

**DISEÑO DE GRÚAS ESTÁNDAR ANTICAÍDAS**

**ROBERTH LEOPOLDO MANCILLA GOMEZ  
ANGELA TERESA MENESES LOPEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2013**

**DISEÑO DE GRÚAS ESTÁNDAR ANTICAÍDAS**

**ROBERTH LEOPOLDO MANCILLA GOMEZ  
ANGELA TERESA MENESES LOPEZ**

**Tesis de grado para optar al título de  
INGENIERO CIVIL**

**Director  
ING. LEOCADIO RICO PRADILLA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2013**

## DEDICATORIA

*A Dios por ser mi fortaleza y hacer de este logro*

*Una gran bendición en mi vida.*

*A mis padres Roberto Mancilla y Amparo Gómez, porque con su educación, paciencia y sobre todo su amor hacen de ellos los seres más importantes de mi vida.*

*A mis hermanos María Cristina y Wilson Camilo, por su compañía y comprensión durante este proceso.*

*A Stephanie por su cariño y apoyo, que me impulsó a seguir cada día trabajando y dando lo mejor de mí.*

**Roberth**

## DEDICATORIA

*Señor Dios te dedico este logro por ser el elemento fundamental de mi fe y  
lucha para seguir adelante en mi vida.*

*A mis padres Octavio Meneses y Luisa López, me han generado el valor y  
entrega por ser una verdadera hija y una gran mujer, gracias por su guía y  
esfuerzo en hacerme mejor persona.*

*A mis hermanos que amo tanto, ya que me han acompañado en momentos  
cruciales, donde su apoyo ha sido fundamental para el desarrollo de mi  
personalidad.*

*A Ana Lucía y Silvia Margarita por su gran amistad y compañerismo, donde  
hemos vivido grandes historias que plasman el ánimo con el que  
enfrentaremos el resto de nuestras vidas.*

**Ángela**

## **AGRADECIMIENTOS**

Ante todo quiero dar las gracias a mi señor Dios, ya que ha estado dándome fuerza y esperanzas para logra este importante logro de mi vida, así que parte de este logro pertenece a ti.

No puedo olvidar a mis padres Roberto Mancilla y Amparo Gómez que han entregado mucho por mi largo camino y a mis hermanos María Cristina y Wilson Camilo, por su amor y apoyo, me enfrente a uno de los retos más grandes y por su educación lo he alcanzado.

Gracias a Stephanie, por su gran apoyo, compañía y su cariño durante todo este tiempo, a mis amigos por ser como hermanos que han logrado empujar mis ganas por ser mejor cada día, muchas gracias a todos.

A mi compañera de trabajo de grado Ángela Meneses, por su colaboración en la realización de este proyecto y libro, le deseo muchos éxitos en su camino.

Gracias a mi director de proyecto Leocadio Rico Pradilla, por su tiempo, dedicación, guía y compromiso para el desarrollo de este proyecto.

Gracias al ingeniero Nicolás Moreno, por su asesoría y consejo a la hora de elaborar el presente proyecto.

Gracias al mi querida UIS, quien con sus enseñanzas y logros hoy tengo un título como profesional.

Sé que son muchas personas a la que debo agradecer, familia, amigos y compañeros, pero así no las mencione en este libro, sepan muy bien que siempre estarán en mi mente y que gracias a todos ustedes he podido lograr este maravilloso logro.

**ROBERTH LEOPOLDO MANCILLA GOMEZ**

## **AGRADECIMIENTOS**

Principalmente quiero dar gracias a dios por este logro, esta bendición tan grande se la debo a él y a su luz que me guio durante este largo camino.

A mis padres Octavio Meneses, Luisa López y Amelia Meneses, por su apoyo incondicional en mi formación no solo como persona sino como una futura gran profesional.

A mis queridos hermanos Jorge Meneses y Karina Ochoa ante todo su compañía fue muy importante para este logro.

A mis mejores amigas Ana Lucia Corredor, Silvia Díaz, Nelly Ríos, Tatiana Navarro y Nataly Bueno, gracias por su apoyo y compañía, también por todos los momentos excelentes que hemos pasado y que gracias al apoyo mutuo somos las ingenieras que somos hoy en día.

A mi compañero de trabajo de grado Roberth Mancilla, porque gracias a su paciencia y colaboración se pudo llevar a término este proyecto.

Y a mis demás familiares amigos y compañeros que al o largo de la carrera estuvieron presentes para apoyarme en todo lo que necesité, muchas gracias siempre estarán presente en todos mis triunfos a lo largo de toda mi vida.

Gracias infinitas.

**ANGELA TERESA MENESES LOPEZ**

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCION	20
1. OBJETIVOS	22
1.1 OBJETIVO GENERAL	22
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
2. METODOLOGÍA UTILIZADA	23
2.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	23
2.2 SELECCIÓN Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL INICIAL DE LAS GRÚAS ESTÁNDAR ANTICAÍDAS.	23
2.3 ELABORACIÓN DE LOS DISEÑOS, ASPECTOS	23
2.4 EVALUACIÓN DE LOS OBJETIVOS DEL PROYECTO Y CONCLUSIONES	24
3. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LA GRÚAS	25
3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS GRÚAS	25
3.1.1 Grúa móvil para descapote	25
3.1.2 Grúa de desplazamiento en torre	26
3.1.3 Grúa de desplazamiento en terrazas para fachadas	26
3.2 PRESTACIONES DE LA GRÚAS	27
3.2.1 Vida útil de las grúas	27
3.2.2 Capacidad de carga	28
3.3 MOVIMIENTOS DE LAS GRÚAS	29
3.3.1 Grúa portátil con monorriel	29
3.3.2 Grúa de desplazamiento en torre	30
3.3.3 Grúa de desplazamiento en terrazas para fachadas	30
3.4 ACCESORIOS DE LAS GRÚAS	31
3.5 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS GRÚAS	32
4. CONJUNTOS DE LAS GRÚAS	34
4.1 CHASIS	34
4.2 BRAZO	36

4.3 RIELES	37
4.4. RUEDAS	37
4.5. CONTRAPESOS	38
4.6 CANASTILLA DE TRABAJO	39
5. COMPONENTES DE LAS GRÚAS	41
5.1 ANCLAJES	41
5.2 LÍNEAS DE VIDA	42
5.3 GANCHOS Y MOSQUETONES	43
5.4 ESLINGAS	44
5.5 ARNÉS	45
5.6 SEÑALIZACIÓN	47
6. NORMATIVAS Y LEYES	49
6.1 ANZI Z359	49
6.1.1 ANSI Z359.0	50
6.1.1.1 Definiciones y Nomenclatura Empleada en la Protección contra Caídas y Detención de Caídas	50
6.1.2 ANSI Z359.1	50
6.1.2.1 Requisitos de Seguridad para los Sistemas Personales, Subsistemas y Componentes para Detención de Caídas	50
6.1.3 ANSI Z359.2-2007	52
6.1.3.1 Requisitos Mínimos para un Programa Administrado Completo de Protección contra Caídas	52
6.1.4 ANSI Z359.3-2007	54
6.1.4.1 Requisitos de Seguridad para Sistemas de Posicionamiento y Restricción de Desplazamiento	54
6.1.5 ANSI Z359.4-2007	55
6.1.5.1 Requisitos de Seguridad para Sistemas, Subsistemas y Componentes para Rescate Asistido y Autorrescate	55
6.2 ESTÁNDARES DE CONSTRUCCIÓN DE LA LEY OSHA 29 CFR 1926 – SUBPARTE M	57

6.2.1 Sistemas personales de detención de caídas	58
6.2.2 Sistemas de dispositivos posicionadores	62
6.2.3 Reglamentación colombiano del trabajo seguro en alturas	63
7. MODELO ESTRUCTURAL	71
7.1. GEOMETRÍA DE LAS GRÚAS	71
7.1.1. Geometría grúa móvil para descapote	71
7.1.2. Geometría grúa de desplazamiento en torre	73
7.1.3. Geometría grúa de desplazamiento en terrazas para fachadas	74
7.2. MATERIALES	76
7.3 SECCIONES DE LOS ELEMENTOS	78
7.3.1 Secciones metálicas	78
7.3.2 Sección del concreto	82
7.4 CASOS DE CARGA	82
7.5 COMBINACIONES DE CARGA	83
7.6 CARGAS DE SERVICIO	84
7.7 RESULTADO INICIALES	86
7.8. CÁLCULO DE CONTRAPESO	88
8. DISEÑO ESTRUCTURAL	94
8.1 DISEÑO FINAL	94
9. CONCLUSIONES	98
10. RECOMENDACIONES	99
BIBLIOGRAFÍA	100

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Diseño inicial de la Grúa Móvil para Descapote	25
Figura 2. Bosquejo de la Grúa de Desplazamiento en Torre	26
Figura 3. Bosquejo de la grúa de desplazamiento en Terrazas para Fachadas	27
Figura 4. Factores que afectan la vida útil de las grúas	27
Figura 5. Traslaciones de la Grúa No 1 y Usuario	29
Figura 6. Traslaciones de la Grúa No 2 y Usuarios	30
Figura 7. Traslaciones de la Grúa No 3 y Usuarios	31
Figura 8. Esquema del chasis de cada grúa anticaídas	35
Figura 9. Brazos de las grúas	36
Figura 10. Riel a utilizar en las Grúas	37
Figura 11. Diseño de las Ruedas	38
Figura 12. Diseño del bloque que compone el contrapeso	39
Figura 13. Canastilla de trabajo de la Grúa de Desplazamiento en Terrazas para Fachadas	40
Figura 14. Diseño del Anclaje	42
Figura 15. Línea de Vida	43
Figura 16. Mosquetón Industrial con pistilo de cierre	44
Figura 17. Eslinga Doble tubular con absorbedor de choque	45
Figura 18. Arnés Industrial para dama y caballero	46
Figura 19. Buen uso del arnés de seguridad	47
Figura 20. Señales de seguridad industrial	48
Figura 21. Grilla de la Grúa Móvil Para Descapote	71
Figura 22. Vista en 2D y 3D de la Grúa N° 1	72
Figura 23. Definición de los apoyos de la Grúa N° 1	72
Figura 24. Grilla de la Grúa de Desplazamiento en torre	73
Figura 25. Vista en 2D de la Grúa N° 2	73
Figura 26. Definición de los apoyos de la Grúa N° 2	74

Figura 27. Grilla de la Grúa de Desplazamiento en terrazas para fachadas	74
Figura 28. Vista en 2D de la Grúa N° 3	75
Figura 29. Definición de los apoyos de la Grúa N° 3	75
Figura 30. Definición del Acero Grado C	77
Figura 31. Definición del Concreto de 21 Mpa sin reforzar	77
Figura 32. V0: Viga metálica sin masa ni peso usada para el cálculo de reacciones preliminar al diseño de la estructura.	78
Figura 33. TER 4 1/2" (3): Tubería estructural circular que forma parte del catálogo ACESCO	79
Figura 34. TER 4 1/2" (5): Tubería estructural circular que forma parte del catálogo ACESCO	79
Figura 35. TER 6": Tubería estructural circular que forma parte del catálogo ACESCO	80
Figura 36. TER 8 5/5": Tubería estructural circular que forma parte del catálogo ACESCO	80
Figura 37. TER 10 3/4": Tubería estructural circular que forma parte del catálogo ACESCO	81
Figura 38. TER 12 3/4": Tubería estructural circular que forma parte del catálogo ACESCO	81
Figura 39. Contrapeso: Sección en concreto con la cuál se simulara el efecto del contra-peso sobre la estructura. El espesor de la losa se itero hasta encontrar el ideal	82
Figura 40. CARGA MUERTA: Utilizada para el peso propio de la estructura y el peso del bloque de concreto	82
Figura 41. CARGA VIVA: Utilizada para las cargas externas aplicadas a la estructura	83
Figura 42. Definición de las combinaciones de carga	83
Figura 43. Ubicación de la Carga aplicada en la Grúa No. 1	84
Figura 44. Componentes de la carga en los ejes X y Y	85

Figura 45. La carga es aplicada en los dos elementos “frames” que soportan el cable en donde se produce la carga	85
Figura 46. Aplicación de la cargas en la Grúa No 3	86
Figura 47. Parámetros al correr cada modelo	87
Figura 48. Distribución del Contrapeso en la Grúa No 1	89
Figura 49. Ubicación del Contrapeso en la Grúa No 2	91
Figura 50. Distribución del Contrapeso en la Grúa No 3	93
Figura 51. Grúa No. 1: GRUA MÓVIL PARA DESCAPOTE	95
Figura 52. Grúa No. 2: GRUA DE DESPLAZAMIENTO EN TORRE	96
Figura 53. Grúa No. 3: GRÚA DE DESPLAZAMIENTO EN TERRAZAS PARA FACHADAS	97

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Capacidad de usuarios por grúa	28
Tabla 2. Características técnicas principales Grúa Móvil para Descapote	33
Tabla 3. Características técnicas principales Grúa de Desplazamiento por Torre	33
Tabla 4. Características técnicas principales Grúa de Desplazamiento en Terrazas para Fachadas	33
Tabla 5. Requisitos de carga estática	53
Tabla 6. Definiciones del reglamento	64
Tabla 7. Reacciones de la Grúa No. 1	87
Tabla 8. Reacciones de la Grúa No. 2	87
Tabla 9. Reacciones de la Grúa No. 3	88
Tabla 10. Peso de cada Bloque del Contrapeso	89
Tabla 11. Reacciones con dos Bloques de Concreto en la Grúa No 1	89
Tabla 12. Reacciones con 8 Bloques de Concreto en la Grúa No 1	90
Tabla 13. Reacciones con dos Bloques de Concreto en la Grúa No 2	91
Tabla 14. Reacciones con seis Bloques de Concreto en la Grúa No 2	92
Tabla 15. Reacciones con dos Bloques de Concreto en la Grúa No 3	93
Tabla 16. Perfiles óptimos de la Grúa No. 1	95
Tabla 17. Perfiles óptimos de la Grúa No. 2	96
Tabla 18. Perfiles óptimos de la Grúa No. 3	97

## RESUMEN

**TÍTULO:** DISEÑO DE GRÚAS ESTÁNDAR ANTICAÍDAS\*

**AUTORES:** ROBERTH LEOPOLDO MANCILLA GÓMEZ  
ANGELA TERESA MENESES LOPEZ\*\*

**PALABRAS CLAVES:** GRÚA, ANTICAIDAS, SISTEMAS DE SEGURIDAD EN ALTURAS, TRABAJO EN ALTURAS.

### CONTENIDO

Actualmente se presentan una gran problemática con respecto al gran número de muertes en la construcción e industria referente a trabajos en alturas, en el presente proyecto se plantea los diseños de tres grúas anticaídas que sirvan al objetivo de salvaguarda la vida de las personas que laboran en alturas.

Esperamos que el lector pueda captar la problemática y a su vez pueda vislumbrar la solución presentada, que consiste en las tres grúas anticaídas, las cuales será analizadas estructuralmente, ante la dura tarea de soportar la caída de una o varias personas dependiendo su uso.

Cada grúa tendrá diferentes aspectos pero comparten el mismo objetivo, el cual recorreremos las entrañas de cada una de ellas, para así poder generar una guía apta para su posterior producción y desarrollo en la industria como en la construcción, y así poder sentir la satisfacción de saber que en un mañana no muy lejano, las cifras de heridos y muertes por caída han disminuido.

El libro genera varios pasos, inicialmente se planteara el problema y los objetivos a realizar, pasando por las características generales de cada grúa y sus partes como componentes adicionalmente daremos un vistazo y comprensión a las normativas y leyes que tratan el tema de alturas en Colombia y finalmente daremos paso al análisis estructural de la grúa y sus diseños para plantear la viabilidad del proyecto y su posterior desarrollo por parte de la universidad o empresas interesadas en el bienestar de los trabajadores en alturas.

---

\* Proyecto de Grado

\*\* Universidad Industrial de Santander. Facultad De Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela De Ingeniería Civil. Director Leocadio Rico Pradilla.

## ABSTRACT

**TITLE:** LIFELINE DESIGN STANDARD CRANES\*

**AUTHORS:** ROBERTH LEOPOLDO MANCILLA GÓMEZ  
ANGELA TERESA MENESES LOPEZ\*\*

**KEYWORDS:** CRANE, LIFELINE SYSTEMS, HEIGHT SAFETY, WORKING AT HEIGHTS.

### CONTENT:

Currently they have a big problem with regard to the large number of deaths in construction and industry concerning work at heights, in this project proposes the three cranes fall designs that serve the purpose of safeguarding the lives of people who work in heights.

We expect the reader to grasp the problem and in turn may glimpse the solution presented, which consists of three cranes fall, which will be analyzed structurally, to withstand the tough task of the fall of one or more people depending on their use.

Each crane will have different ways but share the same goal, which will be broken down and get into the guts of each, in order to generate a suitable guide for further production and development in industry and in the construction, so we can feel the satisfaction of knowing that in a not too distant tomorrow, the numbers of injuries and deaths have decreased fall.

The book generates several steps, initially raised the problem and objectives to make, to the general characteristics of each crane and parts and components and we will look further understanding the laws and regulations that address the issue of heights in Colombia and finally give way to the structural analysis of the crane and its designs to raise the project's viability and further development by the university or companies interested in the welfare of workers at height.

---

\* Graduation Project

\*\* Universidad Industrial de Santander Faculty of Mechanical Engineering and Physical. School of Civil Engineering. Director Leocadio Rico Pradilla.

## INTRODUCCION

Actualmente se ha identificado que el trabajo de altura es una actividad de alto riesgo que debe ser planeada y realizada de forma tal que se reduzcan los riesgos para los trabajadores, para ello se ha determinado diseñar tres tipos de grúas anticaídas las cuales deben cumplir con su primera función de proteger la integridad física del operario.

La problemática que encierra este proyecto es sobre el gran número de accidentes laborales debido a caídas, los cuales en Colombia ha generado el mayor índice de muertes en el trabajo, ante esto en los últimos años el gobierno nacional ha implementado nuevas medidas y decretos que protegen la integridad de los operarios que trabajan en alturas superiores de más de 1.5 m sobre la superficie de trabajo o suelo.

Adicionalmente la industria y la construcción van cada vez avanzando en el país y con ello enfrentamos nuevas necesidades respecto a la seguridad de los trabajadores, entre estas necesidades encontramos el trabajo en alturas, la cual en sus diversas clases encontramos sitios donde no existe estructura o sistema de línea de vida para salvaguardar su integridad, unos de ejemplos de este tipo de trabajo es el descapote de tracto-camiones al aire libre, el descargue de productos de tracto-mulas o el almacenamiento de productos o materiales de construcción a la intemperie.

La OMS (Organización Mundial de la Salud) ha entregado datos alarmantes sobre los accidentes por caída:

- Las caídas son la segunda causa mundial de muerte por lesiones accidentales o no intencionales.

- Se calcula que anualmente mueren en todo el mundo unas 424,000 personas debido a caídas, y más de un 80% de esas muertes se registran en países de bajos y medianos ingresos.
- Cada año se producen 37,3 millones de caídas cuya gravedad requiere atención médica.

Además el Ministerio de Salud y Protección Social entrega otros datos alarmantes sobre accidentes por caídas fatales en el país, los cuales en el año 2010 se presentaron 305 casos y posteriormente se observa un leve descenso para el año 2011 de 286 casos, ante estas cifras es necesario buscar nuevas alternativas para generar mayor seguridad en la zonas de trabajos en alturas.

En conclusión al observar estas cifras alarmantes nos vemos en la necesidad de aportar los diseños adecuados de tres grúas anticaídas, y donde presentaremos un análisis y resultados entregados en software especializados en estructuras, los cuales nos demuestran que los diseños cumplen con la norma establecida actualmente y nos dan a conocer que estas grúas poseen diferentes características de manejo y uso, con el fin de dar gran importancia a la hora de proteger la vida de una persona y asegurar un eficiente trabajo en alturas.

Este libro recorrerá cada aspecto, característica y modelamiento necesario para entablar las condiciones necesarias para su buen funcionamiento, cada grúa será presentada como una alternativa para los trabajos en alturas más comunes al aire libre y se mostraran sus destrezas ante el cumplimiento de su objetivo, por tal razón esperamos que lector pueda analizar con detalle el contenido de la propuesta y como tal pueda entablar sus propias conclusiones y pueda al final realizar propuestas que beneficien la idea aquí presentada.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar tres tipos de grúas estándar anticaídas, teniendo en cuenta los diferentes lineamientos de las normas nacionales e internacionales y decretos que establezcan la ley.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Hacer una revisión bibliográfica referente a la seguridad en alturas y sobre la problemática actual que enfrentan los empleados a este tipo de riesgos.
- Proponer tres tipos de grúas estándar anticaídas para tres rangos de alturas, como son: 1.5m – 3.0m, 3.0m – 6.0m y 6.0m – 9.0m.
- Diseñar y analizar los diferentes tipos de grúas propuestas.

## **2. METODOLOGÍA UTILIZADA**

### **2.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

Inicialmente se buscó estudiar detalladamente las normas relacionadas al proyecto, destacando entre ellas la norma ANSI Z359 de la cual se señaló los “requisitos de seguridad de la norma norteamericana para sistemas personales, subsistemas y componentes de protección contra caídas”, y en la OSHA 29 cfr 1926 – Subparte M la cual nos refiere a las “regulaciones de la industria de la construcción” y la Resolución 1409 de 2012 “reglamento de seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas.

### **2.2 SELECCIÓN Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL INICIAL DE LAS GRÚAS ESTÁNDAR ANTICAÍDAS.**

Al haber precisado las normas a utilizar, se definieron las respectivas características de las grúas para posteriormente desarrollarse un análisis conceptual preliminar de dichas estructuras, las cuales cumplieran con la necesidad de generar seguridad en trabajos de altura al aire libre.

### **2.3 ELABORACIÓN DE LOS DISEÑOS, ASPECTOS**

Desarrollo de los diseños de las grúas estándar anticaídas:

- Se observaron datos de los materiales y elementos que componen las estructuras.
- Se realizaron los diseños de las grúas en SAP 2000, para observar su comportamiento ante una carga generada por la caída de una o varias personas.

- Se trabajó el análisis estructural de las grúas. (ver capítulo 8 y anexo 2).
- Se revisaron los datos entregados por el programa y se compararon con el análisis estructural realizado con anterioridad para que estos cumplan con las normas y leyes.
- Se dibujaron los diseños de las grúas estándar anticaídas en AutoCAD como se aprecia en el anexo 1 y 3.
- Se realizaron los planos respectivos estructurales del diseño de las grúas anticaídas para su construcción. (ver anexo 3)

## **2.4 EVALUACIÓN DE LOS OBJETIVOS DEL PROYECTO Y CONCLUSIONES**

Al final comprobamos el cumplimiento de los objetivos del proyecto, y revisamos de nuevo todas las etapas del proceso para poder dar unas conclusiones claras y concretas.

### 3. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LA GRÚAS

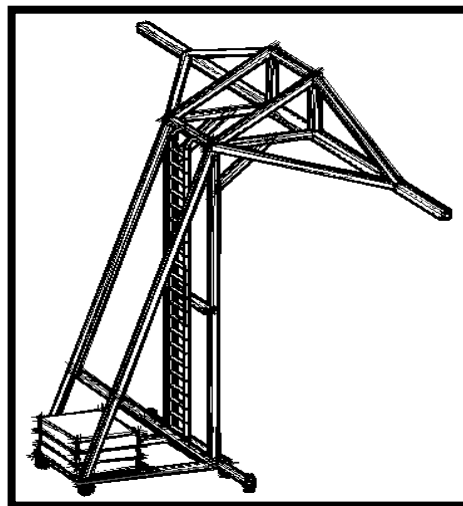
#### 3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS GRÚAS

Todos los tipos de grúas (puente grúa, grúa pórtico, grúa consola, grúas giratorias de columna o de plataforma, grúas porta-contenedores) que hallamos en el mercado han generado una inspiración de las características a trabajar en las diferentes grúas de nuestro proyecto.

A continuación se presentan y describen brevemente nuestros tres tipos de grúas.

**3.1.1 Grúa móvil para descapote.** Este sistema de protección anticaídas portátil con monorraíl está destinada a ofrecer todos los beneficios de los sistemas anticaídas de pista rígida. Es posible mover fácilmente el sistema ya que posee un chasis dirigitivo rodante. El sistema es diseñado para brindar cobertura de protección anticaídas en un trayecto sesgado de hasta 30° del centro de gravedad. Diseñados con dos pórticos de apoyo con cabeceros en voladizo, confieren un fácil acceso a la parte superior de muchos tipos de camiones de carga pesada.

Figura 1. Diseño inicial de la Grúa Móvil para Descapote

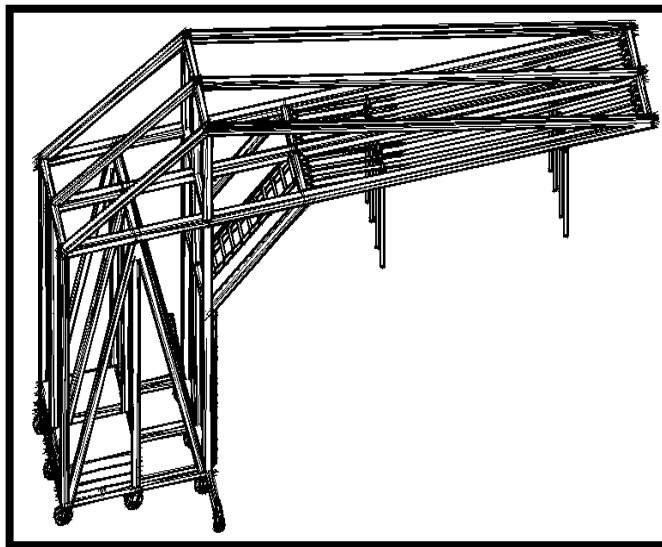


Fuente: Autores

**3.1.2 Grúa de desplazamiento en torre.** Es una grúa de desplazamiento por torre se pretende buscar mayor seguridad en un área amplia que abarca múltiples estaciones de trabajo, o dentro de plantas que presenten áreas amplias de trabajo. Los sistemas anticaídas de desplazamiento por torre pueden desplazarse en sobre un riel y así generar un mayor alcance de trabajo, están compuestas por 3 cerchas que comprende un brazo de extensión de 9 m sobre una altura de 6 m a partir de la superficie de trabajo.

Es idealizada para soportar la caída de varias personas, en el actual proyecto se plantea el escenario más crítico el cual sería la caída de los trabajadores en el extremo del brazo, como en las demás grúas propuestas esta grúa poseerá un contrapeso en la parte inferior de la torre, el cual contrarrestara las fuerzas que se presenten en el acto de la caída.

Figura 2. Bosquejo de la Grúa de Desplazamiento en Torre

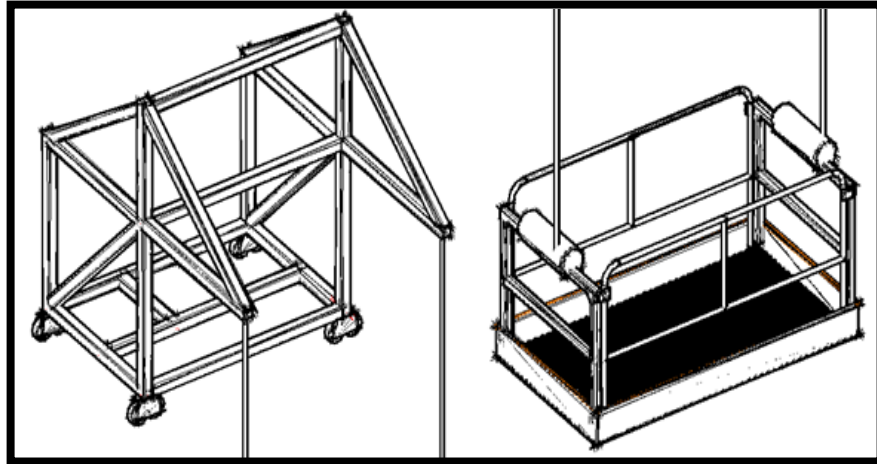


Fuente: Autores

**3.1.3 Grúa de desplazamiento en terrazas para fachadas.** Es una grúa de desplazamiento en terrazas, especialmente para trabajos en fachadas, con esta grúa se pretende buscar mayor seguridad en un área amplia vertical que abarca

múltiples estaciones de trabajo. Los sistemas anticaídas de desplazamiento por torre pueden desplazarse y así generar un mayor alcance de trabajo.

Figura 3. Bosquejo de la grúa de desplazamiento en Terrazas para Fachadas

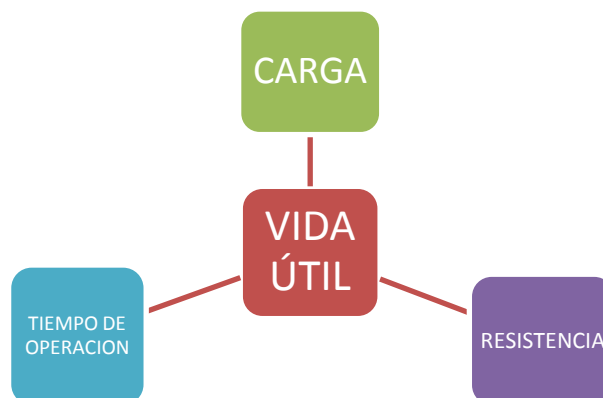


Fuente: Autores

### 3.2 PRESTACIONES DE LA GRÚAS

**3.2.1 Vida útil de las grúas.** Para clasificar correctamente el aparato de elevación según la normativa vigente, como para justificar los cálculos a fatiga de distintos elementos, es precisa una estimación de la vida útil de la grúa (ver figura 4).

Figura 4. Factores que afectan la vida útil de las grúas.



Fuente: Autor

Para ello se partirá de una duración de 10 años, contando una utilización anual de 200 días y unas 6 horas por día. Esta estimación tiene en cuenta que no todos los días laborables son días de trabajo para la grúa ya que está no estará permanentemente realizando su labor, sino que se irá desplazando el tiempo. Además, durante un día de trabajo la grúa no se emplea permanentemente, por lo que se ha reducido ligeramente la jornada de 8 horas a 6 horas. De todo ello resulta una vida aproximada de 12.000 horas de trabajo.

**3.2.2 Capacidad de carga.** Las cargas habitualmente no estarán aplicadas en la grúa hasta que no se presente el efecto de caída libre de una o varias personas. Por lo tanto la capacidad de carga que se le exige a la grúa es elevada. Sin embargo esta carga se presentara en un lapso corto de tiempo ante el fenómeno de frenado que genera la eslinga perteneciente al arnés y rápidamente la carga pasará a ser el peso propio del individuo.

Se decide que la grúas pueda manipular cargas de hasta 5000Lb (22.24 KN) por persona en el punto extremo de su brazo. A partir de esta decisión podemos generar más detalles de cada una de la grúas.

Es importante aclarar las capacidades de usuarios que tendrá cada Grúa:

Tabla 1. Capacidad de usuarios por grúa.

Tipo de Grúa	N° de usuarios
Grúa Móvil para Descapote	1
Grúa de Desplazamiento en Torre	4
Grúa de Desplazamiento en Terrazas para Fachadas	2

Fuente: Autores

Con lo anterior podemos determinar la carga a soportar de cada una de las grúas:

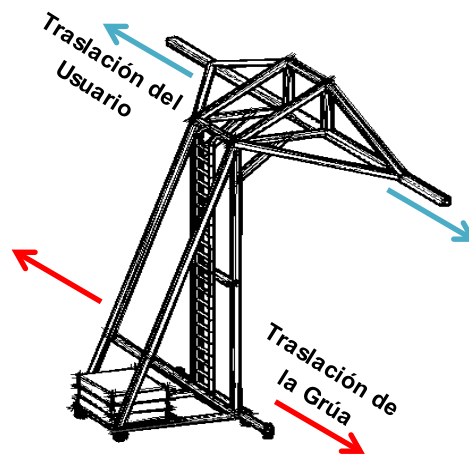
- Grúa Portátil con Monorraiel: 5000Lb (22.24 KN)
- Grúa de Desplazamiento en Torre: 20000Lb (88.97 KN)
- Grúa de Desplazamiento en Terrazas para Fachadas: 10500Lb (46.71KN)

La Grúa de Desplazamiento en Terrazas para Fachadas cuenta con una carga adicional (2.22KN), el cual hace referencia a la carga ejercida por la canastilla de trabajo el cual se detallara sobre el componente en el numeral 5.

### 3.3 MOVIMIENTOS DE LAS GRÚAS

**3.3.1 Grúa portátil con monorraiel.** La grúa posee dos movimientos como se puede apreciar en la Figura 5, el primero es de traslación en un monorraiel de acero el cual desplazará la grúa en las zonas de trabajo que la empresa vea conveniente y su segundo movimiento es el de traslación del usuario en el riel que posee en la parte superior y donde estará sujeta la eslinga y que cubre el largo de un camión de carga pesada, para así generar mayor movilidad de trabajador.

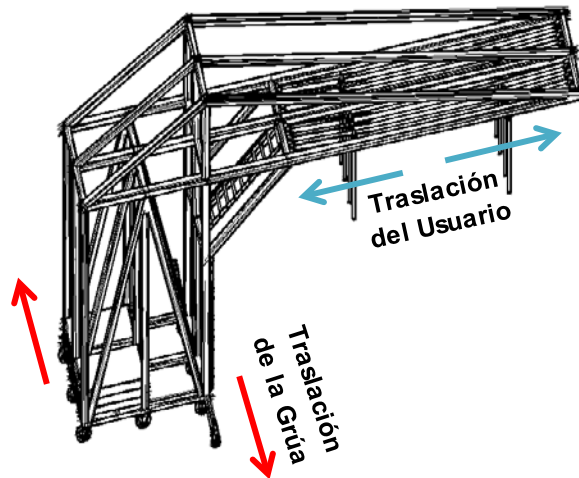
Figura 5. Traslaciones de la Grúa No 1 y Usuario.



Fuente: Autores

**3.3.2 Grúa de desplazamiento en torre.** Esta grúa posee dos movimientos, el primero de traslación en su monorriel, con el fin de eliminar el desarme o peligrosas maniobras para ubicarlo en otro sitio de trabajo; solo con un operador será necesario para su traslado en rieles de acero, los cuales serán planteados más adelante y que guiaran la grúa en las diferentes zonas de trabajo, también tenemos el segundo movimiento que permite la grúa y es el de la libreta que le da al usuario de desplazarse a lo largo de su brazo como se observa en la figura 6.

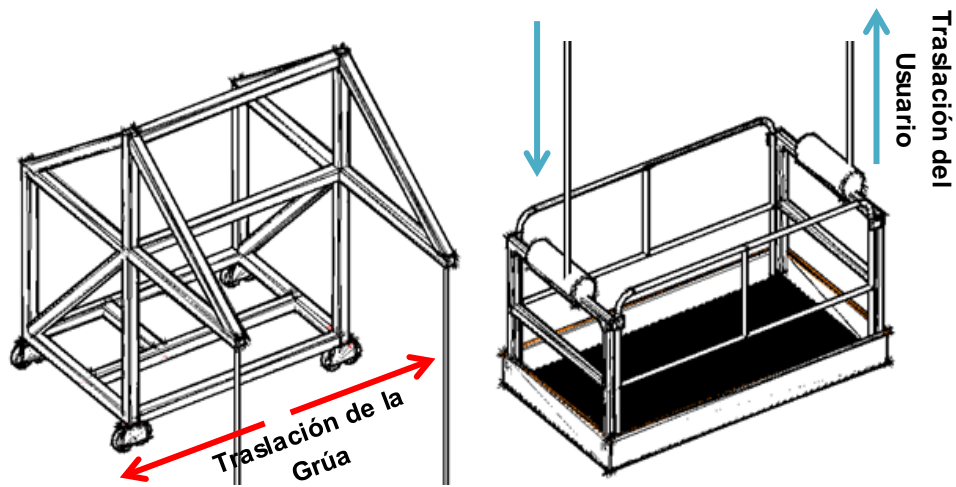
Figura 6. Traslaciones de la Grúa No 2 y Usuarios.



Fuente: Autores

**3.3.3 Grúa de desplazamiento en terrazas para fachadas.** La grúa para terrazas posee dos movimientos de igual forma que las grúas anteriores, el primero es de traslación como los demás grúas en rieles de acero, con el objetivo de movilizar cerca del borde de la terraza con total seguridad y llevarla alrededor de la terraza, su segundo movimiento es el de desplazamiento vertical, este desplazamiento esta derivado a la canastilla de trabajo, la cual recorrerá las fachadas del edificio en el que esté trabajando, y así poder desplazar al trabajador en todas las zonas de trabajo que el desee como se observa en la figura 7.

Figura 7. Traslaciones de la Grúa No 3 y Usuarios.



Fuente: Autores

### 3.4 ACCESORIOS DE LAS GRÚAS

Nuestras estructuras poseen unos cuantos accesorios para su manejo y buen uso, más adelante se detalla cada uno de estos accesorios y su funcionamiento en las grúas, entre estos accesorios tenemos:

- **Rieles de acero.** Los rieles están anclados a la superficie de trabajo de cada grúa, el perfil de los rieles es en I (viga W), ya que este perfil es el más óptimo para el tipo de rueda que se utilizara en la grúas como apoyo, además generar un factor de seguridad adicional a la estructura.
- **Escalera.** Si el usuario lo desea, se pueden añadir a la grúa una escalera vertical en tubo de acero para generar una mayor comodidad del trabajador.
- **Líneas de vida.** La grúa de desplazamiento por torre es la única que posee líneas de vida, estas líneas serán las utilizadas para anclar las eslingas y a su vez los arneses que utilizaran las personas; estas líneas de vida están compuestas por

unos anclajes que serán parte de la estructura de la grúa y unos cables de acero trenzado que cumplan con las normativas de seguridad vigente.

- **Anclajes.** Las otras dos grúas tendrán puntos de anclaje estáticos y móviles para mayor comodidad del usuario, estos anclajes estarán soldados o sujetos a unas ruedas para rieles cerrados donde cumplan las normas de seguridad establecidas en el actual proyecto.
- **Señalización.** Como es debido en este tipo de estructuras, se debe genera la respectiva señalización donde se especifiquen las cualidades y restricciones de las grúas, también advertencias de peligro y así como datos del fabricante y números telefónicos de emergencia, estas señalizaciones deben cumplir con las normas de seguridad.
- **Motor de elevación.** Este motor de elevación puede ser eléctrico o manual y será utilizado en la grúa de desplazamiento en terraza para fachadas, su objetivo es subir o bajar la canasta de trabajo a lo largo de la zona de trabajo.
- **Arnés.** El arnés es el elemento de seguridad más importante en los trabajos de altura, ya que es el primer actor a la hora de la caída, este arnés está compuesto por cinturones similares a los de los autos y rodean a la persona en zonas que no afecten órganos internos importantes, este arnés posee un cable especial llamado eslinga y es el encargado de absorber la energía de la caída, este accesorio es muy importante y debe cumplir con las normas de seguridad y calidad para su uso.

### **3.5 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS GRÚAS**

A continuación presentamos unas tablas de resumen de las características de cada grúa, entre ellas podemos observar con detalle que se muestra la máxima

carga al impacto, este dato ya fue determinado en el numeral 4.2.2. y su lugar de aplicación será mostrado en el capítulo 8:

Tabla 2. Características técnicas principales Grúa Móvil para Descapote

Características técnicas principales Grúa Móvil para Descapote	
Máxima capacidad de carga al impacto	22.24 KN
Altura bajo gancho máxima	5.6 m
Soporte de base	2 m x 3 m
Peso del contrapeso	30.21 KN
Número de usuarios	1

Fuente: Autores

Tabla 3. Características técnicas principales Grúa de Desplazamiento por Torre

Características técnicas principales Grúa de Desplazamiento en Torre	
Máxima capacidad de carga de Impacto	88.97 KN
Altura bajo línea de vida máxima	5.9 m
Soporte de base	4 m x 2 m
Peso del contrapeso	45.31 KN
Número de usuarios	4

Fuente: Autores

Tabla 4. Características técnicas principales Grúa de Desplazamiento en Terrazas para Fachadas

Características técnicas principales Grúa de Desplazamiento en Terrazas para Fachadas	
Máxima capacidad de carga de impacto	46.71 KN
Altura bajo gancho máxima	100m
Soporte de base	4 m x 2 m
Peso del contrapeso	45.31 KN
Número de usuarios	2

Fuente: Autores

## **4. CONJUNTOS DE LAS GRÚAS**

En el anterior capítulo se explicó de forma general las características principales de la grúa, aquí se pretende, además de justificar las soluciones constructivas empleadas, describir con detalle cada uno de los conjuntos de la grúa. Se explicará también los distintos elementos que componen cada conjunto, como pueden ser los anclajes o las líneas de vida. Para ello se utilizarán dibujos renderizados de cada una de las partes. Se describirán las siguientes partes de la grúa:

- Chasis
- Brazo
- Rieles
- Ruedas
- Contrapesos
- Canastilla de trabajo

Es importante aclarar cada uno de estos elementos que complementan las grúas en su conjunto y que serán explicadas a continuación.

### **4.1 CHASIS**

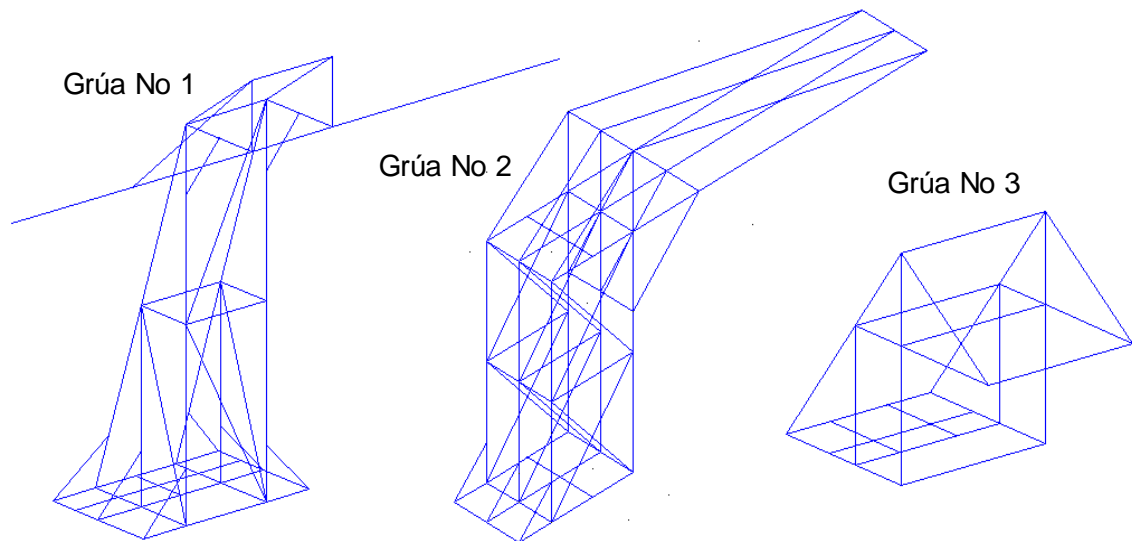
El chasis se refiere a la estructura en sí de la grúa, son todos los elementos que componen el sistema de disipación de energía. En el chasis se encuentran varios

de los elementos principales de la grúa, tales como los contrapesos, los anclajes o líneas de vida y las escaleras.

Podemos observar que la estructura está compuesta mayormente por perfiles Tubulares Estructurales Redondos (TER) referente a los productos de ACESCO, esto debido a que los perfiles de esta empresa son los más utilizados en el mercado y manejan una alta calidad en sus productos, las uniones en los nodos es en soldadura tipo cordón, además logran su más importante tarea de transmitir a los demás elementos los esfuerzos a los que es sometido la estructura.

En la Figura 8 se presenta el esquema de cada chasis, en el Capítulo 9 se presentan los perfiles estructurales de las grúas y en el Anexo 3 se hallan los planos estructurales de cada una de ellas.

Figura 8. Esquema del chasis de cada grúa anticaídas.



Fuente: Autores

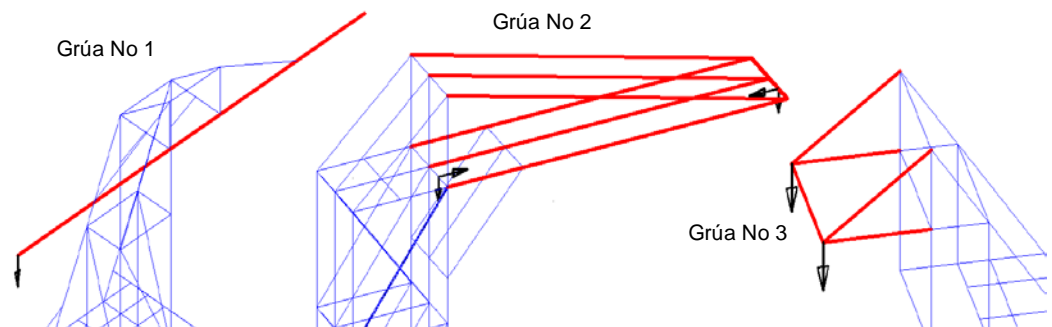
El chasis debe ser cubierto con dos capas de pintura anticorrosiva y dos manos de pintura esmaltada de alta calidad, para su buena protección a los diferentes cambios de ambiente y humedad, si las grúas se sitian en zonas costeras deberá

ser recubierta con pintura esmaltada electroestática, ya que adquiere una muy buena adherencia a la superficie metálica y es óptima para la alta humedad salina de estas regiones.

## 4.2 BRAZO

Es el primer elemento estructural de las grúas al cual será aplicada la carga, tenemos tres diferentes tipos de brazos y en cada uno hay una diferente forma de ser aplicada la carga, estos brazos están compuestos por perfiles Grado C de ASCESCO respectivamente en las grúas anteriormente mencionadas, a continuación en la Figura 9 se resalta los brazos de cada grúa y su forma de aplicación de la carga en cada una de ellas.

Figura 9. Brazos de las grúas.



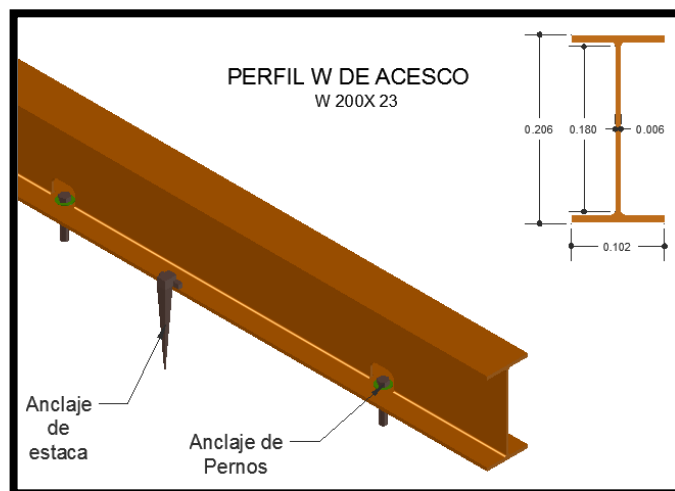
Fuente: Autores

Como podemos observar cada una es diferente y adaptada al tipo de trabajo al que será sometido, en el capítulo octavo se muestra el análisis estructural de cada grúa y la forma de desempeño de cada brazo, la idea es que este elemento no debe presentar deformaciones, ya que se prevea que cada grúa pueda cumplir con el tiempo de vida útil que se muestra en el capítulo 4.2.1, y así lograr el objetivo trazado.

### 4.3 RIELES

El riel utilizado en las tres grúas es el mismo, este riel está compuesto por un perfil W 200x23 de ASCESCO, el riel será anclado al a superficie de trabajo de las grúas, puede ser anclado con pernos o ganchos, y su perfil es el adecuado para el tipo de rueda que se presentara más adelante, esto generara una restricción al momento de una caída, que el mismo riel pasara a ser parte del sistema de disipación de energía y creara una restricción positiva al contrapeso de las grúas las cuales impiden un posible volcamiento de la grúa ante el uso indebido de la misma, a continuación en la Figura 10 se detallada el riel y de sus dos modos de anclaje.

Figura 10. Riel a utilizar en las Grúas



Fuente: Autores

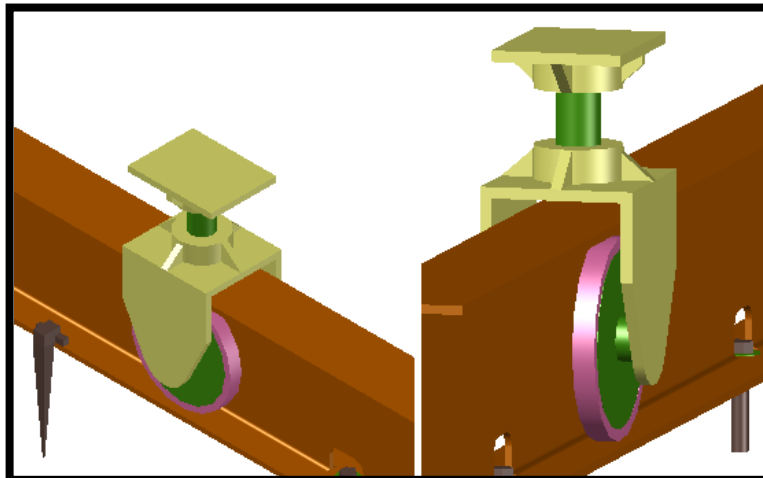
### 4.4. RUEDAS

Las ruedas utilizadas en las grúas pueden ser de dos tipos, ruedas giratorias industriales de gran carga o ruedas industriales fijas para riel de gran carga, estas ruedas son acero inoxidable y en el mercado se puede encontrar una amplia

variedad de diseños y tamaños, los cuales sean óptimos para la superficie de trabajo en la que estarán las diferentes grúas.

En la Figura 11 se aprecian las ruedas, en ellas se puede observar las capacidades a las que son sometidas, es claro notar que estas ruedas son en acero de alta resistencia y pueden ir cubiertas en una goma especial, dependiendo del proveedor y su diseño, las mostradas aquí son idealizadas pero se ve claramente las características de cada una, en especial las ruedas para los rieles, las cuales están ubicadas dentro de los canales del riel, en el momento que sean sometidas a una fuerza que intente alejarlas del suelo, puedan al instante quedar restringida por el riel y así generar la carga positiva que contribuirá con el contrapeso de las grúas.

Figura 11. Diseño de las Ruedas



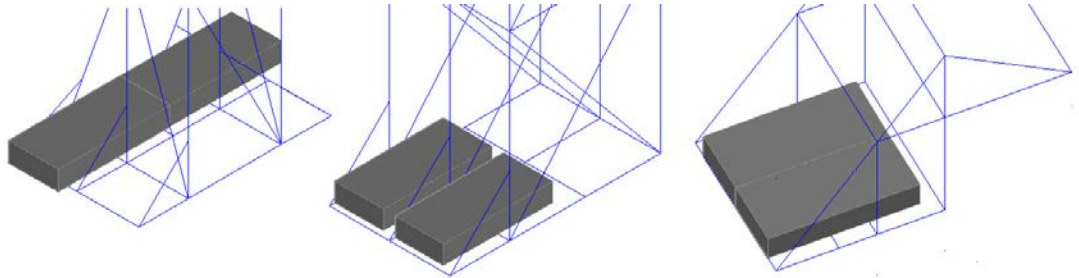
Fuente: Autores

#### 4.5. CONTRAPESOS

Un elemento importante en la estructura, su función es muy clara y comprende en generar la fuerza que contrarreste el efecto de la caída de una o varias personas

dependiendo de cada grúa, estos contrapesos son en concreto, en la Figura 12, se muestra el modelo de cada bloque que componen los contrapesos.

Figura 12. Diseño del bloque que compone el contrapeso

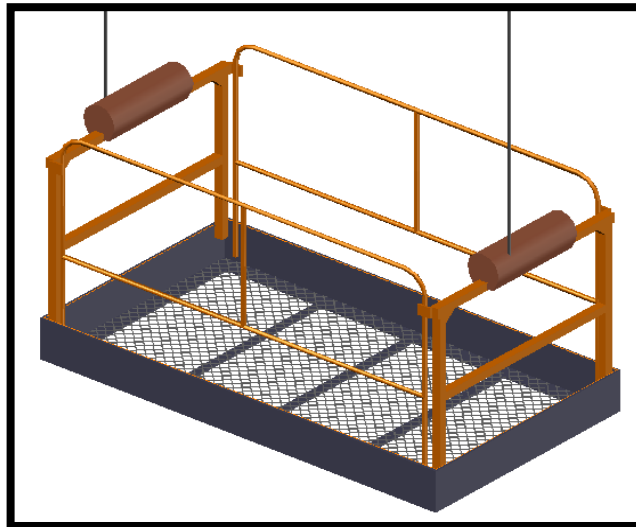


Fuente: Autores

#### **4.6 CANASTILLA DE TRABAJO**

La canastilla de trabajo es un complemento de la Grúa de Desplazamiento en Terrazas para Fachadas, en ella se ubicaran los trabajadores, esta canastilla está compuesta en acero, malla metálica y un sistema de elevación y descenso, la canastilla esta provista de puntos de anclaje para conectar el arnés, y de una caja metálica para guardar herramienta de trabajo, tendrá una puerta de acceso y si el usuario lo desea puede tener cintas reflectoras o luces intermitentes que adviertan la presencia de los trabajadores, a continuación se presenta la Figura 13 en la cual se puede apreciar el diseño de la canastilla de trabajo.

Figura 13. Canastilla de trabajo de la Grúa de Desplazamiento en Terrazas para Fachadas



Fuente: Autores

En la Figura13 podemos observar que la canastilla esta provista de un sistema de elevación y descenso mecánico conocido como Winche manual, el cual es muy utilizado en elevación de andamios convencionales y que han mostrado una buena eficiencia, pero si el usuario lo desea, se puede adaptar a un Winche eléctrico, pero su costo es mayor y existe el riesgo de quedar suspendida la grúa en caso de alguna falla eléctrica, son ventajas y desventajas que deberán ser analizadas por el usuario a la hora de adquirir la grúa, también se debe analizar el calibre del cable de acero que se utilizara, esto depende de la distancia de descenso que realice la canastilla de trabajo.

## **5. COMPONENTES DE LAS GRÚAS**

En este capítulo se explicaran con detalles cada uno de los componentes de los sistemas de seguridad personal que deberán acompañar a cada una de las grúas presentadas en el proyecto, cada uno de estos componentes estará descrito y manteniendo una constante de cumplimiento de las normas y leyes que cobijaran cada uno de estos elementos los cuales serán tratados en el Capítulo 7 con el rigor del caso, brevemente se mencionaran los componentes a intervenir en las grúas:

- Anclajes
- Líneas de Vida
- Ganchos y Mosquetones
- Eslingas
- Arnés
- Señalización

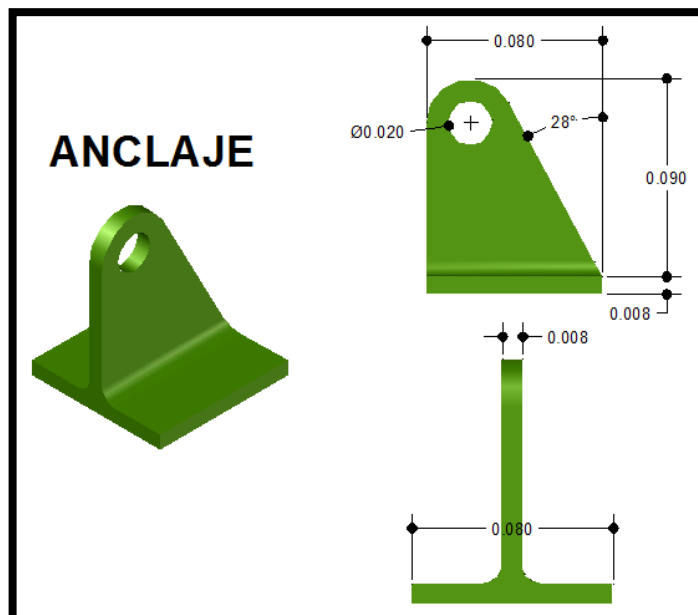
Ahora daremos una explicación más detallada de cada uno de los componentes mencionados y su importancia en las grúas.

### **5.1 ANCLAJES**

Es el componente que une el sistema de seguridad personal con la grúa, y que genera el primer frente de acción de la grúa ante la carga generada por la caída de la persona, en el mercado hay muchos tipos de anclajes para diferentes tipos

de actividades, en nuestras grúas utilizaremos un tipo de anclaje que pueda soportar más de las 22.24 KN de carga, el anclaje será soldado a la estructura cumpliendo las características de resistencia adecuadas para su aprobación, a continuación presentamos en la Figura 14 el diseño del anclaje a utilizar en las grúas.

Figura 14. Diseño del Anclaje

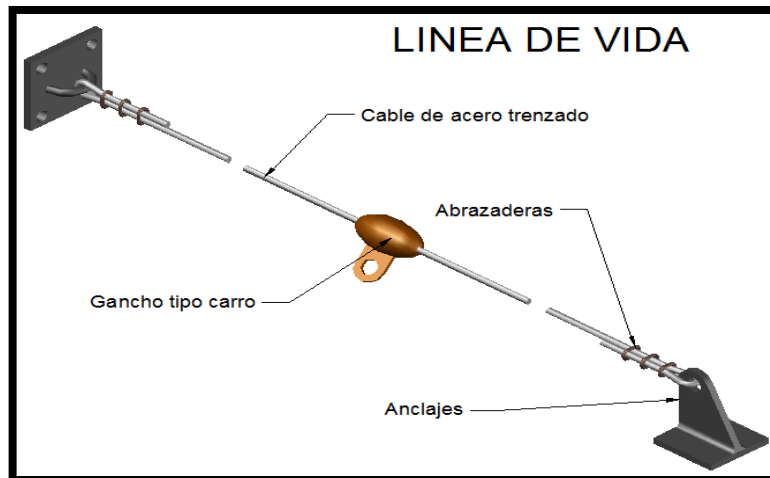


Fuente: Autores

## 5.2 LÍNEAS DE VIDA

Por líneas de vida entendemos aquel dispositivo de anclaje que podemos encontrar en lugares con riesgo de caídas de altura, teniendo por finalidad permitir a un usuario, equipado de un arnés anticaídas y un equipo de protección, en nuestra grúa por desplazamiento en torre la línea de vida va a lo largo del brazo de la grúa y se solicita al usuario permanecer siempre conectado a ella, esto posibilitar las labores de acceso y posicionamiento para trabajos de mantenimiento en dichos lugares de trabajo, se puede apreciar en la Figura 15 las partes de una línea de vida adecuada para la Grúa No 2.

Figura 15. Línea de Vida



Fuente: Autores

La línea de vida está compuesta de un cable de acero trenzado de alta resistencia y con un Diámetro mínimo de 8mm como se estipula en la Resolución 1409 del 2012, este cable pasa por el anclaje y se ajusta por medio de pequeñas abrazaderas, con el objetivo que adquirir el mayor ajuste y capacidad del cable, este cable es tensado lo suficiente para evitar el efecto de látigo al momento de la caída, el cable debe cumplir con los estándares de seguridad de las normas ANZI Z359, en la OSHA 29 CFR 1926 – subparte M y en la Resolución 1409 del 2012.

### 5.3 GANCHOS Y MOSQUETONES

Es la pieza de conexión entre el anclaje y el sistema de seguridad personal, el gancho es una elemento metálico, comúnmente en acero inoxidable y es muy utilizado en levantamiento de carga, el problema de los ganchos es la abertura que poseen para encajar con el anclaje o línea de vida, para ello se creó un nuevo tipo de gancho el cual posee un pistilo retráctil, su función es el de cerrar la abertura y elimina la posibilidad del desganche a este tipo de ganchos se les conoce como mosquetón y en la actualidad hay mucho tipos de diseños, en la figura 16 se muestra un mosquetón común.

Figura 16. Mosquetón Industrial con pistilo de cierre



Fuente: <http://www.directindustry.es>

El mosquetón debe ser de tipo industrial y no tener un cierre del pistilo en rosca, esto debido a que en casos de caídas donde se utiliza el mosquetón con rosca de pistilo genera demora y dificulta el rescate, es claro entender que la persona suspendida en el aire luego de una caída solo deberá hacer dos acciones de liberación, ante esto el mosquetón a utilizar es de cierre automático de pistilo.

#### **5.4 ESLINGAS**

La eslinga es una extensión del sistema de seguridad personal contra caídas (ver Figura 17), puede ser en cable de acero o correas de compuestos químicos de alta resistencia, esta eslinga debe medir más de 1,2 m de longitud y se recomienda utilizar en las grúas una eslinga con absorbedor de choque, el cual reduzca rápidamente la aceleración de la caída y a su vez disminuye la fuerza aplicada a la grúa.

Figura 17. Eslinga Doble tubular con absorbedor de choque



Fuente: Catalogo de accesorios SERIPACAR S.A.

En la gráfica se muestra una eslinga doble tubular y es muy común en este tipo de trabajo ya que en caso de fallar una eslinga las probabilidades de que falle la segunda eslinga son muy escasas debido a pérdida de energía que logra la primera eslinga; la eslinga debe ser remplazada luego de ser sometida a una caída o al haber sufrido algún tipo de corte, con la precaución de evitar una tragedia a la inminente falla de la eslinga deteriorada.

El elemento de absorción de energía (en el caso más general se trata de dos cintas textiles imbricadas o cosidas constituyendo una única pieza que se presenta plegada sobre sí misma y enfundada en un material plástico). La disipación de energía se consigue mediante la rotura de los hilos. La longitud total del referido conjunto no es superior a 1.5 m, incluyendo los conectores situados en cada extremo (ver figura 17).

## 5.5 ARNÉS

Es un dispositivo de prensión del cuerpo formado por bandas textiles situadas sobre los hombros y en la región pelviana de forma que permitan sostener el cuerpo durante la caída y después de producirse ésta (ver figura 18).

Figura 18. Arnés Industrial para dama y caballero



Fuente: Catálogo de Productos ARSEG

Las correas textiles están dispuestas de forma que los esfuerzos generados durante la parada de la caída se apliquen sobre las zonas del cuerpo que presentan resistencia suficiente y que, una vez que el efecto de caída ha cesado, el cuerpo quede con la cabeza hacia arriba y un ángulo de inclinación máximo de 50° respecto de la vertical.

Las bandas textiles pueden estar fabricadas de poliamida, poliéster o cualquier otro material adecuado para el uso previsto. La unión de las bandas textiles entre sí o con otros elementos constituyentes del arnés anticaídas se efectúa mediante costuras cuyos hilos tienen un color o tono que contrasta con el de las bandas textiles. Esta cualidad de los hilos de las costuras facilita la revisión visual de su estado.

En la Figura 19 se muestra un ejemplo de la posición adecuada del arnés.

Figura 19. Buen uso del arnés de seguridad



Fuente: Guías de Seguridad en Alturas del Instructor del SENA – Carlos Upegui

El arnés debe colocarse y ajustarse correctamente sobre el cuerpo, su colocación requiere que el usuario sea previamente adiestrado. Su fijación se consigue mediante unos elementos de ajuste y cierre diseñados de forma que las bandas del arnés no se aflojen por sí solas. Para su ajuste correcto, las bandas no deben quedar ni demasiado sueltas ni demasiado apretadas.

## 5.6 SEÑALIZACIÓN

Como todo equipo de trabajo, las grúas no pueden ser la excepción ante la implementación de señalización adecuada, las grúas deberán mostrar la capacidad de carga a soportar y el número de personas que pueden trabajar en ellas, también características de la grúa, como datos de fabricante, con anterioridad se comentó en la información de líneas de emergencia locales y citas reflectoras adheridas a la estructura las cuales puedan mostrar su ubicación en lugares de poca iluminación, mostraremos unos ejemplos de señalizaciones y modos de reflexión así que la implementación de luces intermitentes que alerten de la presencia de la grúa.

Figura 20. Señales de seguridad industrial



Fuente: <http://www.seguridadyservicios.com>

En la Figura 20 cada una de las señalizaciones aquí mostradas deberán estar ubicadas en lugares visibles de la grúa y zona de trabajo, y cumplir con los estándares de seguridad y calidad, por ultimo mantener un adecuado cuidado de la señalización con el objetivo de mantener al trabajador seguro y libre de todo riesgo.

## **6. NORMATIVAS Y LEYES**

En el presente documento se busca como ya se ha mencionado anteriormente diseñar tres tipos de grúas anticaídas, basándose en las reglamentaciones y normatividad, tanto nacional como internacional; cumpliendo cabalmente con todos los reglamentos de calidad y seguridad. Por ello a continuación se encuentran los reglamentos y normas tanto a nivel nacional, los condicionados por el Ministerio de Protección Social y las entidades paralelas a este; por la Ley OSHA y por la norma ANZI Z359. En cada uno de ellos se mencionan los aspectos pertinentes al trabajo en altura y lo que este conlleva tanto para los empleadores como para los empleados y las condiciones óptimas que se requieren para poder cumplir con este tipo de labores en el área de la construcción.

### **6.1 ANZI Z359**

- “Requisitos de Seguridad de la Norma Norteamericana para Sistemas Personales, Subsistemas y Componentes de Protección contra Caídas”, publicada en el año de 1992 y modificada en 1999.
- Esta norma se creó con el propósito de regular los equipos que se estaban produciendo en el área de protección contra caídas empleados en el sector de la construcción y ocupaciones fuera de este. Incluía equipos como arneses, cuerdas de seguridad (incluidas las cuerdas de seguridad autorretráctiles), cuerdas salvavidas, amortiguadores de impacto, detenedores de caídas y componentes de equipo como conectores, cuerda, correas, hilo y casquillos.
- La norma incluye 5 subsecciones, las cuales tienen vigencia hasta el 15 de octubre de 2007.

## **6.1.1 ANSI Z359.0**

**6.1.1.1 Definiciones y Nomenclatura Empleada en la Protección contra Caídas y Detención de Caídas.** Esta subsección proporciona terminología y definiciones estandarizadas, con el fin de facilitar el acceso y la consulta a la norma.

## **6.1.2 ANSI Z359.1**

**6.1.2.1 Requisitos de Seguridad para los Sistemas Personales, Subsistemas y Componentes para Detención de Caídas.** En esta sección tenemos alrededor de seis nuevos cambios significativos relacionados con la resistencia de los ganchos de resorte, arneses con anillos “D” frontales, cuerdas de seguridad de dos perneras, anclajes; entre otros.

El primero de ellos hace referencia, a como decíamos anteriormente la resistencia del linguete de los ganchos de resorte y de los mosquetones. Las cargas de tracción que los ganchos de resorte y los mosquetones deben resistir 22.2 kN (5000 lb). Por otro lado, ahora El requisito de resistencia de la cara del linguete pasó de 1 kN (220 lb.) (Norma antigua) a 16 kN (3,600 lb.) (Norma nueva). Otro cambio se presentó en la resistencia del costado del linguete, donde antes era de 1.55 Kn (350 lb.) (Norma antigua) y actualmente es de 16 kN (3,600 lb.) (Norma nueva). En cuanto a la resistencia del eje menor de ganchos de resorte no cautivos o mosquetones hay un nuevo aditamento en la norma y es que esa resistencia debe ser 16 kN (3,600 lb.).

Otro de los cambios en las secciones, está relacionado con la añadidura de requisitos y marcas para los arneses con un mecanismo de unión denominado “anillo D frontal”, Sección. Este anillo, solía usarse únicamente para subir escaleras, ahora se puede usar el “anillo D” no solo en la situación anteriormente

mencionada, sino también en sistemas de detención de caída, lo cual se indica en la sección 3.2.2.5a<sup>1</sup>.

La añadidura de las cuerdas de seguridad de dos perneras, también hace parte de los cambios generados en esta sección de la norma. Estas cuerdas de seguridad con dos perneras conectadas deben, según la norma, tener una resistencia de 22.2 kN (5000 lb). Para que el uso de estas cuerdas de seguridad sea óptimo se deben tener en cuenta una serie de advertencias. La primera de ellas es conectar sólo el gancho de resorte central al elemento de unión para detención de caídas. Seguido a esto no hay que modificar la cuerda de seguridad para permitir una caída libre superior a 1.8 metros (6 pies). Recuerde no permitir que las perneras de una cuerda de seguridad le pasen bajo los brazos, en medio de las piernas o alrededor del cuello.

Existe otro aspecto en la sección 7.2, que estuvo sujeto a modificaciones; en lo que respecta a aparejamiento y uso del equipo, los anclajes usados en los sistemas personales de detención de caídas deben ser capaces de soportar cargas estáticas en la dirección permitida por dichos sistemas

- *“(a) dos veces la fuerza de detención máxima permitida por el sistema cuando hay certificación.*
- *(b) o 22.2 kN (5,000 lb.) cuando no hay certificación. La norma antigua requería 16 kN (3,600 lb.) sin certificación.”<sup>2</sup>*

Existe también una nueva norma de marcar los conectores que se han actualizado, es decir los ganchos de resorte y mosquetones. Cada uno de estos

---

<sup>1</sup> El sistema de detención de caídas limita la distancia máxima de caída libre a 0.6 metros, asimismo limita la fuerza de detención máxima a 4.0 kN (900 lb).

<sup>2</sup> Sperian, Miller. “Interpretación de la nueva norma ANSI Z359-2007”

elementos debe venir con el respectivo año de fabricación, información del fabricante, Numero de pieza, debe estar indicada la carga nominal del eje mayor en el dispositivo, a su vez la carga nominal del linguete debe estar arcada permanente mente en el mecanismo de dicho linguete y cada conector debe tener una marca que permita identificarlos.

### **6.1.3 ANSI Z359.2-2007**

**6.1.3.1 Requisitos Mínimos para un Programa Administrado Completo de Protección contra Caídas.** Este subsección de la norma invita a emplear un programa formal de protección contra caídas, en organizaciones donde los empleados están altamente expuestos a sufrir caídas. El programa incluye los siguientes puntos<sup>3</sup>:

- Normas, obligaciones y capacitación
- Procedimientos de protección contra caídas
- Eliminación y control de los peligros de caídas
- Procedimientos de rescate
- Investigación de incidentes
- Evaluación de la eficacia del programa

Elaborar e implementar ese programa contra caídas que se propone en esta subsección de la norma permite eliminar los peligros de caídas mediante

---

<sup>3</sup> Puntos tomados del documento "Interpretación de la nueva norma ANSI Z359-2007". Pg 6.

planificación, capacitar al personal expuesto a los riesgos de caída, instalar sistemas y procedimientos contra caída y de rescate. Cada uno de los procedimientos a seguir debe estar a cargo de personas calificadas y competentes.

Dentro de esta sección existen subsecciones que tratan el tema con mayor profundidad, como por ejemplo la subsección 5.1, donde se habla de los métodos y de la jerarquía de estos a la hora eliminar los potenciales riesgos de caídas. Para empezar existe unas medidas de protección contra caídas pasiva, a cual consiste en aislar el peligro de los trabajadores y operarios. De la misma manera deben tomarse medidas restrictivas que tengan como fin de evitar que las personas estén en contacto con áreas de alta peligrosidad (riesgo de caída). El siguiente elemento de esta jerarquía es el referente a detención de caídas, consiste en unir a una persona a un sistema diseñado para detener dicha caída una vez esta se halla presentado. Debe existir también un control administrativo, en cual le advierte a las personas que eviten acercarse a lugares con alto riesgo de caída.

La norma brinda una serie de requisitos para sistemas de anclaje certificados y no certificados.

Tabla 5. Requisitos de carga estática

	Requisitos de carga estática	
	No certificado	Certificado
Sistemas de detención de caídas	<b>22.2 kN (5,000 lb.)</b>	<b>2 X fuerza de detención máxima</b>
Sistemas de posicionamiento en el trabajo	13.3 kN (3,000 lb.)	2 X fuerza prevista
Sistemas de restricción y desplazamiento	4.5 kN (1,000 lb.)	2 X fuerza prevista
Sistemas de rescate	13.3 kN (3,000 lb.)	5 X carga aplicada

	Requisitos de carga estática	
	No certificado	Certificado
Sistemas de detención de caídas	<b>22.2 kN (5,000 lb.)</b>	<b>2 X fuerza de detención máxima</b>
Cuerdas salvavidas horizontales	Debe soportar por lo menos dos veces la tensión máxima desarrollada en la cuerda salvavidas durante la detención de la caída en la dirección aplicada por las fuerzas en dicha cuerda <sup>4</sup>	

Fuente: ANZI Z359\_2007

La norma resalta la importancia de llevar a cabo un mantenimiento adecuado a todos los equipos y de manera periódica, según lo demanden los fabricantes de estos. Dicho mantenimiento debe ser realizado por personal idóneo.

#### 6.1.4 ANSI Z359.3-2007

**6.1.4.1 Requisitos de Seguridad para Sistemas de Posicionamiento y Restricción de Desplazamiento.** En esta subsección la norma aborda el tema planificación y elaboración de sistemas que restrinjan el desplazamiento del trabajador en ciertas áreas. Son sistemas que tienen como prioridad prevenir las caídas. Por su parte los sistemas de posicionamiento permiten que el personal estando en superficies elevadas vertical o inclinado, puedan trabajar con ambas manos libres<sup>5</sup>.

Por otro lado las cuerdas de seguridad deben estar elaboradas en un material sintético virgen y poseer resistencia mecánica y resistencia al desgaste, a la abrasión y al calor. Si en lugar de cuerda se usa cadena, esta debe ser de alineación de grado 80 cuyo diámetro nominal tendrá que ser de 7.1mm es decir

<sup>4</sup> Información tomada del documento, Spirian. "Interpretación de la nueva norma ANSI Z359\_2007". Pág. 8. Ed, MILLER

<sup>5</sup> "Los sistemas de restricción de desplazamiento limitan éste de tal manera que el usuario no quede expuesto a un peligro de caída. Los sistemas de restricción de desplazamiento se permiten sólo en superficies en las cuales se camina o trabaja, con una pendiente entre 0 y 18.4 grados." Spirian. "Interpretación de la nueva norma ANSI Z359\_2007". Pág. 9. Ed, MILLER

9/32 pulgadas. Igualmente las cuerdas de seguridad y arneses empleados en los sistemas de posicionamiento deben tener una resistencia mínima a la rotura de 22.2 kN (5,000 lb.). Tanto hebillas como ajustadores deben resistir una fuerza de tracción de 17.8 kN (4,000 lb.), en cuanto a los anillos “D”, los anillos redondos y los anillos ovalados han de tolerar una fuerza de tracción de 22.2 kN (5,000 lb.). Todos los ganchos de resorte, mosquetones y arneses deben cumplir los requisitos especificados en la norma ANSI Z359.1-2007.

#### **6.1.5 ANSI Z359.4-2007**

**6.1.5.1 Requisitos de Seguridad para Sistemas, Subsistemas y Componentes para Rescate Asistido y Autorrescate.** En este apartado se busca que cada uno de los mecanismos usados en los sistemas de rescate cumplan con requisitos, que van desde su desempeño óptimo, marcación correcta, clasificación, instrucciones de uso, capacitación al operario, mantenimiento, etc. Estos mecanismos están compuestos de arneses, cuerdas de seguridad, conectores de anclaje, cabrestantes, dispositivos de control de descenso, cuerdas salvavidas autor retráctiles con capacidad de recogida integrada y poliplastos de cuerda.

Los elementos utilizados en los sistemas de rescate deben tener una capacidad de 59 kg (130 lb.) a 140 kg (310 lb.) para sistemas de una (1) persona y de 59 kg (130 lb.) a 620 lb (280 kg) para sistemas de (2) personas.

Las cuerdas de seguridad para rescate, los conectores de anclaje y las cuerdas de seguridad autor retráctiles con capacidad para rescate (CSAR) deben cumplir los requisitos de la norma ANSI Z359.1-2007; más detalladamente los requisitos para las CSAR. Tal como: Capacidad de activarse en modo de rescate en cualquier momento y no cambiar accidentalmente a modo de rescate, o de éste a otro, poseer una ventaja mecánica mínima de 3:1, ser capaz de detenerse automáticamente y sostener la carga si el rescatador en algún momento pierde el

control, debe tener un medio de estabilizar el dispositivo durante su uso en modo de rescate y hay que tener en cuenta que los dispositivos que utilizan una fuente de motorización deben tener un medio de limitar la fuerza y velocidad de elevación aplicadas, y de proveer un medio alternativo de funcionamiento manual.

Los polipastos de cuerda sintética definidos como “dispositivo de ascenso y/o descenso deben también cumplir con unos requisitos dictados en la norma, estos son: uno, que la cuerda debe estar hecha de material sintético capaz de tener una resistencia mecánica y de resistencia al desgaste, abrasión y calor iguales o superiores a las de las poliamidas y una resistencia mínima a la rotura de 20 kN (4,500 lb.), deben contar con un medio de frenado secundario para prevenir un descenso incontrolable de la carga y una ventaja mecánica mínima de 3:1. En lo que a dispositivos de descenso se refiere los requisitos piden que cuenten con una capacidad de 140 kg (310 lb.).

Los dispositivos para descenso se clasifican como dispositivos de un solo uso o de múltiples usos. Los dispositivos de un solo uso requieren de un nivel nominal de energía de descenso de 30,000 lb/pie, el cual debe ser de 300,000 lb/pie en el caso de los de múltiples usos. Por su parte en lo que respecta a la velocidad de descenso de los dispositivos de descenso con control automático debe ser 2.1 m/seg (6.6 pie/segundo) como máximo, y 5.3 m/seg (1.6 pie/segundo) como mínimo y la velocidad de los dispositivos manuales no debe ser superior a 2.1 m/seg (6.6 pie/segundo). La velocidad de los dispositivos manejados manualmente no debe ser superior a 2.1 m/seg (6.6 pie/segundo) luego de soltarse el mecanismo de control. Estos dispositivos deben tener una capacidad de carga estática de 12 kN (2,700 lb.). Así como ya se ha repetido anteriormente la cuerda y el tejido deben estar hechos de material sintético virgen y tener características de resistencia mecánica y de resistencia al desgaste, etc. En cuanto a la cuerda de alambre, esta debe ser de acero inoxidable o de hebra de acero galvanizado con una resistencia mínima a la rotura de 13.3 kN (3,000 lb.).

Los ganchos de resorte y los mosquetones deben cumplir los requisitos de la norma ANSI Z359.1-2007.

Los requisitos correspondientes a los izadores personales son: una capacidad de 140 kg (310 lb.) cuando son para ascender y descender una persona, o 280 kg (620 lb.) si son para dos personas. Cada dispositivo debe estar identificado con el número de personas para el que está diseñado. Por su parte el izador debe poder ser manejado por una persona y debe detenerse automáticamente y sostener la carga si el operador pierde el control en el momento de su labor. En cuanto a los izadores con motorización han de tener un medio que limite la Fuerza y la velocidad de elevación aplicadas. Deben soportar una carga estática de 13.8 kN (3,100 lb.) aplicada directamente al punto donde la cuerda izadora está unida al tambor. Los izadores deben estar equipados de un sistema de freno secundario que se active si se inhabilita el freno principal. Este freno debe detener la carga antes de que ésta se desplace 61 cm (24"). Los ganchos de resorte y los mosquetones deben cumplir la norma ANSI Z359.1-2007.

## **6.2 ESTÁNDARES DE CONSTRUCCIÓN DE LA LEY OSHA 29 CFR 1926 – SUBPARTE M**

Acerca de la Ley OSHA, podemos decir La Ley de Seguridad y Salud Ocupacional (Ley OSHA) fue promulgada por el Congreso de los Estados Unidos en el 1971, con el fin de que la secretaria de trabajo adoptara unas normas federales, incluyendo la Ley de Seguridad en la Construcción, acompañada de normas de seguridad y salud ocupacional<sup>6</sup>. Dentro de esta ley se hará mención de los

---

<sup>6</sup> “La OSHA o Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (Occupational Safety and Health Administration - OSHA), entró oficialmente en vigor en EEUU, el 28 de abril de 1971. En la actualidad establece e impone normas protectivas en todo el país del norte y alcanza a empleadores y trabajadores mediante asistencia técnica y programas de asesoría. Es reconocida y consultada a nivel internacional dada la seriedad con que dicta Normas sobre la Prevención de Riesgos del Trabajo” Rostagno, Hugo Francisco. Web site: <http://www.empresalud.com.ar/nota/que-es-la-osha-como-funciona-para-que-sirve>

aspectos que competen al presente documento, es decir principalmente a los relacionados con sistemas de arresto por caídas personales; el cual habla de los sistemas personales, conectores, eslingas, parámetros, etc.; y lo pertinente a sistemas de dispositivos.

**6.2.1 Sistemas personales de detención de caídas<sup>7</sup>.** Uno de los cambios que se ha presentado en los componentes de esta ley, es que OSHA ha descontinuado, y luego prohibido, el uso de correas para el cuerpo como mecanismo de los sistemas personales de detención de caídas.

Precursores de las modificaciones en la Ley argumentaron: *“La restricción en las fuerzas para los sistemas de correas para el cuerpo y arneses pecho-cintura se basa en nuestra seria preocupación por la adecuación de los soportes para el cuerpo diferentes del arnés de cuerpo completo con soporte sub-pélvico (nalgas), así como otras consideraciones de diseño. Hay un cuerpo de evidencia creciente que señala riesgos relacionados con el uso de soportes para el cuerpo diferentes de un arnés para el cuerpo completo que sea apropiado.”<sup>8</sup>*

Actualmente, muchos empleadores se han acogido a la ley OSHA y aprueban solo el uso de arneses para el cuerpo, por haber reconocido que las correas generan limitaciones para el cuerpo. No obstante los trabajadores han incrementado su aceptación hacia los arneses para el cuerpo.

Pasando de las correas, a los antes llamados accesorios y ahora definidos como conectores, según las modificaciones de la ley, deben ser de acero troquelado, prensado o moldeado, o que materiales equivalentes. Estos elementos deben ser resistentes a la corrosión, y tener todas las superficies y bordes lisos para evitar daño a partes interconectadas del sistema.

---

<sup>7</sup> Dentro de la distribución de la ley, este apartado se encuentra en la sección M.

<sup>8</sup> DEPARTAMENTO DEL TRABAJO, Administración de Seguridad y Salud en el Trabajo. “NORMAS DE SEGURIDAD PARA PROTECCIÓN CONTRA CAÍDAS”. Pag 86.

Los aros en forma D, junto con los ganchos con resorte, también fueron sujetos a modificaciones. Se requiere que tengan una resistencia a la ruptura de 5,000 libras (22.2 kN). Al mismo tiempo se estipula que los aros en forma D y los ganchos con resorte se sometan a una prueba de comprobación al 100 por ciento con una carga de tracción mínima de 3,600 libras (16 kN) sin rajarse, romperse o deformarse permanentemente. Igualmente se requiere que los patronos, o usen ganchos con resorte de un tamaño que sea compatible con las partes a las que se conecta, o usen ganchos con resorte tipo cierre que hayan sido fabricados con el fin de evitar que se suelten. Se considera que un gancho es compatible en tamaño cuando el diámetro del aro en forma D al cual está fijado el gancho con resorte es mayor que el largo interior del gancho con resorte medido desde la parte inferior (extremo abisagrado) del pasador del gancho con resorte hacia la curva interior de la parte superior del gancho con resorte, de tal manera que no importa en qué posición se mueva (ruede) o quede fijo el aro en forma D con el gancho con resorte fijado a él, el aro en forma D no pueda tocar la parte de afuera del pasador, y presionarlo y abrirlo. Lo que se busca es evitar que el gancho con resorte se suelte (gire hacia afuera) imprevistamente. Esta práctica prohíbe también el uso de ganchos con resorte que no son tipo cierre después del 31 de diciembre de 1997.

Los ganchos fueron sometidos a varios estudios y normatividades, la ley limita el uso de ganchos con resorte para determinadas conexiones a menos que el gancho con resorte sea del tipo cierre, creado para esas conexiones. En tales conexiones solo se usan ganchos con resorte y cierre elaborados para conectarse directamente a la trama, sogas o cables metálicos; a otros ganchos con resorte; a un aro en forma D que ya tenga otro gancho con resorte, u otro conector fijado; a una cuerda salvavidas horizontal; o a cualquier objeto que pudiera hacer presión sobre el pasador del gancho con resorte porque es de tamaño o dimensión incompatible en relación con el gancho con resorte.

En esta misma sección también se exalta la prohibición al enganche de ganchos con resorte a las tramas, a otros ganchos con resorte y a un aro en forma D con otro gancho con resorte fijado a él, respectivamente, basados en una de las principales preocupaciones de la agencia que es por los giros hacia la parte de afuera.

Otro elemento que se discute son las cuerdas salvavidas, según la ley se requiere un dispositivo usado para conectar a una cuerda salvavidas horizontal que puede convertirse en una cuerda salvavidas vertical para poder cerrar en ambas direcciones en la cuerda salvavidas. Esta disposición se aplica sólo cuando las cuerdas salvavidas horizontales se usan en andamios suspendidos o plataformas de trabajo similares, y la cuerda salvavidas horizontal pudiera convertirse en una cuerda salvavidas vertical si el andamio o la plataforma fueran a caerse. Por su parte las cuerdas salvavidas horizontales requieren que se diseñen, instalen y usen, bajo la supervisión de una persona calificada, como parte de un sistema personal de detención de caídas completo que mantiene un factor de seguridad de por lo menos dos. En cuanto a las cuerdas salvavidas verticales se requiere que tengan una resistencia mínima a la ruptura de 5,000 libras (22.2kN). Esta disposición es esencialmente la misma que las dos disposiciones propuestas separadas, excepto que las disposiciones finales usan el término "resistencia a la ruptura" en lugar del término "resistencia a la tracción" usado en las disposiciones propuestas. las cuerdas salvavidas tienen que estar protegidas contra cortes y desgastes por rozamiento. Cuando las cuerdas estén completamente extendidas, las cuerdas salvavidas y cuerdas de seguridad de auto-retracción que limitan automáticamente la distancia de caída libre a 2 pies o menos, sean capaces de sostener una carga de tracción mínima de 3,000 libras (13.3 kN).

La ley prohíbe que haya más de un empleado fijado a cualquier cuerda salvavidas, exceptuando una situación donde se encuentren dos empleados enganchados a la misma cuerda salvavidas durante la construcción de ascensores, siempre que los

empleados estén trabajando encima de una carro provisional que esté equipada con barandas y que la resistencia a la ruptura de la cuerda salvavidas se haya aumentado a 10,000 libras [5,000 libras por trabajador enganchado].

Se requiere que las sogas y correas usadas en las cuerdas de seguridad, cuerdas salvavidas y componentes de resistencia de las correas para el cuerpo y los arneses para el cuerpo no estén hechos de fibras naturales.

Pasando a otro elemento, la ley requiere que los anclajes usados para fijar el equipo personal de detención de caídas sean capaces de soportar por lo menos 5,000 libras (22.2 kN) por empleado enganchado al anclaje, y se diseñen, instalen y usen bajo la supervisión de una persona calificada y como parte de un sistema personal de detención de caídas completo que mantenga un factor de seguridad de por lo menos dos. Igualmente la ley demanda que los sistemas personales de detención de caídas se monten de tal forma que un empleado no pueda ni caer libremente más de seis pies ni hacer contacto con un nivel inferior.

El sistema personal de detención de caídas debe tener la resistencia suficiente para soportar el doble de la energía de impacto potencial de un empleado que cae libremente una distancia de 6 pies, o la distancia de caída libre permitida por el sistema, cualquiera que sea menor. Los sistemas personales de detención de caídas deben usarse de modo que el punto de fijación para las correas para el cuerpo esté localizado en el centro de la espalda del usuario, y que el punto de fijación para los arneses para el cuerpo esté localizado, o bien en el centro de la espalda del usuario, cerca del nivel del hombro, o bien por encima de la cabeza del usuario. Es vital inspeccionar los sistemas personales de detención de caídas cada vez antes de usarse, en cuanto a daños y deterioro, y remover del servicio los componentes defectuosos.

Volviendo al tema del manejo de las correas, se requiere que las para el cuerpo tengan por lo menos un pulgada y cinco octavos (15/8) (4.1 cm) de ancho.

**6.2.2 Sistemas de dispositivos posicionadores.** Según OSHA 29 CFR 1926 – subparte M existen unos criterios de ejecución mínimos para los "dispositivos posicionadores", que son sistemas similares a los sistemas personales de detención de caídas; estos pueden estar compuestos por muchos de los mismos componentes. Se diferencian en que los sistemas personales de detención de caídas se usan para detener caídas, mientras que los empleados usan los dispositivos posicionadores de modo que puedan mantener una posición reclinada sin usar sus manos mientras trabajan en superficies verticales. Es decir, estos dispositivos se pueden usar durante la colocación de barras de refuerzo en la cara vertical de una pared en construcción. El dispositivo posicionador lo que hace es permitir a los empleados cumplir con su trabajo, en estas condiciones sin tener que usar sus manos para mantener la posición.

La ley requiere que los sistemas de dispositivos posicionadores se ensamblen de modo que un trabajador no pueda caer libremente más de 2 pies. OSHA fijó esta distancia menor de la distancia de caída libre de 6 pies para los sistemas personales de detención de caídas porque las cuerdas de seguridad usadas con los dispositivos posicionadores usualmente no se estiran bajo la carga de impacto de la caída y los dispositivos de deceleración no se usan normalmente para reducir las fuerzas ejercidas durante una caída.

En el caso de los conectores, se requiere que sean de acero forjado, acero prensado o acero moldeado, o que estén hechos de materiales equivalentes. Al mismo tiempo que tengan un acabado resistente a la corrosión y que todas las superficies y los bordes sean lisos para evitar daños a las partes interconectadas de los sistemas. Estas son pautas similares a las de los sistemas de caídas. Por su parte se requiere que los aros en forma D y los ganchos con resorte se

sometan a pruebas de comprobación a una carga de tracción mínima de 3600 libras, sin rajarse, romperse o deformarse en forma permanente.

Además, la ley requiere que se inspeccione los sistemas de dispositivos posicionadores cada vez antes de usarse para ver si tienen daño o deterioro, y que se remueva del servicio los componentes defectuosos. Por último se requiere usar las correas y arneses para el cuerpo y los componentes sólo para la protección contra caídas del empleado o situarse en posición, y no para izar materiales.

**6.2.3 Reglamentación colombiano del trabajo seguro en alturas.** En Colombia el ente encargado de establecer una reglamentación y una normatividad a los riesgos profesionales es el Ministerio de Protección Social (MPS). El cual por medio de empresas administradoras del Sistema General de Riesgos Profesionales tienen su cargo la afiliación al sistema y la administración del mismo. El MPS mediante lo dispuesto en el artículo 70 del decreto-ley 1295 de 1994 creó el Concejo Nacional de Riesgos Profesionales, el cual tiene como principal objetivo recomendar las normas técnicas de salud ocupacional que regulan el control de los factores de riesgo. En el año 2001 el Concejo Nacional de Riesgos Profesionales en desarrollo de sus funciones por medio del acuerdo No 004 de 2001 crea la “Comisión para el desarrollo de las normas técnicas de la Salud de los Trabajadores” la cual acreditó las recomendaciones en cuanto a la reglamentación de trabajo seguro en altura.

En uso de sus funciones el MPS estableció mediante la resolución 003673 de 2008 el reglamento técnico de trabajo seguro en alturas. Estas normas tienen como objetivo preservar la integridad física de los trabajadores, evitar los accidentes laborales, también muestra la responsabilidad y obligación de los empleadores de garantizar el funcionamiento de un programa de salud ocupacional.

Dentro de dicha resolución, existen una serie de normas relacionadas con el tema tratado en presente trabajo. Este reglamento técnico cubre a todos los empleados, empresas contratistas, subcontratistas y trabajadores de todas las actividades que desarrollen trabajo en alturas con peligro de caídas. Por trabajo en altura se entiende, *“Toda labor o desplazamiento que se realice a 1,50 Mt o mas sobre un nivel inferior”*. Al mismo tiempo que se establece el reglamento técnico de “Trabajo Seguro en Alturas”, con el objetivo de señalar las disposiciones generales, obligaciones, requerimientos, capacitaciones, prevención y protección de caídas.

En este reglamento se aplican ciertas definiciones, como por ejemplo:

Tabla 6. Definiciones del reglamento\*<sup>9</sup>

<b>Absorbente de choque:</b>	<b>Equipo cuya función es disminuir las fuerzas de impacto en el cuerpo del trabajador o en los puntos de anclaje en el momento de una caída</b>
<b>Anclaje:</b>	Punto seguro al que se puede conectar un equipo personal de protección contra caídas con resistencia mínima de 5000 libras (2.272 Kg) por persona conectada.
<b>Arnés:</b>	Sistema de correas cosidas y debidamente aseguradas, incluye elementos para conectar equipos y asegurarse a un punto de anclaje; su diseño permite distribuir en varias partes del cuerpo el impacto generado durante una caída.

Fuente: Ley OSHA 29 CFR 1926 – subparte M

Dentro de las obligaciones de los empleadores que tengan trabajadores realizando tareas de trabajo de altura, estipulados en el artículo de la resolución mencionada anteriormente, se encuentran: Incluir en el programa de salud ocupacional dentro de sus procesos, implementar el Programa de Protección contra Caídas tal como lo dicta la resolución, cubrir todas las condiciones de riesgo existentes mediante medidas de control contra caídas de personas y objetos. Es vital garantizar que la

<sup>9</sup> Para información más detallada, respecto a la terminología usada en la resolución revisar el Anexo No 1.

estructura de anclaje utilizada tenga como mínimo una resistencia de 5000 libras (22.2 Kilonewtons – 2.272 Kg) por persona conectada, en la implementación de medidas colectivas e individuales de protección contra caídas de personas. El empleador debe contar con personal capacitado, competente y calificado para las actividades con trabajos en alturas.<sup>10</sup>

En el año 2009 mediante la resolución No 00736, el MPS modificó la definición de “Entrenador” de acuerdo a los requisitos establecidos por el Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Durante el mismo año el MPS y el SENA mediante la resolución 01938 remitieron los requisitos para ser entrenador de trabajo en alturas. Durante ese mismo periodo de tiempo el MPS junto con la dirección general de riesgos profesionales expide la circular 000070 de 2009, con el fin de pautar los procedimientos e instrucciones para trabajo en alturas ARP y certificación.

Para el 2010, el MPS emitió la resolución 0002291 donde se amplía el plazo establecido de tiempo del que dispone el empleador, empresa, contratista o subcontratista para acreditar la competencia laboral de su personal en trabajos en altura.

Entre tanto dentro de las obligaciones para los trabajadores que desempeñen trabajos en altura se incluyen, asistir a la capacitación de forma participativa y aprobar las evaluaciones de conocimiento y desempeño diseñadas por un equipo idóneo. Los empleados deben cumplir con los procedimientos exigidos por el empleador, es responsabilidad del trabajador mantener al tanto a los empleadores o contratistas de sus condiciones físicas y si estas por enfermedad o algún percance les generan restricciones en el desarrollo de sus funciones. Igualmente el empleador debe informar a sus superiores si existe algún tipo de

---

<sup>10</sup> Para conocer toda la resolución consulte el documento del Ministerio de Protección social “Resolución Trabajo en Alturas Numero 003673 de 2008 ( 26 de septiembre de 2008)

deterioro o daño en los sistemas de prevención y protección contra caídas. Cada uno de los trabajadores que desempeñen su labor en alturas, debe estar certificado con un permiso de trabajo en alturas y ser apto para tal labor.

Por otro lado en el artículo 5 de la resolución se abordan los requerimientos para los trabajadores; allí se estipula que el empleador debe asegurarse de diseñar los perfiles exigidos para la vinculación de trabajadores que sean competentes para trabajos en alturas, priorizando en aspectos de formación, experiencia, según los diversos peligros a los que estará expuesto en su respectivo trabajo y las impedimentos en las condiciones de salud para los mismos.

Además en el artículo 5 se señala que el empleador es el único responsable, con médicos idóneos de la evaluación de las condiciones de aptitud psicofísica de los empleados. Esta evaluación debe estar acorde a los criterios del programa de salud ocupacional y a los establecidos en la norma nacional vigente que reglamenta los exámenes médicos pre – ocupacionales, periódicos y de egreso. Estos exámenes médicos se hacen con el objetivo de determinar la aptitud del trabajador para desempeñar en forma eficiente su labor sin causar perjuicio a su salud o la de terceros comparando las demandas del oficio para el cual se desea contratar con sus capacidades físicas y mentales; establecer la existencia de restricciones que ameriten alguna condición sujeta a modificación, e identificar condiciones de salud que estando presentes en el trabajador, puedan entorpecer su trabajo. No sobra decir que está completamente restringido emplear menores de edad y mujeres en cualquier tiempo de gestación, para realizar trabajos en altura.

El capítulo III, artículos 6, 7 y 8 hablan acerca de las capacitaciones que deben brindarse a los empleados. Esta debe realizarse a dos tipos de población objeto: las personas que realizan labores de tipo administrativo (empleadores, jefes y supervisores) y a las personas que realizan labores operativas (trabajadores en

alturas, jefes y supervisores). La capacitación debe correr por cuenta del empleador se debe impartir al inicio de la vinculación de cada trabajador y repetirse por lo menos una vez al año. Cada capacitación tiene que emitir una certificación especial que acredite que el empleado es apto y competente para trabajar en alturas.

La capacitación se imparte a dos grupos, administrativos y operativos. El primero recibe capacitación en marco legal nacional e internacional de trabajo en alturas, dependiendo de la actividad económica, la responsabilidad civil y penal, también en lo que respecta al marco conceptual sobre prevención y protección contra caídas en trabajo en alturas, permisos de trabajo y procedimiento de rescate y medidas de prevención y protección contra caídas.

En cuanto a la capacitación que recibe el personal operativo se incluye, enseñanza acerca de los peligros de caída de personas y objetos en el área de trabajo y fomento del autocuidado de las personas. El marco legal nacional e internacional de trabajo en alturas, de acuerdo a la actividad económica, responsabilidad civil y penal, lo correspondiente a aspectos técnicos de la protección contra caídas, deben conocer las medidas de prevención, de protección contra caídas, los operarios tienen que conocer los procedimientos para manipular y almacenar equipos y materiales utilizados para trabajo en alturas, al mismo tiempo conocer los procedimientos para manipular y almacenar los elementos de protección personal y en caso de algún accidente deben estar capacitados para brindar primeros Auxilios, rescate y autorrescate.

La resolución que establece el reglamento técnico para trabajo seguro en alturas, las medidas de protección se clasifican en pasivas y activas. Dentro de las medidas Pasivas de Protección se encuentra: Red de Seguridad para la detención de caídas, las cuales deben estar libres de algún elemento, material o equipo en su interior, en el tiempo que dure la elaboración del trabajo. Así mismo, deben

tener un punto de acceso que permita la remoción de elementos o personas que allí caigan. Las redes deben ser inspeccionadas periódicamente comprobando su estado. En el caso de deterioro o impacto las redes deben ser cambiadas de manera inmediata.

Por otro lado las medidas activas de protección son Aquellas que involucran al trabajador, con la necesidad de que éste esté capacitado y entrenado. Las medidas activas de protección se constituyen en un sistema que demanda una configuración que involucran los siguientes componentes: punto de anclaje, mecanismos de anclaje, conectores, soporte corporal y plan de rescate.

Existen también ciertos elementos indispensables para la protección personal para trabajo en alturas que se retoman en el artículo 13, estos son: un casco con resistencia y absorción ante impactos, gafas de seguridad que protejan a los ojos de impactos, rayos UV, deslumbramiento, en caso de necesitarse protección auditiva, guantes antideslizantes, flexibles de alta resistencia a la abrasión, para la protección inferior botas antideslizante y ropa de trabajo, de acuerdo a los factores de riesgo y condiciones climáticas.

En el capítulo V se basa en los sistemas de acceso para trabajo en alturas. Los requerimientos para estos sistemas de acceso para trabajo en alturas son los andamios, las escaleras, los elevadores de personal, las grúas con canasta y todos aquellos medios cuya finalidad sea permitir el acceso y/o soporte de trabajadores a lugares para desarrollar trabajo en alturas. Los sistemas deben cumplir con las siguientes condiciones.

- Ser seleccionados de acuerdo a las necesidades específicas de la tarea a realizar junto con los factores de riesgos previsibles o no previsibles del área de trabajo.

- Ser compatibles entre sí, en tamaño, figura, materiales, forma, diámetro, junto con el aval de un empleado apto para ello.
- Garantizar la resistencia a las cargas con un factor de seguridad de mínimo 2 de acuerdo a la máxima fuerza a soportar y resistencia a la corrosión o desgaste por sustancias o elementos que deterioren la estructura del mismo.
- Inspeccionarse antes de su uso por parte del usuario y mínimo, una vez al año por alguien competente, acorde a las normas nacionales e internacionales vigentes. De no ser apto el sistema, este debe ser retirado y si lo amerita enviarse a mantenimiento certificado, de lo contrario debe eliminarse.
- Tener una hoja de vida en donde estén consignados los datos de: fecha de fabricación, tiempo de vida útil, historial de uso, registros de inspección, registros de mantenimiento, ficha técnica, certificación del fabricante y observaciones.

Para finalizar con la presente resolución se estipulan los siguientes requerimientos en el capítulo 6, una serie de disposiciones finales en lo que respecta a labores de rescate, trabajo en suspensión, vigilancia, control y sanciones y vigencia y derogatorias.

En labores de rescate el empleador debe contar con un plan de rescate escrito, practicado y certificado que garantice una respuesta organizada, para acceder, estabilizar, descender y trasladar a un servicio médico, al trabajador que haya sufrido una caída o haya sufrido una lesión o afección de salud en un sitio de alturas. Igualmente se garantizara la disponibilidad de equipos certificados para realizar la operación de rescate en el sitio de trabajo. En el lugar del accidente se debe contar con equipos para la atención de un paciente, que incluya como mínimo, botiquín con elementos para inmovilización, atención de heridas y

hemorragias y equipos para administrar reanimación cardio pulmonar (RCP). Sin olvidar el personal especializado en técnicas de rescate y estabilización básica.

Los trabajos en suspensión con duración mayor a cinco minutos deberán ser realizados manejando una silla para trabajos en alturas, que esté conectada a la argolla pectoral o a la dorsal del arnés y al sistema de descenso escogido. Además, el trabajador estará asegurado a una línea de vida vertical en cuerda, instalada con un anclaje independiente. En condiciones de trabajo en alturas, se autorizan solo equipos de comunicación manos libres siempre y cuando las condiciones de seguridad lo permitan.

## 7. MODELO ESTRUCTURAL

En este capítulo se describe paso a paso la elaboración del análisis estructural para cada una de las tres grúas propuestas, posteriormente se mostrará el proceso de diseño de las mismas, es importante señalar que el análisis estructural fue realizado en con ayuda del software SAP2000, la cual nos entregara los resultados necesarios para el buen funcionamiento de las grúas.

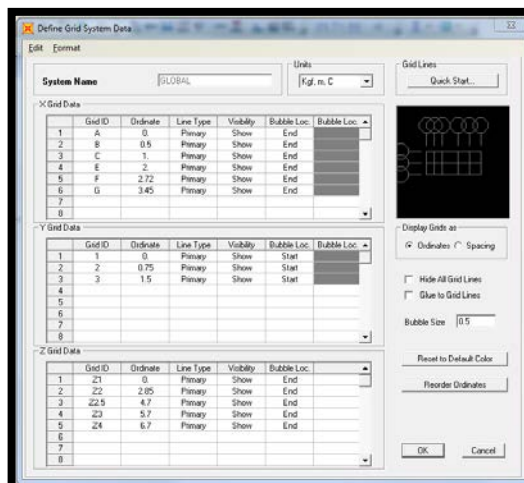
### 7.1. GEOMETRÍA DE LAS GRÚAS

Cada grúa posee una geometría muy distinta entre ellas, y es necesario mostrar los distintos datos que se introdujeron en el SAP2000 para el modelado de las estructuras.

**7.1.1. Geometría grúa móvil para descapote.** En el Anexo 1 se encuentran las dimensiones de cada una de las grúas aquí presentes, con lo cual dará una idea más clara del diseño de cada una de ellas y los datos que se presentan a continuación.

- **Definición de la grilla**

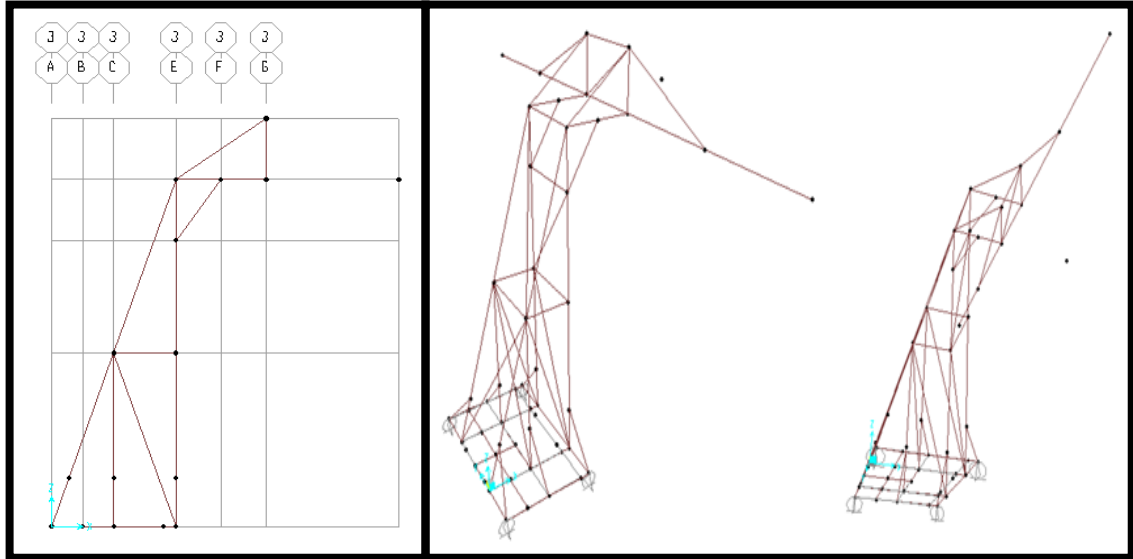
Figura 21. Grilla de la Grúa Móvil Para Descapote



Fuente: Autores

- **Vista en el plano X-Z**

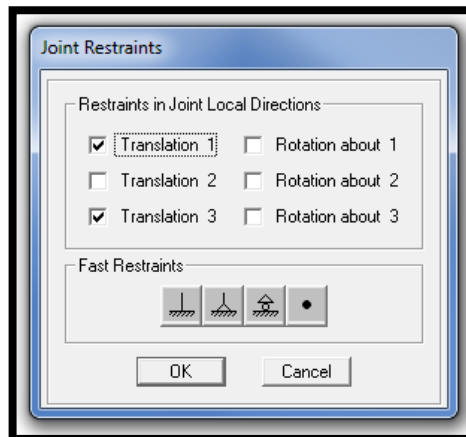
Figura 22. Vista en 2D y 3D de la Grúa N° 1



Fuente: Autores

- **Definición de apoyos.** Dada la condición de apoyo de la grúa, la cual está apoyada sobre ruedas para rieles como se observa en la sección 5.5. Podemos definir la condición de apoyos como se muestra en la figura x.

Figura 23. Definición de los apoyos de la Grúa N° 1

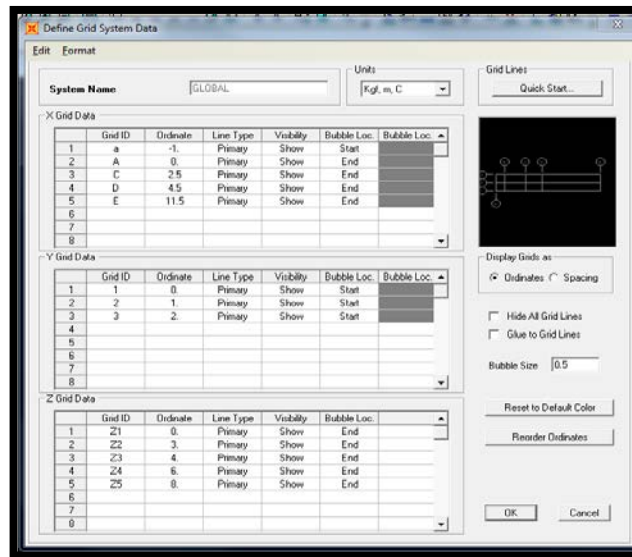


Fuente: Autores

## 7.1.2. Geometría grúa de desplazamiento en torre

- **Definición de la grilla**

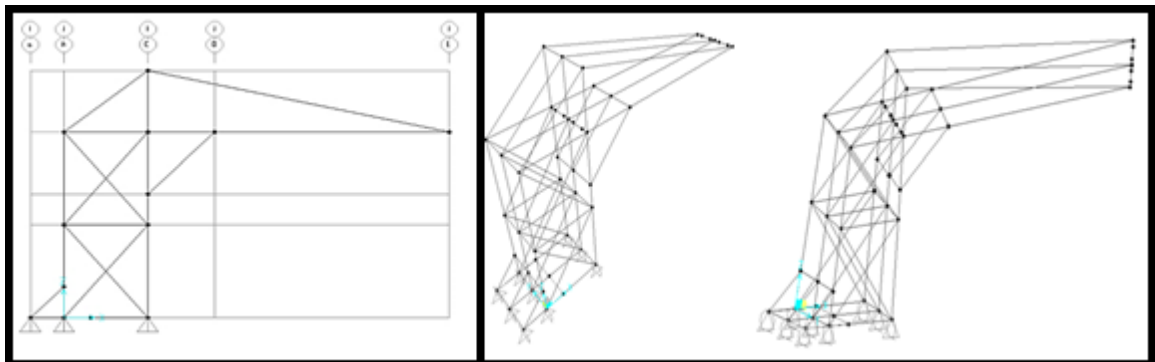
Figura 24. Grilla de la Grúa de Desplazamiento en torre



Fuente: Autores

- **Vista en el plano X-Z**

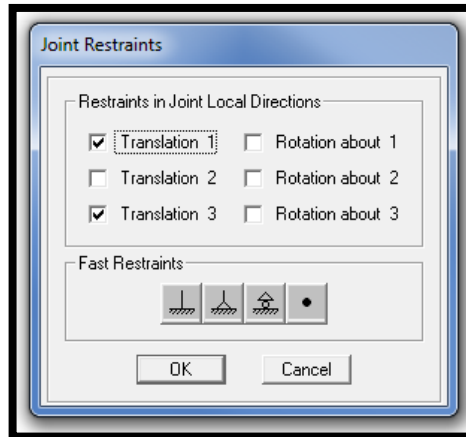
Figura 25. Vista en 2D de la Grúa N° 2



Fuente: Autores

- **Definición de apoyos.** Dada la condición de apoyo de la grúa, la cual está apoyada sobre ruedas para rieles como se observa en la sección 5.5. Podemos definir la condición de apoyos como se muestra en la figura x.

Figura 26. Definición de los apoyos de la Grúa N° 2

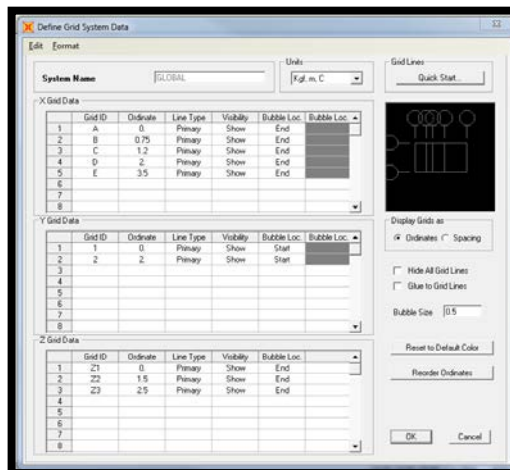


Fuente: Autores

### 7.1.3. Geometría grúa de desplazamiento en terrazas para fachadas

- **Definición de la grilla**

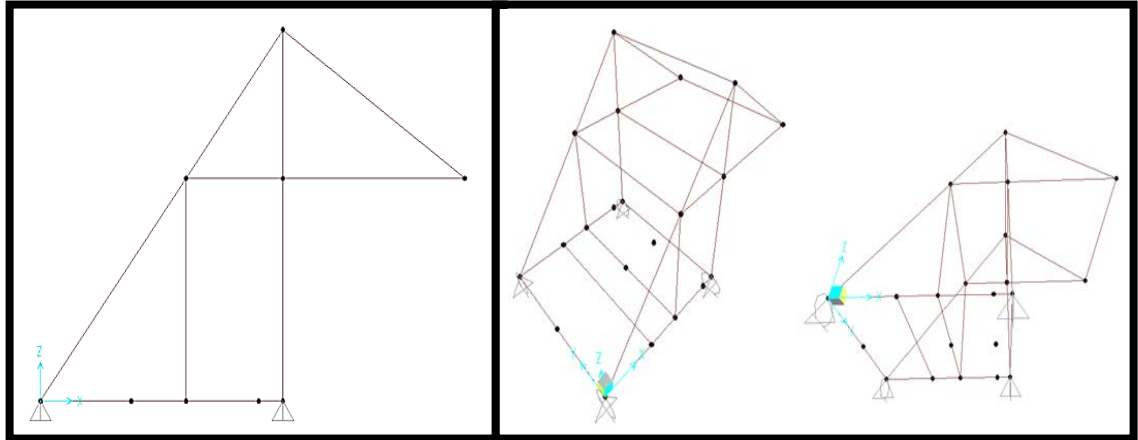
Figura 27. Grilla de la Grúa de Desplazamiento en terrazas para fachadas



Fuente: Autores

- **Vista en el plano X-Z**

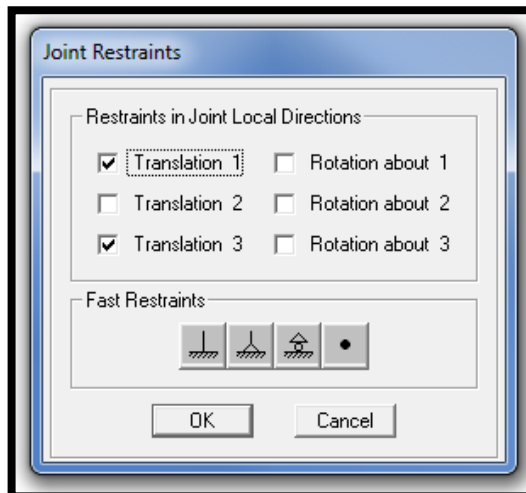
Figura 28. Vista en 2D de la Grúa N° 3



Fuente: Autores

- **Definición de apoyos.** Dada la condición de apoyo de la grúa, la cual está apoyada sobre ruedas para rieles como se observa en la sección 5.5. Podemos definir la condición de apoyos como se muestra en la figura x, para el plano X-Z.

Figura 29. Definición de los apoyos de la Grúa N° 3



Fuente: Autores

## 7.2. MATERIALES

En el desarrollo del análisis en el proyecto se estimó que los materiales que componen la estructura son tubos de acero soldados de alta resistencia referenciados en el reglamento NSR-10 como Perfiles Tubulares Estructurales acorde al Título F.2. del reglamento NSR-10, Estructuras Metálicas. Son utilizados como elementos estructurales en edificios y otras construcciones, y en una gran variedad de productos manufacturados. Se producen en formas redondas, cuadradas y rectangulares, y en una amplia gama de tamaños en acero laminado en caliente, bajo Norma ASTM A-500 Grado C.

Para nuestras grúas los espesores de pared y relaciones dimensionales en la tubería estructural permiten diseñar y construir conexiones de armaduras y pórticos con excelentes resultados de transmisión de energía, es importante aclarar que los presentes perfiles estructurales a trabajar son producidos por la empresa ASCESCO, la cual ha demostrado un buen desempeño y calidad de los productos de acero estructural.

Por último el concreto utilizado en los contrapesos, tiene una resistencia de 21 Mpa, cumpliendo con los requisitos de la NSR-10, en la sección 5.6. del presente proyecto se muestra un mayor detalle de diseño de los bloques que componen el contrapeso en cada grúa.

A continuación en las Figuras 30 y 31, se presenta los datos incluidos en el SAP2000 para la definición de los materiales.

Figura 30. Definición del Acero Grado C

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: AceroGradoC

Material Type: Steel

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 7.697E-05

Mass per Unit Volume: 7.849E-09

Units: N, mm, C

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 200000

Poisson's Ratio, U: 0.3

Coefficient of Thermal Expansion, A: 1.170E-05

Shear Modulus, G: 76923.08

Other Properties for Steel Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 317

Minimum Tensile Stress, Fu: 427

Effective Yield Stress, Fye: 348.7

Effective Tensile Stress, Fue: 469.7

Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

Fuente: Autores

Figura 31. Definición del Concreto de 21 Mpa sin reforzar

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: Concreto

Material Type: Concrete

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 2300

Mass per Unit Volume: 234.5347

Units: kgf, m, C

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 2.154E+09

Poisson's Ratio, U: 0.2

Coefficient of Thermal Expansion, A: 9.900E-06

Shear Modulus, G: 8.975E+08

Other Properties for Concrete Materials

Specified Concrete Compressive Strength, f'c: 2100000

Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor:

Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

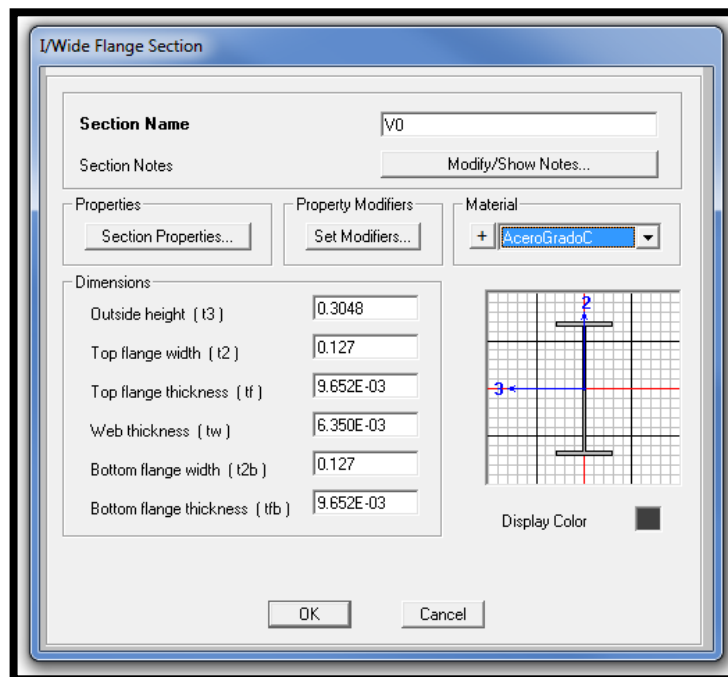
Fuente: Autores

## 7.3 SECCIONES DE LOS ELEMENTOS

Es indispensable saber el tipo de perfil que se utilizara en cada una de las grúas, para ello se presentan las secciones tubulares, con las cuales se buscara hacer el estudio de sección optima de cada elemento, teniendo en cuenta que seas capaces de cumplir con los requerimientos de las normas de seguridad y de la NSR-10, y si dejar de lado el factor económico que represente el diseño definitivo de cada propuesta.

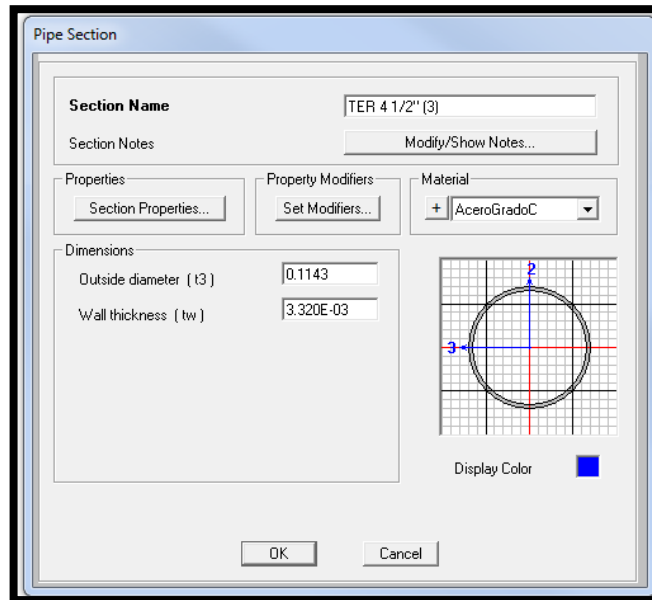
### 7.3.1 Secciones metálicas

Figura 32. V0: Viga metálica sin masa ni peso usada para el cálculo de reacciones preliminar al diseño de la estructura.



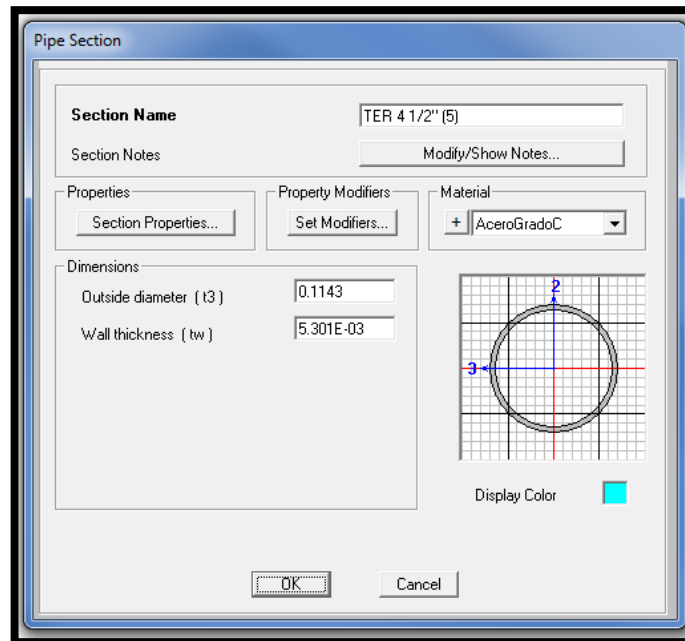
Fuente: Autores

Figura 33. TER 4 1/2" (3): Tubería estructural circular que forma parte del catálogo ACESCO.



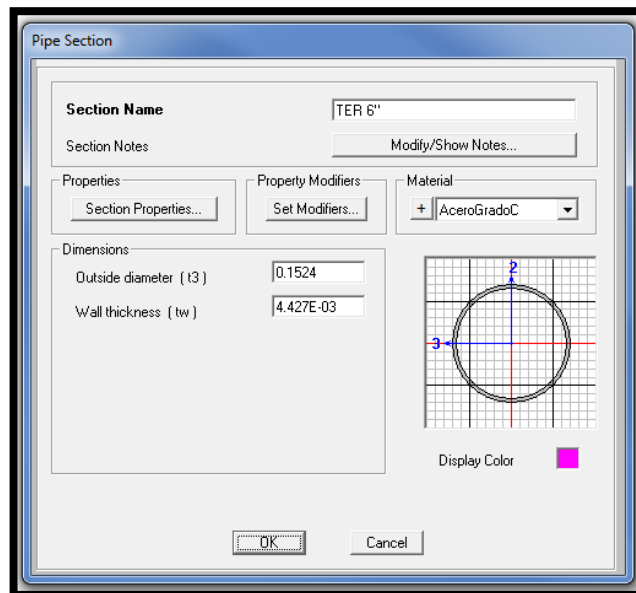
Fuente: Autores

Figura 34. TER 4 1/2" (5): Tubería estructural circular que forma parte del catálogo ACESCO.



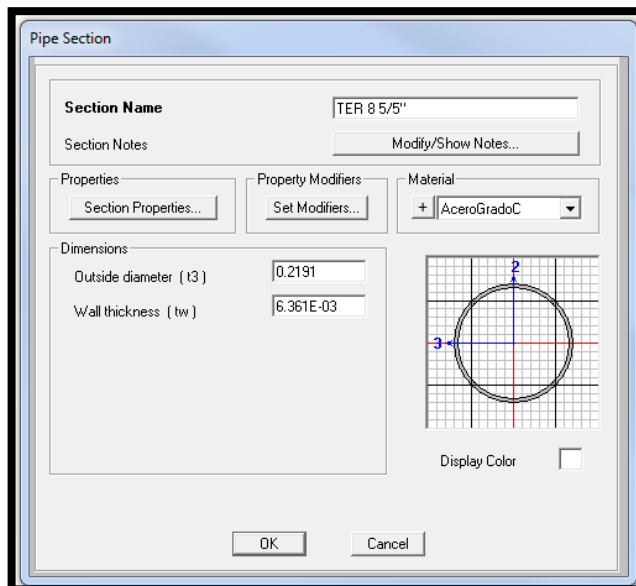
Fuente: Autores

Figura 35. TER 6": Tubería estructural circular que forma parte del catálogo ACESCO.



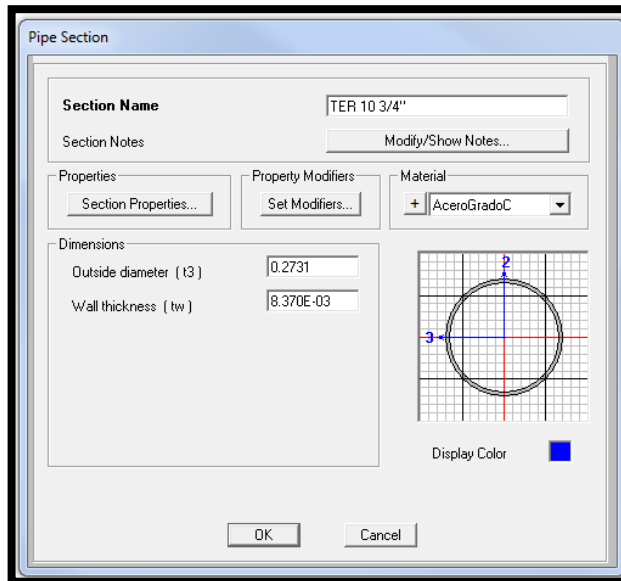
Fuente: Autores

Figura 36. TER 8 5/5": Tubería estructural circular que forma parte del catálogo ACESCO.



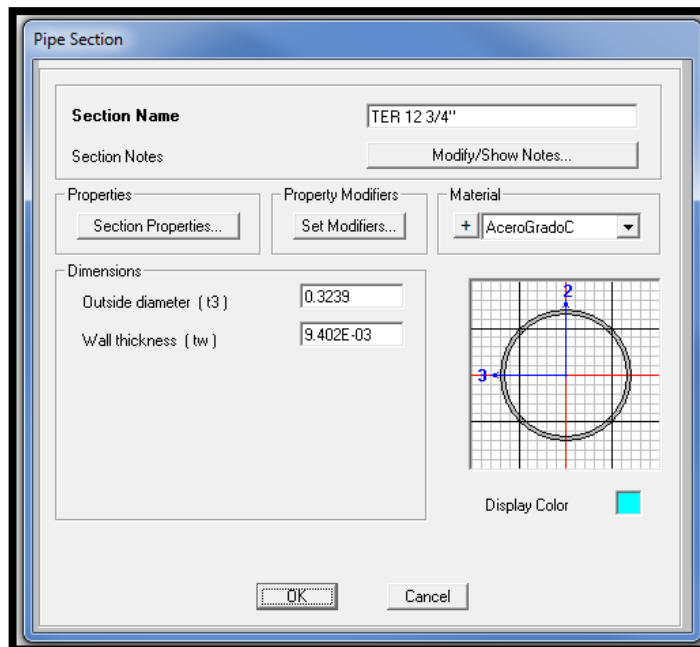
Fuente: Autores

Figura 37. TER 10 3/4": Tubería estructural circular que forma parte del catálogo ACESCO.



Fuente: Autores

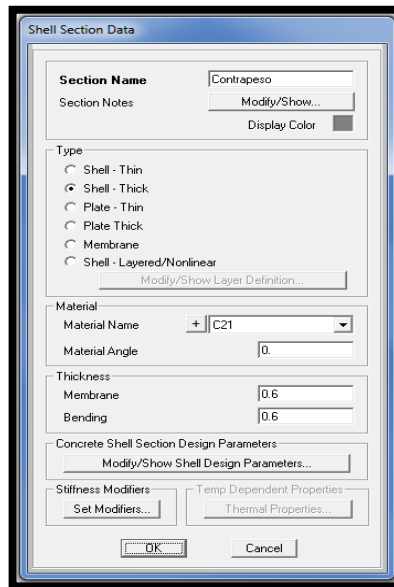
Figura 38. TER 12 3/4": Tubería estructural circular que forma parte del catálogo ACESCO.



Fuente: Autores

### 7.3.2 Sección del concreto

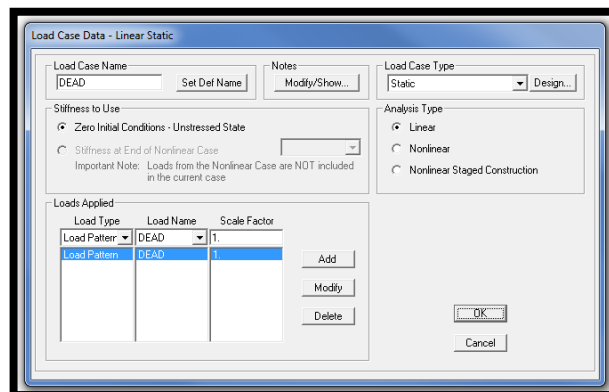
Figura 39. Contrapeso: Sección en concreto con la cuál se simulara el efecto del contra-peso sobre la estructura. El espesor de la losa se itero hasta encontrar el ideal.



Fuente: Autores

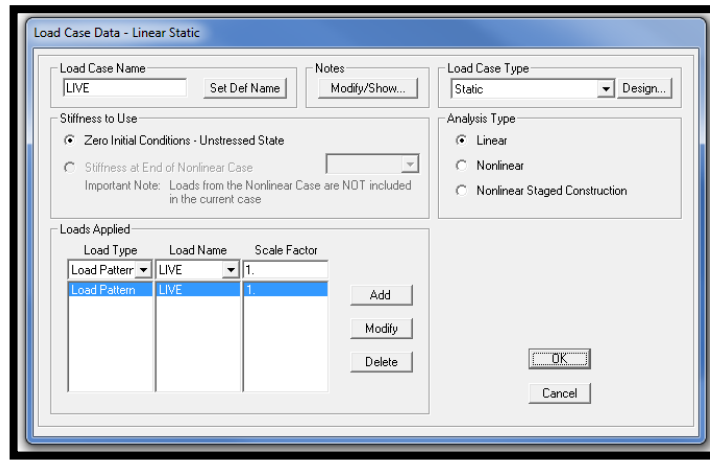
### 7.4 CASOS DE CARGA

Figura 40. CARGA MUERTA: Utilizada para el peso propio de la estructura y el peso del bloque de concreto.



Fuente: Autores

Figura 41. CARGA VIVA: Utilizada para las cargas externas aplicadas a la estructura.

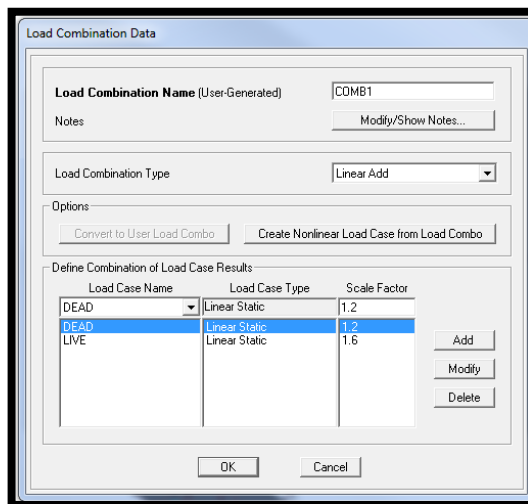


Fuente: Autores

## 7.5 COMBINACIONES DE CARGA

Los valores de carga viva aplicados a la estructura fueron calculados incluyendo factores de seguridad, por tanto, la combinación de carga será la adición lineal de ambas cargas (Muerta y Viva) sin un factor que modifique su valor.

Figura 42. Definición de las combinaciones de carga

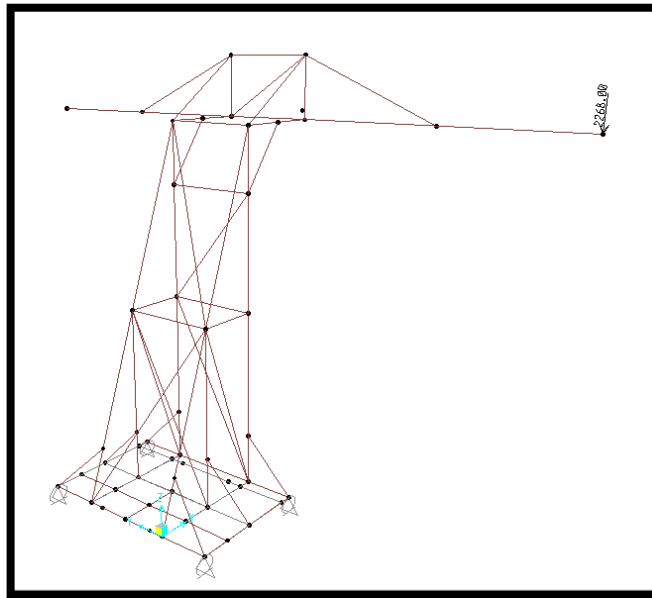


Fuente: Autores

## 7.6 CARGAS DE SERVICIO

- **Grúa No. 1: GRUA MÓVIL PARA DESCAPOTE.** En la Grúa No. 1 se aplicará la carga en el elemento Horizontal de la parte superior de la Grúa No. 1 como se observa en la Figura 9 y Figura 43, el caso más crítico es el que sucede en el extremo de este elemento, por la simetría que presenta la grúa no presenta diferencia en la aplicación de la carga en alguno de los dos extremos.

Figura 43. Ubicación de la Carga aplicada en la Grúa No. 1

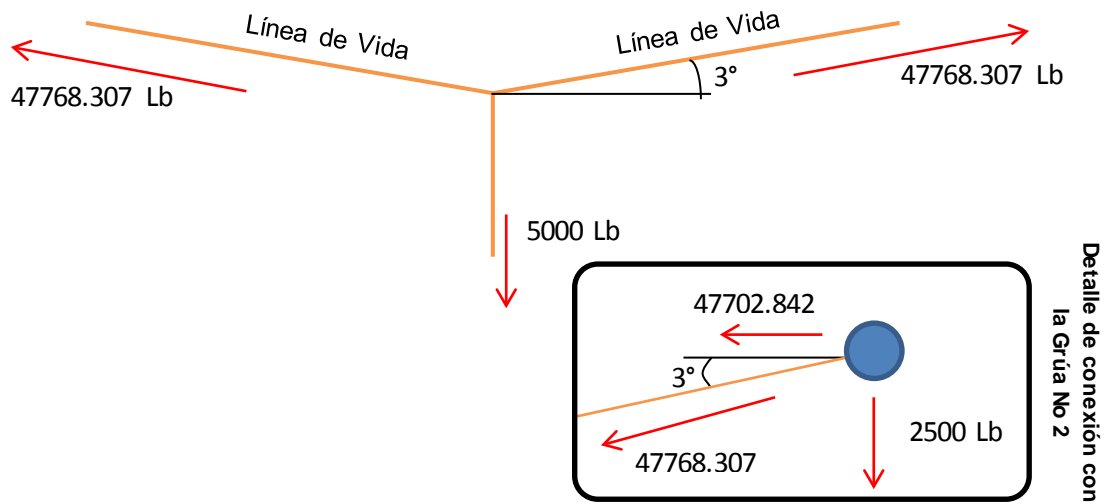


Fuente: Autores

- **Grúa No. 2: GRUA DE DESPLAZAMIENTO EN TORRE.** Esta carga se aplicará en 4 puntos diferentes (ver tabla 3), con un cuarto de su valor, representando así el efecto que tendría sobre la estructura.

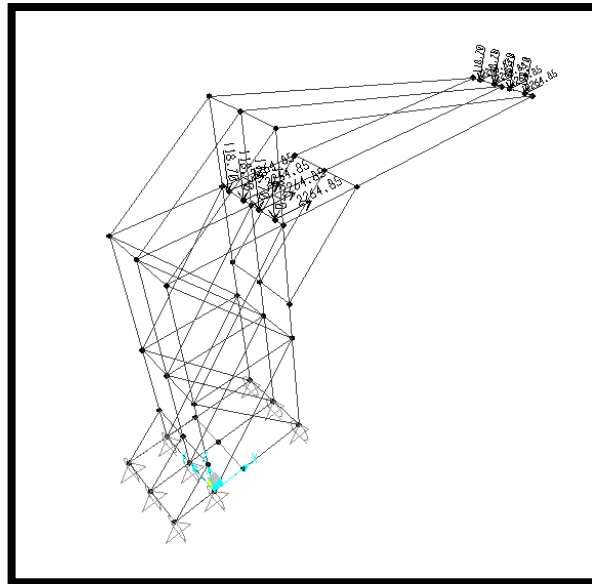
La carga puntual sería de: 2268 kg, y se descompondría en 2 componentes, una en el sentido "X" y otra en el sentido "Y".

Figura 44. Componentes de la carga en los ejes X y Y.



Fuente: Autores

Figura 45. La carga es aplicada en los dos elementos "frames" que soportan el cable en donde se produce la carga.

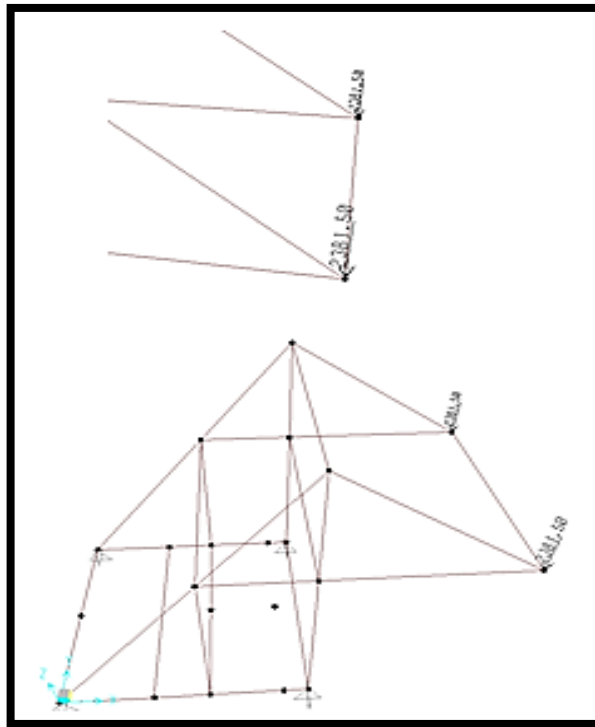


Fuente: Autores

- **Grúa No. 3: GRÚA DE DESPLAZAMIENTO EN TERRAZAS PARA FACHADAS.** Esta carga se aplicará en dos puntos diferentes (ver Tabla 4), con un medio de su valor, representando así el efecto que tendría sobre la estructura.

La carga puntual sería de: 4536 kg.

Figura 46. Aplicación de las cargas en la Grúa No 3

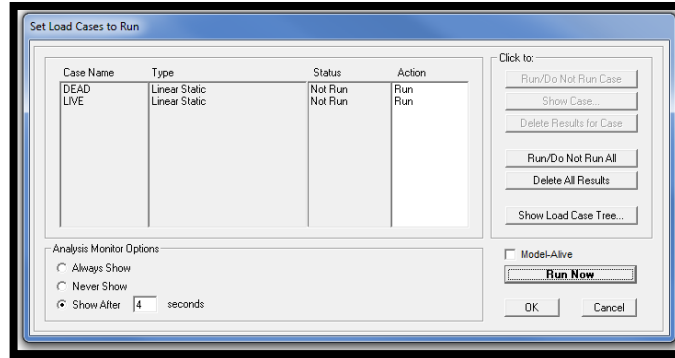


Fuente: Autores

## 7.7 RESULTADO INICIALES

Una vez definido el modelo se corre para encontrar las reacciones en la base, con las cuales se calcula el volumen de concreto necesario para los contrapesos que se han definido con anterioridad y las cuales generen la función del equilibrio estático de cada estructura.

Figura 47. Parámetros al correr cada modelo



Fuente: Autores

- **Grúa No. 1: GRUA MÓVIL PARA DESCAPOTE**

Tabla 7. Reacciones de la Grúa No. 1

TABLE: Joint Reactions								
Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
<b>Text</b>	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m
<b>42</b>	LIVE	LinStatic	0	-109.76	3103.71	0	0	0
<b>44</b>	LIVE	LinStatic	0	109.76	-4748.01	0	0	0
<b>51</b>	LIVE	LinStatic	0	214.96	1871.25	0	0	0
<b>52</b>	LIVE	LinStatic	0	-214.96	2041.05	0	0	0

Fuente: Autores

- **Grúa No. 2: GRUA DE DESPLAZAMIENTO EN TORRE**

Tabla 8. Reacciones de la Grúa No. 2

TABLE: Joint Reactions								
Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
<b>Text</b>	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m
<b>1</b>	LIVE	LinStatic	478.69	0	-4316.72	0	0	0
<b>2</b>	LIVE	LinStatic	985.66	0	-6384.69	0	0	0
<b>3</b>	LIVE	LinStatic	478.65	0	-4319.51	0	0	0
<b>7</b>	LIVE	LinStatic	-319.27	0	6918.97	0	0	0
<b>8</b>	LIVE	LinStatic	-369.83	0	11188.36	0	0	0

TABLE: Joint Reactions								
Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
9	LIVE	LinStatic	-319.34	0	6920.01	0	0	0
49	LIVE	LinStatic	-269.3	0	-268.33	0	0	0
50	LIVE	LinStatic	-269.41	0	-270.07	0	0	0
51	LIVE	LinStatic	-395.86	0	-396.17	0	0	0

Fuente: SAP2000

- **Grúa No. 3: GRÚA DE DESPLAZAMIENTO EN TERRAZAS PARA FACHADAS**

Tabla 9. Reacciones de la Grúa No. 3

TABLE: Joint Reactions								
Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m
1	LIVE	LinStatic	0.002861	0	-1786.13	0	0	0
4	LIVE	LinStatic	-0.002861	0	4167.63	0	0	0
13	LIVE	LinStatic	0.002861	0	-1786.13	0	0	0
15	LIVE	LinStatic	-0.002861	0	4167.63	0	0	0

Fuente: SAP2000

## 7.8. CÁLCULO DE CONTRAPESO

Las dimensiones de los bloques de concretos a usar como contra-peso son de un 1.00m de ancho, 0.30m de espesor y una longitud de 1.80m (ver Sección 5.6.), cada bloque será agrupado en un número de bloques que pueda satisfacer las necesidades estáticas de cada una de las grúas expuestas, para ellos hemos generado unos parámetros que deben cumplir como mínimo el constructor de las grúas.

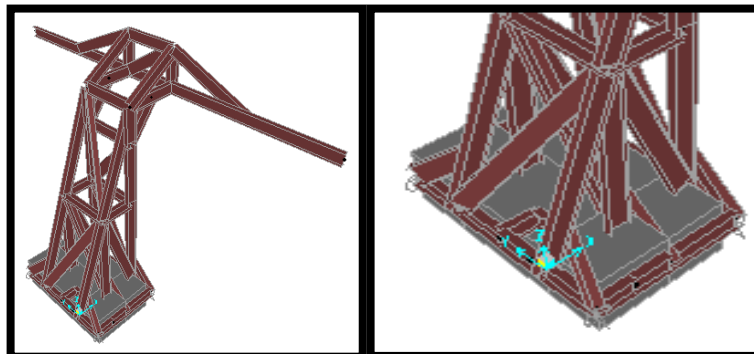
Tabla 10. Peso de cada Bloque del Contrapeso

PESO POR BLOQUE	
<i>Espesor</i>	0.30m
<i>Ancho</i>	1.00m
<i>Largo</i>	1.80m
<i>Volumen de Concreto</i>	0.54m <sup>3</sup>
<i>Peso Concreto</i>	2300 kg/m <sup>3</sup>
<i>Peso por Bloque</i>	1242 kg

Fuente: Autores

- **Grúa No. 1: GRUA MÓVIL PARA DESCAPOTE.** Se ubicaran inicialmente nueve bloques de concreto en la base de la grúa como se ve en la siguiente figura:

Figura 48. Distribución del Contrapeso en la Grúa No 1.



Fuente: Autores

Se presenta el proceso anterior, salvo que en esta ocasión, se observaran los resultados de la combinación de carga “COMB1” definido con anterioridad, donde se sobreponen los efectos de la carga viva y la carga muerta.

Tabla 11. Reacciones con dos Bloques de Concreto en la Grúa No 1.

TABLE: Joint Reactions								
Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
<b>Text</b>	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m

TABLE: Joint Reactions								
Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
42	COMB1	Combination	0	-169.92	11318.87	0	0	0
44	COMB1	Combination	0	169.92	-1244.09	0	0	0
51	COMB1	Combination	0	378.59	8191.68	0	0	0
52	COMB1	Combination	0	-378.59	8463.54	0	0	0

Fuente: SAP2000

Encontramos un valor de "F3" de carácter negativo, lo que nos indica un comportamiento inadecuado del apoyo, adicionamos 6 bloques de concreto a la base y comprobamos nuevamente las reacciones.

Tabla 12. Reacciones con 8 Bloques de Concreto en la Grúa No 1.

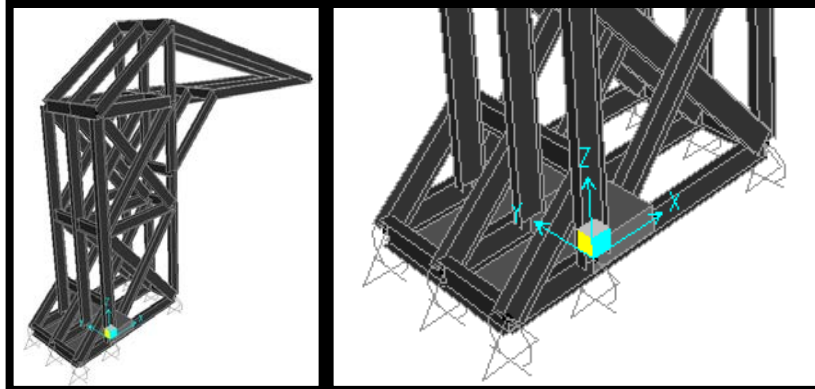
TABLE: Joint Reactions								
Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m
42	COMB1	Combination	0	-167.49	13963.43	0	0	0
44	COMB1	Combination	0	167.49	1193.61	0	0	0
51	COMB1	Combination	0	393.11	10167.36	0	0	0
52	COMB1	Combination	0	-393.11	10646.08	0	0	0

Fuente: SAP2000

Finalmente se considera un contrapeso de 16 bloques predefinidos de concreto, equivalentes a 19872kg (194.88 KN).

- **Grúa No. 2: GRUA DE DESPLAZAMIENTO EN TORRE.** Se ubicaran inicialmente dos bloques de concreto en la base de la grúa como se ve en la siguiente figura:

Figura 49. Ubicación del Contrapeso en la Grúa No 2.



Fuente: Autores

Se define la altura del elemento tipo “Area”; salvo que en esta ocasión, se aplican los resultados de la combinación de carga “COMB1” definido con anterioridad, donde se sobreponen los efectos de la carga viva y la carga muerta.

Tabla 13. Reacciones con dos Bloques de Concreto en la Grúa No 2.

TABLE: Joint Reactions								
Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m
1	COMB1	Combination	765.9	0	-6226.8	0	0	0
2	COMB1	Combination	1577.06	0	-9533.95	0	0	0
3	COMB1	Combination	765.85	0	-6231.25	0	0	0
7	COMB1	Combination	-510.83	0	11386.77	0	0	0
8	COMB1	Combination	-591.72	0	18218.25	0	0	0
9	COMB1	Combination	-510.94	0	11388.44	0	0	0
49	COMB1	Combination	-430.88	0	320.05	0	0	0
50	COMB1	Combination	-431.05	0	317.27	0	0	0
51	COMB1	Combination	-633.38	0	837.77	0	0	0

Fuente: SAP2000

Encontramos varios valores de “F3” de carácter negativo, lo que nos indica un comportamiento inadecuado de los apoyos, sin embargo estos apoyos son internos, y consideramos que no afectan la estabilidad de la estructura,

adicionamos 10 bloques de concreto a la base y para brindar mayor seguridad a la estructura y comprobamos nuevamente las reacciones.

Tabla 14. Reacciones con seis Bloques de Concreto en la Grúa No 2.

TABLE: Joint Reactions								
Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m
1	COMB1	Combination	631.09	0	-7202.98	0	0	0
3	COMB1	Combination	634.2	0	-7269.95	0	0	0
7	COMB1	Combination	-466.5	0	12191.57	0	0	0
8	COMB1	Combination	-448.15	0	18284.6	0	0	0
9	COMB1	Combination	-467.86	0	12201.44	0	0	0
49	COMB1	Combination	82.83	0	2125.82	0	0	0
50	COMB1	Combination	84.59	0	2068.72	0	0	0
51	COMB1	Combination	-50.19	0	2981.34	0	0	0

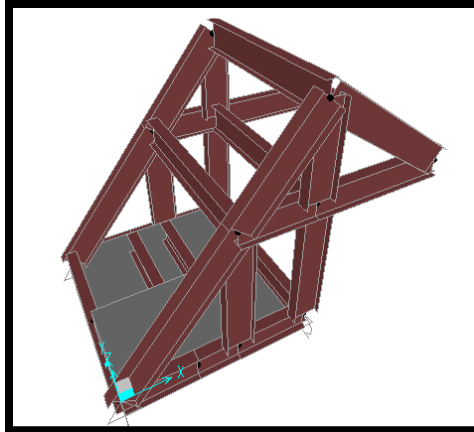
Fuente: SAP2000

Encontramos dos valores de "F3" de carácter negativo, aunque no es el comportamiento esperado, se considera dentro de un rango aceptable.

Finalmente se considera un contrapeso de 14 bloques predefinidos de concreto, equivalentes a 17388kg (170.52 KN).

- **Grúa No. 3: GRÚA DE DESPLAZAMIENTO EN TERRAZAS PARA FACHADAS.** Se ubicaran inicialmente 2 bloques de concreto en la base de la grúa como se ve en la siguiente figura:

Figura 50. Distribución del Contrapeso en la Grúa No 3.



Fuente: Autores

Se presenta igual que en las dos anteriores grúas, salvo que en esta ocasión, se observaran los resultados de la combinación de carga “COMB1” definido con anterioridad, donde se sobreponen los efectos de la carga viva y la carga muerta presentan resultados acordes a los esperados.

Tabla 15. Reacciones con dos Bloques de Concreto en la Grúa No 3.

TABLE: Joint Reactions								
Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m
1	COMB1	Combination	0.01246	0	-398.64	0	0	0
4	COMB1	Combination	-0.01246	0	8680.24	0	0	0
13	COMB1	Combination	0.01246	0	-398.64	0	0	0
15	COMB1	Combination	-0.01246	0	8680.24	0	0	0

Fuente: Autores

Encontramos varios valores de “F3” de carácter negativo, lo que nos indica un comportamiento inadecuado de los apoyos, adicionamos 4 bloques de concreto a la base y comprobamos nuevamente las reacciones. Finalmente se considera un contrapeso de 6 bloques predefinidos de concreto, equivalentes a 7452kg (73.08 KN).

## 8. DISEÑO ESTRUCTURAL

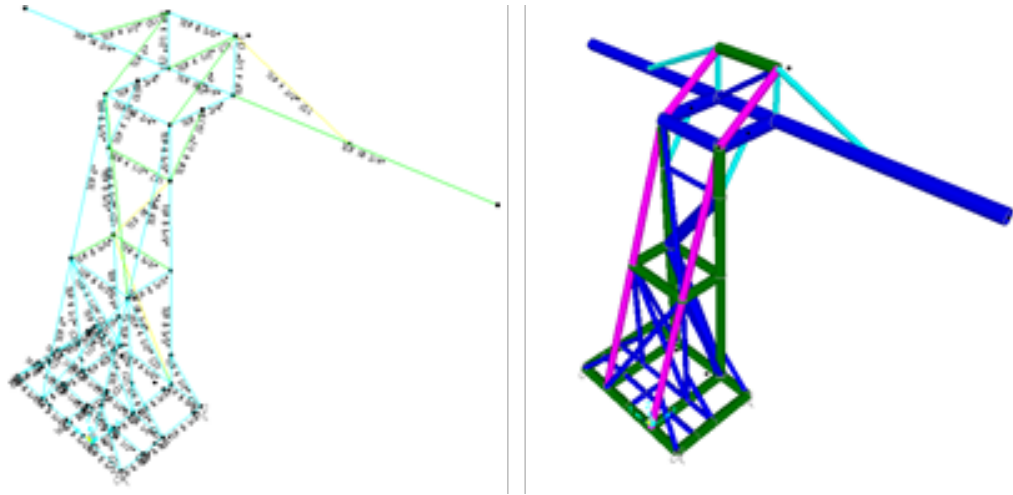
Una vez definidos todos los parámetros del modelo vistos en la sección 8, se asigna la sección tipo “*frame*” llamada Tubería Estructural Redonda (TER) a toda la estructura, esto con el fin de hallar la estructura con secciones de elementos óptimos, los cuales nos den los mejores rendimientos y puedan lograr el objetivo primordial de salvaguardar la vida del operario.

### 8.1 DISEÑO FINAL

Después del análisis de contrapeso y de determinar el perfil eficiente para cada una de las estructuras, a continuación se presentan los resultados de los elementos más eficientes para cada una de las grúas, cabe recordar que los elementos fueron modelados por medio de uniones soldadas que han demostrado ser muy eficientes, siempre y cuando sean realizadas por un soldador profesional, y que cumplan con los procesos de calidad exigidos por las normas sobre uniones metálicas.

- **DISEÑO GRÚA MÓVIL PARA DESCAPOTE.** En la primera grúa se presenta una variación leve con los perfiles a usar, esto nos demuestra a simple vista que el diseño es muy bueno y que a partir de él se puede generar los planos estructurales de las grúas los cuales se pueden hallar en el Anexo 3, ahí podemos observar con más detalle cada uno de los aspecto de la grúa.

Figura 51. Grúa No. 1: GRUA MÓVIL PARA DESCAPOTE



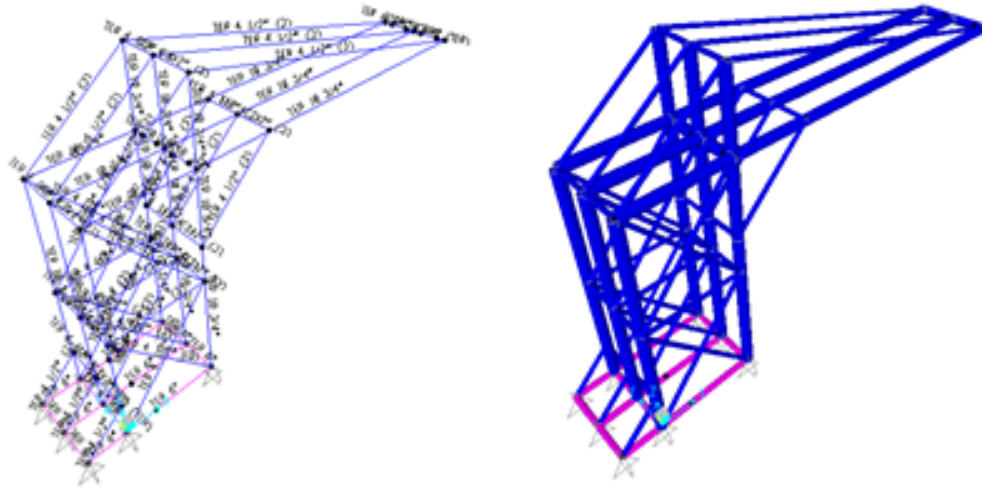
Fuente: Autores

Tabla 16. Perfiles óptimos de la Grúa No. 1.

Perfiles Tubulares Estructurales Redondos						
Dimensiones Nominales			Espesor de diseño	Peso	Área de la sección transversal	Color
Diámetro		Espesor				
Nominal (pulg)	Exterior (mm)	e (mm)	t (mm)	(kgf/m)	(mm <sup>2</sup> )	
4 1/2"	114,30	5,70	5,301	15,27	1815,2	Dark Blue
azul 6"	152,40	4,76	4,427	17,33	2057,9	Magenta
8 5/8"	219,08	6,84	6,361	35,80	4250,9	Green
10 3/4"	273,05	9,00	8,37	58,61	6959,8	Cyan

- DISEÑO DE LA GRÚA DE DESPLAZAMIENTO EN TORRE.** La segunda grúa se presenta una uniformidad con los perfiles, el cual nos propone un diseño aceptable y para detallar la estructura es importante ver los planos estructurales de la grúa los cuales se pueden hallar en el Anexo 3.

Figura 52. Grúa No. 2: GRUA DE DESPLAZAMIENTO EN TORRE



Fuente: Autores

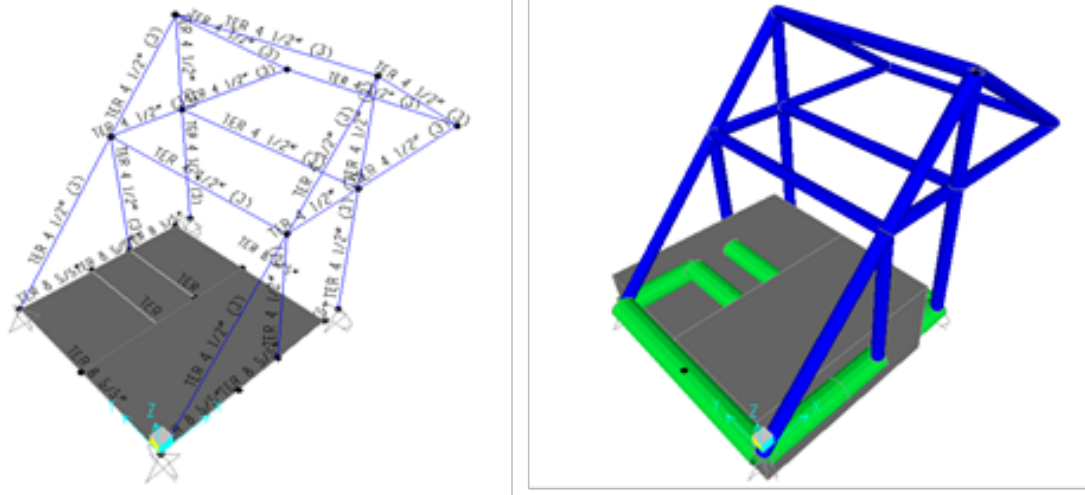
Tabla 17. Perfiles óptimos de la Grúa No. 2.

Perfiles Tubulares Estructurales Redondos						
Dimensiones Nominales			Espesor de diseño	Peso	Área de la sección transversal	Color
Diámetro		Espesor				
Nominal (pulg)	Exterior (mm)	e (mm)	t (mm)	(kgf/m)	(mm <sup>2</sup> )	
4 1/2"	114,30	5,70	5,301	15,27	1815,2	Dark Blue
6"	152,40	4,76	4,427	17,33	2057,9	Pink
10 3/4"	273,05	9,00	8,37	58,61	6959,8	Dark Blue

Fuente: Autores

- DISEÑO DE LA GRÚA DE DESPLAZAMIENTO EN TERRAZAS PARA FACHADAS.** Para la tercera grúa el diseño presenta un par de perfiles a usar, como en el anterior diseño de la grúa No. 2 en donde solo se llega a utilizar dos perfiles estructurales que se presentan en la tabla 18 y que a partir de él se puede generar los planos estructurales de las grúas los cuales se encuentran en el Anexo 3, ahí podemos observar con más detalle cada uno de los aspecto de la grúa.

Figura 53. Grúa No. 3: GRÚA DE DESPLAZAMIENTO EN TERRAZAS PARA FACHADAS



Fuente: Autores

Tabla 18. Perfiles óptimos de la Grúa No. 3.

Perfiles Tubulares Estructurales Redondos						
Dimensiones Nominales			Espesor de diseño	Peso	Área de la sección transversal	Color
Diámetro		Espesor				
Nominal (pulg)	Exterior (mm)	e (mm)	t (mm)	(kgf/m)	(mm <sup>2</sup> )	
8 5/8"	219,08	6,84	6,361	35,80	4250,9	Green
4 1/2"	114,30	3,57	3,320	9,75	1157,6	Blue

Fuente: Autores

## 9. CONCLUSIONES

Nuestra primera conclusión es referente a que se alcanzó el objetivo trazado de determinar un sistema que pueda salvaguardar la vida e integridad de los trabajos en alturas; en el presente proyecto se plantean tres soluciones para las labores más comunes de trabajos en altura en espacios abiertos y que garanticen la seguridad.

Referente a las grúas es importante concluir que son piezas importantes de la seguridad en alturas en espacios abiertos y que pueden prevenir inconvenientes financieros, legales del sector industrial y lo más importante es en disminuir la pérdida de vidas.

Este proyecto ha generado una solución más con el cual se cumple el objetivo de reducir la accidentalidad laboral, la cual en Colombia presentan índices muy alarmantes de inseguridad industrial.

El análisis estructural nos plantea un adecuado diseño de las estructuras que componen las grúas y que a su vez generan un amplio rango de eficiencia con relación a la disipación de energía que genera la caída de un cuerpo y el efecto tipo látigo que se presenta a la hora en que la grúa frena la caída, el presente estudio nos da un parte de satisfacción, que en teoría es convincente.

Las grúas pueden soportar la caída de una persona, sin presentar deformaciones considerables en sus elementos estructurales, además el diseño presentado tiene diversos aspectos que al caer el cuerpo y ante la presencia del movimiento pendular, este no se golpee de manera grave con la estructura misma de la grúa y así prevenir lesiones en la persona caída.

## 10. RECOMENDACIONES

Durante la recopilación de datos e información se presentó una gran limitante acerca del tema, el cual impulso aún más a su desarrollo y es referente a la poca investigación en estructuras dedicadas a salvaguardar la vida de alguna persona que ejerzan alguna labor en alturas, y de este modo se recomienda a la universidad en incentivar más la creación de proyectos de investigación dedicados a cubrir el área de la seguridad industrial.

Las normas y leyes son algo ambiguas en cuanto al tema de grúas anticaídas, y es muy probable que en nuestro país sea uno de los pocos proyectos dedicados a este tema y en especial al diseño y análisis estructural de este tipo de elementos de seguridad, para lo cual sería necesario ampliar de material bibliográfico la biblioteca de la universidad en cuanto a este tema.

Sería conveniente el desarrollo o continuación del presente proyecto de grado con la realización y construcción de las grúas, las cuales se sometan a pruebas reales de resistencia, y así poder avalar y certificar los diseños presentados, y posibles mejoras.

La universidad no debe abandonar este tipo de investigaciones, debe perseverar en que los diseños y posteriores estudios lleguen a las personas adecuadas y puedan hacer realidad las soluciones planteadas por los estudiantes.

## BIBLIOGRAFÍA

Administración de Seguridad y Salud Laboral (OSHA) 200 Constitution Avenue, N.W., Washington, DC 20210.

AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE, AMERICAN SOCIETY OF SAFETY ENGINEERS. Fall Protection Code ANSI/ASSE Z359.0-2007 - Definiciones y Nomenclatura Empleada en la Protección Anticaídas y Detención de Caídas. Illinois, USA: ANSI, 2007.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Requisitos de Seguridad Para Sistemas, Subsistemas y Componentes Personales de Detención de Caídas, NTC 2037. Bogotá, Colombia. ICONTEC, 1985.

Instituto Norte Americano de Estándares (ANSI Z359) 11 West 42nd Street, New York, NY 10036, 2010.

Ministerio de Salud y Protección Social, disponible en: [www.minsalud.gov.co](http://www.minsalud.gov.co)

OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION. Construction Industry Regulations OSHA 29 CFR 1926. Columbia, USA: REGLAS PRESS, 2006. p. 356-369.

Organización Mundial de la Salud, disponible en: [www.who.int](http://www.who.int)

Reglamento de seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas, Resolución 1409 de 2012, Ministerio del Trabajo, Colombia.