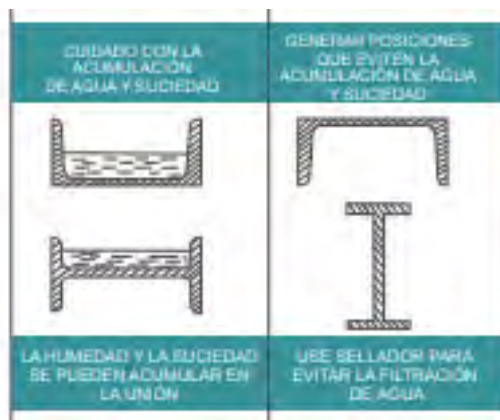


Fig. 47. Solución problema por acumulación de agua [18, p. 24].

Descripción: **desajuste de tornillos.**

Ubicación: Entre el tramo número 8 y 9, 12 y 13, 22 y 23, 39 y 40 del tobogán curvilíneo.

Origen: vibraciones mecánicas.



Fig. 48. Desajuste tornillos. (a) Vista general. (b) Vista detallada.

Solución: se deben utilizar arandelas a presión o guasa.



Fig. 49. Arandelas a presión [11].

8.1.3 Correctivo Tobogán recto

Descripción: Carencia de tornillos en la brida.

Ubicación: Entre el tramo número 12 y 13 del tobogán recto.

Origen: vibraciones mecánicas.



Fig. 50. Corrosión y tornillo desajustado tobogán recto. (a) vista general. (b) vista detallada.

Solución: se deben utilizar arandelas a presión o guasa (Fig. 52).

Descripción: **corrosión en soldadura (Fig. 53).**

Ubicación: Entre el tramo número 12 y 13 del tobogán recto.

Origen: condiciones que se encuentra sometido el sistema y mala preparación antes de aplicar capa de pintura generan corrosión por aireación diferencial.

Solución: remover capa de pintura aplicada, posteriormente desarrollar una buena preparación y aplicar nueva capa de pintura.

8.1.4 Correctivo Tirolesa

Descripción: **polea de tirolesa sin tuerca**

Ubicación: guaya de acero tirolesa.

Origen: vibraciones mecánicas.



Fig. 51. Polea sin tuerca.

Solución: colocar arandela que no sea a presión y tuerca faltante.

Descripción: **Cuerda en nylon a punto de romperse**

Ubicación: cuerda tirolesa.

Origen: vida útil cumplida.



Fig. 52. Cuerda a punto de romperse

Solución: reemplazo por cuerda nueva.

Recomendaciones: A partir de la norma establecida (ley 1225 de 2008 art 4 párrafo 2), el fabricante debe incluir un listado y localización de los componentes y áreas críticas que requieran inspección con E.N.D

Partiendo del párrafo 3 de la ley descrita anteriormente, los componentes que deban ser reemplazados o reacondicionados en futuros ensayos, se podrá contratar un profesional en ingeniería apto para desarrollar los ajustes necesarios.

8.2 PREVENTIVOS

En un marco general la ley 1225 Art 4 brinda las recomendaciones para los estándares de mantenimiento.

En varias partes se registró la presencia del fenómeno de corrosión y un mal desarrollo de las prácticas para mitigar este problema, esto ocurrió porque existían zonas que no se preparó de manera correcta el lugar donde se le iba a aplicar la capa de pintura especial. En el anexo I aparecen los diferentes tipos de preparación que se utilizan en superficies de acero (Anexo. I).

El personal encargado del parque decidió utilizar algún tipo de pintura especial que permitiera conservar los elementos disminuyendo el riesgo por agentes externos, debido a esto se seleccionó un tipo de pintura en SIKA®.

Amén de lo anteriormente referido, se seleccionó en la guía de mantenimiento [38, p. 21]. Brindada por el proveedor, un recubrimiento de sistema epóxido utilizado para ambientes con presencia de humedad y cloruros.

PREPARACIÓN DE SUPERFICIE:

Limpieza con chorro abrasivo sspc-sp6 o como mínimo limpieza manual y mecánica según normas sspc-sp2/sp3/sp11 (sobre todo en aquellas zonas donde es imposible hacer sandblasting). (anexo I).

RECUBRIMIENTO BASE

Imprimante Epóxica Fosfato de Cinc, ref. 137057 a un espesor de 3 - 4 ml en película seca.

RECUBRIMIENTO DE BARRERA

Barrera Epóxica Gris ref. 233710 a un espesor de 3-4 ml en película seca.

8.2.1 Preventivo en toboganes.

Mantenimiento diario.

- Verificar que la estructura metálica no presente fisuras y corrosión.
- Verificar que la fibra de vidrio no se encuentre rayada o presente el fenómeno de abrasión.
- Confirmar que las piezas del tobogán como tornillos y bridas se encuentren ajustados

Mantenimiento mensual.

- Comprobar que las uniones soldadas no presenten anomalías, es recomendable hacer un análisis de tintas penetrantes.
- Ajustar y agregar tornillos y arandelas que no coincidan como debe ser.
- Verificar calidad de los puntos críticos en los apoyos 1 y 2 del tobogán recto y curvilíneo.

Mantenimiento anual

- Inspección visual de fisuras en forjados y tabiques, así como de humedades que puedan deteriorar la estructura metálica [45].
- Inspeccionar la estructura metálica exterior mediante E.N.D que permitan determinar el adecuado estado de las uniones, soldaduras y anclajes.

- Hacer un análisis de vibraciones para verificar que el sistema no se encuentre en resonancia.
- Agregar capa de protección a la estructura metálica en ambientes agresivos, teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado al comienzo del mantenimiento preventivo referente a la preparación de las estructuras.
- Remover piezas que se encuentren sumamente deterioradas y no sea aceptable su uso.
- Desarrollar pruebas mecánicas.
- Desarrollar un ensayo de espesor de pared utilizando técnica de ultrasonido.
- Inspección del estado de conservación de la protección contra el fuego de la estructura, y cualquier tipo de lesión, procediéndose al repintado o reparación si fuera preciso. Para volver a pintar el soporte, bastará con limpiar las manchas si el recubrimiento está en buen estado. En el caso de existir ampollas, desconchados, agrietamiento o cualquier otro tipo de defecto, como paso previo a la pintura, se eliminarán las partes sueltas con cepillo de alambre, se aplicará una composición decapante, se lijará y se lavará.

Nota: según la resolución 0958 del 2010 deberán llevarse por cada máquina o dispositivo de entretenimiento y archivarlos por el término mínimo de un (1) año en la bitácora de cada máquina o dispositivo de entretenimiento, para que puedan ser revisados por la autoridad a la que corresponda ejercer el control y vigilancia, de acuerdo con lo previsto en el artículo 31 de esta resolución [39].

8.2.2 PREVENTIVO TIROLESA

Mantenimiento diario

- Inspeccionar visualmente contrastando el estado de las torres, cables de acero y rodillos.
- Chequear la tensión en la guaya de acero.
- Confrontar que los elementos de sujeción y soldaduras se encuentren en buen estado.

Mantenimiento semanal

- Engrasar todo el sistema de rodillos en la tirolesa.

Mantenimiento semestral.

- Cambiar guayas de acero por unas nuevas.

Mantenimiento anual.

- Reemplazar el conjunto platinas rodillos si se encuentran en mal estado.
- Realizar un análisis de E.N.D verificando que la estructura opere de la manera esperada.
- Sustituir la cuerda de nilón que se utiliza para traer la tirolesa.

Recomendaciones:

- Sí existe poca tensión en el cable de acero, no permitir que el usuario utilice el sistema.
- No permitir que utilicen más de 2 personas las tirolesas de manera simultánea, de esta manera evitando que puedan fallar las partes constituyentes.

8.2.3 Observaciones

A partir del plan de mantenimiento desarrollado en los puntos anteriores, es recomendable utilizar una ficha que técnica que permita al operario y/o persona encargado del control de las estructuras tener un control y vigilancia de dichas.

A continuación, se desarrollaron 3 plantillas que se consideraron útiles al momento de realizar las inspecciones, teniendo en cuenta los componentes tanto de ambos toboganes con su respectiva plataforma y la tirolesa. (Anexo J).

8.2.4 Costos de mantenimiento

Tabla VII

Presupuesto mantenimiento de toboganes correctivos

PRESUPUESTO MANTENIMIENTO DE TOBOGANES CORRECTIVOS			
DESCRIPCIÓN	Diario	Mensual	Anual
Operario encargado del	\$ 40.000,00	\$ 1.200.000,00	\$ 14.400.000,00
Reemplazo de lamina en plataforma			\$ 2.000.000,00
Cambio de apoyos en concreto			\$ 300.000,00
Remover varilla corrugada de las estructuras y cambio en celosía			\$ 15.000.000,00
Pulir tramo del tobogán fisurado y añadidura de lámina en fibra de solución platina doblada			\$ 1.400.000,00
cambio de viga en torre de soporte			\$ 400.000,00
Ajuste de elementos se sujeción y fijación			\$ 800.000,00
Mitigación de la corrosión			\$ 2.000.000,00
TOTAL			\$ 46.300.000,00

Nota: En la tabla anterior se muestran los costos referentes al mantenimiento correctivo de los toboganes.

Tabla VIII

Presupuesto mantenimiento de toboganes preventivos

PRESUPUESTO MANTENIMIENTO DE TOBOGANES PREVENTIVOS			
DESCRIPCIÓN	Diario	Mensual	Anual
Operario encargado del mantenimiento.	\$ 40.000,00	\$ 1.200.000,00	\$ 14.400.000,00
Análisis con tintas penetrantes		\$ 400.000,00	\$ 4.800.000,00
Ultrasonido en estructuras			\$ 600.000,00
Ensayos mecánicos			\$ 2.000.000,00
Agregar capa de recubrimiento especial			\$ 10.000.000,00
Reemplazo de elementos			\$ 3.000.000,00
Ajuste de elementos de fijación y sujeción			\$ 2.000.000,00
TOTAL			\$ 36.800.000,00

Nota: En la tabla anterior se muestran los costos referentes al mantenimiento preventivo de los toboganes

Tabla IX

Presupuesto mantenimiento de la tirolesa

PRESUPUESTO MANTENIMIENTO DE LA TIROLESA			
DESCRIPCIÓN	Diario	Mensual	Anual
Operario encargado del mantenimiento.	\$ 40.000,00	\$ 1.200.000,00	\$ 14.400.000,00
correctivo tuerca	\$ 40.000,00		
correctivo cuerda	\$ 10.000,00		
engrase de la polea		\$ 100.000,00	\$ 1.200.000,00
cambio de cableado en acero			\$ 1.200.000,00
Análisis con tintas penetrantes		\$ 400.000,00	\$ 4.800.000,00
cambio de sistema platina rodillo			\$ 800.000,00
Otros E.N.D			\$ 2.000.000,00
Total			\$ 24.450.000,00

Nota: En la tabla anterior se muestran los costos referentes al mantenimiento preventivo de la tirolesa.

Las tablas anteriores muestran los costos supuestos para el mantenimiento en los toboganes y tirolesa, no obstante, se incluye el costo en pesos del operario encargado de mantenimiento en todas las tablas.

Es importante contar con personal que desarrolle el mantenimiento, capacitado para trabajo seguro en alturas.

El costo de los correctivos en los toboganes aumenta significativamente debido a la recomendación que se brinda sobre las varillas corrugadas, sin embargo al encontrarse dentro la normativa ACOLAP que se basa a partir de la internacional, se deben cambiar dichos elementos.

9. CONCLUSIONES

- A partir de los resultados obtenidos bajo la extensión del programa ANSYS denominado Workbench, se pudo corroborar que las estructuras no fallan estáticamente, sin embargo, es importante mitigar los puntos críticos donde se superan los esfuerzos de fluencia del material y existe deformación plástica.
- Es recomendable realizar un cambio de las cerchas formadas por varilla corrugada, de manera que los esfuerzos máximos se concentran en las zonas de contacto entre los ángulos y la varilla, además que dentro de la normativa internacional ANSI/AWS 1.4D estos elementos son considerados para otros ámbitos y se denominan acero de refuerzo. A partir de lo anteriormente expuesto se propone reemplazar los elementos por celosía tubular.
- La corrosión reportada en la sección de mantenimiento debe ser mitigada a lo más pronto posible, ya que existen zonas donde la corrosión ha afectado gran parte de las estructuras al punto que han reducido significativamente la masa del material. Es recomendable realizar una preparación de las superficies, realizar un análisis de espesor para identificar si hay elementos que deban ser reemplazados.
- El plan de mantenimiento se desarrolló con base en la normativa la cual se encarga de las atracciones en parques de diversiones, por esta razón se hace énfasis en las sugerencias que implica la norma. Por esta razón dentro del documento se brindan las recomendaciones de posibles formatos para inspeccionar las estructuras metálicas (Anexo J).

REFERENCIAS

- [1] R. L. Norton, *Diseño de máquinas un enfoque integrado*, 4ta ed. Pearson, 2011.
- [2] A. Inc, “Académico,” 2018. [Online]. Available: <https://www.ansys.com/academic>.
- [3] ACOLAP, “RESOLUCIÓN 543 DE 2017,” 2017. [Online]. Available: <http://acolap.org.co/wp-content/uploads/2012/09/05-Resolución-543-de-2017.pdf>.
- [4] G. Garcia Lopez de la Osa, “Origen y evolución de la cercha,” Universidad Politecnica de Madrid, 2009.
- [5] R. L. Norton, *Diseño de maquinas un enfoque integral*, 4ta ed. Pearson, 2011.
- [6] F. Domingo Pannoni, “Principios de protección de estructuras metálicas en situación de corrosión y fuego.,” Ciudad de Mexico, 2018.
- [7] B. Fedinand, R. Johnston, D. F. Mazurek, and J. T. DeWolf, *Mecánica de materiales*, 5ta ed. McGraw-Hill.
- [8] R. L. Norton, *Diseño de máquinas un enfoque integrado*, 4ta ed. Pearson, 2011.
- [9] “Code of Practice for Amusement Rides,” 2015. [Online]. Available: https://www.emsd.gov.hk/filemanager/en/content_627/COP_Amusement_Rides.pdf.
- [10] L. V. Vanegas Useche, *Diseño de elementos de máquinas*, 1ra ed. Risaralda - pEREIRA, 2018.
- [11] Sumatec, “Arandelas de presión helicoidales para uniones expuestas vibración.,” 2019. .

- [12] F. Sánchez Marín, A. Pérez González, J. Sancho Bru, and P. Rodríguez Cervantes, *Mantenimiento mecánico de máquinas*. 2006.
- [13] R. L. Norton, *Diseño de máquinas un enfoque integrado*, 4ta ed. Pearson, 2011.
- [14] “Ley 1225 de 2008,” 2008. [Online]. Available: https://www.procuraduria.gov.co/portal/media/file/concepto_procurador//1018_D-11640.pdf.
- [15] J. A. Moreno, P. L. Rodríguez, and S. Pérez, “Actividades acuáticas recreativas: un planteamiento para todos,” 1996. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Juan_Murcia/publication/237758239_ACTIVIDADES_ACUATICAS_RECREATIVAS_UN_PLANTEAMIENTO_PARA_TODOS/links/0deec5293a2443cc15000000.pdf.
- [16] ACOLAP, “La Asociación Colombiana de Atracciones y Parques de Diversiones (ACOLAP) cumple 8 años asesorando y respaldando al sector,” 2013. [Online]. Available: <https://acolap.wordpress.com/>.
- [17] S. Medina, “Factores que afectan la salud en los edificios,” Universidad Politécnica de Catalunya, 2014.
- [18] F. Domingo Pannoni, “Principios de protección de estructuras metálicas en situación de corrosión y fuego.,” Ciudad de México, 2018.
- [19] G. Mantilla Nieto and H. Páez Lizcano, “Diseño, fabricación, control, mantenimiento e inspección de estructuras metálicas soldadas.”
- [20] D. A. Ruiz, “Evaluación estructural de las torres de soporte de toboganes y estructuras de juegos infantiles interactivos fabricados por DOFORMAS LTDA,” Universidad Autónoma de Occidente, 2017.
- [21] R. Nonnast, *El proyectista de estructuras metálicas*, 10th ed. España: Gráficas SUMMA, S. A., 1976.
- [22] B. Ricard and N. Keith, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, 9th ed.

McGraw Hill, 2012.

- [23] T. J. MacGinley, *Structural steel design*, 5th ed. Prentice Hall, 2018.
- [24] B. Fedinand, R. Johnston, and E. Eisenberg, *Mecánica vectorial para ingenieros - estáticas*, 6°. McGraw-Hill, 1997.
- [25] H. R.C., *Mecánica vectorial para integjeros-estática*, 10th ed. Monterrey-Mexico, 2004.
- [26] R. Budynas and N. Keith, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, 9th ed. McGraw Hill, 2012.
- [27] R. Budynas, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, 9th ed. McGar Hill, 2012.
- [28] L. V. Vanegas Useche, *Diseño de elementos de máquinas*. 2018.
- [29] X. Chen and Y. Liu, *Finite Element Modeling and Simulation with ANSYS Workbench*, 2nd ed. CRC Press, 2019.
- [30] H. E. Jaramillo, *Resistencia de materiales - algunos temás especiales*, 1st ed. UAO, 2013.
- [31] J. Sancho Bru, A. Pérez González, F. Sánchez Marín, and P. Rodríguez Cervantes, *Mantenimiento mecánico de máquinas*. 2006.
- [32] H. E. Jaramillo, *Resistencia de materiales - algunos temas especiales*, 1ra ed. 2013.
- [33] F. P. Beer, E. R. Johnston, J. T. DeWolf, and D. F. Mazurek, "Mecánica De Materiales 5 Edición," p. 617, 2009.
- [34] B. Fedinand, R. Johnston, D. F. Mazurek, and J. T. DeWolf, *Mecánica de materiales*, 5ta ed. McGraw-Hill.

- [35] D. Systemes., “Solidworks Estándar,” 2018. [Online]. Available: <https://aron.com.co/producto/solidworks-standard/>.
- [36] REGARSA, “Ficha técnica Gelcoat,” *Septiembre 21*, 2019. [Online]. Available: <https://www.regarsa.com/docs/ficha-tecnica-gelcoat-450310.pdf>.
- [37] B. Ricard and N. Keith, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, 9na ed. McGraw-Hill, 2012.
- [38] Sika, “Guia para el mantenimiento y protección de elementos metálicos.”
- [39] ACOLAP, “0958, Resolución 0958 de 2010,” *Abril 23*, 2010. [Online]. Available: <http://acolap.org.co/leyes/>.

ANEXOS

ANEXO. A. Estándares de Mantenimiento de las Atracciones y Dispositivos de Entretenimiento.

Corresponde a los Operadores de Atracciones o Dispositivos de Entretenimiento cumplir con los estándares de mantenimiento, acatando siempre los manuales suministrados por el fabricante o instalador, para lo cual deberán:

a) Implementar un programa de mantenimiento, pruebas e inspecciones para establecer las obligaciones tendientes a mantener en buen estado cada Atracción o Dispositivo de Entretenimiento. Este programa de mantenimiento deberá incluir listas de chequeo, estar disponible para cada persona que hace el mantenimiento, tener una programación para cada una de las Atracciones o Dispositivos de Entretenimiento y estimar, por lo menos, lo siguiente:

- A. Descripción de la asignación del mantenimiento preventivo.
- B. Descripción de las inspecciones que se realizan.
- C. Instrucciones especiales de seguridad, donde aplique.
- D. Recomendaciones adicionales del Operador;

b) Procurar el adecuado entrenamiento de cada persona que esté a cargo del mantenimiento de las Atracciones o Dispositivo de Entretenimiento, como parte esencial de sus responsabilidades y obligaciones. Este entrenamiento comprenderá como mínimo:

- A. Instrucción sobre procedimientos de inspección y mantenimiento preventivo.
- B. Instrucción sobre obligaciones específicas y asignación de puestos de trabajo y labores.
- C. Instrucción sobre procedimientos generales de seguridad.
- D. Demostración física de funcionamiento.
- E. Observación del desempeño práctico de la persona bajo entrenamiento, por parte de un supervisor, que evaluará su aptitud y actitud.
- F. Instrucciones adicionales que el operador estime necesarias para el buen funcionamiento de la Atracción o Dispositivo de Entretenimiento;

c) Someter las Atracciones o Dispositivos de Entretenimiento a inspecciones documentales diarias (Lista de Chequeo de mantenimiento), antes de ponerlas en funcionamiento y ofrecerlas al servicio del público, de acuerdo con las instrucciones contenidas en los manuales de mantenimiento. El programa de inspección debe incluir, como mínimo, lo siguiente:

- A. Inspección de todos los dispositivos de cargue de pasajeros y sus dispositivos, incluyendo cierres y restricciones.
- B. Inspección visual de escaleras, rampas, entradas y salidas.

- C. Pruebas de funcionamiento de todo equipo de comunicación, necesario para que la Atracción o Dispositivo de Entretenimiento pueda funcionar adecuadamente, cuando aplique.
- D. Pruebas de funcionamiento de todos los dispositivos de seguridad automáticos y manuales.
- E. Inspección y prueba de los frenos, incluidos los frenos de emergencia, de servicio, parqueo y parada, donde aplique.
- F. Inspección visual de todos los cerramientos, vallas y obstáculos propuestos de seguridad.
- G. Inspección visual de la estructura de la Atracción o Dispositivo de Entretenimiento.
- H. Inspecciones completas para operar en el ciclo normal o completo.
- I. Inspección en funcionamiento sin pasajeros, siempre y cuando aplique a la atracción, antes de iniciar cualquier operación, para determinar su apropiado funcionamiento y establecer si requiere o no cierre de operación a causa de: Mal funcionamiento de desajuste o; Modificaciones mecánicas, eléctricas u operativas; Condiciones ambientales que afecten la operación o una combinación de las tres.
- J. Evaluación de la calidad bacteriológica del agua dentro de la Atracción o Dispositivo de Entretenimiento, cuando en esta se utilice este recurso y el usuario pueda, razonablemente, verse expuesto a ingerir o a entrar en contacto con volúmenes que no representen un riesgo para su salud.

ANEXO. B. Condiciones y requisitos para operación de toboganes acuáticos.

CONDICIONES GENERALES QUE DEBEN REUNIR TODOS LOS TOBOGANES ACUATICOS.

1. Todos los pasos del recinto del parque acuático deberán separarse como mínimo con un metro del borde del tobogán, o estar resguardados con barandillas que eviten interferencias entre ellos.
2. Los toboganes se basarán sobre una estructura de soporte o directamente sobre el suelo, de manera que siempre quede garantizado un buen asentamiento y no se pierda la continuidad de su superficie con las juntas.
3. Las escaleras de subida al punto de salida del tobogán deberán ser seguras, antideslizantes y disponer de barandillas. La plataforma de salida debe disponer de asideros.
4. Toda la superficie interior de deslizamiento deberá ser lisa, continua y de un material no abrasivo para el usuario.
5. Las juntas de unión de las diferentes piezas que constituyen el conducto deberán ser nuevas, sin desniveles, y recubiertas de material deslizante similar al del conducto, de tal manera que garanticen la imposibilidad de que el usuario se pueda hacer algún daño en el uso normal de la atracción.
6. Las curvas estarán suficientemente peraltadas para evitar la subida brusca del usuario por efecto de la velocidad.
7. El ángulo del tramo final de la superficie deslizante deberá ser, como máximo, de 7 grados. Tendrá de fondo de agua, como mínimo, un metro, salvo que el proyecto presente más o menos fondo, dada la velocidad final de llegada.
8. En el caso de que la frenada sea hidrostática, el fondo deberá ser proporcional a la velocidad final.
9. Todo tobogán debe disponer de una superficie de recepción en la piscina de aterrizaje de utilización exclusiva, con el fin de evitar el encuentro de los usuarios cuando lleguen o el cruzarse con los trayectos de otros usuarios de otros sistemas al abandonar dicha área.
10. La distancia entre la línea central de un tobogán y una pared lateral de la piscina de aterrizaje no será inferior a la recomendada por la norma técnica internacional de la ASTM.
11. Los toboganes en los que la velocidad de deslizamiento pueda ser igual o superior a 8 metros por segundo deberán disponer, en su tramo final, de un sistema de frenada que reduzca progresivamente la velocidad del usuario al caer en la piscina de aterrizaje.

REQUISITOS MÍNIMOS PARA LA OPERACIÓN DE UN TOBOGÁN ACUÁTICO.

Los siguientes son los requisitos mínimos que deben ser observados para la adecuada operación de un tobogán:

1. Verificar que se esté suministrando el agua necesaria para el correcto funcionamiento del Tobogán. El fabricante del tobogán debe suministrar la

información de los GPM (galones por minuto) que requiere cada atracción. De esta manera se garantiza que el usuario no superará nunca la velocidad máxima permitida por el fabricante del tobogán. Es importante mencionar que el volumen de agua recomendado por el fabricante es determinante, dado que tanto el exceso como la falta de agua pueden generar riesgos.

2. Seguir estrictamente las instrucciones del fabricante en cuanto a la estatura y peso de los usuarios y todas aquellas que se consideren necesarias así:

a) Para toboganes de agua destinados para la utilización por parte de múltiples usuarios, el peso de cada usuario;

b) Para un usuario adulto, de acuerdo con lo especificado en la ASTM F2291;

c) Para toboganes de agua de un solo usuario, de acuerdo con lo especificado en la ASTM F2291;

d) Para toboganes de agua destinados para uso de niños exclusivamente, de acuerdo con lo especificado en la ASTM F2291.

3. Algunas condiciones de peso pueden variar de acuerdo con el tipo de tobogán, y el diseño del mismo, por lo que cada tobogán deberá tener claramente establecido el peso autorizado de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

4. Las cargas del recorrido deberán ser organizadas para causar la mayor carga realista operacional al sistema.

5. Definir claramente las restricciones de uso para cada tipo de tobogán.

6. Entre niños o adultos se guardará una distancia de subida mínima de un (1) metro.

7. Los usuarios se deslizarán boca arriba, con los pies por delante y nunca en posturas transversales o de cabeza.

8. Nunca se deslizarán dos (2) niños o adultos simultáneamente y siempre guardarán turno, a menos que el tobogán sea usado con una balsa.

9. Los niños deben sostenerse con las dos manos en los márgenes de la escalera, cuando suban al tobogán. Nunca deberán subir por la rampa de deslizamiento y después de deslizarse se retirarán inmediatamente de la misma.

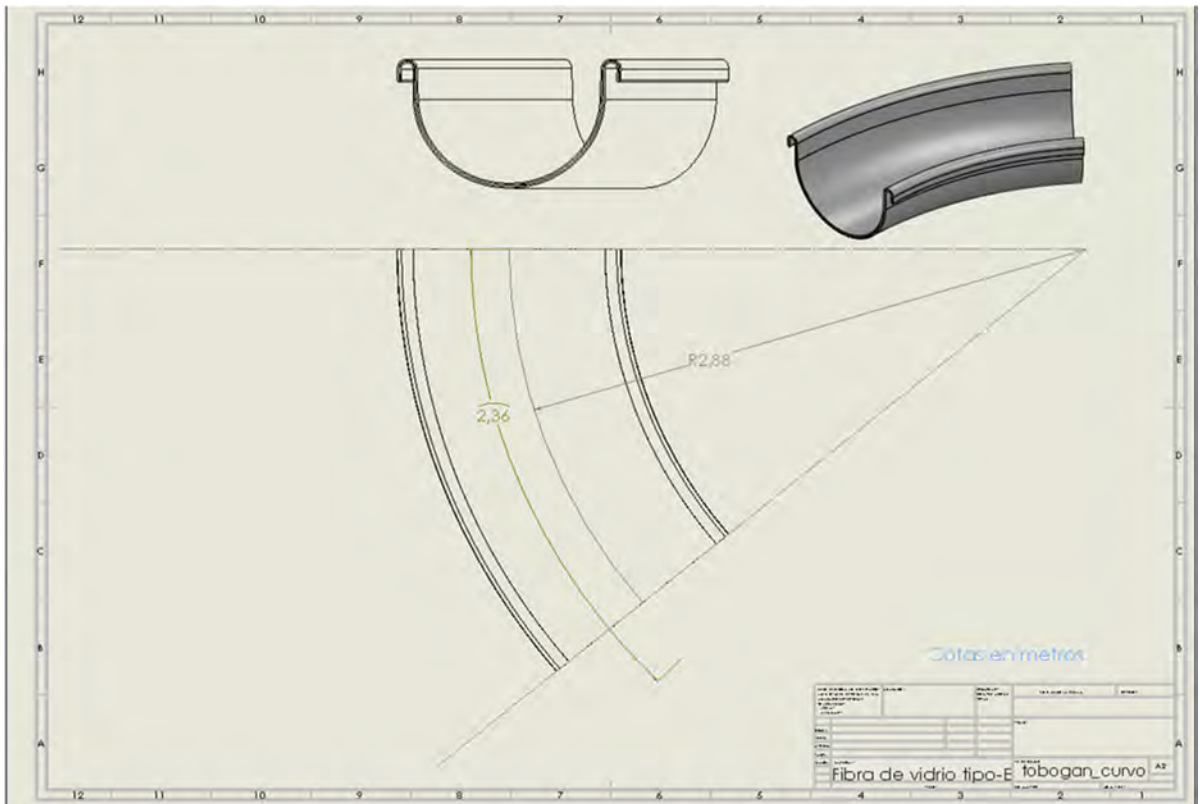
10. Los dispositivos de entretenimiento acuáticos deben estar contruidos con materiales de alta calidad, siguiendo los estándares internacionales, como los establecidos, entre otros, por la ASTM F2376 y ANSI/APSP-09.

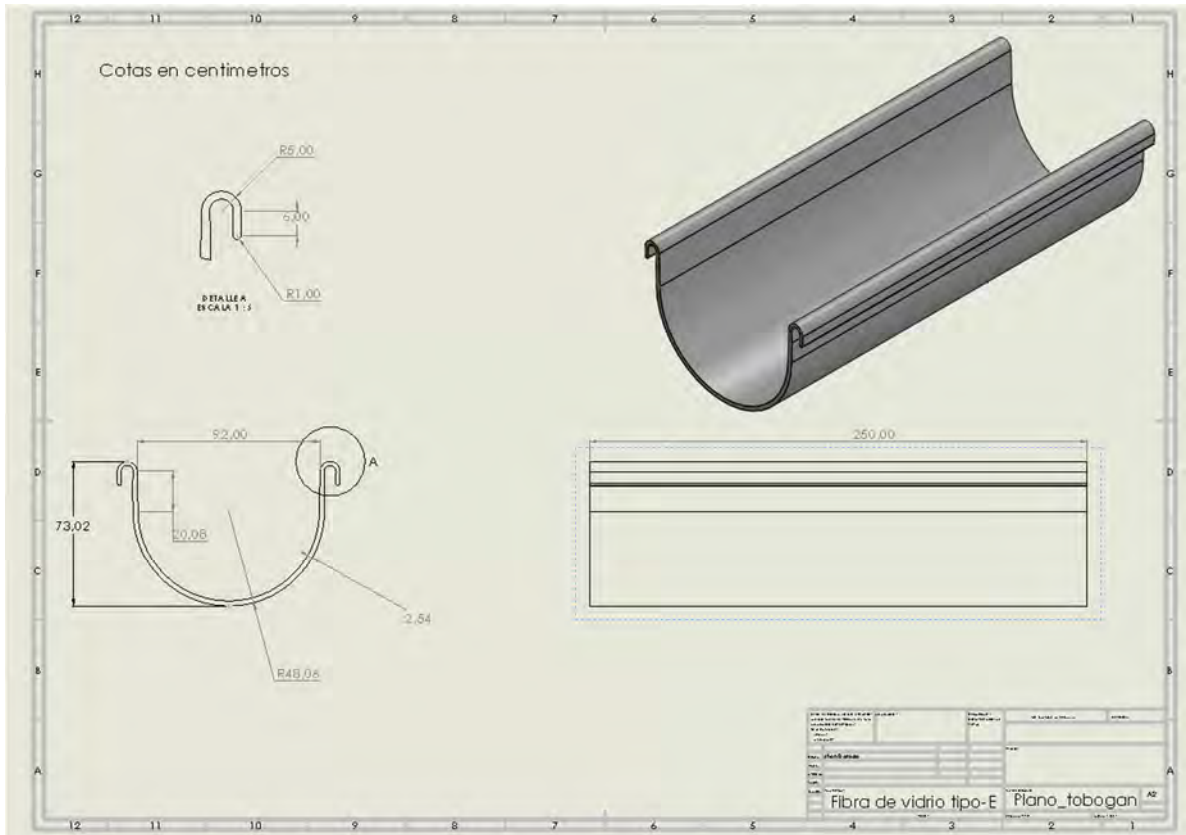
11. Los padres de los niños que disfrutan del parque son responsables de supervisarlos para que puedan disfrutarlo con el menor riesgo posible.

ANEXO. C. Descripción técnica

- 1. Fotografía de la atracción.
- 2. Plano o representación esquemática de la atracción.
- 3. Dimensiones.
- 4. Altura máxima
- 5. Largo (planta)
- 6. Ancho (planta)
- 7. Capacidad.
- 8. Número mínimo de operarlos requeridos.

ANEXO. D. Planos para los tramos del tobogán.





ANEXO. E. Propiedades mecánicas de aceros al carbono.

Número SAE/AISI	Condición	Resistencia a la fluencia por tensión (0.2% de deformación remanente)		Resistencia última a la tensión		Elongación en 2 in	Dureza Brinell
		kpsi	MPa	kpsi	MPa	%	-HB
1010	rolado en caliente	26	179	47	324	28	95
	rolado en frío	44	303	53	365	20	105
1020	rolado en caliente	30	207	55	379	25	111
	rolado en frío	57	393	68	469	15	131
1030	rolado en caliente	38	259	68	469	20	137
	normalizado @ 1 650 °F	50	345	75	517	32	149
	rolado en frío	64	441	76	524	12	149
	templado y revenido @ 1 000 °F	75	517	97	669	28	255
	templado y revenido @ 800 °F	84	579	106	731	23	302
	templado y revenido @ 400 °F	94	648	123	848	17	495
1035	rolado en caliente	40	276	72	496	18	143
	rolado en frío	67	462	80	552	12	163
1040	rolado en caliente	42	290	76	524	18	149
	normalizado @ 1 650 °F	54	372	86	593	28	170
	rolado en frío	71	490	85	586	12	170
	templado y revenido @ 1 200 °F	63	434	92	634	29	192
	templado y revenido @ 800 °F	80	552	110	758	21	241
	templado y revenido @ 400 °F	86	593	113	779	19	262
1045	rolado en caliente	45	310	82	565	16	163
	rolado en frío	77	531	91	627	12	179
1050	rolado en caliente	50	345	90	621	15	179
	normalizado @ 1 650 °F	62	427	108	745	20	217
	rolado en frío	84	579	100	689	10	197
	templado y revenido @ 1 200 °F	78	538	104	717	28	235
	templado y revenido @ 800 °F	115	793	158	1 089	13	444
	templado y revenido @ 400 °F	117	807	163	1 124	9	514
1060	rolado en caliente	54	372	98	676	12	200
	normalizado @ 1 650 °F	61	421	112	772	18	229
	templado y revenido @ 1 200 °F	76	524	116	800	23	229
	templado y revenido @ 1 000 °F	97	669	140	965	17	277
	templado y revenido @ 800 °F	111	765	156	1 076	14	311
1095	rolado en caliente	66	455	120	827	10	248
	normalizado @ 1 650 °F	72	496	147	1 014	9	13
	templado y revenido @ 1 200 °F	80	552	130	896	21	269
	templado y revenido @ 800 °F	112	772	176	1 213	12	363
	templado y revenido @ 600 °F	118	814	183	1 262	10	375

* SAE Handbook, Society of Automotive Engineers, Warrendale, Pa.; Metals Handbook, American Society for Metals, Materials Park, Ohio.

[14]

TIPO O CLASE DE CARGA	ACERO, METALES DÚCTILES		HIERRO FUNDIDO, METALES FRÁGILES	MADERA DE CONSTRUCCIÓN
	Basado en la resistencia máxima*	Basado en la resistencia de fluencia**	Basado en la resistencia máxima*	
Carga muerta o Carga variable bajo análisis por fatiga	3 – 4	1.5 - 2	5 – 6	7

Las siguientes recomendaciones **NO** se deben adoptar si se hace análisis por fatiga

Repetida en una dirección, gradual (choque suave)	6	3	7 – 8	10
Repetida invertida, gradual (choque medio)	8	4	10 – 12	15
Choque fuerte	10 – 15	5 – 7	15 – 20	20

* Resistencia máxima se refiere a S_u , S_{uc} o S_{us} (dependiendo de si el esfuerzo es de tracción, de compresión o cortante)

** Resistencia de fluencia se refiere a S_y , S_{yc} o S_{ys} (dependiendo de si el esfuerzo es de tracción, de compresión o cortante)

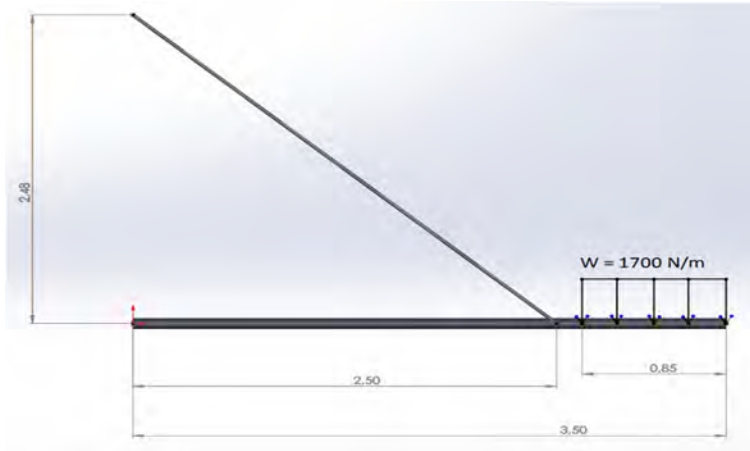
[14]

ANEXO. F. Factores de seguridad a la fatiga para diferentes usos de cables metálicos

Cables de sujeción	3.2	Elevadores de pasajeros, pies/min:	
Tirantes	3.5	50	7.60
Tiros de mina, pies		300	9.20
Hasta 500	8.0	800	11.25
1 000-2 000	7.0	1 200	11.80
2 000-3 000	6.0	1 500	11.90
Más de 3 000	5.0	Elevadores de carga, pies/min:	
Malacates	5.0	50	6.65
Arrastre	6.0	300	8.20
Grúas y grúas de brazo retráctil	6.0	800	10.00
Malacates eléctricos	7.0	1 200	10.50
Elevadores manuales	5.0	1 500	10.55
Elevadores privados	7.5	Elevadores domésticos automáticos para servicio, ft/min	
Elevadores domésticos para servicio	4.5	50	4.8
Elevadores de granos	7.5	300	6.6
		500	8.0

ANEXO. G. Cálculos realizados.

Fuerza aplicada en cable tensor



$$\text{tg}^{-1} = \left[\frac{2,48}{2,5} \right] = 0,992 ; \theta = 44,77^\circ$$

$$T_y = T \text{sen}\theta$$

$$\sum M_A = T \text{sen}\theta * 2,5 - 1445 * 3,005 = 0$$

$$T \text{sen}\theta * 2,5 = 4443,375$$

$$T = \frac{4443,375}{1,761}$$

$$T = 2523,7\text{N}$$

Especificaciones cable tirolesa.

Cable extra flexible 8x19

Peso por pie [lbf] $1,45d^2$

Distancia mínima de polea 21d – 26d

Tamaño de alambre ext d/15 – d/19

$$M_{psi [E]} 10$$

Resistencia térmica 80kpsi

$$d = 1/4m ; D = 5.25m ; Su = 240kpsi$$

$$T = \frac{1650N}{2 \text{ sen}} [14]$$

$$T = 3410N$$

$$p = \frac{2f}{dD} = \frac{2(766,6)}{\frac{1}{4} * 21 \left[\frac{1}{4} \right]}$$

$$p = 1168,1524$$

Calculo factor de seguridad.

$$n_f = \frac{F_f - F_b}{F_t}$$

$$F_f = \frac{\left(\frac{p}{su}\right)(su)(d)(D)}{2}$$

$$\frac{p}{su} \rightarrow \text{tablas}$$

$$\frac{p}{su} = 0,18$$

$$F_f = \frac{(0.18)(290000)(1/4)(52)}{2}$$

$$F_f = 28350 \text{ lbf}$$

$$F_b = \frac{(Ex)(dw)(Am)}{D} = \frac{12 \cdot 10^6 * 0.067^{0.25} * 0.4^{0.25^2}}{5.25}$$

$$F_b = 957.143 \text{ lbf}$$

$$F_t = \left[\frac{w}{m} + wl \right] \left[1 + \frac{a}{g} \right]$$

$$F_t = \left[\frac{1650}{1} + 16 \left(\frac{1}{4} \right)^2 * 1333.58 \right] \left[1 + \frac{24 \text{ m/s}^2}{24 \text{ m/s}^2} \right]$$

$$F_t = 3577.716$$

$$n_f = \frac{28350 - 957.143}{3577.716}$$

$$n_f = 7.6$$

ANEXO. H. Especificación para la preparación de superficies en aceros - especificación SSPCC.

ESPECIFICACION	DESCRIPCION
Limpieza con disolvente SSPC-SP 1	Eliminación de aceite, grasa, mugre, tierra natural, sales y contaminantes con disolventes, emulsiones, compuestos para limpieza o vapor de agua.
Limpieza con herramientas de mano SSPC-SP 2	Eliminación de escamas de laminación sueltas, herrumbre y pintura suelta, cepillando, lijando, raspando o eliminando las rebabas a mano o con otras herramientas manuales de impacto, o por combinación de estos métodos.
Limpieza con máquinas herramientas SSPC-SP 3	Eliminación de escamas de laminación sueltas, herrumbre y pintura suelta con cepillos de alambre, herramientas de impacto, esmeriles y lijadoras mecánicas o por combinación de estos métodos.
Limpieza a la flama del acero nuevo SSPC-SP 4	Eliminación de escamas, herrumbre y otras materias extrañas perjudiciales por medio de llama oxiacetilénica de alta velocidad, seguida por la limpieza con cepillo de alambre.
Limpieza a metal blanco con chorro a presión SSPC-SP 5	Eliminación de escamas de laminación, herrumbre, de oxidación, pintura o materia extraña por medio de chorro de arena a presión, moyuelo o munición hasta obtener una superficie metálica de color uniforme blanco grisáceo.
Limpieza comercial con chorro a presión SSPC-SP 6	Eliminación completa de las escamas de laminación, herrumbre, escamas de oxidación, pintura o materia extraña, excepto las sombras, rayaduras, o decoloraciones ligeras ocasionadas por la oxidación, el manchado, los oxidos de escamas de laminación y los residuos.

<p>Limpieza con chorro abrasivo a grado hasta arenado ligero SSPC-SP 7</p>	<p>Eliminación de todos los residuos, excepto los de alto grado de adherencia de las escamas de laminación, herrumbre y pintura mediante el impacto de abrasivos (arena, moyuelo o munición).</p>
<p>Limpieza química SSPC-SP 8</p>	<p>Eliminación completa de las escamas de laminación, herrumbre, escamas de oxidación por reacción química, electrólisis o por ambos procesos. La superficie debe quedar sin restos de ácido, álcalis y lodos que no hayan reaccionado o sean perjudiciales.</p>
<p>Limpieza con chorro hasta lograr una superficie casi blanca SSPC-SP 10</p>	<p>Eliminación de casi toda la escama de laminación, herrumbre, escamas de oxidación, pintura o materia extraña por medio de abrasivos (arena, moyuelo o munición), pueden quedar las sombras, rayaduras, o decoloraciones muy ligeras producidas por manchas de oxidación.</p>
<p>Limpieza mediante herramienta eléctrica a metal desnudo SSPC-SP-11</p>	<p>Eliminación completa de todo el óxido, capa de laminación y pintura mediante herramientas eléctricas, con perfil de superficie resultante.</p>
<p>Limpieza con chorro de agua a altas presiones SSPC-SP-12</p>	<p>Eliminación completa de pinturas y recubrimientos que se encuentran aplicados sobre superficies metálicas. No produce perfil de anclaje.</p> <p style="text-align: center;">SSPC-SP 10 SSPC-SP 5</p>

ANEXO. I. Fichas técnicas para inpección.

FORMATO FICHA TECNICA MANTENIMIENTO EN TIROLESA			
NOMBRE DEL OPERARIO			No reporte
FECHA DE REPORTE	AAAA/MM/DD	Tipo de mantenimiento	PREVENTIVO
Elementos constituyentes	Referencia	Anomalías	Indique de la siguiente manera si presenta: (Ab) abrasión registrada. (CS) corrosion registrada. (DJ) desajuste de elementos de sujecion. (EF) elemento firusado. (GS) grietas en soldadura. (T) baja tensión registrada. Si no presenta nignuno de los anteriores por favor dejar espacio en blanco en la casilla anomalías.
Torre Alta	001		
Torre Baja	002		
Cables tensores	003		
Sistema de rodillos en platina	004		
Pasamanos tirolesa	005		
Plataforma	006		
Observaciones: Rererencia: _____, Anomalía _____:			
Observaciones: Rererencia: _____, Anomalía _____:			
Observaciones: Rererencia: _____, Anomalía _____:			
FECHA DE REPORTE	AAAA/MM/DD	Tipo de mantenimiento	CORRECTIVO
Descripción correctivo: Rererencia: _____, Anomalía _____:			
Descripción correctivo: Rererencia: _____, Anomalía _____:			

FORMATO FICHA TECNICA MANTENIMIENTO EN TOBOGAN CURVILÍNEO								
NOMBRE DEL OPERARIO							No reporte	
FECHA DE REPORTE	AAAA/MM/DD	Tipo de mantenimiento			PREVENTIVO			
ELEMENTO CONSTITUYENTE	REFERENCIA	TOBOGAN CURVÍLINEO/ANOMALÍA						
PLATAFORMA	007	T1		T16		T31		
TOBOGAN CURVILINEO	008	T2		T17		T32		
APOYOS CURVILÍNEO	009	T3		T18		T33		
TORRES DE SOPORTE	010	T4		T19		T34		
<p>Indique de la siguiente manera si presenta:</p> <p>(Ab) abrasión registrada.</p> <p>(CS) corrosión registrada.</p> <p>(DJ) desajuste de elementos de sujeción.</p> <p>(EF) elemento fisurado.</p> <p>(GS) grietas en soldadura.</p> <p>Si no presenta ninguno de los anteriores por favor dejar espacio en blanco en la casilla anomalías.</p>		T5		T20		T35		
		T6		T21		T36		
		T7		T22		T37		
		T8		T23		T38		
		T9		T24		T39		
		T10		T25		T40		
		T11		T26		T41		
		T12		T27		T42		
		T13		T28		T43		
		T14		T29		PLATAFORMA	ANOMALÍA	
		T15		T30				
			NUMERO TORRE DE SOPORTE	ANOMALÍA	APOYOS		ANOMALÍA	
			TORRE 1		APOYO 1			
			TORRE 2		APOYO 2			
			TORRE 3		APOYO 3			
		TORRE 4		APOYO 4				
				APOYO 5				
Observaciones: Rererencia: _____, Anomalía _____:								
Observaciones: Rererencia: _____, Anomalía _____:								
Observaciones: Rererencia: _____, Anomalía _____:								
FECHA DE REPORTE	AAAA/MM/DD	Tipo de mantenimiento			CORRECTIVO			
Descripción correctivo Rererencia: _____, Anomalía _____:								
Descripción correctivo Rererencia: _____, Anomalía _____:								

FORMATO FICHA TECNICA MANTENIMIENTO EN TOBOGAN RECTO								
NOMBRE DEL OPERARIO							No reporte	
FECHA DE REPORTE	AAAA/MM/DD	Tipo de mantenimiento			PREVENTIVO			
ELEMENTO CONSTITUYENTE	REFERENCIA	TOBOGAN RECTO/ANOMALÍA						
PLATAFORMA	007	T1		T6		T11		
TOBOGAN RECTO	011	T2		T7		T12		
APOYOS RECTO	012	T3		T8		T13		
TOBOGAN RECTO	ANOMALÍA	T4		T9		T14		
		T5		T10		T15		
APOYOS	ANOMALÍA	Indique de la siguiente manera si presenta: (Ab) abrasión registrada. (CS) corrosion registrada. (DJ) desajuste de elementos de sujecion. (EF) elemento firusado. (GS) grietas en soldadura. Si no presenta nignuno de los anteriores por favor dejar espacio en blanco en la casilla anomalías.						
APOYO 1								
APOYO 2								
APOYO 3								
APOYO 4								
APOYO 5								
Observaciones: Rererencia: _____, Anomalía _____:								
Observaciones: Rererencia: _____, Anomalía _____:								
Observaciones: Rererencia: _____, Anomalía _____:								
FECHA DE REPORTE	AAAA/MM/DD	Tipo de mantenimiento			CORRECTIVO			
Descripción correctivo Rererencia: _____, Anomalía _____:								
Descripción correctivo Rererencia: _____, Anomalía _____:								