

ESTANTERÍA DE OFICINA ANTIVUELCO

JENNY KATHERINE RODRÍGUEZ ROMANO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL
BUCARAMANGA

2020

ESTANTERÍA DE OFICINA ANTIVUELCOS

JENNY KATHERINE RODRÍGUEZ ROMANO

Trabajo de grado para optar el título de Diseñadora Industrial

Director

Francisco Espinel Correal

Magíster en semiótica

Codirector

John Faber Archila Díaz

Ph. D en ciencias en ingeniería mecánica.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL
BUCARAMANGA

2020

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto ha sido posible gracias al esfuerzo realizado por mi familia, los cuales me han apoyado enormemente y me han permitido entregar este resultado. Agradezco a mi mamá Omaira, a mi papá Roberto y a mi tía Zaida; a mis amigos, los cuales me han brindado su colaboración guiándome y animándome en los momentos difíciles, a Ed por su compañía incondicional y apoyo.

También agradezco a mis directores de tesis, el profesor Francisco quien con su experiencia y consejos hizo que este proyecto cada vez mejorara un poco más, a mi codirector, el profesor John Faber, quien me ayudo brindándome su conocimiento en áreas complejas para mí.

Al equipo del SENA, del laboratorio de simulación sísmica de Cazuka, los ingenieros Cristian Ardila y Guillermo Coronado, por permitirme realizar las pruebas allí, lo cual fue una ayuda fundamental.

Finalmente agradecer a la Escuela de Diseño Industrial, a la Universidad Industrial de Santander, por haberme enseñado tantas cosas en estos años y hacer de mí la profesional que soy.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN | 14 |
| 1.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 16 |
| 2.OBJETIVOS..... | 19 |
| 2.1GENERAL..... | 19 |
| 2.2 ESPECÍFICOS..... | 19 |
| 3.METODOLOGÍA | 20 |
| 4.FUNDAMENTOS TEÓRICOS..... | 22 |
| 5.REQUERIMIENTOS DE DISEÑO..... | 44 |
| 6.GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS | 47 |
| 7.SELECCIÓN | 50 |
| 8.CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN DE LA ALTERNATIVA..... | 53 |
| 9.AJUSTES EL DISEÑO..... | 56 |
| 10.DETALLES FINALES..... | 58 |
| 11. ANÁLISIS MECÁNICOS | 63 |
| 12.CONCLUSIONES | 72 |
| 13.RECOMENDACIONES | 73 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 74 |
| ANEXOS..... | 77 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Requerimientos y parámetros de diseño | 44 |
| Tabla 2. Matriz de selección de alternativas | 50 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Placas tectónicas..... | 16 |
| Figura 2. Volcamiento de mobiliario..... | 18 |
| Figura 3. Versatilidad en el mobiliario de oficina..... | 23 |
| Figura 4. Oficinas con espacios abiertos | 24 |
| Figura 5. Zonas de relajación | 24 |
| Figura 6. Estantería modular negra | 29 |
| Figura 7. Estantería con agujeros..... | 30 |
| Figura 8. Estantería en escalera..... | 31 |
| Figura 9. Estantería triangular | 32 |
| Figura 10. Diagramas de cuerpo libre..... | 33 |
| Figura 11. Ubicación de los sistemas de aislamiento en un edificio | 39 |
| Figura 12. Cambios bruscos en las dimensiones de los elementos que componen la estructura | 40 |
| Figura 13. Zonas de amenaza sísmica en Colombia..... | 41 |
| Figura 14. Boceto con dispositivos de aislamiento | 47 |
| Figura 15. Boceto con sistema de seguridad compacto | 48 |
| Figura 16. Boceto sistema acuático..... | 49 |
| Figura 17. Proceso de rediseño..... | 56 |
| Figura 18. Boceto diseño final en forma extendida y compacta | 57 |
| Figura 19. Modelo 3d del rediseño de la estantería junto a sus dimensiones ... | 57 |
| Figura 20. Detalles forma de los entrepaños | 58 |

| | |
|---|----|
| Figura 21. Estructura con soportes..... | 59 |
| Figura 22. Detalle de los rieles verticales | 60 |
| Figura 23. Compartimento de almacenamiento sistema electrónico | 60 |
| Figura 24. Secuencia de uso | 62 |
| Figura 25. Diagrama de cuerpo libre propuesta compacta. D.C.L. | 63 |
| Figura 26. Fuerzas aplicadas al modelo de simulación | 65 |
| Figura 27. Gráfica del factor de seguridad..... | 66 |
| Figura 28. Gráfica de desplazamiento máximo | 66 |
| Figura 29. Ubicación de las fuerzas para el estudio estático de la alternativa compacta | 67 |
| Figura 30. Gráfica del factor de seguridad estudio 2 | 68 |
| Figura 31. Gráfica de desplazamientos | 68 |
| Figura 32. Modelo 3D en el módulo de simulación por frecuencias..... | 69 |
| Figura 33. Resultados de los valores de frecuencias alcanzados por el sólido . | 70 |
| Figura 34. Render estantería antivuelco..... | 71 |

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

| | |
|---|----|
| Fotografía 1. Acumulación de objetos pesados en la repisa superior..... | 37 |
| Fotografía 2. Objetos peligrosos ubicados en la repisa superior | 37 |
| Fotografía 3. Modelo de pruebas y elementos que lo componen | 53 |

LISTA DE ANEXOS

| | |
|---|----|
| Anexo A. Entrevista experto. | 77 |
| Anexo B. Entrevista usuarios..... | 80 |
| Anexo C. Normativa sismo resistente..... | 82 |
| Anexo D. Planos técnicos..... | 85 |
| Anexo E. Análisis de volcamiento a soluciones actuales..... | 88 |

RESUMEN

TÍTULO: ESTANTERÍA DE OFICINA ANTIVUELCO¹

AUTOR: JENNY KATHERINE RODRÍGUEZ ROMANO²

PALABRAS CLAVES: ESTANTERÍA, ESTRUCTURA SISMO RESISTENTE, MOBILIARIO INTELIGENTE, DISEÑO

En este trabajo de grado se muestra el desarrollo de una estantería de oficina antivuelco, la cual permanece en equilibrio durante un sismo de alta intensidad. La propuesta contribuye a disminuir los daños causados a las personas debidos a terremotos, además, limita el uso indebido que pudieran darle los usuarios y que conllevaría a que este elemento sea más susceptible al vuelco o a que aumente el riesgo a generar accidentes, utilizando estrategias formales. Así mismo, el anaquel consiguió disminuir el riesgo a volcamiento comparada con estanterías comerciales, haciendo que la fuerza necesaria para iniciar su caída sea aproximadamente el doble que la de las soluciones actuales existentes en el mercado. En cuanto a su diseño, es una estantería que brinda versatilidad, permitiendo regular las alturas de sus repisas e incorporando un sistema de rieles en ellas que facilita su colocación y el uso de accesorios. Para el desarrollo de este proyecto se analizaron algunos fundamentos teóricos necesarios para el diseño de mobiliario de oficina y de estructuras sismo resistentes, lo cual permitió comprender mejor la situación de interés y obtener requerimientos de diseño para la configuración de alternativas. Finalmente, se realizó la validación del diseño aplicando pruebas de laboratorio y estudios mecánicos teóricos.

¹ Trabajo de grado

² Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Diseño Industrial, Director: Francisco Espinel Correal, Magister en Semiótica, Co-director: John Faber Archila Díaz, Ph. D en Ciencias en Ingeniería Mecánica.

ABSTRACT

TITLE: OFFICE SHELF ANTI- OVERTURNING*

AUTHOR: JENNY KATHERINE RODRÍGUEZ ROMANO**

KEY WORDS: SHELVING, RECENT EARTHQUAKE STRUCTURE, SMART FURNITURE, DESIGN.

This paper of bachelor degree shows the development of an anti rollover office shelf, which remains in equilibrium during a high intensity earthquake. The proposal helps to reduce the damages caused to people due the earthquakes. In addition, it limits the wrong use that users could give it and that would lead to this element being more susceptible to overturning or increase the risk of generating accidents, through use formal strategies. In the same way, the shelf got to reduce the risk of overturning compared to commercial shelves, making the force necessary to initiate its fall approximately twice that of the existing solutions in the market. As for to the design, it is a shelf that offers versatility, allowing the height of its shelves to be regulated and incorporating a system of rails in them that makes easier its placement and the use of accessories. For the development in this project, some theoretical fundamentals necessary for the design of office furniture and earthquake resistant structures were analyzed, which allowed us to better understand the situation of interest and obtain design requirements for the configuration of alternatives. Finally, the design validation was performed by applying laboratory tests and theoretical mechanical studies.

* Bachelor degree

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering, School of Industrial Design, Director: Francisco Espinel Correal, Master in Semiotics, Co-director: John Faber Archila Díaz, Ph.D in Sciences in Mechanical Engineering.

INTRODUCCIÓN

La ubicación geográfica de Colombia hace que el país cuente con alta actividad sísmica, especialmente en el departamento de Santander, donde se encuentra un nudo sísmico de gran importancia a nivel mundial, el cual, debe ser monitoreado constantemente al ser el segundo lugar en el que más temblores ocurren³. Esta situación amerita estar preparados para afrontar este tipo de eventos. Adicionalmente, los terremotos son fenómenos completamente impredecibles, es decir, que no ha sido posible establecer exactamente en qué momento van a ocurrir. Cuando se presentan la energía liberada es inmensa.

Asimismo, Rodríguez afirma que “la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS ha llegado a concluir que el 40% los colombianos están ubicados en zonas donde la probabilidad de que se presente un sismo es alta, mientras que el 47% están situados en lugares de amenaza intermedia, por lo que el 87% de la población está en riesgo”⁴. Estas razones hacen necesario tomar medidas preventivas que contribuyan a disminuir los daños causados, los accidentes y la pérdida de vidas humanas.

Además de los efectos físicos originados durante un terremoto, también se tiene el impacto psicológico. En este sentido, Hernández⁵ considera que a medida que se intensifica un sismo, el sistema nervioso comience a funcionar bajo la sensación de miedo, pánico y terror, las piernas tienden a doblarse y las personas caen bajo el peso de su cuerpo, la atención se centra en los objetos en movimiento que pueden amenazar su vida, haciendo que entren en un estado de Shock nervioso. Debido a esto es fundamental que desde el diseño se busquen soluciones

³ LOZANO, Carlos; GOMEZ, Alejandra y BARAJAS, Astrid. Respuesta del suelo durante el evento del nido sísmico de Bucaramanga del 10 de marzo de 2015 Mw 6.4.

⁴ RODRIGUEZ POVEDA, Daniel. Colombia está ubicada en una de las zonas sísmicas más activas de la Tierra. (En línea). Colombia: Blog Colombia me gusta. 2017. p.1.

⁵ HERNÁNDEZ, Pedro. Participación comunal y experiencias organizativas en la atención a la emergencia ocasionada por el terremoto de Limón del 22 de abril de 1991. En: Apdo 1596 Heredia 3000. San José. 1991.

objetuales para la disminución de lesiones, pero también de la carga emocional que suscita la caída de objetos. Es necesario diseñar el mobiliario con el fin de que sus características optimicen su uso y presenten menor riesgo durante estos eventos, en consecuencia, en este documento se desarrolla el proceso de diseño de una estantería de oficina anti vuelco.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

De acuerdo a estudios realizados sobre sismos y volcanes en Colombia, Duque destaca⁶ que Colombia está ubicada en el anillo de fuego del Pacífico, una de las zonas más activas del mundo, el territorio también es afectado por la convergencia de tres placas tectónicas la placa de NAZCA, la del CARIBE y la SURAMERICANA. Este fenómeno provocó la creación de fallas en todo el país y particularmente, como lo describe Velandia⁷, por Santander pasan las fallas de Bucaramanga, Suárez, Salinas, Servitá, El Carmen, Honduras, Landázuri, Arrugas y Lebrija lo cual compromete la seguridad de sus habitantes al experimentar temblores constantemente.

Figura 1. Placas tectónicas



Fuente: ENTRE MARES (OBSERVATORIO GEOGRÁFICO DE PANAMÁ). Las placas tectónicas.

(En línea). Recuperado el 10 de mayo de 2018. Disponible en:

<http://georem.blogspot.com/2017/10/las-placas-tectonicas-situacion-de.html>.

⁶ DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. Sismos y volcanes en Colombia. En: Bdigital. Manizales: Repositorio Institucional U.N., 2010. p.1.

⁷ VELANDIA PATIÑO, Francisco. Cinemática de las fallas mayores del macizo de Santander-énfasis en el modelo estructural y temporalidad al sur de la falla de Bucaramanga. En: Departamento Geociencias, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C. 2017. p. 1-3.

Para evidenciar mejor este problema el segundo nido sísmico del planeta se encuentra en Santander, donde ocurrieron 5054 sismos que corresponden al 56,5% de los sismos del país en 2016⁸. Asimismo, la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica “AIS”, al analizar los últimos eventos sísmicos de importancia detectó que se evitó el colapso y daño estructural grave de las edificaciones. No obstante, el reglamento colombiano de construcción sismo resistente⁹ encontró que sigue siendo notoria la desprotección de los elementos no estructurales y su potencial peligrosidad para la vida humana, ya que la gran mayoría de los daños reportados corresponden a daños por estos elementos, además un gran número de víctimas fueron causadas por su caída (los cuales incluyen estanterías). Como lo demuestra también el estudio realizado por el Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología “INHEM”¹⁰, después del sismo de Armenia ocurrido en 1999, en el cual se analizaron los casos atendidos en instituciones de salud posterior al desastre, concluyendo que de los 858 fallecidos las principales causas fueron: politraumatismo, traumatismo craneoencefálico severo, aplastamiento y sofocación mecánica accidental.

La caída de elementos no estructurales constituye un problema que amerita tomar medidas preventivas que contribuyan a disminuir las lesiones causadas a las personas durante un evento sísmico. Se debe cuidar el diseño de estos elementos, para contribuir con la seguridad de las personas y evitar desastres mayores que con pequeñas acciones se pueden solucionar.

⁸ LOZANO, Carlos; GOMEZ, Alejandra y BARAJAS, Astrid. Op. Cit., p. 3.

⁹ COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL RÉGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES. Creada por la Ley 400 (19, agosto, 1997). Por la cual se actualiza el Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial. Bogotá D.C., 2010. p. 9-10.

¹⁰ SALVÁ, Armando Rodríguez y BERRO, Blanca Terry. Atenciones médicas urgentes y lesiones fatales como consecuencia del terremoto en Armenia, Colombia. En: Revista cubana de higiene y epidemiología. Ciudad de la Habana. 2005. Vol. 49, No. 1. p.1.

Figura 2. Volcamiento de mobiliario



Fuente: CBS NEWS. Alaska earthquake and aftershocks. (En línea). Recuperado el 10, mayo, 2019. Disponible en: <https://www.cbsnews.com/pictures/alaska-earthquake-gallery-anchorage-2018-11-30/16/>

En este proyecto se selecciona la caída de estanterías como problema a abordar ya que son altamente susceptibles al vuelco dado que son objetos con alturas entre 1.70 y 2 metros y su base es muy pequeña en relación con su altura; de igual manera al caer no solo pueden generar accidentes si no también se convierten en obstáculos que dificultan la evacuación al bloquear puertas y salidas de emergencia al igual que los objetos que contienen.

Por tanto, el problema de diseño que se busca resolver con el presente proyecto es el volcamiento de estanterías en oficinas durante un sismo de alta intensidad, generando la pregunta de investigación: ¿Cómo mejorar el diseño de una estantería de oficina para atenuar el riesgo de volcamiento durante un sismo de alta intensidad?

2.OBJETIVOS

2.1 GENERAL

Diseñar una estantería de oficina capaz de permanecer en equilibrio durante un sismo de alta intensidad para evitar su volcamiento.

2.2 ESPECÍFICOS

- ✚ Analizar el fenómeno sísmico y demás causas que afectan el diseño y puedan generar el volcamiento de la estantería de oficina.
- ✚ Determinar requerimientos de diseño, técnicos y normativos de acuerdo a la industria local para la realización de una estantería de oficina.
- ✚ Desarrollar una propuesta conceptual de diseño que corresponda con los requerimientos planteados.
- ✚ Verificar mediante pruebas físicas la respuesta del diseño frente a situaciones simuladas.

3.METODOLOGÍA

Primera fase: Análisis de las causas que pueden generar el volcamiento de una estantería de oficina. Tipo de estudio descriptivo, método de análisis-síntesis.

En esta sección se hizo una recopilación de los fundamentos teóricos necesarios para identificar los eventos que conducen a la volcadura del mueble y la forma en que se pueden limitar para disminuir este riesgo. Además, se incluyen algunos conceptos sobre el diseño de mobiliario de oficina y estructuras sismo resistentes esenciales para el desarrollo del mueble.

Segunda fase: Elaboración de requerimientos de diseño. Tipo de estudio descriptivo, método para el desarrollo de productos del Instituto Nacional de Tecnología Industrial de Argentina “INTI”.

Luego de sintetizar la información compilada se determinaron requerimientos junto a sus respectivos parámetros, los cuales comprenden aspectos de uso, ergonómicos, formales, técnicos y sismo resistente. En este apartado también se compararon las ventajas, desventajas y los procesos que permiten los materiales más comunes empleados en la fabricación de mobiliario.

Tercera fase: Planteamiento de alternativas. Método para el planteamiento de alternativas de la Universidad Autónoma Metropolitana de México y de selección de Karl T. Ulrich y Esteven. D. Eppinger.

Las propuestas de la estantería se diseñaron teniendo en cuenta los requerimientos planteados en la fase anterior. Se configuraron tres, de las cuales continuó en proceso de diseño la que más requerimientos cumpliera siguiendo la matriz para el proceso de selección de Ulrich.

Cuarta fase: Validación y Análisis de volcamiento. Tipo de estudio experimental, método analítico y estudios de simulación.

Para comprobar la respuesta del diseño, se hicieron estudios de volcamiento utilizando las bases de la Mecánica Vectorial para Ingenieros de Ferdinand P. Beer de beer y una mesa vibratoria que simula sismos a escala, lo cual permitió analizar la respuesta del diseño ante el movimiento generado por terremotos. También se hicieron estudios de frecuencia y resistencia de materiales en Solid Works con el fin de analizar si la propuesta entraba en resonancia con las ondas sísmicas comunes en Santander y de seleccionar los materiales que soporten las cargas impuestas por el uso cotidiano y durante un temblor.

4.FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Para encontrar una solución adecuada al problema es necesario conocer los aspectos esenciales para la construcción de mobiliario de oficina, así como también algunos conceptos que ayudan comprender la situación de estudio y contribuyen a disminuir el riesgo a volcamiento permitiendo establecer requerimientos de diseño. De igual forma se revisaron algunas de las alternativas empleadas para mitigar los efectos destructivos producidos por terremotos.

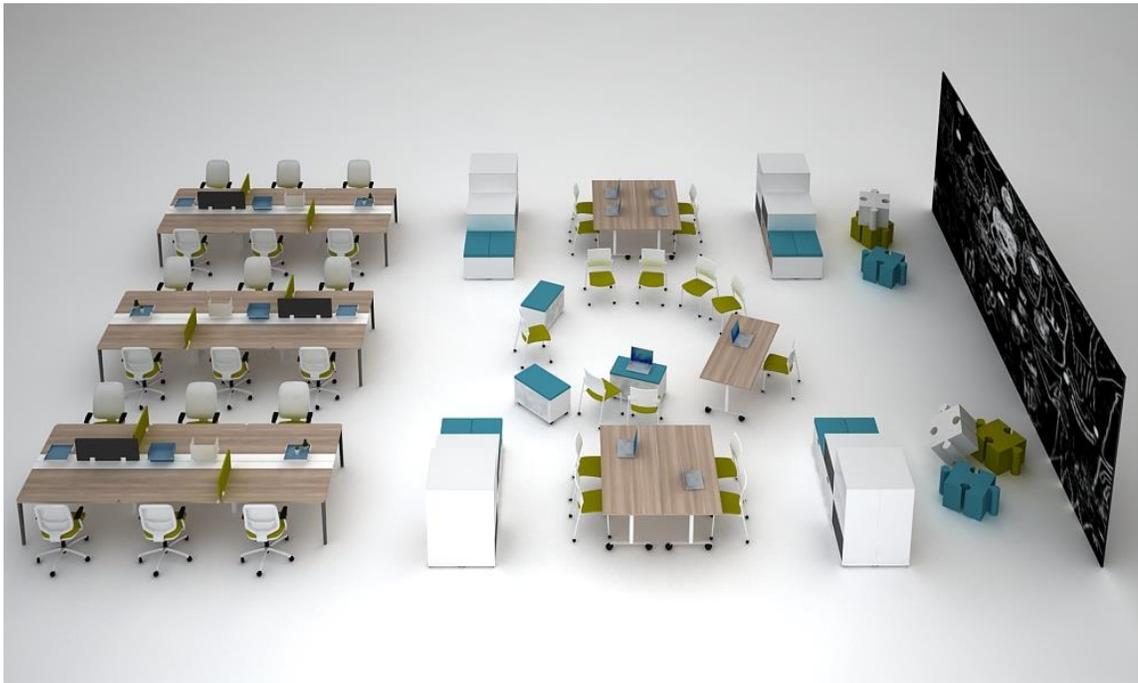
Fundamentos para el diseño de mobiliario de oficina

Este hace referencia a un conjunto de muebles, Este grupo está en constante transformación, ya que debe adaptarse rápidamente a los cambios culturales e industriales que se imponen con el tiempo, los cuales generan nuevas necesidades. “La cambiante forma de trabajo, las diversas áreas que convergen en las oficinas y los distintos grupos de personas que interactúan con los objetos, requieren soluciones específicas pero flexibles”¹¹, para diseñar este tipo de elementos es indispensable tener en cuenta que la característica más importante de un mueble de oficina es la versatilidad, esta cualidad se puede manifestar a través de la adaptabilidad, la multifuncionalidad o en la combinación de ambas.

La adaptabilidad tiene que ver con adecuar los enseres a los diferentes usuarios. La multifuncionalidad con añadirles tareas propias de otros implementos para crear un producto que se pueda utilizar como varios. En ambos casos la versatilidad implica añadir funciones extra, pero de gran valor para los oficinistas dado el espacio limitado que puede existir en estos entornos laborales.

¹¹ EXPOMUEBLE, Innovaciones anuales de mobiliario para oficina, t 5, 2003, p. 50.

Figura 3. Versatilidad en el mobiliario de oficina



Fuente: Un blog de muebles Tugo. Las tendencias de oficina que debes conocer. (En línea). (Recuperado 18, enero, 2020). Disponible en: <https://blog.tugo.co/1168-2/>

Debido al ambiente dinámico del trabajo en oficinas y con el fin de estar al día con los nuevos requerimientos de los usuarios se han ido creando tendencias para el diseño de estos espacios, sus muebles y decoración. Comprender tales tendencias permite diseñar objetos actualizados¹². Además, ayudan a la creación de un buen clima laboral, algunas de estas tendencias son: la creación de espacios acogedores, los espacios abiertos, la incorporación de zonas sociales o de descanso; garantizar la conectividad; archivos o documentación digital, entre otras.

¹² MUÑOZ, JOSÉ, et al. Oficinas Innovación y Diseño-AM Libros. 2014.

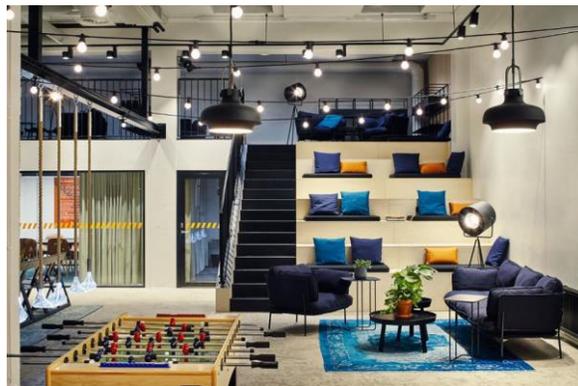
Figura 4. Oficinas con espacios abiertos



Fuente: Nomad Bubbles Magazine. 8 Estilos de decoración interior para el 2020. (En línea). (Recuperado 17, enero,2020). Disponible en: <https://www.nomadbubbles.com/decoracion-de-interiores/>

Los cambios observados en el diseño de ambientes laborales generan espacios compartidos, permitiendo que se aprovechen mejor los objetos ya que quienes los cohabitan tienen a su disposición todos los utensilios ubicados allí, lo cual minimiza la cantidad de implementos a la vez que facilita la interacción, colaboración y comunicación.

Figura 5. Zonas de relajación



Fuente: Ofiprix, 7 tendencias en decoración de oficinas. (En línea). (Recuperado 17, enero,2020). Disponible en: <https://www.ofiprix.com/blog/7-tendencias-decoracion-oficinas-2019/>

Sin embargo, debido a que se tienen objetos y espacio limitados, es de gran importancia contar con mobiliario versátil que contribuya a la transformación del espacio, que se adapte para brindar varias funciones o que se adecue a las características físicas de los usuarios, de forma sencilla.

Por estas razones el mobiliario de oficina debe caracterizarse por la versatilidad. Algunos objetos que representan esta tendencia son por ejemplo las sillas con alturas regulables que se adecúan a las medidas de diversas personas; los escritorios con paneles removibles que se adaptan para facilitar la reunión o el uso individual; los muebles apilables o plegables que permiten ahorrar espacio cuando no se están utilizando: los paneles divisorios que a su vez sirven de tableros, entre otros.

Luego de conocer algunas de las corrientes generales que se utilizan para diseñar entornos de oficina, es fundamental definir el usuario, para así comprender sus necesidades específicas. En las oficinas las personas desempeñan diversos cargos y cada uno tiene distintas funciones, las variaciones en las tareas que se realizan entre un puesto y otro permite definir a los usuarios en los siguientes perfiles¹³.

Directivos: corresponden a cargos de alta jerarquía dentro de la empresa, sus funciones tienen que ver con toma de decisiones, guiar el trabajo de los demás empleados y representar a la compañía. Sus tareas se enfocan en el estudio, análisis de información y comunicación. Deben asistir frecuentemente a reuniones privadas o en equipo, atienden tanto a empleados como a clientes, por lo cual su oficina requiere más privacidad que otros cargos. El uso de ordenadores no es tan intensivo y tienen más carga intelectual que física, en sus recintos prefieren objetos con mayor atractivo estético y simbólico que funcional o ergonómico.

Técnico: al tener menor jerarquía para ellos tiene menos relevancia la imagen y priman las necesidades ergonómicas y funcionales. Se relacionan principalmente

¹³ Guía ergonómica para el diseño de mueble de oficina. España, 2009, p. 6.

con los compañeros de trabajo y ocasionalmente con los clientes. Tienen un alto uso del ordenador, y una gran carga postural debida a las actividades estáticas que realizan. Sus tareas requieren menos carga intelectual y más de trabajo físico. Administrativo: realizan tareas con menor autonomía al atender instrucciones de los superiores. Este cargo es de gran versatilidad ya que se encarga de interactuar con clientes y empleados; realizan trabajo de forma individual y en equipo; atienden con regularidad los teléfonos y almacenan documentos. Por lo cual se les debe brindar atención similar tanto a los aspectos estéticos, simbólicos, ergonómicos y funcionales.

Atención al público: se encargan de recibir a los clientes y principalmente se relaciona con ellos. Debe tomar notas, almacenar y transmitir la información a los superiores, también se ocupa en gran medida de atender teléfonos. Requiere espacios principalmente ergonómicos y prácticos.

Luego de analizar los diferentes perfiles, en este proyecto se definió como usuario a los oficinistas de tipo administrativo, ya que estos al requerir alternativas que equilibren los factores estéticos, simbólicos, ergonómicos y funcionales, permiten la configuración de una propuesta integral, que responde a las necesidades generales de los demás perfiles y puede llegar a un mayor número de personas, entonces la estantería que se entrega cuenta con características que facilitan el almacenamiento de documentos, así como también de componentes que le brindan atractivo estético para dar una buena imagen o para complementarse con las decoraciones exhibidas en ella.

Es necesario especificar también los factores ergonómicos, formales y técnicos que se requieren para la elaboración de la estantería antivuelco, pero antes importante aclarar qué es una estantería, esta hace referencia a un mueble con repisas, estantes o entrepaños, sobre los cuales se almacenan o exhiben libros, documentos, decoraciones, u otros implementos en este caso comunes del entorno de oficina.

Aspectos ergonómicos: es fundamental elaborar objetos que procuren el cuidado de la salud, especialmente los muebles para oficina debido a la gran diversidad de

usuarios que se integran allí. Con base en los estudios realizados a una población colombiana a través de la Universidad de Antioquia¹⁴, se establece que las medidas necesarias para el diseño de una estantería son la altura de rodilla y el alcance vertical máximo, el primer valor determina la medida mínima a la cual se debe ubicar la repisa más baja, siendo 40 cm, el segundo establece la medida máxima para ubicar la repisa más alta y corresponde a 180 cm. Estos datos se tomaron de un estudio realizado a la población colombiana por la universidad de Antioquia, y se utilizaron los valores del percentil 5 de las mujeres en ambos casos, para garantizar que la mayoría de la población podrá alcanzar todos los entrepaños. El ancho de las repisas se determinó mínimo en 30 cm para que los documentos de tamaño carta y oficio puedan ubicarse fácilmente y la altura entre las repisas serán tales que la altura total de la estantería este entre 180 y 200 cm. De acuerdo con la Guía básica para gestores de ventas¹⁵, es importante tener en cuenta estas recomendaciones para el diseño de muebles: redondear las esquinas, filos o cantos mínimo con un radio de 2 mm, el mueble no presentara huecos entre 8 y 25 milímetros con el fin de evitar el atrapamiento de los dedos en su manipulación, los elementos móviles tendrán topes que eviten su caída involuntaria, si la estantería tiene ruedas debe incluirse un sistema de freno que evite los desplazamientos involuntarios, el peso del mueble deberá concentrarse en la parte inferior para disminuir el riesgo al volcamiento, los materiales que se utilicen no provocarán el deterioro de los demás materiales, específicamente no se deben juntar piezas de diferentes tipos de metal para evitar la oxidación, si se utiliza madera debe pulirse para eliminar las grietas que puedan generar enganchamiento o astillamiento del material.

Aspectos formales: En las oficinas es muy importante la estética ya que esta conduce a la creación de ambientes saludables de trabajo, además de hacer parte de la imagen corporativa que perciben tanto clientes como en empleados. Los

¹⁴ ESTRADA, Jairo, *et al.* Parámetros antropométricos de la población laboral colombiana, 1995. En: Revista Facultad Nacional de Salud Pública. Antioquia. 1998. Vol. 15, No. 2. p. 1-13.

¹⁵ Ergonomía y mueble de oficina, guía básica para gestores de venta. (Anónimo). España: Instituto de Biomecánica de Valencia. (s.f.). p.4.

elementos arquitectónicos, el mobiliario y la decoración deben complementarse para evocar un entorno agradable que haga sentir a los usuarios más cómodos, esto a la vez ayuda a que las personas desempeñen mejor su trabajo. “Las propiedades estéticas acerca del mobiliario producen sensaciones de confort o disconfort en los usuarios y pueden llevar tanto o más a la fatiga que los aspectos biomecánicos”¹⁶. Debido a esto y teniendo en cuenta que el usuario seleccionado es un oficinista de tipo administrativo, para la creación de alternativas se buscó representar funcionalidad, elegancia, sencillez, armonía y calidez. Para lo cual se propone utilizar materiales naturales, colores neutros y eliminar los detalles innecesarios.

Aspectos técnicos: Debido a que la estantería debe almacenar gran variedad de objetos, se determinó que soporte un peso por repisa entre los cincuenta y cien kilogramos, en cuanto al uso de materiales se consideran útiles las maderas, los polímeros, los metales y la madera plástica, sin embargo se realizará la selección de acuerdo a las propiedades físicas que requiera la estantería, ya que deberá soportar enormes cargas debidas a la acción de los terremotos y las ondas sísmicas, por tal motivo se realizaran análisis de resistencia y se utilizará el que mejor resista los efectos de estas fuerzas.

Para finalizar este apartado se realizó una revisión sobre cuatro soluciones actuales diferentes de estanterías encontradas en el mercado esto permite identificar elementos positivos que se puedan tomar de ellas, para lo cual se describió cada una identificando sus ventajas y desventajas, materiales y dimensiones. Se inicia esta recopilación con el mostrado en la figura 6, esta propuesta es armable, está hecho en polímero, puede resistir hasta 70 kg de peso en cada entrepaño, es de color negro, mide 1,86x0,91x0,45 m y tiene un costo de 190.000 COP.

¹⁶ Guía ergonómica para el diseño de mueble de oficina, España, 2009. p.10.

Figura 6. Estantería modular negra



Fuente: HOMECENTER. Estante negro. (En línea). (Recuperado 10, agosto, 2018). Disponible en: <http://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/168608/Estanteria-ventilada-5-niveles-negra/168608>.

Las ventajas que tiene son el modularidad, esta característica permite que se agregue el número de entrepaños requeridos por los usuarios, su ensamble es sencillo al no requerir tornillos ya que las piezas encajan a presión; al ser hecho en polímero se tiene una estructura liviana y capaz de soportar bastante peso. En cuanto a las desventajas se tiene que no se venden los módulos por separado, no cuenta con espacios que permitan asegurarlos a la edificación y los objetos que contiene pueden caer con facilidad.

En la figura 7, Se muestra una estantería hecha en metal y madera, sus medidas son 1,92x1x0,5 m, es de color negro con marrón, puede resistir hasta 300 kg de peso en cada entrepaño y cuesta 230.000 COP. En cuanto a sus ventajas se tiene que tiene sus agujeros facilitan el anclaje del elemento a la pared, y que puede almacenar grandes cantidades de peso, Las desventajas que se aprecian son que permite la acumulación de objetos en la superficie más alta del mueble.

Figura 7. Estantería con agujeros



Fuente: HOMECENTER. Estante metálico sin tornillos. (En línea). (Recuperado 10, agosto, 2018). Disponible en: <http://www.homecenter.com.co/homecenterco/product/262966/Estanteria-Metalica-sin-Tornillos-192x100x50-cm/262966>.

El tercer mueble mostrado en la figura 8, consta de una alternativa hecha en madera, que mide 1,78 x0,60x0,38 m, de color blanco, su costo es 400.000 COP, la ventaja que se observa es que su diseño obliga a que se ancle para poder utilizar el anaquel, ya que se apoya casi por completo sobre la pared, lo cual asegura que los usuarios lo fijarían, aunque esto también puede ser una desventaja si se ubica en una oficina con paredes en drywall ya que en ellas no es posible anclar.

Figura 8. Estantería en escalera



Fuente: FALABELLA COLOMBIA. Estante tipo escalera. (En línea). (Recuperado 10, agosto, 2018). Disponible en: <https://www.falabella.com.co/falabella-co/product/2977795/Estante-Tipo-Escalera/2977795>.

Finalmente, se tiene la cuarta estantería en la figura 9, elaborado totalmente en madera, mide 1,93x0,76x0,30m, es de color marrón, cuenta con un diseño sencillo y práctico con acabados mate, su precio es 2'450.000 COP. Las ventajas que presenta es que su diseño hace que no se puedan guardar elementos grandes a medida que las repisas están más altas, su forma triangular mantiene centros de gravedad más bajos que los rectangulares. Las desventajas de este elemento son que los objetos que contiene pueden caerse del anaquel fácilmente.

Figura 9. Estantería triangular



Fuente: FALABELLA COLOMBIA. Estante en madera. (En línea). (Recuperado 10, agosto, 2018).
Disponible en: <https://www.falabella.com.pe/falabella-pe/product/15829730/Estante-Lyon/15829730>

Estas soluciones, a pesar de no ser propuestas antivuelco, permitieron observar aspectos formales útiles, tales como las medidas utilizadas comúnmente, los materiales que se emplean para su elaboración, el peso que soportan las repisas y algunas estrategias de diseño que contribuyen a que los usuarios den un mejor uso de estos elementos; los aspectos negativos identificados sirven para evidenciar que se debe evitar, en este caso se observó la carencia de espacios para anclar y también que ninguno aseguraba los objetos que contenían, lo cual es importante para la protección de las personas. Adicionalmente la información sobre estas estanterías permitirá realizar comparaciones con la alternativa desarrollada en este informe para así determinar en cuanto se disminuyó el riesgo al vuelco.

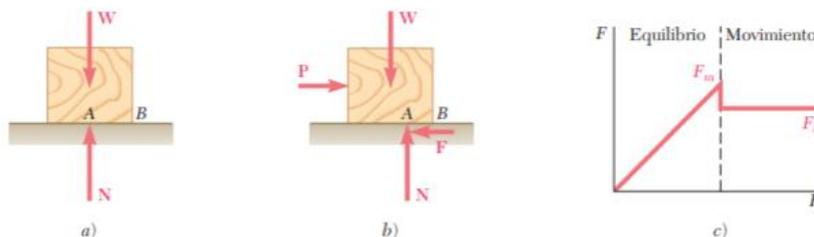
Fundamentos mecánicos para el diseño sismo resistente

El diseño de estructuras sismo resistentes ofrece principios que aplicados a los requerimientos de diseño contribuyen a la creación de estrategias que ayuden a disminuir el riesgo a volcadura, además la información recopilada en esta sección sirve para tener una mejor visión del problema de diseño.

El primer concepto que se define es el volcamiento de un cuerpo rígido y el procedimiento para determinar la fuerza que hará volcar el sólido, conocer este valor permitirá establecer el riesgo al volcamiento de la alternativa desarrollada, así como también realizar comparaciones con los anaqueles convencionales y analizar si en la propuesta entregada se disminuye. Por tanto, se define el riesgo a volcamiento en función de esta fuerza, si el valor necesario para hacer volcar la estantería es pequeño, el riesgo a volcamiento es alto, ya que un movimiento leve podría hacer que el mueble caiga, por el contrario, un valor alto significará que el elemento es más estable ante el efecto de movimientos bruscos.

De acuerdo con el libro Mecánica Vectorial para Ingeniería de Beer & Jhonson, cuando la sumatoria de las fuerzas y los pares son iguales a cero, se dice que el cuerpo rígido se encuentra en equilibrio. Para determinar si el elemento rota, es esencial primero identificar todas las fuerzas que actúan sobre él, luego dibujar el diagrama de cuerpo libre correspondiente con las fuerzas y dimensiones.

Figura 10. Diagramas de cuerpo libre



Fuente: JOHNSTON. Beer y EISENBERG. Mazurek. Mecánica vectorial para ingenieros. Felix Varela, 2009. p.120.

Las fuerzas que se deben ubicar son: el peso, la normal, la fricción, y fuerzas externas que interactúan con el sólido, una vez realizado el diagrama se debe hacer la sumatoria de momentos determinando así si el elemento presenta volcamiento y también el valor de la fuerza que inicia su vuelco¹⁷.

Entonces para que un sólido pierda el equilibrio se necesita que las fuerzas aplicadas a él superen el valor de las que lo mantienen estático, en el caso de este proyecto se identifican dos razones que pueden afectar el equilibrio. La primera es que las fuerzas ejercidas por los terremotos sean mayores a las fuerzas que se le oponen lo cual iniciaría su volcamiento. La segunda es que el centro de masa de la estantería sea alterado desfavorablemente debido a la interacción con los usuarios, lo cual ocurriría si este se eleva ya que ocasionaría que el mueble pierda estabilidad. Entender estas situaciones permite comprender mejor el fenómeno sísmico, así como también identificar las acciones adoptadas por los oficinistas que conllevan a maximizar el problema.

Los terremotos son fenómenos naturales transitorios que se presentan de forma instantánea y sacuden grandes áreas provocando serios daños; esto hace que sean uno de los fenómenos naturales más destructivos y temidos, sus movimientos o vibraciones son causados por la liberación súbita de energía debida a deformaciones en la litosfera que se propaga a través de ondas sísmicas, luego al llegar a la superficie provocan movimientos de terreno. Los elementos que componen un sismo son el punto donde se libera la energía, al que se denomina foco, perpendicular a este en la superficie terrestre se ubica el epicentro y es en estos puntos donde se inicia la propagación de las ondas sísmicas, las ondas resultan al liberarse la energía mecánica durante la ruptura de la fuente sísmica, siendo la fuente la causa del terremoto. Tienen dos tipos de ondas, las internas y las superficiales. Internamente, desde el foco comienzan a propagarse las ondas P y las ondas S. P estas ejercen en el medio un efecto de compresión o dilatación

¹⁷ JOHNSTON, Beer y EISENBERG. Mazurek. Mecánica vectorial para ingenieros. Felix Varela, 2009. p.120.

similar al de un resorte haciendo que el material a través del cual se propagan se mueva en su misma dirección. Las ondas S, en cambio son de tipo transversal, esto hace que el medio por el que avanzan sea movido hacia arriba y hacia abajo o de derecha a izquierda. Superficialmente están las que se extienden desde el epicentro del sismo, estas son las ondas love y las Rayleigh. Su velocidad es menor que la de las internas, las Love generan movimientos laterales perpendiculares a la dirección en se propaga, Las de Rayleigh producen movimientos de terreno circulares ¹⁸.

Con el fin de complementar esta información se realizó una entrevista a Diego Gerardo Ibáñez Almeida, director del centro geológico de Santander, en la entrevista 1 ubicada en el anexo A.

La segunda razón que puede conducir al volcamiento de la estantería son las conductas adoptadas por los usuarios que disminuyen su estabilidad y que se denominan en este proyecto como uso indebido, esto también hace referencia a las acciones de los oficinistas que aumentan los riesgos que representa este mueble. De acuerdo a las recomendaciones dadas por el instituto Andaluz de Geofísica y prevención de desastres sísmicos¹⁹ así como también por la Oficina Nacional de Emergencias del Ministerio del Interior y Seguridad Publica de Chile ONEMI²⁰, quien destaca que no es recomendable colocar objetos pesados en muebles altos, en caso de ubicarse deben ser almacenarlos a poca altura, ya que durante una sacudida generada por un temblor se convierten en elementos de alto riesgo para las personas al caerles encima, provocándoles lesiones. Los utensilios frágiles deben mantenerse en espacios que eviten su caída, dado que se rompen con facilidad y pueden generar heridas graves.

Para conocer si los oficinistas de Bucaramanga realizaban un uso adecuado a sus estanterías y también que objetos guardan en ellas se realizó la entrevista 2 en las

¹⁸ VIDAL SÁNCHEZ, Francisco. Los terremotos y sus causas. Instituto de Andaluz de Geofísica y Prevención de Desastres Sísmicos. (s.f.). p.18-27.

¹⁹ VIDAL SÁNCHEZ, Francisco. Medidas preventivas y de protección frente a terremotos. Instituto Andaluz de Geofísica y Prevención de Desastres Sísmicos. 1994.

²⁰ ESTRUCTURALES, Asociación de Ingenieros Civiles, et al. Recomendaciones antes, durante y después de sismos y terremotos. 2013.

oficinas de la Universidad Industrial de Santander, la Gobernación y la Alcaldía. La información recopilada en estas visitas se encuentra detallada en el anexo B. Esto ayudó a detectar otras acciones de riesgo adoptadas por los usuarios que contribuyen a aumentar el riesgo a volcamiento y también a hacer de sus anaqueles elementos más peligrosos. Identificando la acumulación de objetos en las repisas superiores o la ubicación de objetos pesados allí, esto causa que el centro de masa suba facilitando su rotación incluso si no se presenta un terremoto. Por lo tanto, lo ideal es que los objetos almacenados se ubiquen de acuerdo a su peso, dejando los más pesados en las repisas inferiores y los más livianos en la parte alta. Adicionalmente, los objetos deben permanecer completamente dentro de la estantería, es decir, no se deben ubicar en las repisas solo una parte del implemento almacenado; también debe evitarse la colocación de objetos frágiles o que representen peligros para las personas en las repisas altas y en las que se ubiquen deben asegurarse para que no causen accidentes.

En la Fotografía 1, se aprecia en la primera repisa del mueble que el equipo electrónico no se encuentra completamente dentro del anaquel, además junto a él se ubica una caja con libros, ambos objetos de gran peso y justo debajo de estos elementos se ubica una silla, estas acciones hacen que la estantería represente más riesgos de los que ya tiene originalmente.

Fotografía 1. Acumulación de objetos pesados en la repisa superior



Fotografía 2. Objetos peligrosos ubicados en la repisa superior



En el caso de este ejemplo no se tienen elementos pesados, pero si un vidrio de gran tamaño, lo cual como ya se ha mencionado aumenta el riesgo a producirse

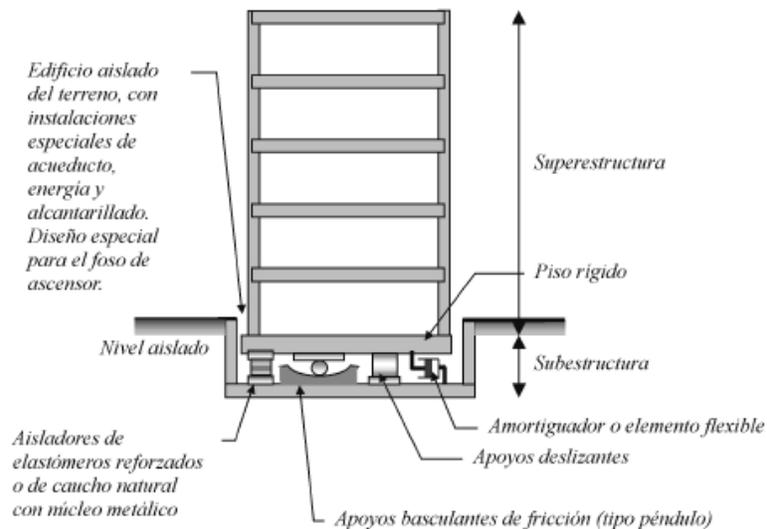
accidentes no solo en caso de presentarse un sismo, sino también si alguien golpea el mueble y lo sacude bruscamente.

Luego de analizar tanto las recomendaciones dadas en los manuales, así como el uso observado en las entrevistas realizadas a los oficinistas, se tienen claras que acciones se deben limitar a través del diseño y también cuales reforzar debido a que brindan aspectos positivos para el mueble haciéndolo más estable y seguro, lo cual ayudará a establecer requerimientos de diseño.

Se revisaron también las técnicas de control de respuesta sísmica empleadas en edificaciones a nivel mundial, para abstraer de ellas ideas que ayuden a darle estabilidad y proteger la estructura de las ondas sísmicas. Están los sistemas de efecto de masa, que ayudan a equilibrar las estructuras mediante el uso de péndulos o tanques de agua; los mecanismos controlados electrónicamente que amortiguan las vibraciones, los sistemas híbridos y los de aislamiento sísmico. Los de aislamiento se ubican en el nivel más bajo de los edificios, y su fin es absorber de forma parcial la energía impuesta por sismos antes de que sea transmitida a la toda la estructura, hay por ejemplo aislamientos flexibles, cuya base está conformada por láminas elásticas, diseñada así para propiciar el movimiento y concentrar la energía sísmica en esa zona; de fricción, estos disipan las vibraciones con movimientos pendulares empleando una base cóncava y un rodamiento que gira sobre ella y también con amortiguadores similares a los resortes, a través de ellos se generan movimientos que ayudan a disipar las ondas del sismo, a la vez que la elasticidad del muelle hace que recupere su posición inicial. En general, Oviedo y Duque²¹, describen que, los dispositivos existentes se anclan a la estructura de los edificios y a los cimientos del suelo, donde aprovechan la energía sísmica y la disipan a través de movimientos controlados, logrando que se disminuyan los esfuerzos a los que son sometidas las construcciones y por consiguiente la presencia de fallas.

²¹ OVIEDO, Juan Andrés y DUQUE, María del Pilar. Sistemas de control de respuesta sísmica en edificaciones. En: Revista EIA. Medellín. 2006. ISSN 1794-1237, No. 6. p. 105-120.

Figura 11. Ubicación de los sistemas de aislamiento en un edificio



Fuente: OVIEDO, Juan Andrés y DUQUE, María del Pilar. Sistemas de control de respuesta sísmica en edificaciones. *Revista EIA*, 2006, No 6, p. 105-120.

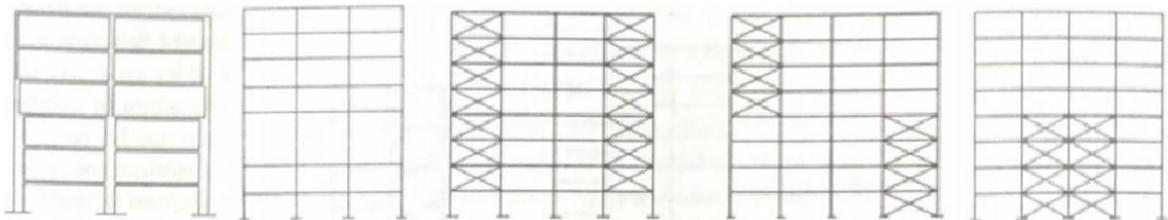
También se revisaron los fundamentos para el diseño de estructuras sísmicas. De acuerdo con Roberto Meli²², para tener un sistema estructural adecuado se deben trabajar diferentes variables, de esta manera todo el conjunto de elementos que conforman el sistema estarán orientados a soportar y disipar eficientemente la energía liberada por los sismos. La primera variable que se debe tener en cuenta es el peso, este debe ser lo más ligero posible ya que las fuerzas de inercia son proporcionales a la masa y en consecuencia al peso de la estructura. El peso de cada nivel debe ser menor que el del inmediatamente anterior con el fin de garantizar centros de gravedad bajos, adicionalmente se deben ubicar los elementos que componen la estructura de forma simétrica para que las cargas se distribuyan homogéneamente. La siguiente variable es la forma, esta abarca distintos aspectos que componen el diseño de la estructura, el primero es la base, en ella se deben utilizar formas simétricas y compactas, también evitar huecos y

²² PIRALLA, Roberto Meli y MELI, Roberto. *Diseño estructural*. Editorial Limusa, 2001.

alas muy alargadas. La planta no debe exceder $B/A > 4$ un alargamiento excesivo en ella generaría que la base de la estructura vibre con frecuencias diferentes que el resto de la estructura, generando que esta se flecte.

Las reducciones bruscas, son algo que en general se debe evitar, por consiguiente, los cambios en las alturas de los entrepaños, el ancho de la estructura o de materiales rígidos a flexibles deberán realizarse gradualmente.

Figura 12. Cambios bruscos en las dimensiones de los elementos que componen la estructura



Fuente: PIRALLA, Roberto Meli; MELI, Roberto. Diseño estructural. Editorial Limusa, 2001. p.50

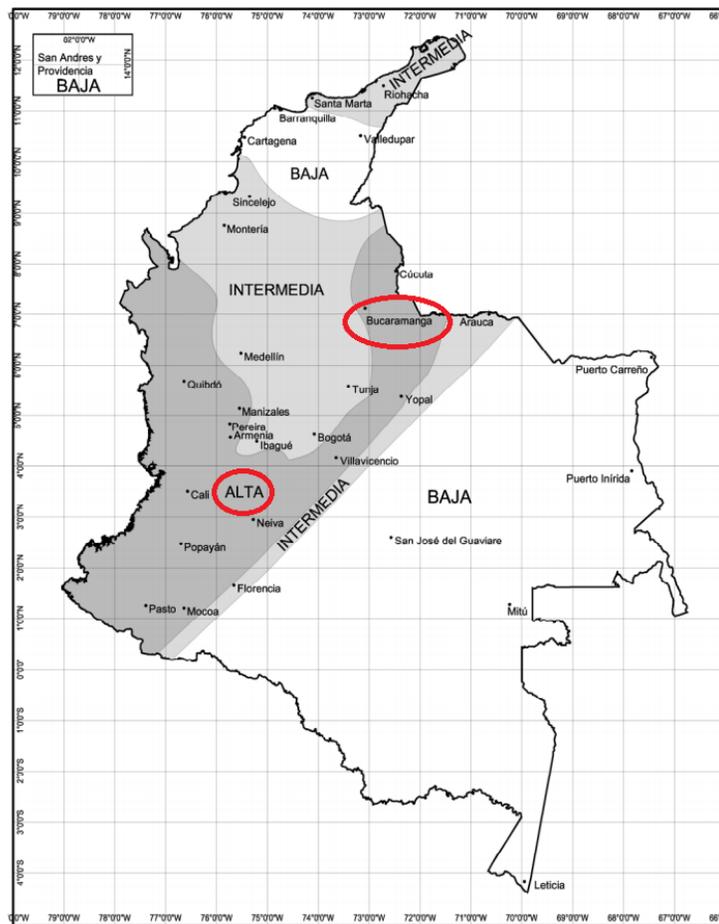
A su vez, se debe tener cuidado con el exceso de esbeltez, esto puede provocar inestabilidad en caso de exceder $h/a > 4$, donde H es la altura y a el ancho. Adicionalmente, debe existir alineación en las repisas y columnas, las conexiones entre estos elementos deberán ser coincidentes evitándose conexiones excéntricas. Finalmente, el uso de sistemas modulares permitirá la disipación de las fuerzas sísmicas a través de los sistemas ortogonales de los módulos, sin que se presenten fallas y se recomienda el uso de materiales impermeables y resistentes al fuego, dado que los incendios e inundaciones son comunes cuando se presentan terremotos.

Los aspectos mencionados anteriormente en síntesis recomiendan que la estructura sea ligera, simétrica, compacta y su diseño incorpore cambios graduales para garantizar la estabilidad y homogeneidad estructural. Con el fin de complementar los fundamentos para el diseño de estructuras, se revisó también el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, en la cual se

detalla en el capítulo A.9 lo necesario para para el diseño de elementos no estructurales, a los que pertenecen las estanterías.

La normativa establece su cumplimiento obligatorio en las zonas de amenaza sísmica alta o media y como se muestra en la figura 13 Bucaramanga se encuentran en una zona de alto riesgo, por lo tanto, se debe aplicar. A continuación, se enuncian algunos criterios que esta norma recomienda.

Figura 13. Zonas de amenaza sísmica en Colombia



Fuente: REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE.NSR-10. 1997.Bogota D.C.p.30.

Criterios para el diseño de elementos no estructurales:

- ✚ Separación de la estructura: Las estanterías se deben aislar lateralmente de la estructura del edificio, dejando una separación suficiente para garantizar que no entren en contacto al sufrir deformaciones debidas a sismos.
- ✚ Amplificación dinámica: El mueble no deberá generar amplificaciones dinámicas ante la presencia de sismos, lo que sucede cuando el elemento no estructural es flexible, ya que su naturaleza amplifica las aceleraciones a las que es sometido, en cambio las estructuras deberán emplear materiales dúctiles.
- ✚ Anclaje: Dependiendo de la importancia definida de acuerdo al tipo de edificación, las estanterías deben anclarse de tal forma que las fuerzas sísmicas que este reciba sean transmitidas a la estructura de la edificación.
- ✚ Fuerzas sísmicas de diseño: Sobre el elemento el anaquel actúa la fuerza sísmica horizontal (F_p) aplicada en el centro de masa, además de una fuerza vertical equivalente a un tercio del peso de la estructura (F_v), ubicada en el mismo lugar. F_p debe ser utilizada en los estudios mecánicos realizados para garantizar que la estructura soportara su efecto.

Para calcular (F_p) se requieren las siguientes variables: a_x : Aceleración en la base, A_p : Resonancia, M : masa, g : gravedad, R_p : Disipación de energía, S_a : Máxima aceleración de diseño, h_x : altura a la que se encuentra el estante medida desde la base, h_n : altura a la que se encuentra el piso más alto del edificio medida desde la base, A_a : Aceleración de acuerdo a cada ciudad, F_a : Tipo de suelo, I : importancia del tipo de construcción. Luego de establecer el valor de estas variables se deben usar las siguientes fórmulas para determinar el valor la fuerza sísmica.

$$F_p = (a_x \cdot a_p \cdot M \cdot g) / R_p \quad a_x = (S_a \cdot h_x) / (0.75 \cdot h_n) \quad S_a = 2,5 \cdot A_a \cdot F_a \cdot I$$

En anexos d se especifica cómo se determinó la magnitud de cada una, ya que para el diseño de la estantería antivuelco son de gran importancia, por lo tanto, se tienen en cuenta.

5.REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

Los requerimientos que se presentan a continuación surgen de los fundamentos teóricos analizados anteriormente, en los cuales se reunió información sobre el diseño para mobiliario de oficina, las necesidades de los usuarios, los aspectos ergonómicos, formales y técnicos, así como también las causas que generan vuelco, y los criterios para el diseño de estructuras sismo resistentes. Junto a estos requerimientos se muestran también sus respectivos parámetros.

Tabla 1. Requerimientos y parámetros de diseño

| Requerimientos | Parámetros |
|---|--|
| De uso | |
| <ul style="list-style-type: none"> ✚ Los elementos que contiene el mueble deben permanecer dentro de la estantería durante un sismo. ✚ Evitar la acumulación de objetos en la parte superior del mueble. ✚ Se debe impedir que los objetos almacenados sobresalgan de las repisas. ✚ Uso de materiales seguros que no se rompan fácilmente. ✚ Añadir elementos que faciliten | <ul style="list-style-type: none"> ✚ Reducir el número de elementos que caen por movimientos sísmicos ✚ A partir de los 200 cm debe haber cero objetos en el mueble ✚ Las repisas contendrán al 100 % la base los implementos que contienen. ✚ Utilizar materiales con poca fragilidad. ✚ Tener al menos un elemento separador de libros. |

| | |
|---|--|
| el almacenamiento de libros. | |
| Ergonómicos | |
| <ul style="list-style-type: none"> ✚ El anaquel no tendrá superficies con filos, ni esquinas rectas. ✚ Evitar el atrapamiento de los dedos al manipular el mueble. ✚ La altura de la cuarta repisa corresponderá con la altura de rodilla. ✚ La altura total del mueble no excederá la altura vertical de alcance máximo. ✚ Permitir la regulación de la altura de los estantes del anaquel. | <ul style="list-style-type: none"> ✚ Redondear las aristas y bordes mínimo con un radio de 2 mm. ✚ No habrá huecos o espacios entre 8mm y 25mm. ✚ La altura de la repisa más baja o cuarta repisa deberá estar mínimo a 40 cm del suelo. ✚ La estantería tendrá una altura máxima de 180 cm. ✚ Cada estante tendrá al menos dos posiciones distintas de altura. |
| Formales | |
| <ul style="list-style-type: none"> ✚ Uso de líneas rectas con redondeado suave. ✚ Procurar superficies lisas. ✚ Añadir pocos elementos cuya función sea únicamente decorativa. | <ul style="list-style-type: none"> ✚ Agregar redondeos de al menos 5 mm a las formas con ángulos rectos. ✚ Todos los materiales tendrán un acabado pulido es decir con bajo coeficiente de fricción. ✚ No se agregaran más de 3 elementos decorativos, que no tengan una función definida. |
| Técnicos | |
| <ul style="list-style-type: none"> ✚ Los elementos móviles deben tener topes o frenos para evitar | <ul style="list-style-type: none"> ✚ Todo elemento móvil tendrá al menos un tope. |

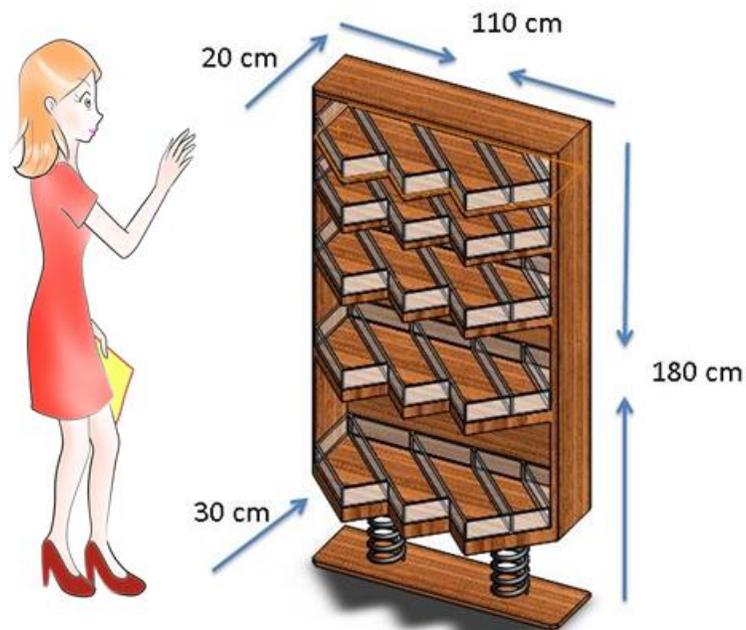
| | |
|--|--|
| <p>la caída o el movimiento involuntario.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✚ No juntar piezas de diferentes tipos de metales. ✚ Aplicar anticorrosivos si se utilizan metales y sellantes si se emplea madera. ✚ Las repisas deben soportar el peso necesario para almacenar artículos de oficina. | <ul style="list-style-type: none"> ✚ Cero combinaciones de metales. ✚ Todas las piezas del mueble tendrán aplicado anticorrosivos o sellantes, según el tipo de material. ✚ Cada repisa soportara entre 50 y 100 kg. |
| Sismo resistentes | |
| <ul style="list-style-type: none"> ✚ Mantener centros de gravedad bajos en el mueble. ✚ La base de la estructura deberá ser simétrica y compacta. ✚ Evitar el exceso de esbeltez entre el ancho y la altura. ✚ Utilizar materiales impermeables e ignífugos. ✚ Debe existir una distancia entre el mueble y la pared. ✚ El anaquel debe comportarse como un cuerpo rígido. ✚ Resistir los esfuerzos impuestos por las fuerzas sísmicas. | <ul style="list-style-type: none"> ✚ Centro de masa menor o igual a la mitad de la altura total. ✚ Uso de formas regulares para la base. ✚ La relación entre el ancho y la altura debe ser menor a cuatro. ✚ Los materiales deben tener un bajo coeficiente de absorción de humedad y una alta resistencia al fuego. ✚ Garantizar 2 cm de espacio entre el mueble y una pared. ✚ No se deberá utilizar materiales flexibles. ✚ Factor de seguridad entre 1 y 3. |

6.GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS

Se elaboraron tres conceptos teniendo en cuenta los requerimientos de diseño planteados. A continuación, se muestran los modelos de cada una junto a una breve descripción de su funcionamiento y también sus medidas.

1. Estantería con aislamiento sísmico

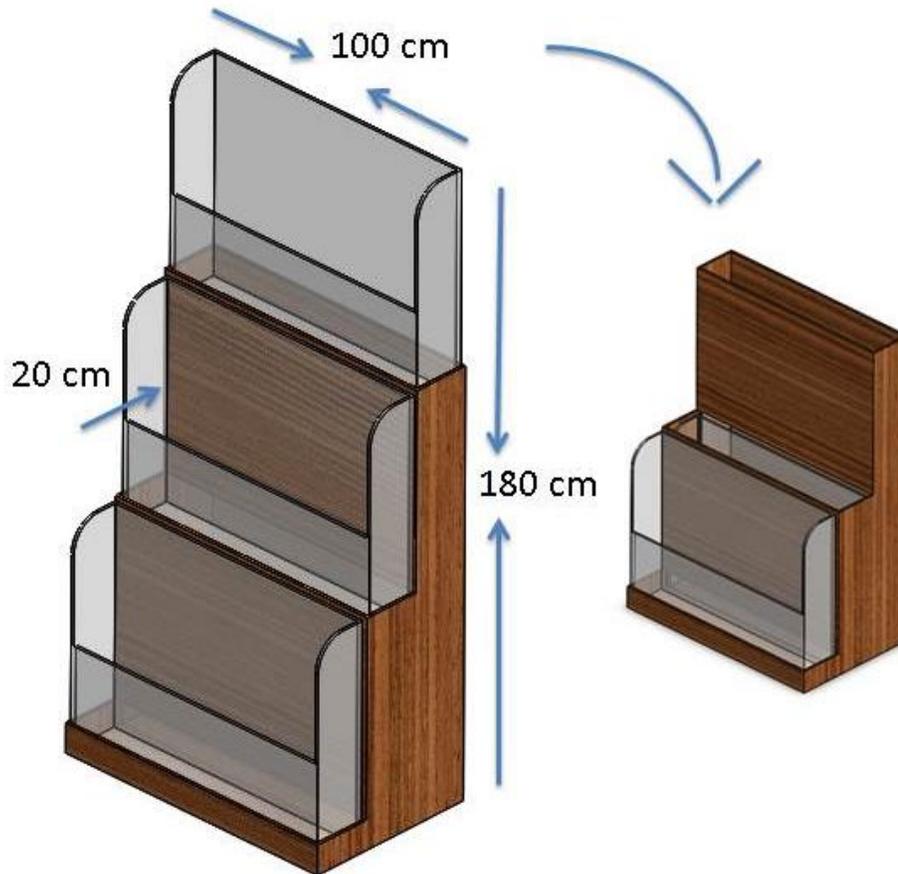
Figura 14. Boceto con dispositivos de aislamiento



Esta alternativa tiene en su base, un sistema de aislamiento sísmico, ya sea flexible, de fricción o de amortiguación. Su forma disminuye gradualmente su profundidad, las alturas y grosor de las repisas, haciendo que a medida que se tiene una repisa más alta, la cantidad de objetos que se coloquen sean de menor tamaño y cantidad.

2. Estantería compacta

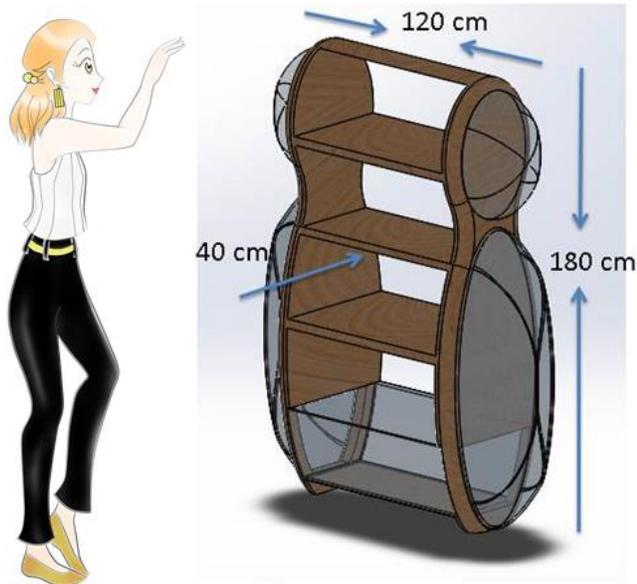
Figura 15. Boceto con sistema de seguridad compacto



Esta propuesta consta de tres módulos móviles, un sensor acelerómetro y un mecanismo que sostiene las tres piezas, cuando el sensor detecta un sismo de alta magnitud activa el mecanismo haciendo caer los módulos, esto permite que la estantería disminuya su altura a un tercio, lo cual baja considerablemente su centro de masa. Además, tiene la opción de regular la altura de las repisas.

3. Estantería acuática

Figura 16. Boceto sistema acuático



Este concepto incluye en su diseño cámaras de agua. Los sistemas con agua son ampliamente utilizados para enfrentar terremotos, ya que algunas ondas sísmicas no son transmitidas a ella, además las ondas que si la afectan harían que el agua se mueva y este movimiento ayudaría a equilibrar el anaquel. También permitirá ajustar la altura de las repisas.

7. SELECCIÓN

Para seleccionar la alternativa que continúa en proceso, se revisó cual cumplía más requerimientos, siguiendo el método desarrollado por Ulrich²³ de acuerdo al cual se debe realizar una matriz en la que se puede realizar la comparación de las propuestas que se tienen con una de referencia que exista en el mercado, visualizando así cuál es la más apropiada al cumplir con más requerimientos, en ella se deben escribir los requerimientos y nombrar las alternativas junto a ellos, luego se pondrá “+” si la alternativa mejora en este aspecto respecto a la de referencia, “-” si se desmejora y “0” en caso de que sea igual, finalmente se debe hacer la suma neta de los “+” y así identificar la mejor propuesta. Para este propósito se seleccionó como alternativa de referencia la estantería con agujeros analizado en las soluciones actuales existentes, ubicado fundamentos teóricos.

Tabla 2. Matriz de selección de alternativas

| Requerimiento | Concepto 1 Aislante | Concepto 2 Compacto | Concepto 3 Acuático |
|---|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Los elementos que contiene deben permanecer dentro de la estantería durante un sismo. | + | + | 0 |
| Evitar la acumulación de objetos en la parte superior del mueble. | 0 | + | + |
| Impedir que los objetos almacenados sobresalgan de las repisas. | + | + | - |

²³ ULRICH, Karl T.; EPPINGER, Steven D. Diseño y desarrollo de productos: enfoque multidisciplinario. 2009.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Uso de materiales que no se rompan fácilmente. | 0 | 0 | 0 |
| Añadir elementos que faciliten el almacenamiento de libros. | + | + | + |
| El anaquel no tendrá superficies con filos, ni esquinas rectas. | + | + | + |
| Evitar el atrapamiento de los dedos al manipular el mueble. | + | + | + |
| La altura de la cuarta repisa corresponderá con la altura de rodilla. | + | + | + |
| La altura total del mueble no excederá la altura vertical de alcance máximo. | + | + | + |
| Permitir la regulación de la altura de los estantes del anaquel. | 0 | + | + |
| Uso de líneas rectas con redondeado suave | - | 0 | + |
| Procurar superficies lisas. | 0 | 0 | 0 |
| Añadir pocos elementos cuya función sea únicamente decorativa. | 0 | 0 | 0 |
| Los elementos móviles deben tener topes o frenos para evitar la caída o el movimiento involuntario. | 0 | 0 | 0 |
| Cada repisa soportará entre 50 y 100 kg de peso. | 0 | 0 | 0 |
| Mantener centros de gravedad bajos en el mueble. | 0 | + | 0 |
| La base de la estructura deberá ser simétrica y compacta. | - | + | 0 |
| Evitar el exceso de esbeltez entre el ancho y | 0 | + | 0 |

| | | | |
|--|---|---|---|
| la altura. | | | |
| Los cambios en la configuración de la estructura deben darse de forma gradual. | 0 | 0 | 0 |
| Debe existir una distancia entre el mueble y la pared. | + | + | + |
| Se comporta como un cuerpo rígido. | 0 | 0 | 0 |

Al realizar la sumatoria se evidencia que el concepto 2 es el que más requerimientos cumple, con una sumatoria de 13, seguida del número 3, con 9 puntos y la última es el número 1 que obtuvo un total de 8, por lo tanto, este concepto siguió el proceso de desarrollo.

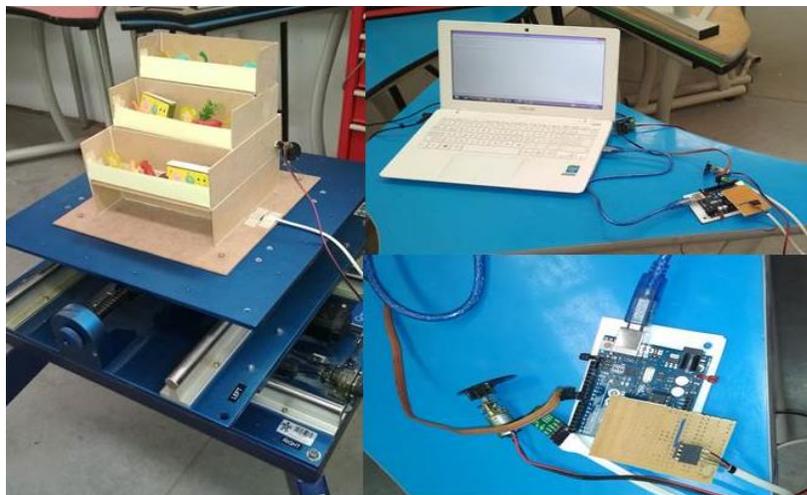
También se analizaron algunos aspectos para compararlas, la propuesta 1 está enfocada en disipar las ondas sísmicas a través del movimiento en su base, lo cual evitaría daños en su estructura al tiempo que evita el volcamiento, pero, este concepto debe ir anclado, para obtener buenos resultados y debido a que este proyecto está dirigido a oficinistas, los cuales no siempre tienen permitido anclar por lo cual no podrían utilizarla. La propuesta con cámaras de agua disiparía algunas ondas sísmicas pero las otras podrían afectarle, haciendo que este rote. Finalmente, el concepto 2, permite que el centro de masa baje en caso de emergencia y ofrece un buen rendimiento sin necesidad de estar anclado, lo cual es una ventaja para los usuarios.

Luego de seleccionar el concepto, se realizó un modelo a escala para realizar una prueba de laboratorio y verificar si la propuesta funcionaba de acuerdo a lo esperado.

8.CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN DE LA ALTERNATIVA

Las pruebas físicas se llevaron a cabo en el laboratorio de simulación sísmica del SENA de Cazucá en Bogotá, utilizando la mesa vibratoria Shake Table III XY de la marca Quanser Innovate Educate, este equipo simula los movimientos sísmicos en los ejes X y Y, estos se ubican bajo la plataforma y se deslizan a través de rodamientos lineales que aportan suavidad en su recorrido, la mesa se controla por medio de un software que permite configurar las características del sismo, también reproduce sismos importantes que han ocurrido en el mundo y que están almacenados en su programa. Este equipo cuenta con sensores acelerómetros que miden las magnitudes presentadas en la plataforma y posee un motor de 400 vatios que le permite reproducir altas aceleraciones. Las pruebas fueron supervisadas por los Ingenieros Cristian Ardila y Guillermo Coronado. Para realizar la experimentación se realizó una maqueta de escala 1:3, la cual constaba de tres módulos articulados y un sistema electrónico compuesto por un sensor acelerómetro, un motor rotatorio, una cuerda, un arduino y un programa que permitía configurar tanto el número de sacudidas como la intensidad que activaba el mecanismo.

Fotografía 3. Modelo de pruebas y elementos que lo componen



El sensor captaba el movimiento y enviaba la señal al motor rotatorio, este activaba el mecanismo que hacía descender los módulos de la maqueta logrando reducir las dimensiones de su altura. La alimentación del mecanismo se hizo a través de un computador.

Objetivo de la prueba: Verificar si el sistema electrónico se activaba oportunamente y también si el modelo se mantenía en equilibrio al reducir su altura, para lo cual se controlaron las siguientes variables.

Material: La mesa simula los sismos a escala, es decir, las aceleraciones que genera son proporcionales al tamaño de su base y no a las de un sismo real, por esta razón se deben utilizar materiales con baja resistencia para mantener las proporciones del daño que sufrirían, ya que si se utilizan los materiales reales sus propiedades estarían exageradas. Comúnmente se realizan estos modelos en cartón o MDF, y debido a que la maqueta debía soportar el viaje desde Bucaramanga hasta Bogotá, se realizó en MDF.

Dimensiones: Se realizó a escala 1:3 ya que estas medidas corresponden al rango de las dimensiones de la base del equipo, el tamaño de la maqueta fue 20 cm x 20 cm x 30 cm.

Sacudidas: Con el fin de evitar que el mecanismo sea activado por movimientos generados accidentalmente, se configuró el sistema para que el acelerómetro luego de tres movimientos en la estructura, envié la señal al motor. Estos movimientos deben ser consecutivos en un periodo de 3 segundos y de intensidad alta.

Sismo: Con el fin de aportar realismo a la prueba el terremoto simulado fue el mismo que ocurrió en Bogotá el 31 de agosto en el año 1917, cuya magnitud fue de 7,3 en la escala de Richter, siendo el terremoto más fuerte registrado desde el siglo XX en la Capital del país.

Anclaje: Las pruebas se realizaron con la estructura sin anclar para no alterar los datos del experimento.

Procedimiento: Se realizó la calibración del sensor con el fin de identificar la intensidad y número de sacudidas prudentes para activar el sistema, para lo cual

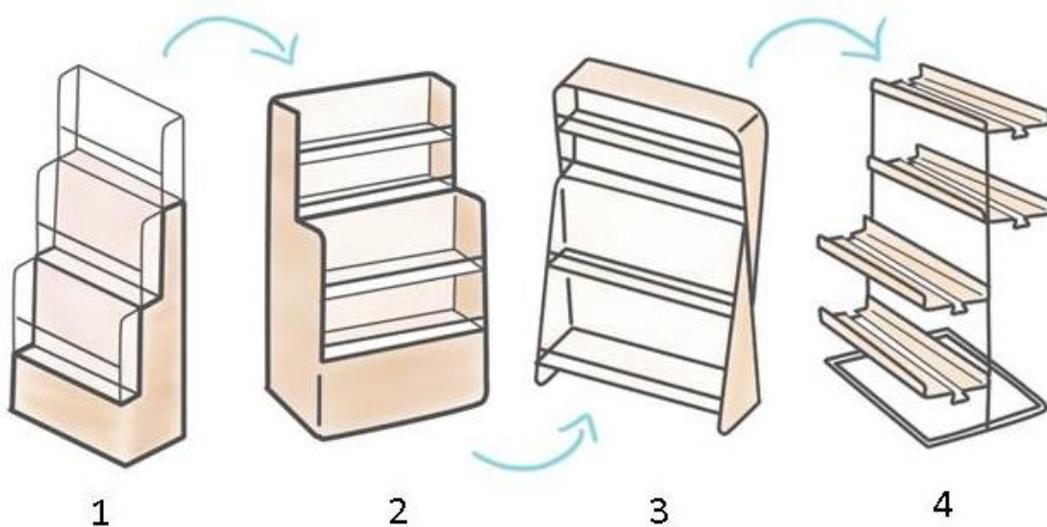
se realizaron cuatro simulaciones de un sismo de 7,3 grados variando ambos valores hasta concluir que tres sacudidas y una intensidad de 3000 en la escala del programa activan el sistema oportunamente, es decir que estos datos equivalen a los primeros movimientos bruscos experimentados durante la simulación del terremoto, pero no a los más críticos que ocurren poco después de su activación. Luego de calibrar el sistema se ubicó la maqueta en el centro de la base y se inició la simulación del terremoto, llevando registro en video de este procedimiento. Se observó una activación rápida y precisa del mecanismo ya que el motor accionó el sistema al iniciarse los primeros movimientos bruscos del sismo, alcanzando su altura mínima luego de un segundo de su accionamiento lo cual es un buen tiempo. El mecanismo se activó transcurridos 10 segundos de haber iniciado la simulación que en total duró 40 segundos, por lo que luego de activado el sistema se experimentaron los movimientos más críticos del terremoto por un lapso de 30 segundos.

Análisis de resultados: Durante la validación se concluye que el sistema se activa en los momentos adecuados, la caída de los módulos ocurre de forma rápida al tardar un segundo en alcanzar su altura mínima. El mecanismo se activa momentos antes de que ocurran los movimientos sísmicos más bruscos, lo cual es positivo en la realidad, ya que si se activara con movimientos suaves que no puedan volcar el anaquel sería agotador para los usuarios tener que levantar la estructura seguido, además porque los sismos de intensidad baja ocurren con mucha más frecuencia que los de alta. Si por el contrario se activa con movimientos muy bruscos podría volcar antes de encogerse, lo cual incumpliría el objetivo de la estantería. En este sentido, activarlo en los movimientos medianamente fuertes es la mejor opción. En cuanto a la estabilidad de la maqueta, se mantuvo constante y no presentó volcamiento en ningún momento, lo cual es fundamental en esta propuesta y válida la eficacia del diseño propuesto.

9.AJUSTES EL DISEÑO

Luego de realizar la prueba física, se analizó el diseño de la propuesta observando que se debían ajustar sus dimensiones ya que este modelo ocupa un área considerablemente grande al triplicar la de los anaqueles convencionales y también empleaba una gran cantidad de material; por este motivo se realizó un rediseño manteniendo el mismo concepto compacto, pero buscando optimizar la propuesta y mejorar su atractivo estético. La evolución del diseño se muestra en la secuencia de la figura 20, después se presenta el modelo 3d de la estantería rediseñada en su forma extendida y compacta.

Figura 17. Proceso de rediseño



El rediseño concluyó con el boceto número cuatro, donde se aprecia una gran reducción del material para elaborar la estantería y también del espacio requerido para su funcionamiento, por lo tanto, este es el diseño seleccionado para continuar en proceso. El siguiente paso fue elaborar el diseño a detalle de esta propuesta.

Figura 18. Boceto diseño final en forma extendida y compacta

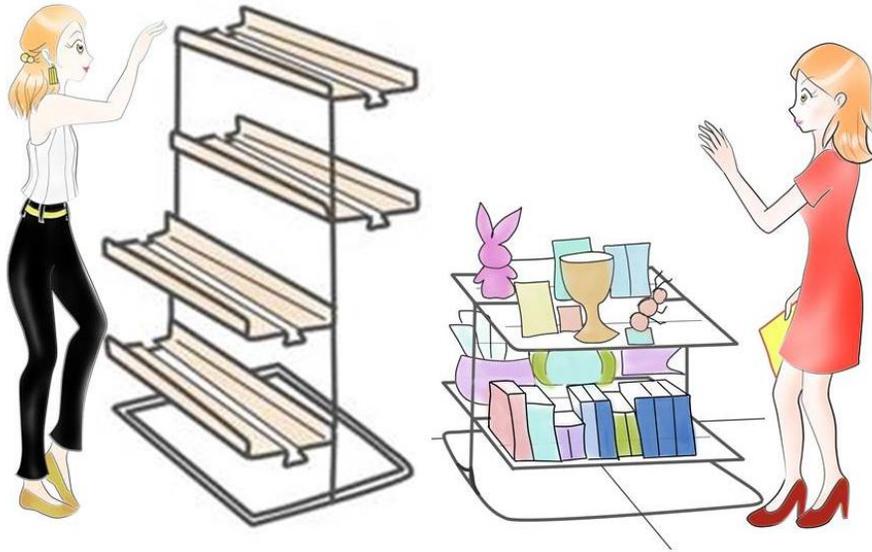
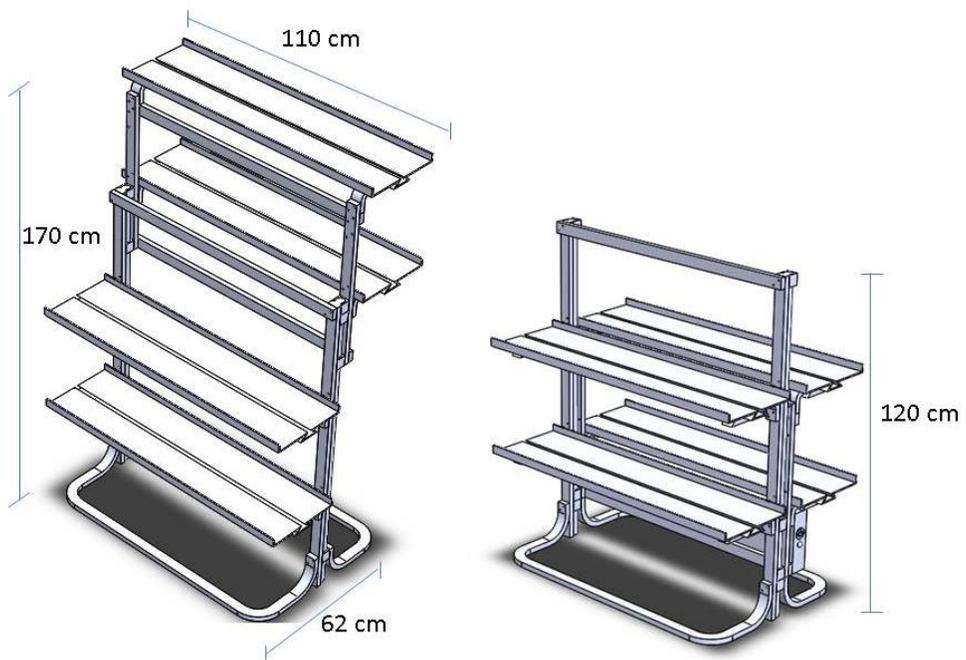


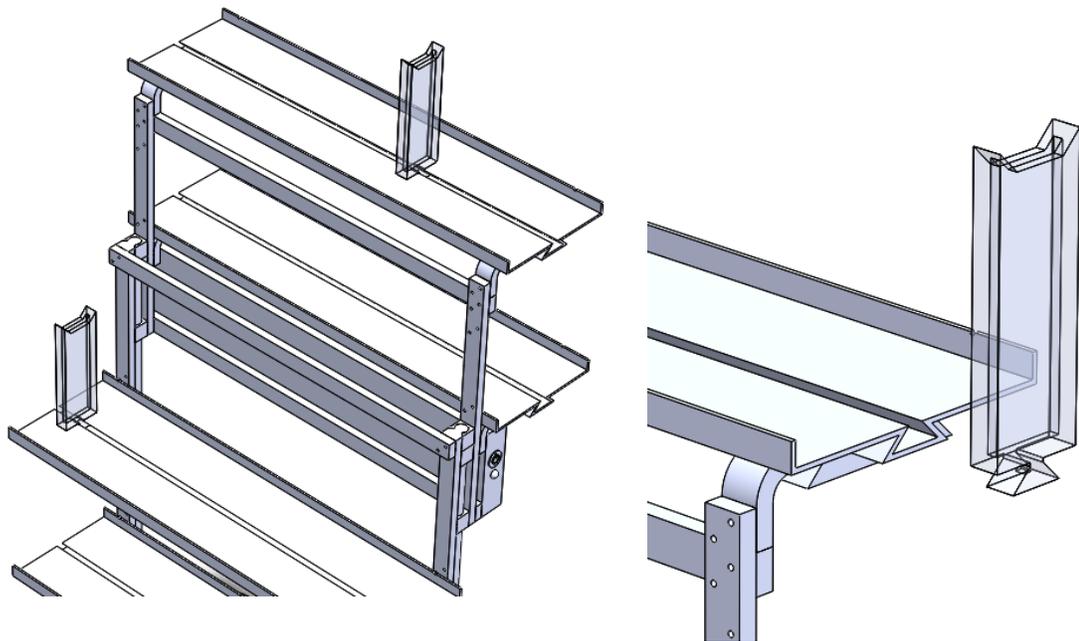
Figura 19. Modelo 3d del rediseño de la estantería junto a sus dimensiones



10.DETALLES FINALES

La nueva forma de las repisas incorpora un sistema de guías que facilitan el movimiento, esto permite la colocación o remoción de los entrepaños con solo deslizarlos, de igual manera, este riel es aprovechado para ubicar los separadores de libros haciendo que se desplacen suavemente sobre él, haciéndolo más práctico para los usuarios.

Figura 20. Detalles forma de los entrepaños



En la figura 23 se muestra un acercamiento de las repisas, aquí se observa el riel o pliegue añadido a ella, este permite reforzarla para soportar mejores cargas y a su vez funciona para mover los separadores de la estantería, a su vez se emplea para colocar la repisa en su puesto de forma rápida ya que no requiere tornillos lo

cual agiliza el armado del mueble. En la siguiente figura se la tiene la estructura sin repisas, en ella se incluyen soportes sobre los que se insertan las repisas y que tienen la posibilidad de regular su altura para modificar el alto de los entrepaños, así mismo estos elementos sirven de refuerzo para los estantes. A la estructura además se incorporan los rieles que permiten el desplazamiento de la pieza superior del anaquel y la base del mueble, esta garantiza el espacio requerido de acuerdo a la norma NSR-10 para las deformaciones, manteniendo dos centímetros entre las repisas y la pared.

Figura 21. Estructura con soportes

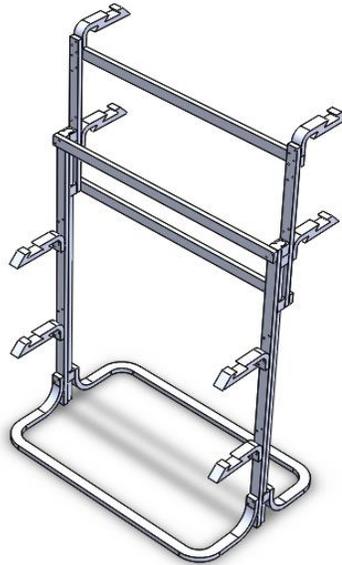
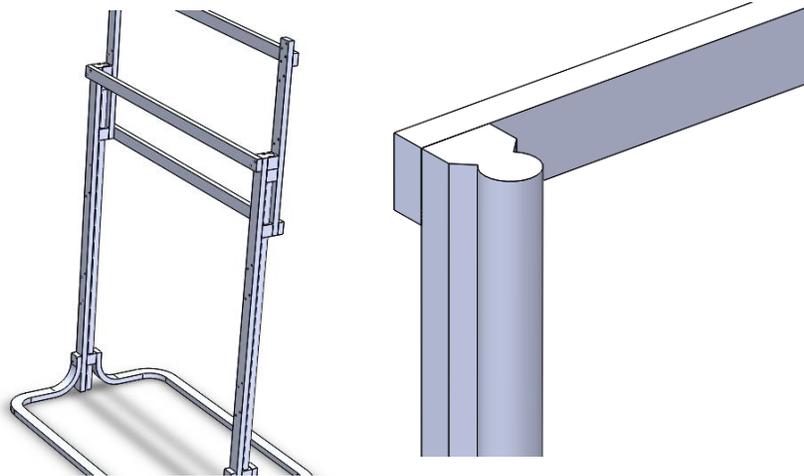
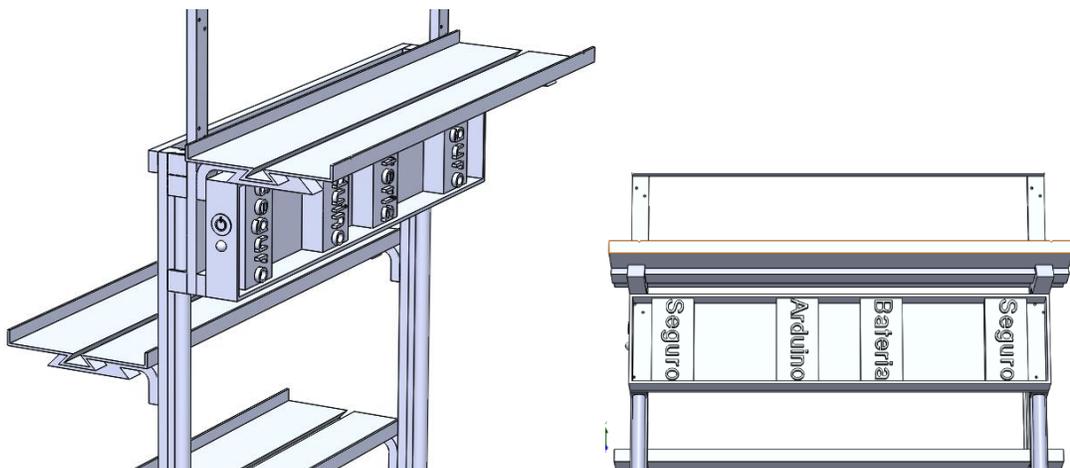


Figura 22. Detalle de los rieles verticales



El sistema electrónico se ubica en el compartimento ubicado en la pieza superior de la estantería. En su lateral derecho se tiene un botón de encendido-apagado y un led que indica cuando esta encendido el sistema.

Figura 23. Compartimento de almacenamiento sistema electrónico



Este funciona con baterías, garantizando que el mecanismo funcione si falla la luz eléctrica, está compuesto por dos seguros que mantienen los módulos en su posición normal si no se presenta un sismo ubicado en la pieza superior, un

arduino, un sensor acelerómetro que envía la señal a los seguros, un botón de encendido-apagado y dos baterías, una de doce voltios y otra de cinco que alimentan el circuito. Estas baterías pueden durar hasta cinco años en agotarse, pese a ello, se recomienda hacer una revisión técnica anual para garantizar el correcto funcionamiento del elemento. El siguiente aspecto a detallar es el material de la propuesta, los planos técnicos se agregaron en el anexo D.

Materiales

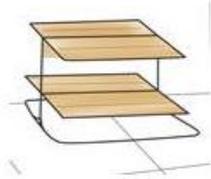
Pues bien, para la realización de la estructura, Moreno, Salazar y Sáenz²⁴, consideraron el Acero 4340, El acero 4340 es una aleación de níquel, cromo y carbono, tiene alta resistencia mecánica, buena tenacidad, gran resistencia a la fatiga a la tracción y al impacto. Se utiliza para la elaboración de maquinaria, o piezas que requieran de un alto desempeño. Soporta bien la corrosión, aun así, se recomienda recubrirlo con anticorrosivos, permite realizar procesos de extrusión, corte, fundición, doblados entre otros. Esta estructura se puede realizar por extrusión, fundición o doblado.

En cuanto a las repisas se propone su fabricación en madera plástica debido sus propiedades impermeables, ignífugas, duraderas y por su acabado estético similar al de la madera tradicional, que permite evocar la sensación de calidez. Su producción se plantea por extrusión. Después de detallar los elementos que componen la estantería se muestran los pasos a seguir para su correcto funcionamiento.

²⁴ MORENO, Félix R.; SALAZAR, Wilman J. y SÁENZ, Laura A. Evaluación del comportamiento mecánico a la fatiga en aceros AISI 4340 y AISI 4140 tratados térmicamente con recocidos y normalizados. En: Revista ingeniería UC.2005. Vol. 12, No. 3. p. 40-45.

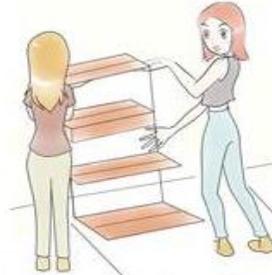
Figura 24. Secuencia de uso

1.



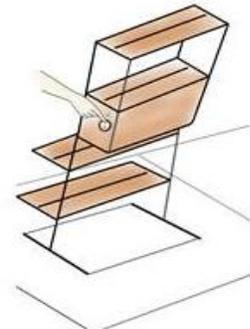
Ubicar la estantería

2.



Levantando la pieza superior

3.



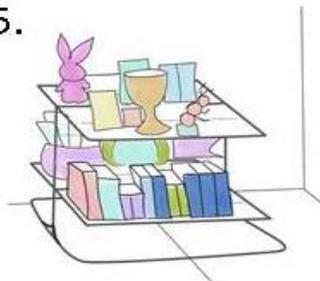
Encender el sistema electrónico

4.



Almacenar objetos

5.



Cuando ocurra un sismo el mecanismo se activará automáticamente dejando caer la pieza superior

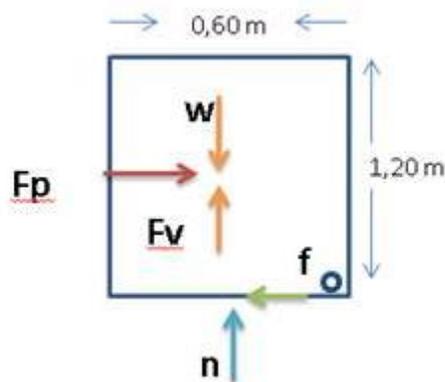
11. ANÁLISIS MECÁNICOS

Luego de definir todos los detalles de la propuesta y su material de construcción es posible realizar estudios mecánicos teóricos y de simulación digital. El primer análisis que se muestra es el de volcamiento de acuerdo a los fundamentos teóricos mencionados en el libro de Beer, con el fin de determinar el valor de la fuerza sísmica que haría rotar la estructura.

Análisis de volcamiento

En el diagrama se ubica el peso, la normal, la fricción, además de las fuerzas F_p en el centro de masa horizontalmente y F_v en el mismo punto en sentido vertical, según lo mencionado por la norma NSR-10.

Figura 25. Diagrama de cuerpo libre propuesta compacta. D.C.L.



$$M = 152 \text{ kg}$$

$$\sum M_o = 0$$

$$- F_p \cdot 1,2/2 - w/3 \cdot 0,6/2 + w \cdot 0,6/2 = 0$$

$$F_p = (- 9,8 \cdot 152/3 \cdot 0,6/2 + 9,8 \cdot 152 \cdot 0,6/2) / (1,2/2)$$

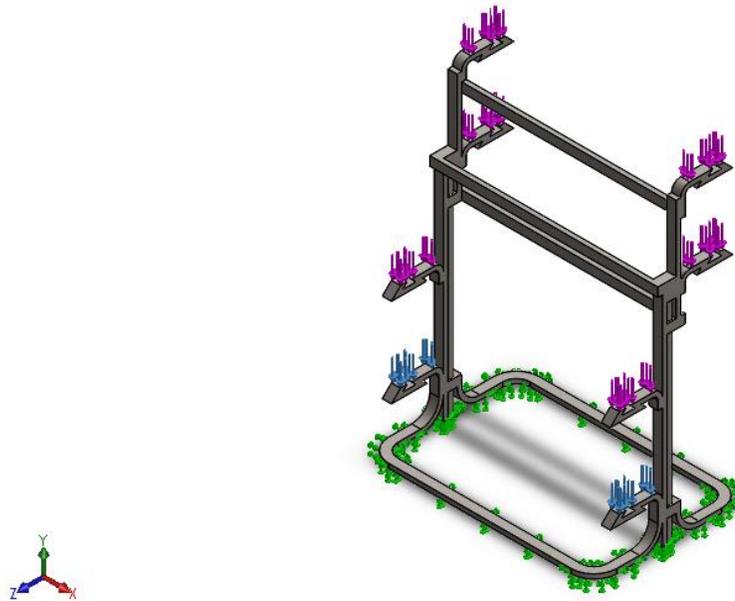
$$F_p = 496.53$$

Este valor significa que la estantería iniciaría su vuelco con una fuerza de 496 Kgf. Con el fin de comparar el riesgo a volcamiento de esta propuesta con respecto de las soluciones encontradas en el mercado, se realizó en anexos D este análisis a las soluciones actuales encontradas en el mercado, calculando el valor de la fuerza que los hace rotar y así determinar en cuanto se redujo el riesgo de vuelco; allí se concluyó que el armable rotaría con una fuerza de 240 Kgf, el que tiene agujeros con 259 Kgf, y el triangular con 152 Kgf. En la estantería tipo escalera se omitió este procedimiento debido a que al estar anclado no presentara vuelco a menos que el sistema falle.

Análisis de resistencia

Aquí se analiza el comportamiento del Acero 4340 respecto a las dimensiones de la estructura utilizando el módulo de simulación del programa Solidworks. Con el fin de ajustar las medidas y el material, buscando tener un factor de seguridad mínimo de dos, para esto se realizaron dos estudios, el primero para verificar si soportaba las cargas a las que son sometidos los entrepaños y el segundo incluyendo además las fuerzas sísmicas. Estos son los resultados del primer estudio. En la siguiente figura se muestra la distribución de las cargas aplicadas.

Figura 26. Fuerzas aplicadas al modelo de simulación



Con las siguientes propiedades volumétricas para el diseño: Masa: 91 kg, Volumen: 0.0116298 m³, Densidad: 7850 kg/m³ y Peso: 894.681 N y para el acero así: Límite de tracción: 1.11e+009 N/m² y Módulo elástico: 2.05e+011 N/m². Las cargas aplicadas fueron 10000 N para cada repisa del módulo inferior y 6000 para las de modulo superior, estos valores corresponden a un peso de 100 y 60 kg respectivamente. En la siguiente gráfica se muestra el factor de seguridad, el cual fue de 3,7 esto significa que la estantería soporta casi cuatro veces las cargas especificadas. Adicionalmente los desplazamientos máximos alcanzados por la estructura son de 19 milímetros.

Figura 27. Gráfica del factor de seguridad

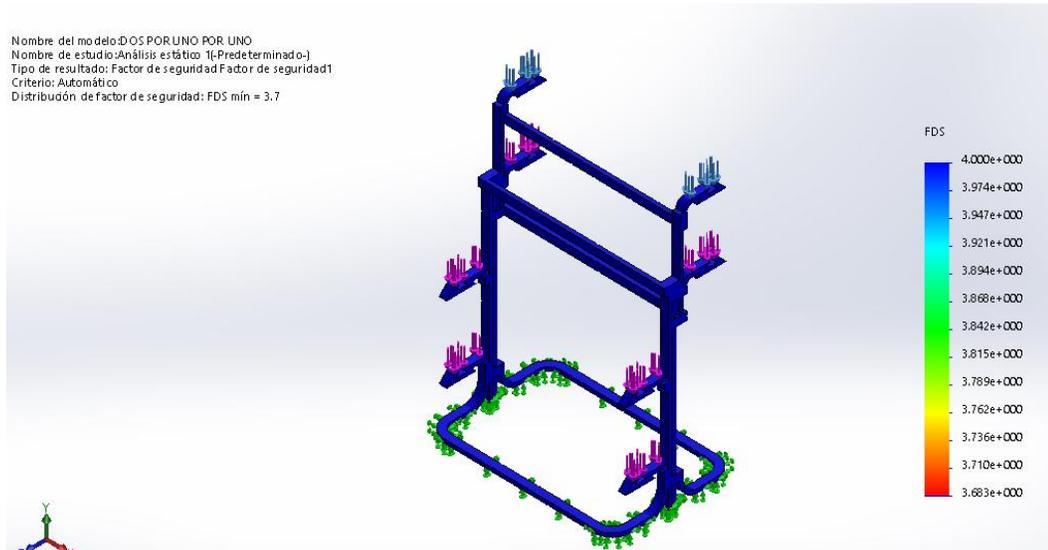
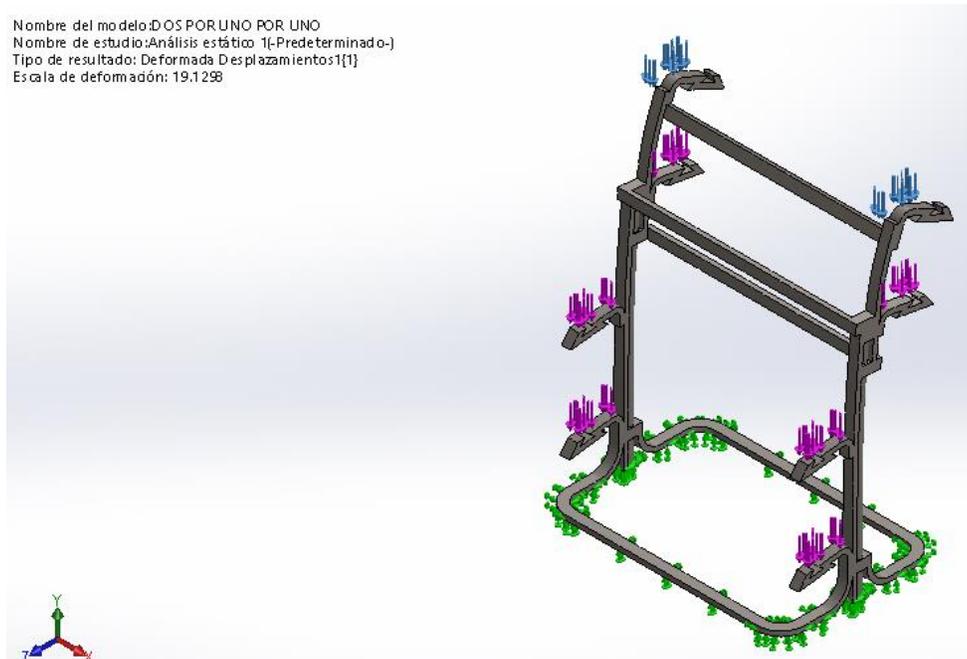


Figura 28. Gráfica de desplazamiento máximo



En el segundo análisis, se estudia la estantería en su forma compacta, ya que en este estado soportará la acción de las cargas sísmicas. Las propiedades volumétricas son las mismas que en primer análisis. Para hallar los valores de las

fuerzas sismicas F_p y F_v , se siguió el procedimiento señalado por la normativa NSR-10, las demás variables se detallan en el anexo D.

$$F_p = (a_x \cdot a_p \cdot M \cdot g) / R_p \quad a_x = (S_a \cdot h_x) / (0.75 \cdot h_n) \quad S_a = 2.5 \cdot A_a \cdot F_a \cdot I$$

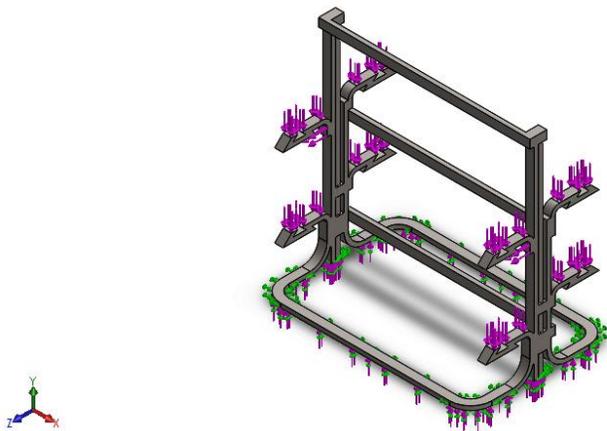
$$S_a = 2.5 \cdot 0.25 \cdot 1.1 \cdot 1 = 0.687$$

$$a_x = (0.687 \cdot 10) / 7.5 = 0.916$$

$$F_p = (0.916 \cdot 2.5 \cdot 320 \cdot 9.8) / 3 = 2400 \text{ Kgf} = 24000 \text{ N}$$

En la repisa tres, se incluyó f_v , siendo un tercio del peso, por lo tanto ese valor es de 16000 resultado de la suma de los 6000 de la repisa y lo 10000 de f_v .

Figura 29. Ubicación de las fuerzas para el estudio estático de la alternativa compacta



El factor de seguridad obtenido es de 2, tal y como se indica en el siguiente grafico. Los desplazamientos maximos alcanzados son de 13,988 milímetros.

Figura 30. Gráfica del factor de seguridad estudio 2

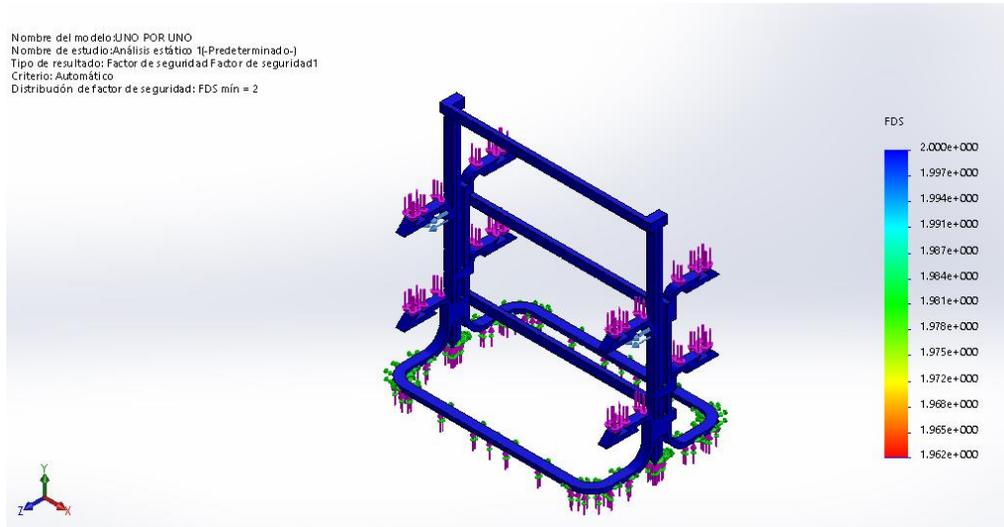
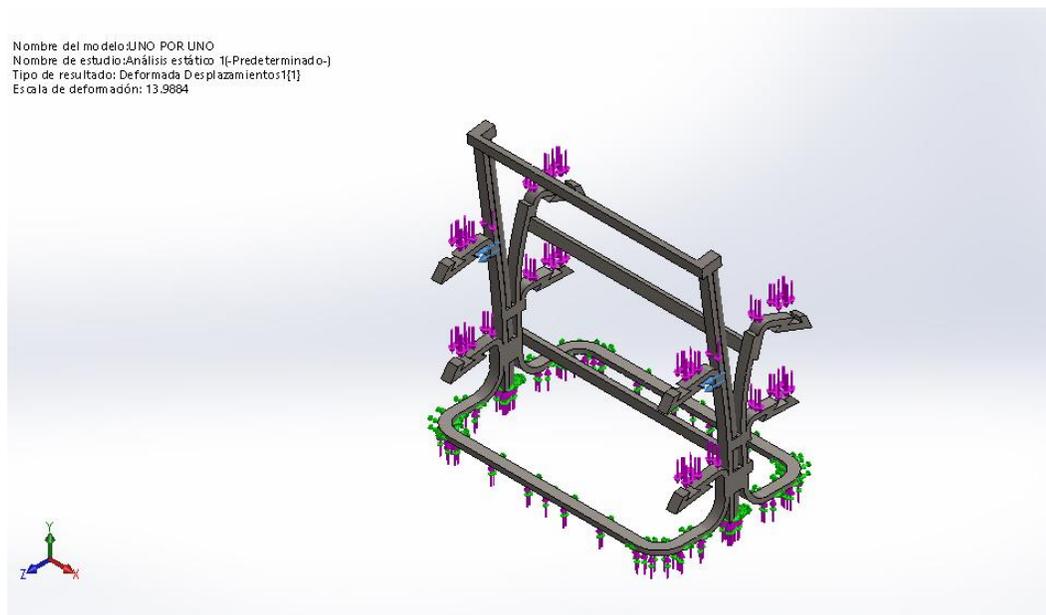


Figura 31. Gráfica de desplazamientos



De este análisis se concluye que el material soporta las fuerzas máximas tanto en uso diario como durante un sismo con las dimensiones especificadas, por lo tanto,

el material y las dimensiones de este diseño cumplen con las expectativas en cuanto a esfuerzos.

Análisis modales

Finalmente, se simuló en Solidworks la respuesta del modelo ante vibraciones sísmicas, realizando un estudio de frecuencia, de esta manera es posible estimar los valores que alcanzaría y determinar si el mueble entra en resonancia con las frecuencias comunes alcanzadas por los sismos en Santander, ya que esto debe evitarse, debido a que significaría que la estructura amplificaría las ondas aumentando los daños. Para que un sólido entre en resonancia el valor de la frecuencia con la que este vibra debe ser igual a la del sismo. Las frecuencias alcanzadas por los terremotos en Bucaramanga son de 90 Hz aproximadamente. Los resultados de este estudio son los siguientes.

Figura 32. Modelo 3D en el módulo de simulación por frecuencias

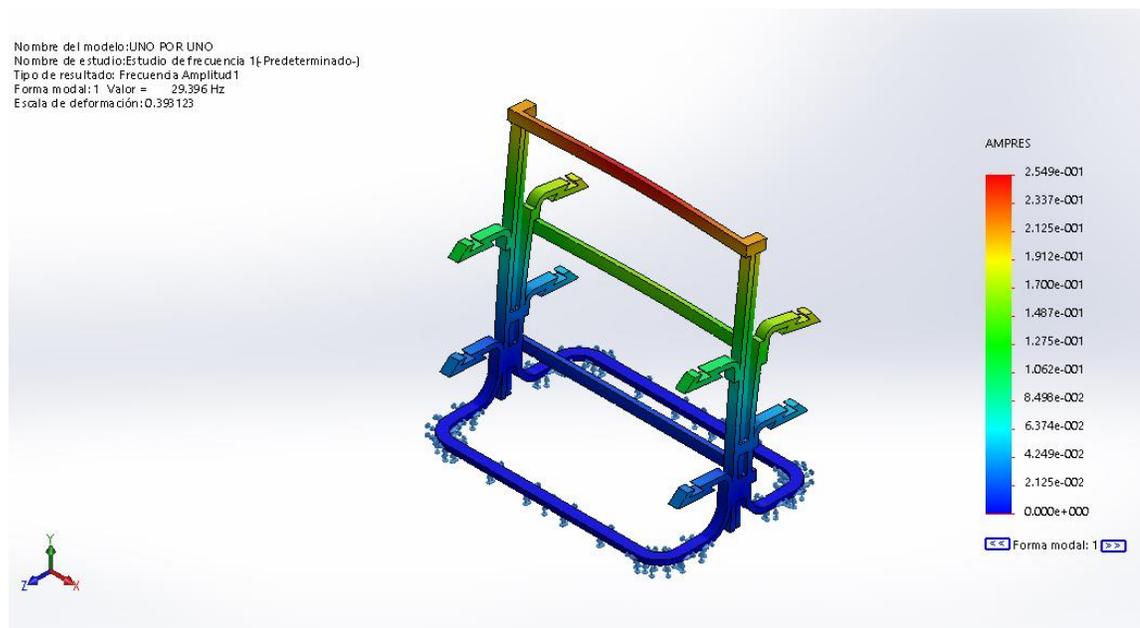


Figura 33. Resultados de los valores de frecuencias alcanzados por el sólido

| Frecuencia n°. | Rad/seg | Hertz | Segundos |
|----------------|---------|--------|----------|
| 1 | 184.7 | 29.396 | 0.034019 |
| 2 | 191.97 | 30.554 | 0.032729 |
| 3 | 260.96 | 41.533 | 0.024077 |
| 4 | 276.63 | 44.027 | 0.022713 |
| 5 | 404.63 | 64.398 | 0.015528 |

De acuerdo con la figura anterior, se aprecia que los valores de vibraciones obtenidos en la simulación son diferentes al valor de la frecuencia de los sismos en Bucaramanga, en este caso, él no entraría en resonancia evitando amplificaciones dinámicas.

Luego estos estudios mecánicos, se tiene una visión más amplia acerca del comportamiento de la propuesta de estantería entregada, ya que los datos obtenidos muestran resultados favorables en la resistencia ante las cargas, el vuelco y a las vibraciones sísmicas. La siguiente figura es un modelo 3D renderizado del mueble desarrollado en este proyecto.

Figura 34. Render estantería antivuelco



12.CONCLUSIONES

De acuerdo a los datos obtenidos durante la simulación sísmica realizada en la mesa vibratoria, y a los valores hallados en el análisis de vuelco, se evidencia la reducción en el riesgo a volcamiento de la estantería elaborada, ya que se requiere aproximadamente de una fuerza dos veces más grande para iniciar su rotación comparada con las soluciones de estanterías existentes, al requerir una fuerza de 496,53 Kgf, mientras que en promedio las demás caen al aplicárseles 250 Kgf, adicionalmente los estudios de resistencia y frecuencia denotan que el mueble no solo soportará las cargas y fuerzas sísmicas, sino también reaccionará favorablemente ante las vibraciones que imponen los terremotos en Bucaramanga. En cuanto al diseño se desarrolló una propuesta adaptable que permite regular la altura de sus repisas de acuerdo a las necesidades de los usuarios, cuya forma, además de facilitar su colocación, contribuye al uso de los separadores al servir como riel para que se deslicen a través de ellas. Los separadores también ayudan en el almacenamiento de libros en caso de requerirse, o pueden removerse por completo al ser elementos independientes de la estructura.

13.RECOMENDACIONES

Debido a los cambios realizados en las dimensiones y el diseño del estante luego de la simulación sísmica en la mesa vibratoria, se recomienda elaborar más pruebas de laboratorio a escala 1:1 con materiales reales, lo cual sería posible ya que su tamaño permite realizar la experimentación en mesas sísmicas existentes en el país, esto permitiría ver en acción el diseño en situaciones más cercanas a la realidad.

BIBLIOGRAFÍA

COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL RÉGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES. Creada por la Ley 400 (19, agosto, 1997). Por la cual se actualiza el Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial. Bogotá D.C., 2010. p. 9-10.

DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. Sismos y volcanes en Colombia. En: Bdigital. Manizales: Repositorio Institucional U.N., 2010. p.1.

Ergonomía y mueble de oficina, guía básica para gestores de venta. (Anónimo). España: Instituto de Biomecánica de Valencia. (s.f.). p.4.

ESTRADA, Jairo, *et al.* Parámetros antropométricos de la población laboral colombiana, 1995. (Base de datos en línea). 1998. Revista Facultad Nacional de Salud Pública, 15 (2). (Recuperado en mayo 8 2018). Disponible en <https://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/fnsp/issue/view/1245>

ESTRUCTURALES, Asociación de Ingenieros Civiles, et al. Recomendaciones" antes, durante y después" de sismos y terremotos. 2013.

EXPOMUEBLE, Innovaciones anuales de mobiliario para oficina, t 5, 2003, p. 50.

Guía ergonómica para el diseño de mueble de oficina. España, 2009, p.10.

HERNÁNDEZ, Pedro. Participación comunal y experiencias organizativas en la atención a la emergencia ocasionada por el terremoto de Limón del 22 de abril de 1991. En: Apdo 1596 Heredia 3000. San José. 1991.

JOHNSTON. Beer y EISENBERG. Mazurek. Mecánica vectorial para ingenieros. Felix Varela, 2009. 120p.

LOZANO, Carlos; GÓMEZ, Alejandra y BARAJAS, Astrid. Respuesta del suelo durante el evento del nido sísmico de Bucaramanga del 10 de marzo de 2015. Barranquilla: Universidad del Norte, 2017. p.1-5.

MORENO, Félix R.; SALAZAR, Wilman J. y SÁENZ, Laura A. Evaluación del comportamiento mecánico a la fatiga en aceros AISI 4340 y AISI 4140 tratados térmicamente con recocidos y normalizados. En: Revista ingeniería UC.2005. Vol. 12, No. 3. p. 40-45.

MUÑOZ, JOSÉ, et al. Oficinas Innovación y Diseño-AM Libros. 2014.

OVIEDO, Juan Andrés y DUQUE, María del Pilar. Sistemas de control de respuesta sísmica en edificaciones. En: Revista EIA. Medellín. 2006. ISSN 1794-1237, No. 6. p. 105-120.

PIRALLA, Roberto Meli; MELI, Roberto. *Diseño estructural*. Editorial Limusa, 2001.

RODRIGUEZ POVEDA, Daniel. Colombia está ubicada en una de las zonas sísmicas más activas de la Tierra. (En línea). (Recuperado en 10 mayo 2018). Disponible en: <https://www.colombiamegusta.com/colombia-esta-ubicada-una-las-zonas-sismicas-mas-activas-la-tierra/>

SALVÁ, Armando Rodríguez y BERRO, Blanca Terry. Atenciones médicas urgentes y lesiones fatales como consecuencia del terremoto en Armenia, Colombia. (Base de datos en línea). Enero-abril de 2005. Revista cubana de higiene y epidemiología, 49 (1), (Recuperado en 15 abril 2018) Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032005000100006

ULRICH, Karl T.;EPPINGER, Steven D. Diseño y desarrollo de productos: enfoque multidisciplinario. 2009.

VELANDIA PATIÑO, Francisco. Cinemática de las fallas mayores del macizo de Santander-énfasis en el modelo estructural y temporalidad al sur de la falla de Bucaramanga. Tesis de Doctorado en Geociencias. Bogotá D. C.: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ciencias, 2017, 1-3p.

VIDAL SÁNCHEZ, Francisco. Los terremotos y sus causas. 18p.

VIDAL SÁNCHEZ, Francisco. Medidas Preventivas y de Protección frente a terremotos. Instituto Andaluz de Geofísica y Prevención de Desastres Sísmicos, 1994.

ANEXOS

Anexo A. Entrevista experto.

Dirigida a: Diego Gerardo Ibáñez Almeida, Geólogo de la Universidad Nacional de Colombia, Ingeniero Ambiental, Docente UIS y Coordinador del servicio geológico colombiano de Santander ubicado en la sede de Guatiguará de la UIS.

1. ¿Qué es un sismo?

Es un movimiento de la tierra que generalmente ocurre al producirse una fractura que libera grandes cantidades de energía que se disipan por medio de las llamadas ondas sísmicas, este movimiento se origina desde el núcleo de la tierra. Existe la teoría de que al este núcleo estar compuesto por magma, y allí se libera calor ocasionando el movimiento en las placas tectónicas y en los límites de las placas se pueden generar sismos que genera un movimiento en la superficie terrestre u oceánica, que es constante y hace que las placas que tiene la tierra se desplacen y choquen.

2. ¿Hay alguna diferencia entre sismo, temblor y terremoto?

Un sismo es igual a un temblor, es un movimiento de la tierra, pero cuando este movimiento genera daños se le conoce como terremoto.

3. ¿Hay probabilidades de que ocurra un terremoto de alta magnitud en Bucaramanga?

Sí, claro, en Bucaramanga y Santander nos afectan tres fallas, y cada falla es una zona de alta actividad sísmica, además del nido sísmico que tenemos en los Santos. Tenemos entonces actividad en el borde de los llanos, en Norte de Santander y la falla Bucaramanga-Santa Marta. Todos los eventos que ocurran en estas tres zonas afectan y generan riesgo en el departamento.

- 4. ¿Cómo determinan qué número en la escala de Richter se alcanzó?
¿Qué variable mide exactamente el sismógrafo?**

El sismógrafo mide aceleraciones, y con esta aceleración se determina que magnitud en Richter se alcanzó. Esta relación está establecida por tablas que asocian estas dos variables.

- 5. ¿Siempre se presentan los cuatro tipos de ondas cuando ocurre un temblor?**

Sí, siempre, aunque se sientan más los efectos de una que de otra, las cuatro siempre están.

- 6. Hay confusión en cuanto a las escalas que miden los sismos, a veces se usa diferentes nombres o se utilizan mal estas escalas, entonces ¿Qué escalas se utilizan para medir los sismos? ¿Cómo emplear adecuadamente estos términos?**

Cuando se habla de magnitud se hace referencia a la energía que se libera y este se mide con sismógrafos utilizando la escala de Richter, esta es una escala logarítmica que va hasta el infinito.

La intensidad es la cantidad de daño que causó un terremoto y se mide con la escala de Mercalli la cual va de 1 a 12. Entonces podemos tener sismos de alta intensidad, pero si no generaron grandes daños por que por ejemplo ocurrieron en la selva, podemos decir que, aunque su intensidad fue alta, la magnitud que este ocasiono fue baja.

- 7. ¿Han encontrado estructuras naturales o artificiales que hayan soportado bien sismos de alta magnitud?**

En el Eje Cafetero hay unas edificaciones construidas en guadua, y han soportado bien sismos de alta magnitud, la guadua es un material que tiene excelentes propiedades físicas.

8. Recomendaciones

Utilizar materiales flexibles como la guadua o algún tipo de plástico para los materiales del proyecto y anclar el mueble al piso, acá tenemos estanterías de gran altura y a pesar de que se han presentado sismos fuertes, estos no han sufrido daños, ni tampoco las muestras que contienen, a pesar de que no están sujetadas.

Anexo B. Entrevista usuarios.

1. ¿Qué elementos guarda en los estantes que tiene en su oficina?

Libros, portarretratos, fotografías, papeles, botellas, algunos basura que acumulan sin darse cuenta, equipos electrónicos como computadores, cuadros, figuras de arte, carpetas, lapiceros, cuadernos, periódicos, recuerdos de viajes o decoraciones.

2. ¿La estantería que tiene está anclada? ¿le permiten anclar en su oficina? ¿en qué partes se podría anclar?

Ninguna de las estanterías de los entrevistados contaba con anclaje, los de las oficinas de la UIS decían que si podían anclar, y los de las oficinas del centro que eran sitios de alquiler decían que no podían intervenir el piso ni las paredes, otras personas decían que era más fácil moverlos si no están fijos para poder limpiar fácilmente, no todos los anaqueles observados podían anclarse, solo algunos daban esta posibilidad.

3. ¿Acumula elementos pesados en la parte superior de la estantería?

La mayoría respondía que sí, algunos no eran conscientes de que esto está mal y otros cuando se les preguntó sonreían porque sabían que era una mala costumbre pero que a veces caen en ella.

4. sugerencias

No utilizar vidrio, es un material muy peligroso. De pronto agregar velcro para sujetar los objetos, es algo sencillo, pero funciona perfecto. Usar disipadores de energía. No pegar el mueble a la pared para que la frecuencia de la pared no le afecte, ya que el piso y la pared vibran con diferente frecuencia. Revisar mecanismos neumáticos o de contrapeso. Tener en cuenta que las paredes son

en drywall y no se puede anclar allí. Que tenga anclaje. Sería interesante que él brinde protección durante un evento sísmico.

Anexo C. Normativa sismo resistente.

Para calcular la fuerza sísmica es necesario determinar los valores de las demás variables así:

Aa: Aceleración de acuerdo a cada ciudad, para Bucaramanga este valor es de 0,25

| Departamento de Santander | | | | | | |
|---------------------------|------------------|-------|-------|-------------------------|-------|-------|
| Municipio | Código Municipio | A_a | A_v | Zona de Amenaza Sísmica | A_e | A_d |
| Bucaramanga | 68001 | 0.25 | 0.25 | Alta | 0.15 | 0.09 |
| Aguada | 68013 | 0.15 | 0.20 | Intermedia | 0.17 | 0.09 |
| Albania | 68020 | 0.15 | 0.15 | Intermedia | 0.09 | 0.06 |
| Aratoca | 68051 | 0.25 | 0.25 | Alta | 0.11 | 0.07 |

Fa: Investigación geotécnica, depende del tipo de suelo, en este proyecto se trabajara con un valor de 1 que corresponde a tipo de suelo rocoso, de rigidez media.

Valores del coeficiente F_a , para la zona de periodos cortos del espectro

| Tipo de Perfil | Intensidad de los movimientos sísmicos | | | | |
|----------------|--|-------------|-------------|-------------|----------------|
| | $A_a \leq 0.1$ | $A_a = 0.2$ | $A_a = 0.3$ | $A_a = 0.4$ | $A_a \geq 0.5$ |
| A | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| B | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| C | 1.2 | 1.2 | 1.1 | 1.0 | 1.0 |
| D | 1.6 | 1.4 | 1.2 | 1.1 | 1.0 |
| E | 2.5 | 1.7 | 1.2 | 0.9 | 0.9 |
| F | véase nota | véase nota | véase nota | Véase nota | véase nota |

I: importancia del tipo de construcción, se seleccionó el grupo de uso II, correspondiente a estructuras de ocupación especial, las cuales cubren edificios gubernamentales y donde trabajen o residen más de 3000 personas entre otros.

| Grupo de Uso | Coefficiente de Importancia, I |
|--------------|--------------------------------|
| IV | 1.50 |
| III | 1.25 |
| II | 1.10 |
| I | 1.00 |

Sa máxima aceleración de diseño, para ciudades donde ocurren sismos con periodo corto usar la siguiente fórmula para calcular este valor

$$S_a = 2,5 A_a F_a I$$

Reemplazando, $S_a = 2,5 * 0,25 * 1 * 1,1 = 0,6875$

hx: altura a la que se encuentra la estantería, medida desde la base. Este valor se asumió para un edificio de 5 pisos, siendo $h_x = 10$ metros

hn: altura a la que se encuentra el piso más alto del edificio medida desde la base. Este valor corresponde a 10 metros

Ax: Aceleración en la base, equivale a $a = 0,916$ calculada con la siguiente formula.

$$A_x = S_a (h_x / h_{eq})$$

Ap: Resonancia del mueble, de acuerdo a la norma, se debe seleccionar un valor de 2,5 cuando se diseñan estructuras como anaqueles, estanterías y bibliotecas de más de 2,5 metros de altura.

| Elemento no estructural | a_p | Tipo de anclajes o amarres para determinar el coeficiente de capacidad de disipación de energía, R_p , mínimo requerido en A.9.4.9 | | |
|--|-------|--|-------------|-----------------------------|
| | | Grado de desempeño | | |
| | | Superior | Bueno | Bajo |
| Anaqueles, estanterías y bibliotecas de más de 2.50 m de altura, incluyendo el contenido | | | | |
| • Diseñadas de acuerdo al Título F | 2.5 | Especiales | Dúctiles | No requerido ⁽³⁾ |
| • Otras | 2.5 | Dúctiles | No dúctiles | No requerido ⁽³⁾ |

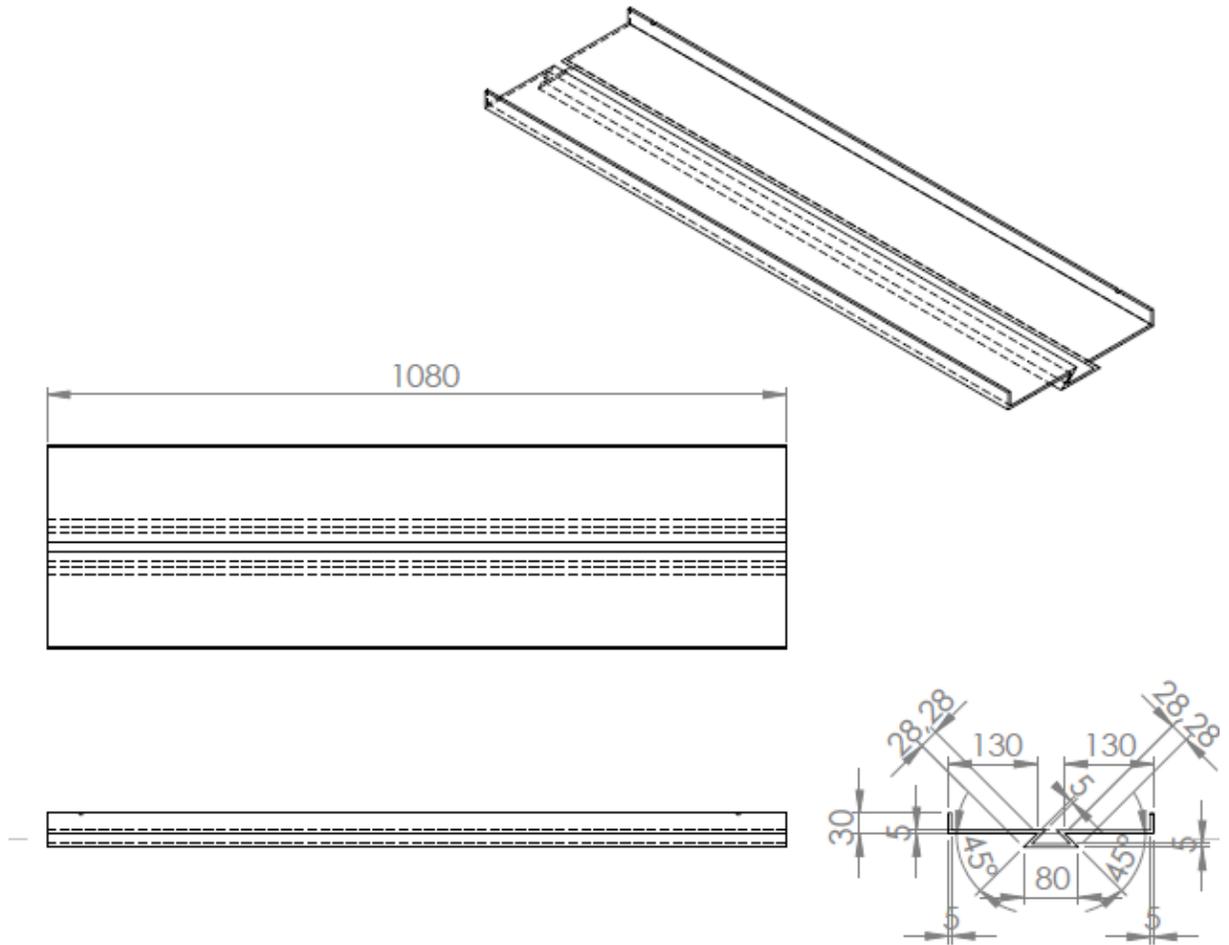
Rp: coeficiente de disipación de energía, se determina de acuerdo al tipo de anclaje utilizado, cuando no está anclada la estructura de toma este valor como 0,5

Fv: Para efectos de diseño se deberá agregar una fuerza vertical que equivale a un tercio del peso del mueble

Anexo D. Planos técnicos.

Dimensiones en milímetros.

Repisas

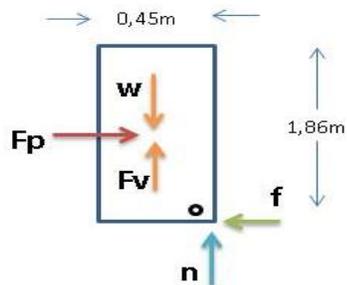


Anexo E. Análisis de volcamiento a soluciones actuales.

Para determinar el valor de fuerza que hace rotar a las estairías se utilizan las variables: M= masa, W= peso, F= fricción, N= normal, Fp= fuerza sísmica, en este caso es el valor que se quiere calcular, para saber con qué valor iniciaría el vuelco, y Fv= fuerza sísmica equivalente a un tercio del peso.

1. Armable

D.C.L



$$M= 152 \text{ kg}$$

$$\sum M_o = 0$$

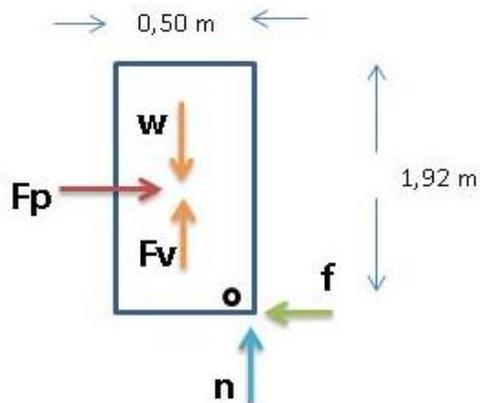
$$- F_p \cdot 1,86/2 - w/3 \cdot 0,45/2 + w \cdot 0,45/2 = 0$$

$$F_p = (- 9,8 \cdot 152/3 \cdot 0,45/2 + 9,8 \cdot 152 \cdot 0,45/2) / (1,86/2)$$

$$F_p = 240 \text{ kgf}$$

2. Con agujeros

D.C.L



$$M = 152 \text{ kg}$$

$$\sum M_o = 0$$

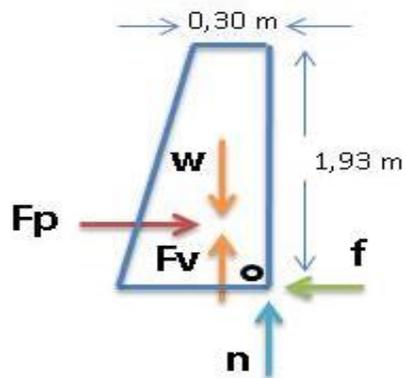
$$- F_p \cdot 1,92/2 - w/3 \cdot 0,5/2 + w \cdot 0,5/2 = 0$$

$$F_p = (- 9,8 \cdot 152/3 \cdot 0,5/2 + 9,8 \cdot 152 \cdot 0,5/2)/(1,92/2)$$

$$F_p = 259 \text{ Kgf}$$

3. Estantería Shesham

D.C.L



$$M = 152 \text{ kg}$$

$$\sum M_o = 0$$

$$- F_p \cdot 1,93/3 - w/3 \cdot 0,3/3 + w \cdot 0,3/3 = 0$$

$$F_p = (- 9,8 \cdot 152/3 \cdot 0,3/3 + 9,8 \cdot 152 \cdot 0,3/3)/(1,93/3)$$

$$F_p = 154 \text{ kgf}$$