



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO.



FACULTAD DE INGENIERÍA.

**DISEÑO DE MÉNSULAS PARA TIENDAS
DEPARTAMENTALES Y DE AUTOSERVICIO.**

T E S I S
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA.

P R E S E N T A :
FRANCISCO MORALES PÉREZ.

DIRECTOR DE TESIS: M.I. ALVARO AYALA RUIZ.

MÉXICO, D. F.

2006.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos:

Deseo expresar mi agradecimiento a la Facultad de Ingeniería y a su Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional Autónoma de México por la formación de primer nivel que me brindo en sus excelentes instalaciones.

Especialmente al M.I. Alvaro Ayala Ruiz por su seriedad, compromiso y el apoyo brindado para la realización de este trabajo.

A mis profesores,

Por transmitirme sus enseñanzas e ideales.

A mis sinodales;

Por sus consejos y apoyo.

Dr. Adrian Espinosa Bautista

Dr. Jesús Dorador González

M.I. Antonio Zepeda Sanchez

M.I. Mariano Garcia Gallego

A mis amigos,

Por compartir el mismo entusiasmo y meta de superación.

Dedico este trabajo a:

A mis padres,

por su apoyo incondicional y estímulo para mi desarrollo profesional.

Francisco

ÍNDICE.

	Página.
Introducción.....	1

CAPÍTULO 1 DESCRIPCIÓN DE LAS MÉNSULAS.

1.1 Características, uso y funcionalidad de la ménsula para tiendas departamentales.....	6
1.2 Tipos de ménsulas de línea.....	6
1.3 Especificaciones de la ménsula para tiendas departamentales.....	7
1.4 Componentes y accesorios de la ménsula para tiendas departamentales.....	7
1.5 Accesorios trabajando en conjunto.	10
1.6 Fabricación de la ménsula para tiendas departamentales.....	11
1.7 Características, y funcionalidad de las ménsulas para tiendas de autoservicio.....	14
1.7.1 Especificaciones de los clientes para los muebles de las tiendas de autoservicio.....	16
1.7.2 Especificaciones del taller de la empresa para las ménsulas de las tiendas de autoservicio.....	17

CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO.

2.1 Teoría de Vigas.....	18
2.1.1 Tipos de vigas.....	18
2.1.2 Tipos de apoyos.....	19
2.1.3 Tipos de cargas.....	21
2.2 Flexión en vigas.....	22
2.3 Deflexión en vigas.....	26

2.3.1	Viga en voladizo con carga puntual en un extremo.....	30
2.3.2	Viga en voladizo con carga uniformemente distribuida.....	31
2.3.3	Viga en voladizo con carga distribuida variable.....	32
2.4	Introducción al elemento finito.....	35
2.5	Factor de Seguridad.....	36
2.6	Concentradores de Esfuerzo.....	36

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS TEÓRICO DE LAS MÉNSULAS.

3.1	Material.....	37
3.2	Factor de Seguridad.....	37
3.3	Análisis de la Ménsula.....	37
3.3.1	Ménsula con carga puntual en un extremo.....	38
3.3.2	Ménsula con carga uniformemente distribuida.....	44
3.3.3	Ménsula con carga concentrada uniformemente variable.....	46
3.4	Cálculo de la carga máxima.....	48
3.5	Ménsula de la competencia para tiendas de autoservicio.....	51

CAPÍTULO 4

DISEÑO DE LAS MÉNSULAS.

4.1	Objetivos y criterios para el diseño de las ménsulas.....	53
4.2	Generación de propuestas de ménsulas para tiendas de autoservicio.....	54
4.3	Desarrollo de las propuestas para las ménsulas de autoservicio.....	55
4.3.1	Propuesta 1.....	56
4.3.2	Propuesta 2.....	59
4.3.2.1	Análisis Teórico de la Propuesta 2.....	62

4.3.3	Propuesta 3.....	64
4.3.3.1	Análisis Teórico de la Propuesta 3.....	67
4.4	Evaluación de las propuestas para las ménsulas de las tiendas de autoservicio.....	73
4.5	Diseño de la ménsula final para tiendas departamentales.....	74

CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE LAS MÉNSULAS UTILIZANDO ELEMENTO FINITO.

5.1	Desarrollo del análisis por medio de ANSYS.....	77
5.2	Análisis de los resultados.....	83
5.2.1	Ménsula para tiendas departamentales de la empresa Storemex.....	83
5.2.2	Ménsula final para tiendas departamentales.....	85
5.2.3	Ménsula de la competencia para tiendas departamentales.....	87
5.2.4	Ménsula final para tiendas de autoservicio.....	89

	CONCLUSIÓN.....	91
--	------------------------	-----------

	BIBLIOGRAFÍA.....	92
--	--------------------------	-----------

INTRODUCCIÓN.

La experiencia laboral del autor ha comprobado que en México la mayoría de la producción de muebles y accesorios para todos los ramos ya sea restaurantero, médico, hogar, oficinas, comercios, etc., se lleva a cabo de una forma artesanal ó sólo se realiza la manufactura del producto, sin diseño, copiando por lo general productos extranjeros a ensayo y error ó por el conocimiento de técnicos que han fabricado los productos durante un largo periodo de tiempo. Es decir no existe la Ingeniería del Producto en estas empresas.

Operando de ésta manera se ha observado que se tienen las siguientes desventajas:

- No hay especificaciones para todos los procesos del producto.
- No se puede llevar un adecuado control de la calidad del producto.
- No se tiene un historial del producto.
- Es complicado optimizar procesos, materiales y costos.
- Existen desperdicios de materiales y de tiempo por errores en producción.
- Es difícil realizar cambios al producto.
- No se cuenta con datos técnicos del producto para el cliente ó ventas.
- Es difícil competir con empresas que sí tienen Ingeniería del Producto.

La trayectoria laboral del autor se ha concentrado en la producción de muebles y accesorios para comercios. Por lo que el presente trabajo de tesis se enfoca en cubrir las desventajas citadas, aplicando la Ingeniería del Producto, en una empresa de éste ramo.

Espacios Comerciales.

Las tiendas de autoservicio, departamentales y boutiques han tenido una gran expansión en la apertura de nuevas tiendas en los últimos 5 años en México y en todo el mundo. Cada 10 años se remodela una tienda o boutique lo que significa renovar completamente todos los muebles y accesorios para exhibir mercancías.

Algunas de las tiendas de autoservicio y departamentales que tienen este comportamiento son:

Autoservicio: Wal-Mart, Gigante, Comercial Mexicana, Soriana, Chedraui, etc.

Departamentales: Liverpool, Fábricas de Francia, Sears, Palacio de Hierro, Suburbia, La Marina, etc.

En cuanto a boutiques se cuenta con: Hugo Boss, Paul&Sharp, Claiborne, Scappino, C&A, H&M, Sexy Jeans, etc.

Otras: Sanborns, Elektra, Nutrisa y tiendas de Gasolinerías, etc.

Las tiendas de autoservicio y departamentales tienen estandarizados el tipo de muebles y accesorios que utilizan para exhibir los artículos de venta (Fig. 0-1), por lo general los accesorios no varían entre tiendas.

Tomando el ejemplo de Liverpool y Sears, que abren 3 tiendas nuevas y remodelan 5 tiendas al año. Cada tienda por lo general usa 350 muebles independientes y 200 perimetrales (muebles pegados a muros) los cuales se componen de diversos accesorios. Los accesorios son elementos que se utilizan para soportar y exhibir la mercancía, son de fácil instalación, movilidad y buena apariencia.

El accesorio que más se utiliza es la ménsula, aproximadamente se requieren 4000 ménsulas por tienda departamental, para revestir los muebles independientes y perimetrales, así como para soportar los entrepaños que exhiben la mercancía. Para mayor detalle ver descripción de la ménsula, capítulo 1.

En el caso de las tiendas de autoservicio y otras contienen menos muebles y accesorios por el tamaño de éstas. Sin embargo se abren y remodelan veinte veces más tiendas de autoservicio al año que las tiendas departamentales.



Figura 0-1. Muebles con mercancías en una tienda departamental.

Empresa.

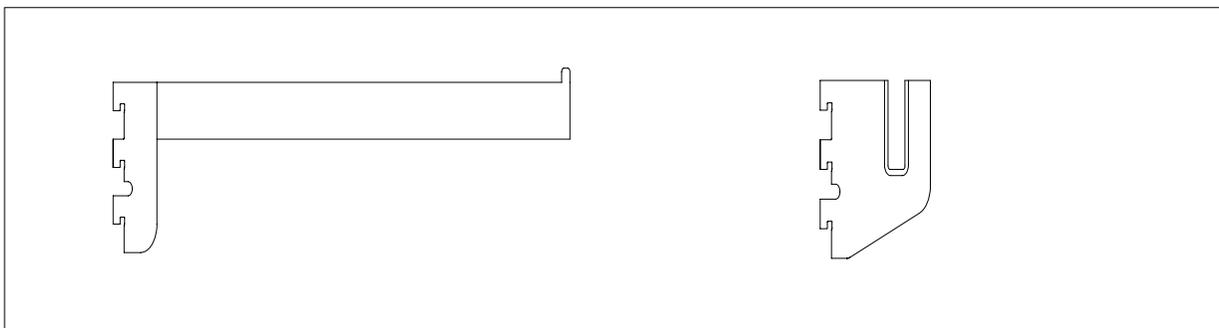
StoreMex es una empresa fabricante de equipo para comercios cuenta en México con los clientes: Sanborns, Liverpool, Fábricas de Francia, Hugo Boss, Paul and Sharp y Claiborne.

Esta empresa sólo fabrica y no diseña ninguno de los productos que comercializa. Este trabajo de tesis, marcará la pauta para el comienzo del diseño de sus productos.

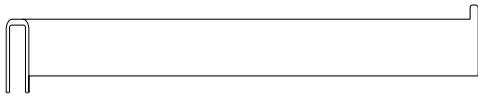
Productos.

StoreMex fabrica una gran variedad de muebles de madera, accesorios metálicos de línea y especiales para tiendas departamentales y boutiques. Los accesorios de línea son los de mayor demanda. Por ejemplo: cremalleras, ménsulas, ganchos y colgadores (Figura 0-2). Los accesorios especiales son algunos modelos de ménsulas que se basan en los de línea, pero tienen pequeñas variaciones y son de menor demanda (Figura 0-2).

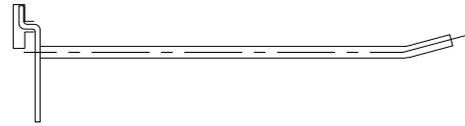
El diseño y dimensiones de los muebles de madera varían según la tienda por lo que no se atacarán en éste momento como prioridad.



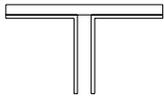
Soporte



Ménsula especial



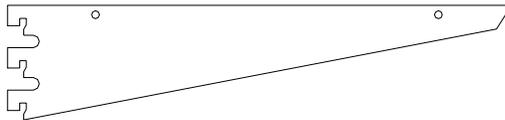
Soporte especial



Gancho para shuter



Cremallera C-1



Cremallera C-2

Ménsula Me-2

Figura 0-2: Se muestran algunos accesorios fabricados por StoreMex

Restricción de la empresa.

La restricción de toda empresa es aquel proceso que le limita el poder vender más productos. En el caso de StoreMex para la fabricación de sus productos el proceso restricción es la soldadura de aporte, debido a que es el proceso que se lleva más tiempo y requiere personal capacitado.

Accesorio de más venta y fabricación.

Las ménsulas de línea es el accesorio que no pasa por el proceso de la restricción (Tabla 0-1), es el de mayor venta y utilidad económica, además se derivan otras ménsulas especiales a partir de estas.

Tabla 0-1: Accesorios principales de StoreMex para tiendas departamentales.

Accesorios	Procesos de fabricación	Cantidad aproximado por tienda	Necesidad de la empresa. Esta empresa ahora planea aumentar sus clientes, diversificar y optimizar sus productos por lo que requiere certificarse en
Cremalleras	corte, troquelado, doblado y /o soldado, acabado	1000 pzas	
Ganchos para shuter	corte, troquelado, doblado, soldado, acabado	1500 pzas	
Colgadores	corte, troquelado, soldado, acabado	1200 pzas	
Ménsulas de línea.	troquelado ó corte, acabado	4000 pzas	
Ménsulas especiales	corte, troquelado, doblado, soldado, acabado	300 pzas	

ISO-9001 para ello necesita conformar un Departamento de Ingeniería propio, con la finalidad de diseñar accesorios y muebles, y así poder competir internacionalmente con las empresas líderes del mercado.

En este plan de diversificar los productos de la empresa Storemex lo conveniente económicamente, es incorporar los procesos de diseño, producción y venta no sólo a los muebles y accesorios para tiendas departamentales sino también a los muebles para tiendas de autoservicio. Por ser las tiendas de autoservicio las de mayor expansión en el momento.

Problema principal de la empresa.

Como se mencionó anteriormente las ménsulas son la prioridad en el diseño de los productos de la empresa Storemex. Por el momento sólo ésta empresa fabrica accesorios para tiendas departamentales, pero no puede respaldar sus productos con información técnica para poder competir y exportar sus productos.

Los muebles de las tiendas de autoservicio están expuestos a uso rudo y son sometidos a mayores cargas por los empleados que trabajan en ellas, que los muebles de las tiendas departamentales. Estas condiciones de trabajo en los muebles son absorbidas por los entrepaños, los cuales son soportados por las ménsulas. Debido a esto es necesario diseñar ménsulas de acuerdo a esos requerimientos, para entrar satisfactoriamente en este mercado.

Objetivo del trabajo.

Diseñar una familia de ménsulas para soportar y exhibir productos en tiendas de autoservicio y departamentales, de las cuales puedan derivarse otras ménsulas especiales a partir de éstas, que cumplan con las características que el cliente solicita y al mismo tiempo compitan con los accesorios de la competencia, en calidad y precio.

Para lo anterior se necesita cubrir los siguientes objetivos particulares y actividades:

- Rediseñar las ménsulas para tiendas departamentales de la empresa Storemex.
- Diseñar la ménsula para tiendas de autoservicio.
- Contar con datos técnicos de las ménsulas.
- Garantizar la funcionalidad de las ménsulas para las diversas condiciones de uso de éstas.
- Cumplir con la calidad, especificaciones y restricciones que el cliente solicita en las ménsulas para tiendas de autoservicio y departamentales.
- Compaginar el punto anterior para aprovechar los recursos de la empresa Storemex y al mismo tiempo cumplir con las especificaciones y restricciones de la empresa, sin perder de vista la Ingeniería del Producto.

Los propósitos ó beneficios que se esperan tener con este trabajo son:

- Marcar un precedente para el rediseño de todos los accesorios manejados por la empresa.
- Dar la pauta para el diseño de nuevos productos en este ramo.
- Proporcionar datos técnicos para el departamento de ventas y mercadotecnia.
- Tener ventajas económicas para la empresa y el cliente, al aplicar la información de este trabajo.
- Superar a los productos de la competencia en calidad y precio.

Descripción del trabajo.

Para alcanzar el objetivo de la tesis, este trabajo esta dividido en 5 capítulos los cuales se describen a continuación.

Capítulo 1: Se describe el uso, la funcionalidad, el diseño y la manufactura de la ménsula para tiendas departamentales y también de las ménsulas para tiendas de autoservicio existentes en el mercado.

Capítulo 2: Se retoma la teoría básica de las vigas que servirá para obtener la memoria de cálculo de las ménsulas para tiendas departamentales y de autoservicio.

Capítulo 3: Se generan las memorias de cálculo electrónicas de las ménsulas para tiendas departamentales, en base a las diferentes configuraciones de carga de éstas.

Capítulo 4: Se diseñan las ménsulas finales para tiendas departamentales y para tiendas de autoservicio, en base a propuestas generadas.

Capítulo 5: Se realiza el análisis de las ménsulas actuales y finales para tiendas departamentales y para tiendas de autoservicio, utilizando elemento finito por medio del programa ANSYS, con la finalidad de corroborar los datos obtenidos en los capítulos anteriores.



CAPITULO 1: DESCRIPCIÓN DE LAS MÉNSULAS.

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describe el uso, la funcionalidad, el diseño y la manufactura de la ménsula para tiendas departamentales de la empresa Storemex, y también de la ménsula para tiendas de autoservicio, con la finalidad de tener los datos necesarios para el rediseño y diseño de éstas.

1.1 Características, uso y funcionalidad de la ménsula para tiendas departamentales.

El accesorio ménsula es un soporte móvil de lámina de metal que descansa por medio de dientes sobre un perfil metálico ranurado llamado cremallera (Fig. 1-1). Este soporte es ampliamente utilizado en comercios para sostener entropaños de madera, metal, acrílico, por medio del canto superior de lámina de la ménsula donde se sujeta al entropaño. Los entropaños con ménsulas cargan objetos de diferentes pesos en distintas distribuciones. La facilidad para cambiar la posición de las ménsulas de su punto de apoyo hace que se puedan obtener diferentes espacios para colocar objetos de varios tamaños y diversos pesos.

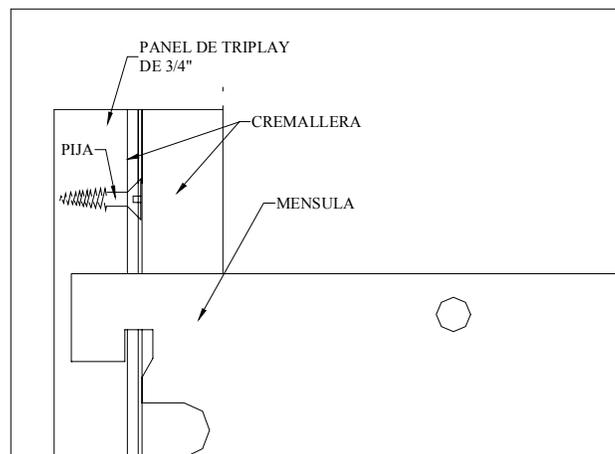


Fig. 1-1: Se muestra la ménsula dentro de las ranuras de la cremallera C-1. (La cremallera esta sujeta a un panel de triplay).

1.2 Tipos de ménsulas de línea.

Los modelos de ménsulas de línea son Me-1 y Me-2.

- Modelos: 2 dientes (Modelo Me-1), 3 dientes (Modelo Me-2)
- Longitudes: Me-1 = 10,15, 20, 25(cm), Me-2 = 30, 35, 40, 50 (cm). Estas longitudes son especificadas por el cliente.

Para identificar correctamente a las ménsulas de línea y para diferenciarlas de las ménsulas para tiendas de autoservicio que también se incluirán en este trabajo, se les llamará ahora a las ménsulas de línea, ménsulas para tiendas departamentales.



1.3 Especificaciones de la ménsula para tiendas departamentales.

Las ménsulas que fabrica actualmente la empresa Storemex tienen las siguientes especificaciones.

- Las ménsulas deben ser intercambiables sobre las cremalleras.
- Material: lámina de Cold Rolled, cal #13.
- Acabados: cromo y pintura en polvo.
- Espacio entre dientes para tope de plástico ó metálico.
- Dos barrenos en la parte superior para proceso de acabado y para introducir un clip que sujetará al entrepaño.

1.4 Componentes y accesorios de la ménsula para tiendas departamentales.

La ménsula se compone principalmente de 2 elementos (Fig. 1-2):

Cuerpo: es la parte donde descansa el entrepaño.

Dientes: son ganchos que soportan la ménsula en la cremallera.

El cuerpo lleva 2 barrenos en la parte superior los cuales son usados para introducir un clip (Fig. 1-3) que sirve para sujetar el entrepaño a la ménsula y también para colgar la ménsula en el proceso de acabado.

En un extremo del cuerpo se localizan los dientes y en el otro se reduce el área de la ménsula y termina en punta redondeada esto último es sólo por estética, seguridad y especificación del cliente.

Los dientes soportan las cargas que se aplican a las ménsulas, las dimensiones de estos están en función a las ranuras de las cremalleras donde entran los dientes.

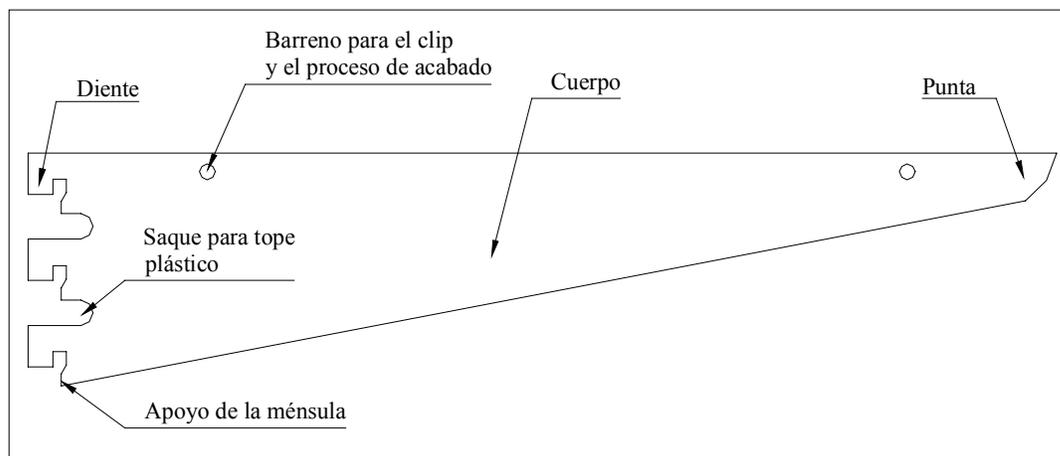


Fig. 1-2: Partes de la ménsula para tiendas departamentales.

En el extremo donde se ubican los dientes se localizan también saques destinados a colocar un tope de plástico ó metálico (Fig. 1-4), éste es utilizado cuando, la ménsula se soporta en cremalleras C-2 de canal (Fig. 1-5 y 1-6) para evitar los movimientos laterales de la ménsula. El otro tipo de cremallera C-1 viene provisto de ángulos que impiden los movimientos laterales de la ménsula (Fig. 1-7, 1-8, 1-9).

Las cremalleras según el modelo y función pueden ir fijadas a paneles de triplay del mueble ó soldadas en postes metálicos. La selección de una cremallera u otra depende del criterio del diseñador del mueble que por general son por estética ó por facilidad de armado del mueble.



Fig. 1-3: Clip para entrepaño con gomas.

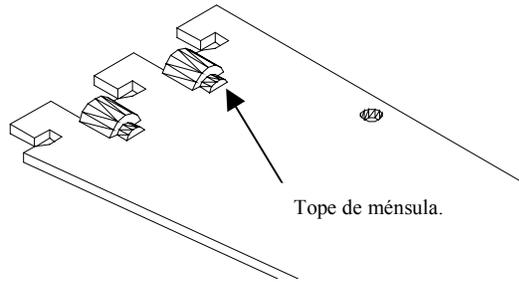


Fig. 1-4: Tope insertado en la ménsula.

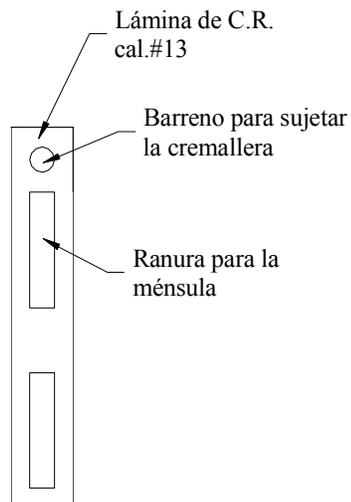


Fig. 1-5: Cremallera C-2, en vista frontal.



Fig. 1-6: Cremallera C-2, en vista isométrica..

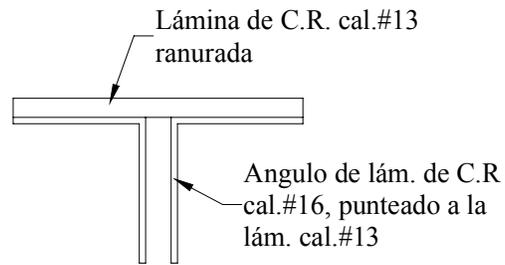


Fig. 1-7: Cremallera C-1 , en vista superior

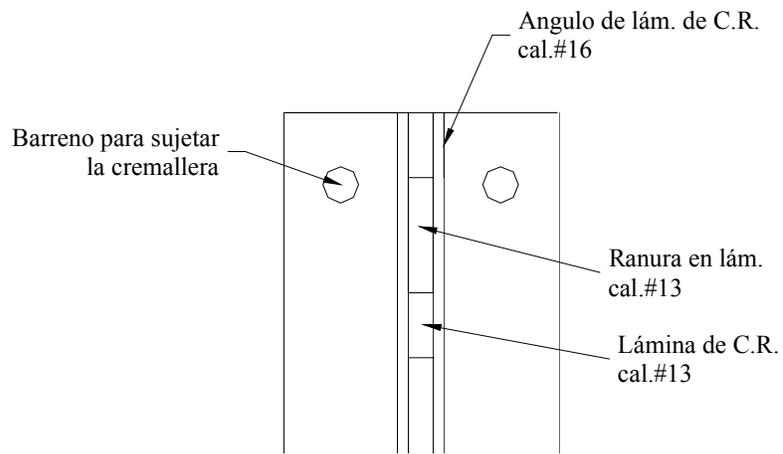


Fig. 1-8: Cremallera C-1, en vista frontal



Fig. 1-9: Cremallera C-1, en vista isométrica.



1.5 Accesorios trabajando en conjunto.

Al trabajar estos accesorios en conjunto cremalleras, ménsulas y entrepaño se logra la exhibición de las mercancías. Una adecuada presentación de las mercancías hace que el comprador se interese más por éstas ó pueda acceder con facilidad a tomarlas.

Al vendedor le conviene tener la mayor cantidad de mercancías de más venta en exhibición. Para brindarle una mejor atención al cliente, además de evitar tener en bodega una gran cantidad de inventarios.

En la fig. 1-10(a) se observa dos ménsulas especiales que sujetan un tubo en los extremos, en el cual se cuelgan ganchos con chamarras.

En la fig. 1-10(b) en los entrepaños que se soportan por ménsulas de línea los objetos más grandes y pesados son colocados atrás y los más pequeños y ligeros enfrente hacia la punta de la ménsula.

En la fig. 1-10(c) en los entrepaños de colocan televisores y dvds ocupando todo el entrepaño de una manera equilibrada.



(a)



(b)



(c)

Fig. 1-10: Se muestran diferentes usos intencionados de los entrepaños con ménsulas.



1.6 Fabricación de la ménsula para tiendas departamentales.

Los diseños de las ménsulas para tiendas departamentales fueron realizados a prueba y error, basándose en modelos manufacturados por otra empresa. Por lo que no existe memoria de cálculo ni elementos para evaluar la resistencia mecánica de la ménsula.

La ménsula es fabricada en la cortadora láser Trumpf. El corte con láser es muy flexible y la calidad del corte es alta.

La ménsula si se requiere puede ser pintada con pintura en polvo, para lo cual se cuenta con todo el proceso de desengrasado, pintado y sacado en un horno. En el caso de que se requiera recubrimiento, existe la posibilidad de realizar el proceso de cromado, para lo cual se cuenta con el equipo de recubrimiento electrofítico.

Se anexan a continuación los planos de fabricación de las ménsulas, Me-1 y Me-2.



1.7 Características y funcionalidad de las ménsulas para tiendas de autoservicio.

La siguiente información se obtuvo de las especificaciones que el cliente brinda y de las visitas a tiendas de autoservicio, ya que la empresa apenas incursionará en esta división de comercios.

Los entrepaños para tiendas de autoservicio se colocan en muebles llamados góndolas (Fig. 1-11) y estos pueden ser independientes ó estar pegados a pared conocidos como perimetrales.

Los entrepaños son móviles por medio de ménsulas con dientes que entran en postes ranurados, que forman la estructura del mueble.

Los entrepaños pueden ser utilizados para exhibir cualquier tipo de mercancías en diversos tipos de distribución y tamaños (Fig. 1-12).

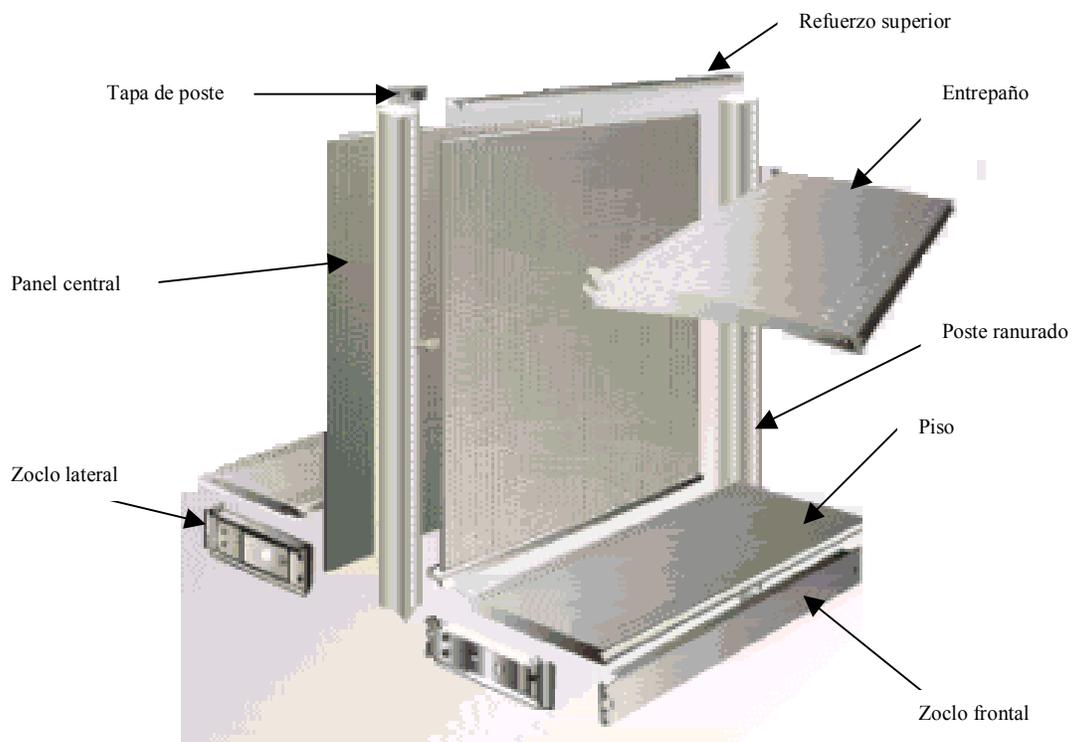


Fig. 1-11: Componentes de una góndola.

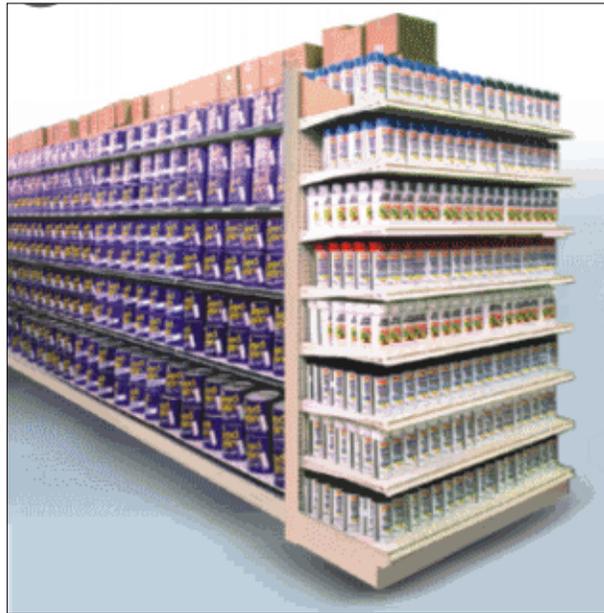


Fig. 1-12: Góndola con mercancías.

Los entrepaños se componen, de cubierta y ménsulas:

La cubierta es una charola de lámina con perfiles punteados a lo largo que sirven como refuerzos.

Las ménsulas van soldadas en la charola, esto es para darle una mayor rigidez al entrepaño y lograr la calidad ó vista requerida, (Fig. 1-13).

Las empresas que se dedican a fabricar y comercializar equipo para tiendas de autoservicio no muestran dibujo de las ménsulas en sus catálogos ni en sus páginas de internet. Por lo que solo se cuenta con los datos del cliente y lo que se puede ver en las tiendas de autoservicio.

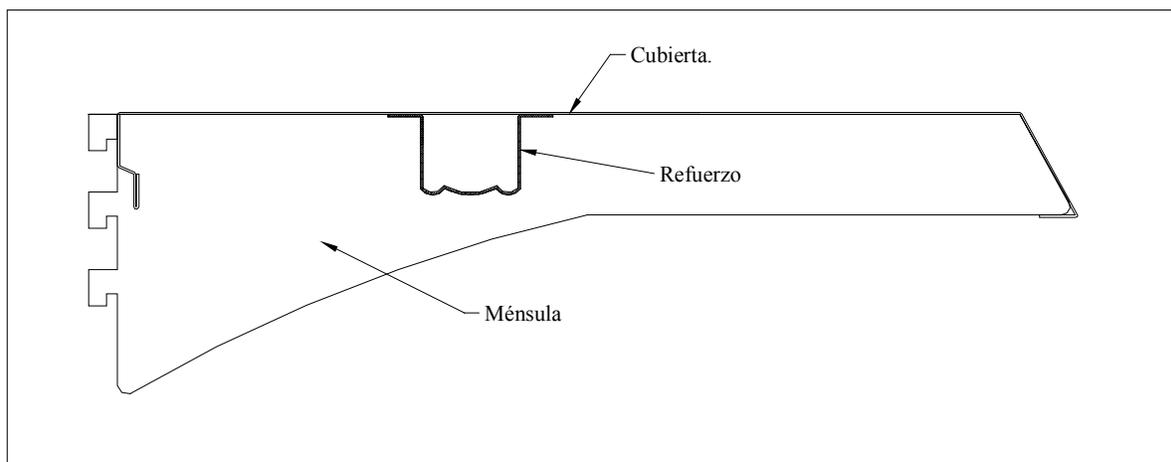


Fig. 1-13: Componentes del entrepaño..



1.7.1 Especificaciones de los clientes para los muebles de las tiendas de autoservicio.

Las dimensiones de los muebles de las tiendas de autoservicio están estandarizados al igual que sus características físicas. Todos los fabricantes de equipo para tiendas de autoservicio se han ajustado a esto en sus catálogos.

El cliente hace el pedido de los accesorios al fabricante ó comercializador de equipo de comercios por medio del catálogo del vendedor ó le brinda al fabricante las fichas técnicas ó croquis para su cotización.

En las especificaciones de las fichas técnicas de los clientes se solicita en su mayoría lo siguiente para el caso de los entrepaños:

- Entrepaños de una pieza con ménsulas (Para facilitar su movilidad y limpieza constante).
- Entrepaños móviles en soportes metálicos ranurados.
- Las longitudes estandarizadas de los entrepaños son 1.22 [m] y 0.914 [m].
- Anchos estandarizados de los entrepaños: 30, 35, 40, 45, 50 [cm].
- Acabados: pintura en polvo.
- Punta de los entrepaño a 60° (Para colocar un portapercio).
- Capacidad de carga de los entrepaños 40 kg.
- Deflexión del entrepaño bajo máxima carga, no mayor a 2[mm]
- La ménsula no puede ser demasiado robusta (Ya que provocaría la perdida de espacio a la exhibición de la mercancía, la ménsula máximo debe ocupar 3 ranuras de dientes y un espacio macizo, (Fig. 1-14)).

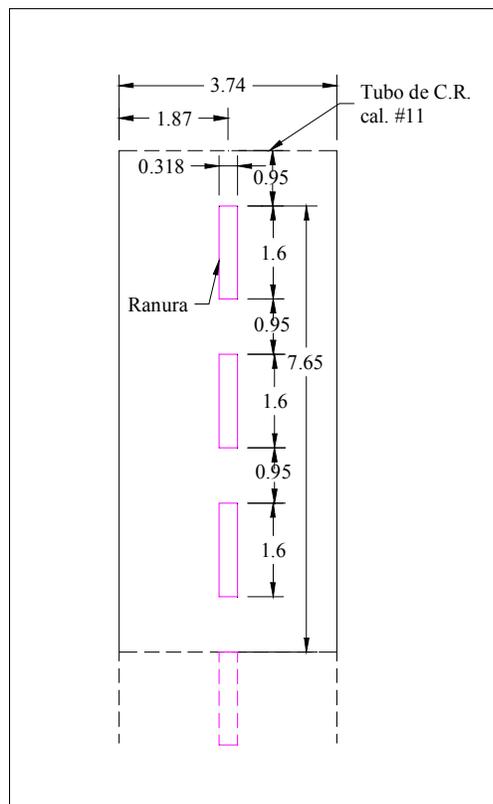


Fig. 1-14: Soporte ranurado, acotación en [cm].



Se presenta un bosquejo de una ménsula observada en tiendas de autoservicio, fabricada por otro proveedor, (Fig. 1-15). Esta ménsula representa la geometría estándar que es utilizada por diversos proveedores de muebles para tiendas de autoservicio.

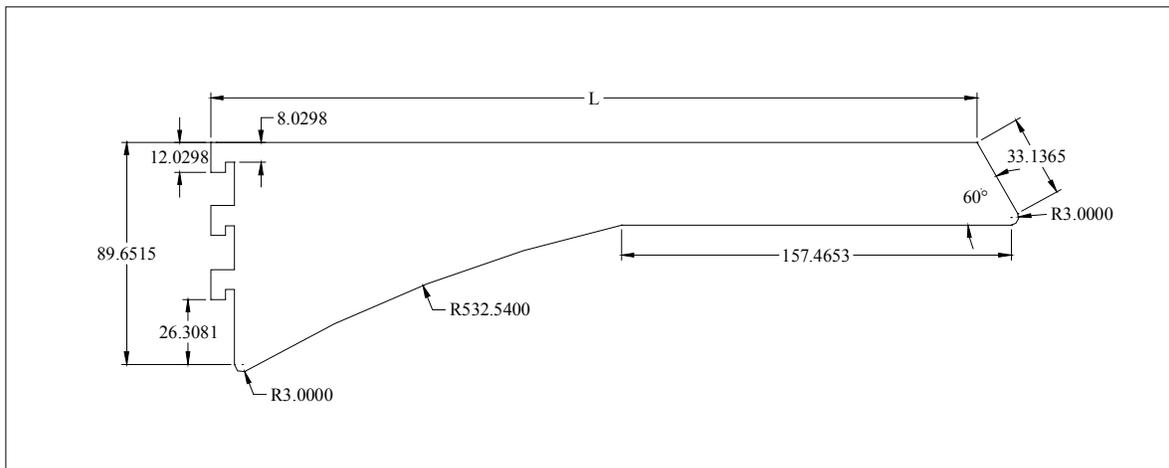


Fig. 1-15: Ménsula para tiendas de autoservicio de la competencia, cal. #11, acotación en [mm].

1.7.2 Especificaciones del taller de la empresa para las ménsulas de las tiendas de autoservicio.

Para aprovechar mejor los recursos y procesos con los que cuenta la empresa Storemex, se deben respetar las siguientes especificaciones en el diseño de la ménsula para tiendas de autoservicio.

- Las ménsulas deben ser intercambiables sobre el ranurado estandarizado. (La empresa cuenta con unos troqueles que realizan las ranuras a una medida)
- Material lámina de Cold Rolled (Por ofrecer este material buenas propiedades mecánicas a un costo accesible)
- Evitar soldadura de aporte para la fabricación de la ménsula. Como se mencionó en la introducción es el proceso restricción de la empresa, aunque solo estará soldada la ménsula a la charola del entrepaño o cubierta, por razones de calidad.



CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.

INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se retoma la teoría básica de las vigas para obtener la memoria de cálculo de las ménsulas que por el momento la empresa no cuenta y es necesaria para tener los datos técnicos de las ménsulas para tiendas departamentales los cuales servirán como base en el diseño de las ménsulas para tiendas de autoservicio.

En el capítulo 1 se explicó el uso de la ménsula, su forma y dimensiones, que objetos soporta y los tipos de distribución de éstos en la ménsula, además de la manera en que se sujeta en la cremallera, lo que la asemeja a una viga que en este capítulo se recordará.

En la introducción se explicó que el diente de la ménsula después de cierto peso sufre una deformación permanente por lo que es conveniente recordar la teoría de deflexión y flexión, para evitar esto.

Es importante diseñar la ménsula para tiendas de autoservicio con características superiores a las de la competencia, por ejemplo tener ventajas en el costo y en la resistencia. Sobre todo garantizar la resistencia de la ménsula es muy importante, ya que en el caso en que fallara la ménsula bajo las cargas especificadas podrían producirse demandas y cancelación de permisos de venta en los países en los que se planea exportar los productos. Para asegurar el cumplimiento de la resistencia de la ménsula se utilizará en el capítulo 5 un software basado en la teoría de elemento finito. En este capítulo se incluye la información básica de esta teoría.

2.1 TEORÍA DE VIGAS.

2.1.1 Tipos de vigas [6].

Una viga es un elemento estructural cuyo principal objetivo es soportar cargas transversales, a través de su eje longitudinal, de aplicación lenta y gradual.

Se considera que una viga es prismática, que tiene una longitud igual por lo menos 10 veces su altura, y que las fuerzas externas son todas normales al eje de la viga y contenidas en un plano de simetría, y finalmente, que la flexión es pequeña. Otras consideraciones son:

- 1) El material es homogéneo y obedece a la ley de Hooke
- 2) Los esfuerzos están comprendidos dentro del límite elástico
- 3) Cada una de las capas de que se considera formado el material tiene la libertad para alargarse y contraerse longitudinal y lateralmente por la acción de esfuerzo como si estuviera separada de las demás capas
- 4) Los módulos de elasticidad a la tracción (tensión) y a la compresión son iguales
- 5) La sección transversal sigue siendo una superficie plana. (La consideración de las secciones transversales planas sólo es estrictamente cierta cuando la fuerza cortante es constante o nula sobre la sección transversal, y cuando la fuerza cortante es constante en toda la longitud de la viga)
- 6) Las fuerzas internas están equilibradas horizontalmente.



- 7) El eje neutro contiene al centro de gravedad de la sección transversal, cuando no hay esfuerzo axial resultante
- 8) La intensidad del esfuerzo varía en razón directa de su distancia al eje neutro.

De los datos obtenidos en el capítulo 1, se observa que la ménsula puede considerarse una viga ya que es un elemento que soporta cargas perpendiculares a su eje transversal y permanece estático. Sus dimensiones y geometría corresponden a los de una viga. Por lo que en este trabajo se asumirán todas las hipótesis referentes a una viga para la ménsula..

2.1.2 Tipos de apoyos [1].

En estática, el primer paso en la solución de un problema es la determinación de las fuerzas de apoyo. Para tener un conocimiento completo de las fuerzas de apoyo se requieren los datos siguientes: magnitud, dirección y punto de aplicación. De acuerdo a la naturaleza del problema, se conocen dos, una o ninguna de estas cantidades (Fig. 2-1)

En general se conocen tres tipos de apoyo o soporte, las cuales se identifican por la clase de resistencia que ofrecen a las fuerzas. Los apoyos son los siguientes:

Un rodillo o un eslabón, es capaz de resistir una fuerza con un línea de acción específica. En estos tipos de soportes la reacción corresponde a una sola incógnita cuando se aplican las ecuaciones de la estática. En el caso de reacciones inclinadas, la razón entre sus dos componentes es fija.

El pasador o articulación, es capaz de resistir una fuerza que actúe en cualquier dirección en el plano. De manera que, en general, la reacción en él tendrá dos componentes, una horizontal y otra vertical.

Empotramiento o apoyo fijo, es capaz de resistir una fuerza en cualquier dirección, y también puede resistir la acción de un par o momento

Las reacciones de una estructura tridimensional abarcan desde una sólo fuerza de dirección conocida por una superficie sin fricción hasta un sistema fuerza-par ejercido por un apoyo fijo. Por lo tanto, en los problemas que involucran el equilibrio de una estructura tridimensional, pueden existir entre una y seis incógnitas asociadas con la reacción correspondiente a cada apoyo o conexión

Si un cuerpo tridimensional se encuentra en equilibrio tenemos que se cumple lo siguiente:

$$\sum F_x=0 ; \quad \sum F_y=0 ; \quad \sum F_z=0$$

$$\sum M_x=0 ; \quad \sum M_y=0 ; \quad \sum M_z=0$$



TIPO DE REACCION	SIMBOLO	NUMERO DE INCOGNITAS	REACCIONES EN EL DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE	OBSERVACIONES
Rodillo ó apoyo libre		1		La línea de acción de la fuerza es perpendicular a la superficie de contacto.
Superficie lisa		1		
Eslabón o cable		1		La línea de acción de la fuerza es perpendicular a la superficie de contacto.
Articulación		2		Tanto la magnitud como la dirección de la fuerza son desconocidas. La fuerza se representa por medio de sus componentes rectangulares.
Superficie rugosa		2		
Apoyo fijo ó empotramiento		3		Tanto la magnitud como la dirección de la fuerza son desconocidas. La fuerza se representa por medio de sus componentes rectangulares. También existe un par en un empotramiento

Figura 2-1 : Se muestran las representaciones de los diferentes tipos de apoyos



La ménsula como se explicó en el capítulo 1, se soporta ó apoya por medio de dientes y parte de su cuerpo en la cremallera para mantenerse estática, cuando es sometida a una carga, además de que el tope plástico ó metálico impide los movimientos laterales. El objetivo de la ménsula es resistir la carga aplicada y mantenerse estática. Estos apoyos impiden que la ménsula gire ó se mueva en cualquier sentido, por lo expuesto en este punto puede considerarse que la ménsula trabaja con un apoyo fijo o empotramiento.

2.1.3 Tipos de cargas [3].

En general para representar una carga debemos tomar en cuenta las siguientes consideraciones(Fig. 2-2): una carga concentrada o puntual es la que actúa sobre la longitud tan pequeña de la viga que puede suponerse que lo hace sobre un punto, por el contrario una carga distribuida es la que actúa sobre una longitud finita de la viga puede ser uniformemente distribuida en toda su longitud, o sobre parte de ellas, en la carga uniformemente variable su intensidad crece o decrece en una proporción constante.

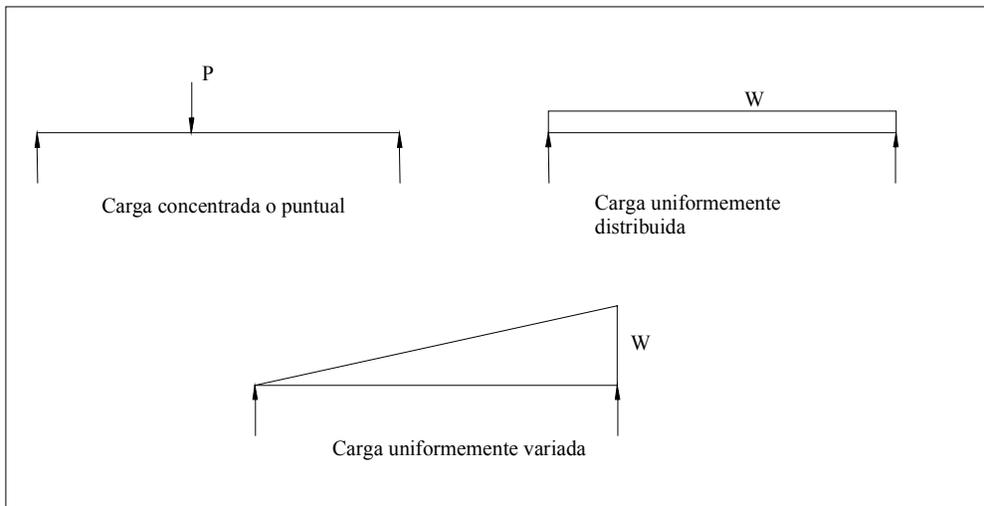


Figura 2-2 : Se muestra el diagrama de cuerpo libre de las vigas las cuales están sometidas a diferentes tipos de cargas

Los tipos de arreglos de carga que se muestran en la Fig. 2-2, son los que se observó se utilizan en el acomodo de las mercancías en las tiendas. Por lo que es necesario conocer el efecto que provocan en la resistencia de la ménsula.



2.2 FLEXIÓN EN VIGAS [2]

Objetivo: Determinar la relación que existe entre el momento flector que actúa en una sección de una viga y la distribución de esfuerzos normales que produce.

Consideraciones:

- El material se considera isotrópico
- Las cargas se aplican en el rango elástico
- Cumple con la ley de Hooke

En la figura 2-5 se observa que al aplicar una fuerza (F) en una viga simplemente apoyada, la viga presenta una deformación directamente proporcional a la fuerza (F) aplicada.

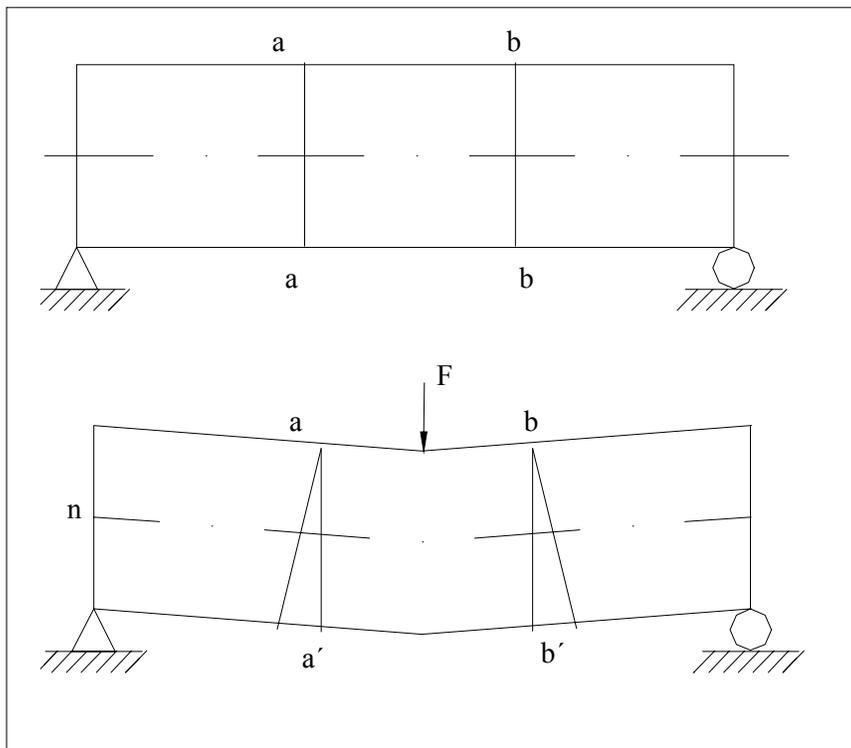


Figura 2-5: Considere una viga simplemente apoyada, en la cual se indican dos planos de corte a-a y el b-b inicialmente rectos, al aplicar una carga estos se deforman y pasaran a ocupar las posiciones a-a' y b-b', las fibras superiores se acortan o se comprimen y las inferiores se estiran o se tensan.

La deformación por compresión es máxima en la superficie y disminuye gradualmente hasta cero y de cero se incrementa a deformación por tensión hasta un máximo en la superficie (Fig. 2-6).

Como en el rango elástico son proporcionales las deformaciones y los esfuerzos (Fig. 2-6) de igual manera se comportan los esfuerzos, siendo máximo en la superficie y disminuyendo gradualmente hasta cero hacia el interior.

Por lo tanto existe un plano en el cuerpo (Fig. 2-7), el cual no sufre deformación y tampoco está sometido a esfuerzo, este plano es el plano neutro [6]

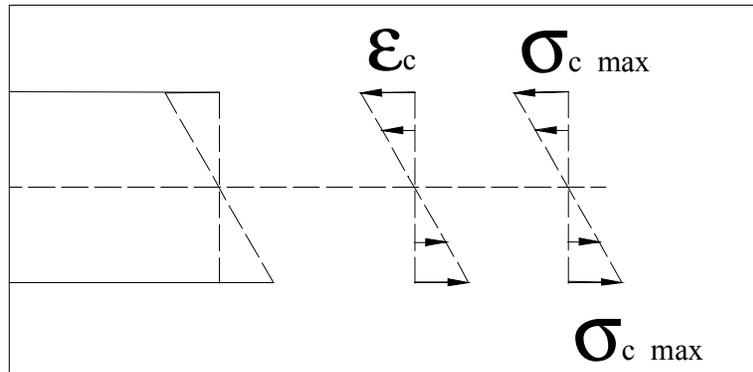


Figura 2-6: Distribución de esfuerzos y deformación por flexión el la viga

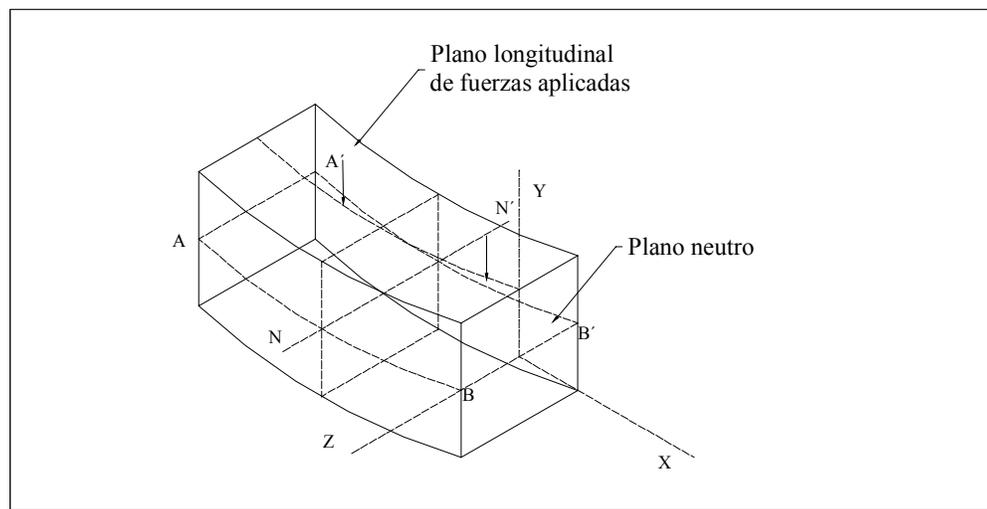


Figura 2-7: Representa una viga flexionada. El lado cóncavo está a compresión y el lado convexo a tracción. Estos lados están separados por el plano neutro de esfuerzo cero A'B'BA. La intersección del plano neutro con la cara de la viga es la línea neutra o curva elástica AB. La intersección del punto neutro con la sección transversal es el eje neutro NN'

Realizando una distribución de esfuerzos de la sección, se determina el esfuerzo que actúa en una dA ubicada a una distancia y desde el eje neutro (Fig. 2-8)

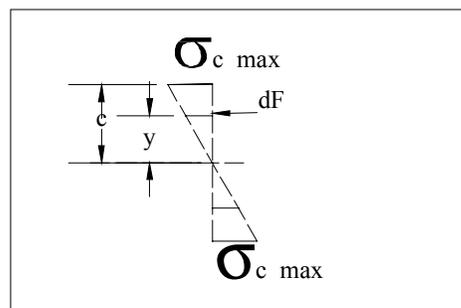


Figura 2-8: Distribución de esfuerzos en una sección



$$dF = \sigma dA \dots\dots\dots(2.1)$$

$$\frac{\sigma}{\sigma_{\max}} = \frac{y}{c} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$\sigma = \frac{y}{c} \sigma_{\max} \dots\dots\dots(2.3)$$

El momento de esta fuerza dF respecto al eje neutro es:

$$dM = dFy \dots\dots\dots(2.4)$$

$$\int dM = \int dFy \dots\dots\dots(2.5)$$

$$M = \int dFy \dots\dots\dots(2.6)$$

$$M = \frac{\sigma_{\max}}{c} \int y^2 dA \dots\dots\dots(2.7)$$

Donde:

$$I = \int y^2 dA \dots\dots\dots(2.8)$$

$$M = \frac{\sigma_{\max}}{c} I \dots\dots\dots(2.9)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{Mc}{I} \dots\dots\dots(2.10)$$

σ_{\max} = esfuerzo máximo en $\left[\frac{N}{m^2} \right], [Pa]$

M = Momento flexionante máximo $[Nm]$

c = Distancia del eje neutro a la superficie de la viga en $[m]$

I = Momento de inercia, $[m^4]$



Módulo de sección

Un diseño de una viga involucra el determinar la sección transversal de la misma que sea capaz de soportar los esfuerzos que se generan, por la aplicación de las cargas externas, un diseño confiable y seguro involucra aplicar un factor de seguridad, establecido en códigos y normas, etc.

En un diseño se conoce el claro de la viga, los esfuerzos permisibles de acuerdo al material seleccionado para la aplicación y el problema es determinar las dimensiones y forma requerida de la sección transversal de la viga.

$$S = \frac{I}{c} \dots\dots\dots (2.11)$$

$$\sigma_{perm} = \frac{Mc}{I} \dots\dots\dots (2.12)$$

$$\sigma_{perm} = \frac{M}{\frac{I}{c}} \dots\dots\dots (2.13)$$

Sustituyendo (2.11) en (2.13)

$$\sigma_{perm} = S_d = \frac{M}{S} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$S = \frac{M}{S_d} \dots\dots\dots (2.15)$$

Donde :

S = Módulo de sección, $[m^3]$

M = Momento de flexión , $[Nm]$

$\sigma_{perm} = S_d$ = Esfuerzo permisible ó de diseño, $\left[\frac{N}{m^2}\right], [Pa]$



2.3 DEFLEXIÓN DE VIGAS [3].

Objetivo: Determinar la relación entre curvatura y momento.

Consideraciones:

- Se supone que la viga es uniforme es decir EI es constante en toda la viga.
- Se supone que las deflexiones en los apoyos son nulas a menos de que se indique lo contrario.

Definiciones:

La elástica de una viga es la forma que adquiere el eje neutro cuando se carga la viga, la pendiente de una viga se define como la pendiente de la tangente a la elástica en un punto cualquiera simbolizado por θ .

La deflexión de una viga es el movimiento (desviación) de un punto situado sobre la elástica, con respecto a su posición original sin carga simbolizado con la letra Δ , como las deflexiones de una viga son pequeñas con respecto a su longitud, cada segmento de línea puede considerarse aproximadamente un arco de círculo, llamado radio de curvatura, (Fig. 2.9).

Para determinar la relación entre el radio de curvatura de una viga, el esfuerzo en las fibras extremas, y el momento de flexionante que produce ese esfuerzo, considere la Fig. 2-10, considerando una sección pequeña a una carga de longitud dx . Como las reacciones planas se conservan planas antes y después de la deformación, la pequeña sección de la elástica es un arco de un círculo $A'B$ Y $C'D$ (Fig. 2-11) se cortan en el centro de la curvatura O y forman un sector circular, el eje neutro no esta sometido a esfuerzo y conserva su longitud original dx .

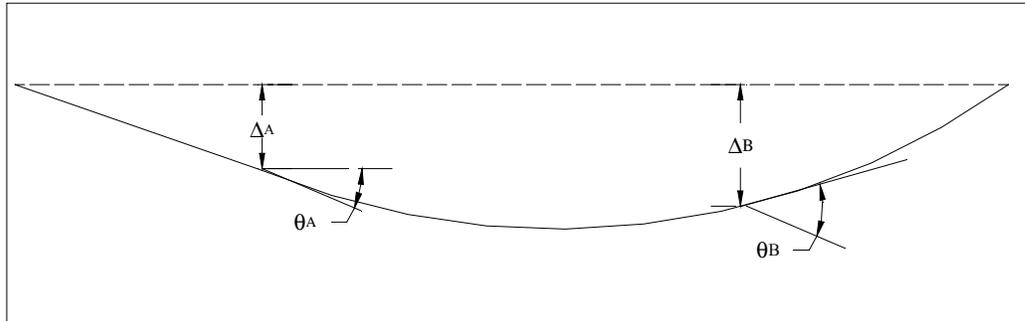


Fig. 2.9: Radio de curvatura y pendiente de la curva de deflexión de una viga

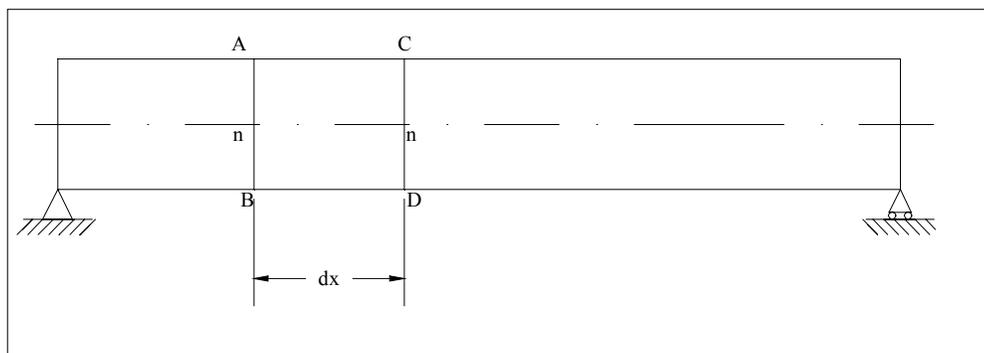


Fig. 2-10: Representación de la viga sin carga

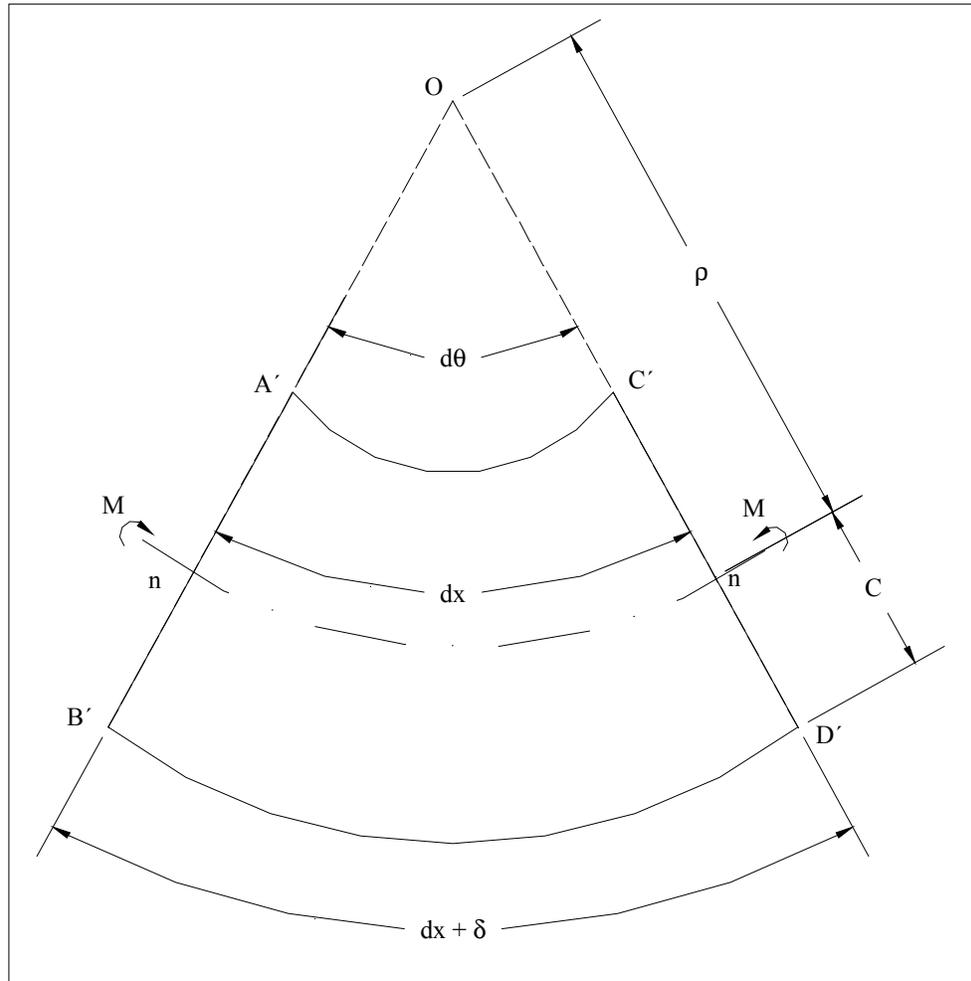


Fig. 2-11: Representación de la viga deformada por una carga

Las fibras interiores dispuestas a una distancia c a partir del eje neutro aumentan su longitud en una cantidad.

$$d\theta = \frac{dx}{\rho} = \frac{(dx + \delta)}{(\rho + c)} \dots\dots\dots (2.16)$$

Resolviendo, obtenemos $dx(\rho + c) = (dx + \delta)\rho \dots\dots\dots (2.17)$



$$\frac{c}{\rho} = \frac{\partial}{dx} \dots\dots\dots (2.18)$$

La deformación unitaria es:

$$(\text{variación de longitud})/(\text{longitud original}) = \frac{\partial}{dx}$$

$$\frac{c}{\rho} = \frac{\sigma_{perm}}{E} \dots\dots\dots (2.19)$$

donde:

$$\sigma_{perm} = \text{esfuerzo permisible en las fibras externas, en } \left[\frac{N}{m^2} \right], [Pa]$$

$$E = \text{modulo de elasticidad, en } \left[\frac{N}{m^2} \right], [Pa]$$

c = distancia entre el eje neutro y las fibras externas, en $[m]$

ρ = radio de curvatura, en $[m]$

Puede obtenerse una expresión útil, sustituyendo la relación: $\sigma_{perm} = S_d = \frac{Mc}{I}$, en la siguiente ecuación:

$$\frac{c}{\rho} = \frac{\sigma_{perm}}{E} = \frac{Mc}{EI} \dots\dots\dots (2.20)$$

$$\frac{I}{\rho} = \frac{M}{EI} \dots\dots\dots (2.21)$$

I = Momento de inercia, $[m^4]$

La ecuación (2-21) es la relación entre curvatura de una viga y el momento flexionante, también tenemos, que eliminando ρ de las ecuaciones:

$$d\theta = \frac{dx}{\rho}; \quad \frac{1}{\rho} = \frac{d\theta}{dx}; \quad \frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI};$$

llegamos a :

$$\frac{d\theta}{dx} = \frac{M}{EI}$$



$$d\theta = \frac{Mdx}{EI} \dots\dots\dots (2.22)$$

La ecuación (2-22) indica que la variación en la pendiente entre dos secciones transversales de una viga es igual al área bajo el diagrama de momentos (Mdx) comprendiendo entre esas secciones, dividida entre EI

Considerando un punto en la elástica con coordenadas x, y , el valor de deflexión y la pendiente se define como:

$$\theta = \frac{dy}{dx} \dots\dots\dots (2.23)$$

$$\frac{d\theta}{dx} = \frac{d^2y}{dx^2} \dots\dots\dots (2.24)$$

Por lo tanto:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M}{EI} \dots\dots\dots (2.25)$$

De la cual la primera integral corresponde a la ecuación de la pendiente y permite determinar la misma en cualquier punto.

La segunda integral corresponde a la ecuación de la elástica y permite calcular el valor de la ordenada en cualquier valor de x (cualquier distancia)

Relación entre carga, fuerza cortante, momento flexionante, pendiente y deflexión

$$EIy = Deflexión \dots\dots\dots (2.26)$$

$$EI \frac{dy}{dx} = \theta = Pendiente \dots\dots\dots (2.27)$$

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = M = Momento \dots\dots\dots (2.28)$$

A continuación se muestran los casos de vigas con cargas más usuales que se presentan en las ménsulas para analizar su deflexión.



2.3.1 Viga en voladizo con carga puntual en un extremo. (Fig. 2-12).

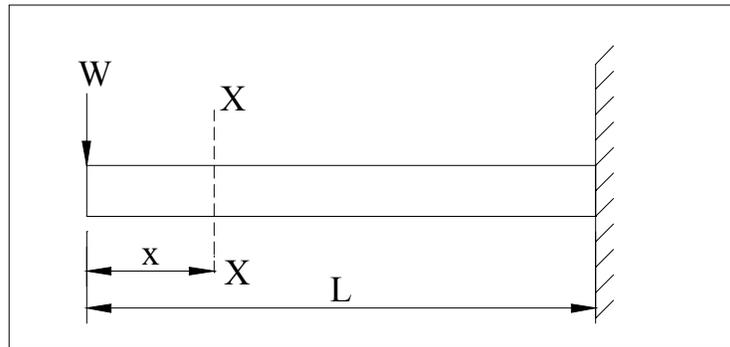


Fig. 2-12: Representación de la viga en voladizo con carga puntual.

$$M_{xx} = EI \frac{d^2 y}{dx^2} = -Wx \dots\dots\dots(2.29)$$

$$EI \frac{dy}{dx} = -\frac{Wx^2}{2} + A \dots\dots\dots(2.30)$$

Suponiendo que EI es constante.

$$EIy = -\frac{Wx^3}{6} + Ax + B \dots\dots\dots(2.31)$$

Ahora bien, cuando $x = L$, $\frac{dy}{dx} = 0 \therefore A = \frac{WL^2}{2} \dots\dots\dots(2.32)$

Y cuando $x = L$, $y = 0$, $\therefore B = \frac{WL^3}{6} - \frac{WL^2}{2} L = -\frac{WL^3}{3} \dots\dots\dots(2.33)$

$$y = \frac{1}{EI} \left[-\frac{Wx^3}{6} + \frac{WL^2 x}{2} - \frac{WL^3}{3} \right] \dots\dots\dots(2.34)$$

Esto proporciona la deflexión en todos los valores de x y también un valor máximo en el extremo libre de la viga en voladizo cuando $x=0$, es decir ,

$$y_{\max} = -\frac{WL^3}{3EI} \dots\dots\dots(2.35)$$



donde:

y_{\max} = deflexión máxima de la ménsula [m]

W = carga aplicada a la ménsula [N]

E = modulo de elasticidad [Pa]

I_v = momento de inercia de la viga [m⁴]

L = longitud de la ménsula [m].

El signo negativo señala que la deflexión ocurre en la dirección, y , negativa, es decir, hacia abajo.

2.3.2 Viga en voladizo con carga uniformemente distribuida. (Fig. 2-13).

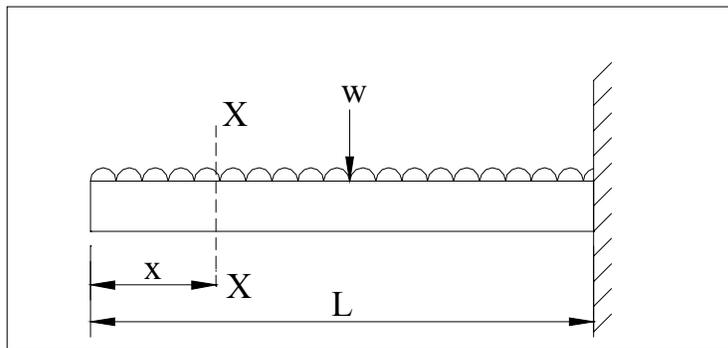


Fig. 2-13: Representación de la viga en voladizo con carga uniformemente distribuida.

$$M_{xx} = EI \frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{wx^2}{2} \dots\dots\dots(2.36)$$

$$EI \frac{dy}{dx} = -\frac{wx^3}{6} + A \dots\dots\dots(2.37)$$

$$EIy = -\frac{wx^4}{24} + Ax + B \dots\dots\dots(2.38)$$

Una vez más cuando tenemos, $x = L$, $\frac{dy}{dx} = 0 \therefore A = \frac{wL^3}{6} \dots\dots\dots(2.39)$

Y cuando $x = L$, $y = 0$, $\therefore B = \frac{wL^4}{24} - \frac{wL^4}{6} = -\frac{wL^4}{8} \dots\dots\dots(2.40)$



$$y = \frac{1}{EI} \left[-\frac{wx^4}{24} + \frac{wL^3x}{6} - \frac{wL^4}{8} \right] \dots\dots\dots(2.41)$$

cuando $x=0$, tenemos: $y_{\max} = -\frac{wL^4}{8EI} \dots\dots\dots(2.42)$

donde:

y_{\max} = deflexión máxima de la ménsula [m]

w = carga aplicada a la ménsula $\left[\frac{N}{m} \right]$.

E = módulo de elasticidad [Pa]

I_v = momento de inercia de la viga [m⁴]

L = longitud de la ménsula [m].

2.3.3 Viga en voladizo con carga distribuida variable. (Fig. 2-14).

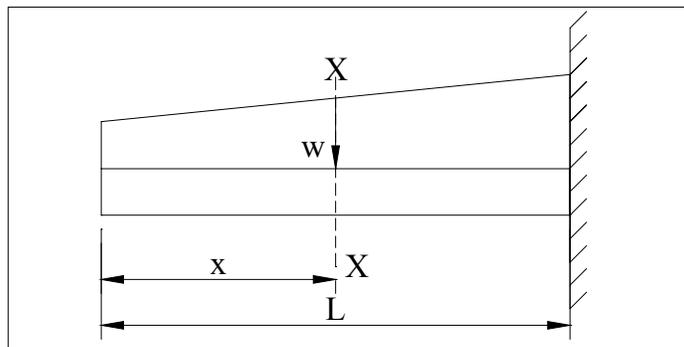


Fig. 2-14: Representación de la viga en voladizo con carga distribuida variable.

La carga de la sección XX es:

$$w' = EI \frac{d^4y}{dx^4} = - \left[w + (3w - w) \frac{x}{L} \right] \dots\dots\dots(2.43)$$

$$w' = -w \left(1 + \frac{2x}{L} \right) \dots\dots\dots(2.44)$$



Integrando la función anterior,

$$EI \frac{d^3 y}{dx^3} = -w \left(x + \frac{x^2}{L} \right) + A \dots\dots\dots(2.45)$$

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = -w \left(\frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3L} \right) + Ax + B \dots\dots\dots(2.46)$$

$$EI \frac{dy}{dx} = -w \left(\frac{x^3}{6} + \frac{x^4}{12L} \right) + \frac{Ax^2}{2} + Bx + C \dots\dots\dots(2.47)$$

$$EIy = -w \left(\frac{x^4}{24} + \frac{x^5}{60L} \right) + \frac{Ax^3}{2} + \frac{Bx^2}{2} + Cx + D \dots\dots\dots(2.48)$$

De este modo, antes de poder calcular la pendiente o la deflexión, se deben calcular cuatro constantes; por consiguiente, se necesitan cuatro condiciones. Estas son:

Para $x=0$, F.C. es igual a cero
Con base a (2.45), $A = 0$

Para $x=0$, M.F. es igual a cero

Con base a (2.46), $B = 0$

Para $x=L$, la pendiente $\frac{dy}{dx} = 0$ (normalmente se supone que la pendiente tiene un valor nulo en el apoyo empotrado).

Con base en (2.47),

$$0 = -w \left(\frac{L^3}{6} + \frac{L^3}{12} \right) + C \dots\dots\dots(2.49)$$

$$C = w \frac{L^3}{4} \dots\dots\dots(2.50)$$

Para $x = L$, $y = 0$

Con base en (2.48)



$$0 = -w \left(\frac{L^4}{24} + \frac{L^4}{60} \right) + \frac{wL^4}{4} + D \dots\dots\dots(2.51)$$

$$D = -\frac{23wL^4}{120} \dots\dots\dots(2.52)$$

$$EIy = -\frac{wx^4}{24} - \frac{wx^5}{60L} + \frac{wL^3x}{4} - \frac{23wL^4}{120} \dots\dots\dots(2.53)$$

Entonces, por ejemplo, la deflexión en el extremo libre de la viga en voladizo, donde $x = 0$, es

$$y_{\max} = -\frac{23wL^4}{120EI} \dots\dots\dots(2.54)$$

donde:

y_{\max} = deflexión máxima de la ménsula [m]

w = carga aplicada a la ménsula $\left[\frac{N}{m} \right]$.

E = módulo de elasticidad [Pa]

I = Momento de inercia de la viga [m^4]

L = longitud de la ménsula [m].



2.4 INTRODUCCION AL ELEMENTO FINITO [4]

La teoría de elemento finito utiliza matemáticas simples, hasta las sofisticadas como lo son el análisis vectorial, la teoría de matrices, y las ecuaciones diferenciales.

Esta teoría divide a la viga en elementos, como se muestra en la figura 2-15, los cuales se componen de nodos, que tienen dos grados de libertad (Q_{2i-1} y Q_{2i}), cuando se realiza el estudio de la viga en el plano. El grado de libertad Q_{2i-1} es un desplazamiento transversal y Q_{2i} es una pendiente o una rotación. El vector Q representa al vector de desplazamientos globales.

$$Q = [Q_1, Q_2, \dots, Q_{10}]^T \dots\dots\dots (2.55)$$

Para un solo elemento, los grados de libertad locales están representados por:

$$q = [q_1, q_2, \dots, q_{10}]^T \dots\dots\dots (2.56)$$

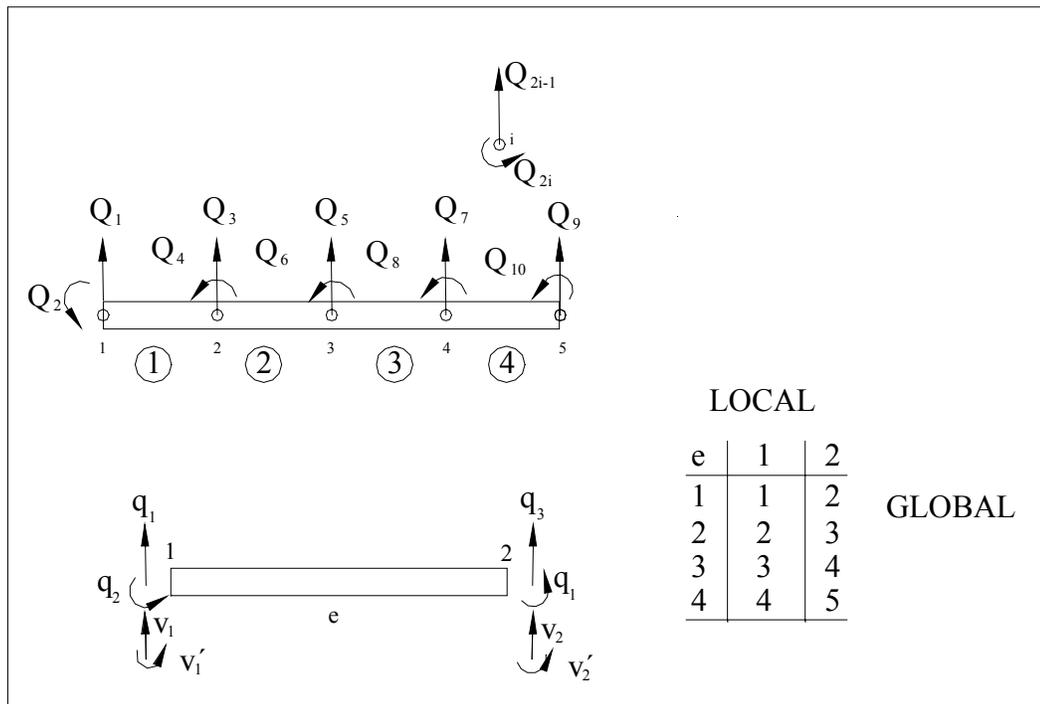


Figura 2-15 : Discretización de la viga.



2.5 Factor de Seguridad [7].

Con objeto de cubrir incertidumbres con respecto al esfuerzo máximo permisible seleccionado, se define un factor de seguridad N . El esfuerzo de diseño resultante no debe provocar el desperdicio ni la falla del material.

El esfuerzo de diseño se determina al dividir la propiedad aplicable al material: resistencia de fluencia, resistencia última, resistencia de fatiga entre un factor de seguridad.

Entre las incertidumbres a considerar están, el tipo de material, el ambiente en el cual operará la pieza, el desarrollo de esfuerzos localizados y de fabricación y posibles fallas que pongan en peligro la vida humana.

$$Sd = \frac{S_y}{N}$$

Donde S_y = Esfuerzo de fluencia

$Sd = \sigma_{perm}$ = Esfuerzo de diseño

N = Factor de seguridad

2.6 Concentradores esfuerzo[8].

La geometría de las ménsulas actuales requiere ciertas formas para cumplir su función, es un hecho que las ménsulas están sometidas a esfuerzos por la mercancía que es distribuida en un espacio determinado del entrepaño que soportan las ménsulas. Además se tiene que cuidar la estética del mueble que permita exhibir la mercancía, adecuadamente.

Lo anterior se necesita tomar en cuenta para el diseño de la geometría que se proponga para la ménsula, que permita su óptimo funcionamiento.

Cualquier discontinuidad ó cambio de sección, tal como rayas, agujeros, entallas, curvas, cambios de sección o ranuras, huellas o marcas de herramienta, rugosidades de superficie de cualquier clase, tales como las que resultan de la corrosión o picaduras, chiveteros, soldadura, apoyos de cubos de ruedas o platos de acoplamiento, etc., constituye una causa de aumento de esfuerzo ó concentrador de esfuerzo. Esto dará lugar a una concentración de esfuerzo ó un esfuerzo localizado, que es mayor que el esfuerzo promedial ó nominal. En algunas situaciones los valores teóricos de la concentración de esfuerzo pueden ser calculados por la teoría de la elasticidad, o bien determinados por diversas técnicas experimentales. Entre estas técnicas se cuenta el método fotoelástico, en el que se utilizan modelos transparentes de varios plásticos.

Las concentraciones de esfuerzo son importantes en los materiales dúctiles solamente cuando las cargas son repetitivas. Como un material dúctil sometido a una carga fija o estacionaria cede en puntos de alta concentración si el esfuerzo excede de la resistencia de fluencia, se producirá una redistribución de esfuerzos, pero la pieza en conjunto no presentará deterioro perceptible. El escurrimiento es local (confinado a un área muy pequeña). Sin embargo, si la carga es repetitiva, el esfuerzo en los puntos de concentración puede exceder la resistencia a la fatiga y entonces la pieza se rompe eventualmente por fatiga.



CAPÍTULO 3: ANÁLISIS TEÓRICO DE LAS MÉNSULAS.

INTRODUCCIÓN.

Con la información obtenida en los capítulos 1 y 2 se conoce la funcionalidad y las especificaciones de la ménsula para tiendas departamentales, así como la teoría de mecánica de sólidos necesaria para estudiar el comportamiento de las ménsulas. En éste capítulo se analizan las diferentes configuraciones de uso de la ménsula para entender el comportamiento mecánico y generar memorias de cálculo electrónicas.

3.1 MATERIAL.

El material utilizado para la fabricación de las ménsulas es acero de mediano y bajo carbono AISI 1008 y AISI 1010, bajo la norma ASTM-A366, por tener buenas propiedades mecánicas a un costo económico. Para este material se tiene las siguientes propiedades mecánicas:

$$\sigma_{\text{máx tensión}} = S_y = 3.17 \times 10^8 [Pa]$$

$$E = 20.601 \times 10^{10} [Pa]$$

$$\gamma = \text{Coeficiente de Poisson} = 0.3$$

3.2 FACTOR DE SEGURIDAD.

Para el diseño de las ménsulas se propone un factor de seguridad $N = 2$, basado en la resistencia fluencia debido a que operan bajo carga permanente y de uso continuo, en contacto con personal y clientes de las tiendas.

$$S_y = \sigma_{\text{máx}} = 3.17 \times 10^8 [Pa]$$

$$S_d = \sigma_{\text{perm}} = \frac{\sigma_{\text{máx}}}{N} = 1.586 \times 10^8 [Pa]$$

$$\sigma_{\text{perm}} < \sigma_{\text{máx}}$$

3.3 ANÁLISIS DE LA MÉNSULA.

Al observar el funcionamiento de la ménsula, se deduce que al aplicar una carga a la ménsula, ésta gira en el interior de la cremallera en el sentido de la carga aplicada, esto es debido a la holgura que se requiere para introducirla en la cremallera. Por esta razón al inclinarse la ménsula no trabajan todos los dientes de ésta, sino sólo el primero y el punto de apoyo como se observa en la (Fig. 3-2)



Las ménsulas normalmente trabajan con tres condiciones de carga: Carga puntual en un extremo (3.3.1), carga uniformemente distribuida (3.3.2), carga uniformemente variable (3.3.3).

A continuación se muestran los análisis con las cargas mencionadas anteriormente.

3.3.1 Ménsula con carga puntual en un extremo.

Este tipo de arreglo de carga es el utilizado en ménsulas especiales en las que se les ensambla un tubo en la punta para colgar ganchos con ropa (Fig. 3-1).

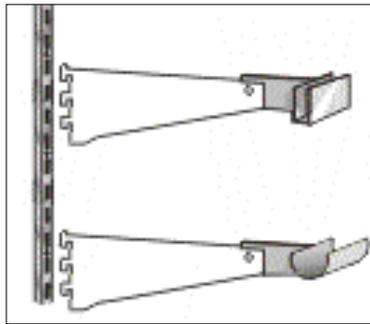


Fig. 3-1: Ménsulas preparadas para carga puntual.

El análisis para una carga puntual se estudiará cuando ésta se encuentre en el extremo de la ménsula. Por lo cual se puede considerar al soporte como una viga en cantiliver. En la figura 3-2 se observa la distribución de las reacciones en los puntos A y B de la ménsula, originadas por la carga puntual aplicada (F), las cuales se han observado en la practica que trabajan de éste modo.

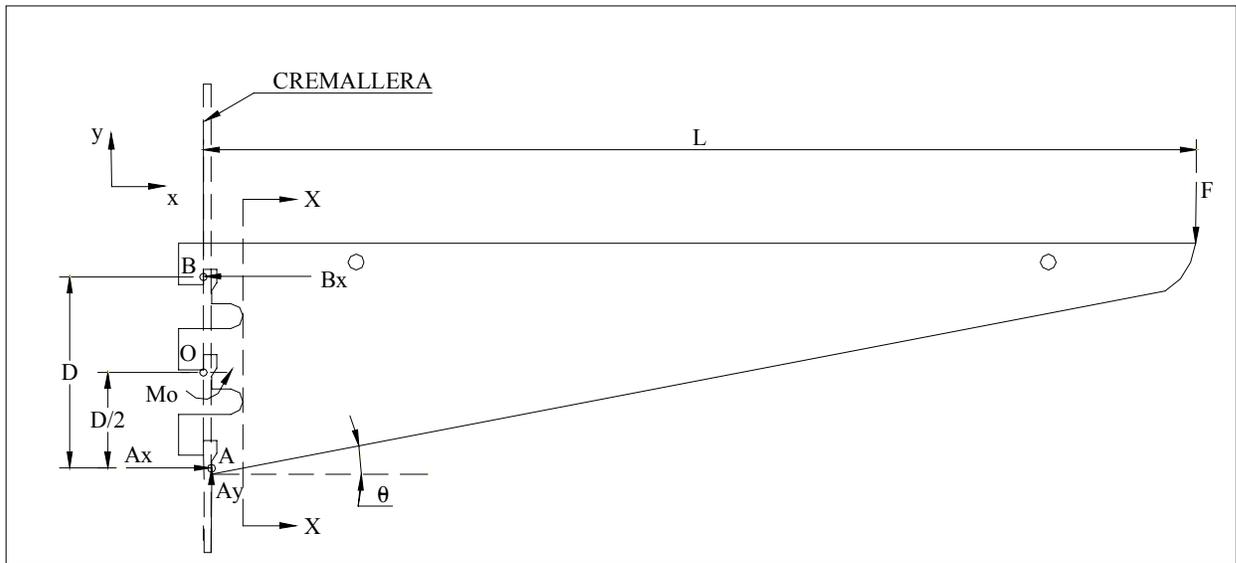


Fig. 3-2: Ménsula con carga puntual.



A continuación se realizará el análisis para conocer la carga máxima recomendable (F) que debe soportar la ménsula con la distribución de carga indicada. Para realizar lo anterior se propone relacionar la fuerza (F) aplicada al cuerpo de la ménsula y las reacciones en el diente superior (punto B) y el apoyo inferior (punto A) de la ménsula, ya que éstas reacciones como se observa en la figura 3-2, equilibran la ménsula. También se encontrará la deflexión que provoca la carga aplicada (F) en la ménsula, ya que es importante para la estética y la adecuada exhibición de las mercancías, no tener una deflexión mayor a 2 [mm], como lo solicita el cliente.

Para que la ménsula se mantenga en equilibrio se tiene:

$$\Sigma F_x = 0$$

$$-B_x + A_x = 0$$

$$B_x = A_x \dots\dots\dots(3.1)$$

De la figura 3.2 se observa que el momento en la viga que represente la viga es:

$$M_o = FL \dots\dots\dots(3.2)$$

Realizando suma de momentos con respecto al punto (O):

$$\Sigma M_o = 0$$

$$-A_x \frac{D}{2} - B_x \frac{D}{2} + M_o = 0 \dots\dots\dots(3.3)$$

- M_o = Momento en el punto (O), [Nm]
- F = Carga aplicada en la ménsula, [N]
- A_x = Carga de reacción en la ménsula, [N]
- B_x = Carga de reacción en la ménsula, [N]
- D = Distancia entre apoyos de la ménsula, [m]
- L = Longitud de la ménsula, [m]

Sustituyendo 3.1 y 3.2 en 3.3:

$$-B_x \frac{D}{2} - B_x \frac{D}{2} + FL = 0$$

$$B_x D = FL$$

$$B_x = \frac{FL}{D} \dots\dots\dots(3.4)$$



Calculando las fuerzas cortantes y momentos flectores de la viga, utilizando la ecuación 3.2 se obtienen las figuras 3-3 y 3-4. Se observa que la fuerza cortante en la ménsula permanece constante en cualquier punto de aplicación de la fuerza (Fig. 3-3). En cambio el momento flexionante se incrementa al aumentar la distancia de aplicación de la carga en forma proporcional al incremento de la distancia (Fig. 3-4).

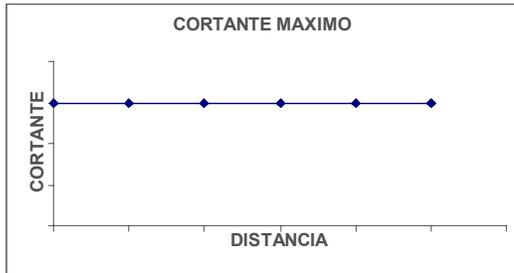


Fig. 3-3: Diagrama de la fuerza cortante a lo largo de la ménsula con carga puntual

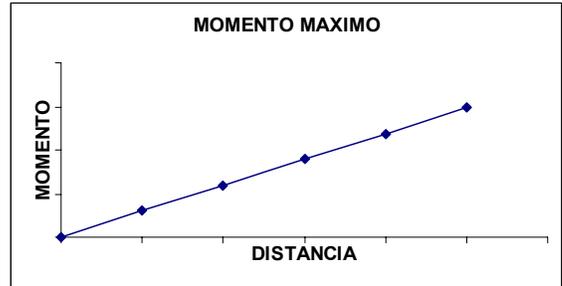


Fig. 3-4: Diagrama del momento máximo a lo largo de la ménsula con carga puntual.

Considerando la experiencia del autor, se sabe que la ménsula falla en la sección de ensamble del diente superior con la cremallera, sufriendo deformación plástica (Fig. 3-5). Por lo que a continuación se estudiará dicha sección.

Aislando la sección del lado izquierdo de la viga, donde se encuentra el diente superior de la ménsula y realizando la suma de momentos en el punto C, tenemos:

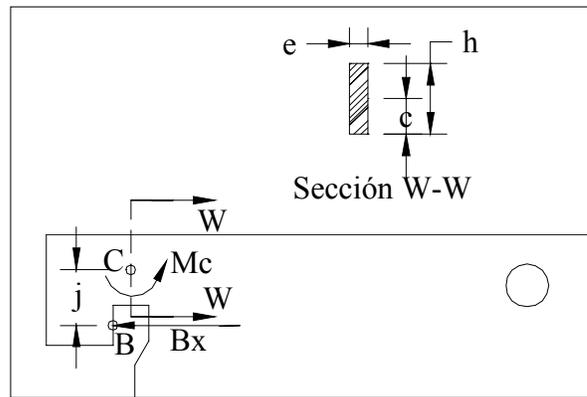


Fig. 3-5: Reacciones en el diente de la ménsula.

$$M_C = B_x j \dots\dots\dots(3.5)$$

- , $M_C =$ Momento máximo en C, [Nm]
- , $j =$ distancia del apoyo del diente, [m]
- , $B_x =$ Carga de reacción en la ménsula, [N]
- , $e =$ espesor del material, [m]
- , $h =$ ancho del diente, [m]



Para conocer la fuerza máxima que se le puede aplicar a la viga (ménsula), para que el diente no falle, se propone relacionar la viga con la sección de ensamble del diente superior con la cremallera. En esta parte se presenta la reacción en el punto B del diente superior de la ménsula (Fig. 3-5). La reacción Bx en el diente superior, como se mencionó provoca una deformación plástica en la sección W-W del diente de la ménsula (Fig. 3-5). Por lo que a continuación se presenta el siguiente desarrollo:

$$I_d = \frac{1}{12}eh^3 = 0.083eh^3 \dots\dots\dots(3.6)$$

Donde:

- I_d = Momento de inercia de la sección W - W del diente, $[m^4]$
- , e = Espesor de la lámina, $[m]$
- h = Altura del diente, $[m]$

Obteniendo el Módulo de rigidez

$$S = \frac{I_d}{c} \dots\dots\dots(3.7)$$

S = Módulo rigidez, $[m^3]$

c = distancia del eje centroidal de la viga a las fibras externas, $[m]$

Sustituyendo (3.6) en (3.7)

$$S = \frac{0.083eh^3}{c} \dots\dots\dots(3.8)$$

De la figura 3-2.

$$c = \frac{h}{2} \dots\dots\dots(3.9)$$

Sustituyendo (3.9) en (3.8)

$$S = 0.166eh^2 \dots\dots\dots(3.10)$$

Esfuerzo por flexión

$$Sd = \frac{M_c c}{I_d} \dots\dots\dots(3.11)$$

Sd = Esfuerzo de diseño, $[Pa]$

Sustituyendo (3.7) en (3.11)



$$Sd = \frac{M_C}{S} \dots\dots\dots(3.12)$$

Sustituyendo (3.5) en (3.12)

$$Sd = \frac{B_x j}{S} \dots\dots\dots(3.13)$$

Sustituyendo (3.4) en (3.13)

$$Sd = \frac{FLj}{\frac{D}{S}} \dots\dots\dots(3.14)$$

Sustituyendo (3.10) en (3.14)

$$Sd = \frac{FLj}{0.166eh^2D}$$

$$Sd = \frac{6.024FLj}{eh^2D} \dots\dots\dots(3.15)$$

De la ecuación del esfuerzo permisible ò de diseño.

$$Sd = \frac{S_y}{N} \dots\dots\dots(3.16)$$

Donde: $N = 2$, factor de seguridad

$$Sd = 1.586 \times 10^8 \text{ (Pa)} \dots\dots\dots(3.17)$$

$$\therefore (3.17) = (3.15)$$

$$1.586 \times 10^8 = \frac{6.024FLj}{eh^2D} \dots\dots\dots(3.18)$$

Despejando F en función de las siguientes variables tenemos:



$$F = \frac{2.622 \times 10^7 e h^2 D}{L_j} \dots\dots\dots(3.19)$$

Calculando la deflexión en la ménsula, cuando esta sometida a carga puntual en un extremo, se presenta el siguiente desarrollo:

Para la viga que representa la ménsula se propone tomar el ancho de la viga (H) el cual se indica en la sección X-X, de la figura 3-6.

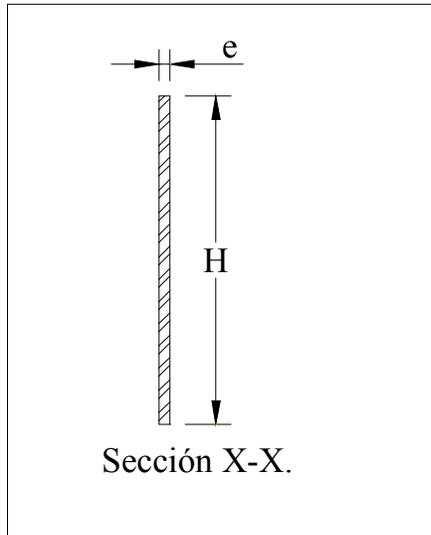


Fig. 3-6: De la figura 3-2, se obtiene la siguiente sección de la viga.

En el capítulo 2 se analizaron todas las configuraciones de carga, para este caso se obtuvo la ecuación (2.35) que se muestra a continuación:

$$y_{\max} = -\frac{WL^3}{3EI_v} = -\frac{FL^3}{3EI_v} = -\frac{FL^3}{3 \times 20.601 \times 10^{10} \times 0.083eH^3} = -\frac{FL^3}{5.12 \times 10^{10} eH^3} \dots\dots\dots(3.20)$$

, donde:

- y_{\max} = deflexión máxima de la ménsula [m]
- $W = F$ = carga aplicada a la ménsula [N]
- E = modulo de elasticidad 20.601×10^{10} [Pa]
- I_v = Momento de inercia de la viga $[m^4] = 0.083eH^3$.
- H = Ancho de la viga [m]
- e = espesor del material [m]
- L = longitud de la viga (ménsula) [m].



3.3.2 Ménsula con carga uniformemente distribuida.

Al igual que en el caso anterior, ahora para la ménsula con carga uniformemente distribuida (Fig. 3-7), se encontrará la carga máxima (F) que resiste la ménsula así como la deflexión que se produce en ella por esa carga.

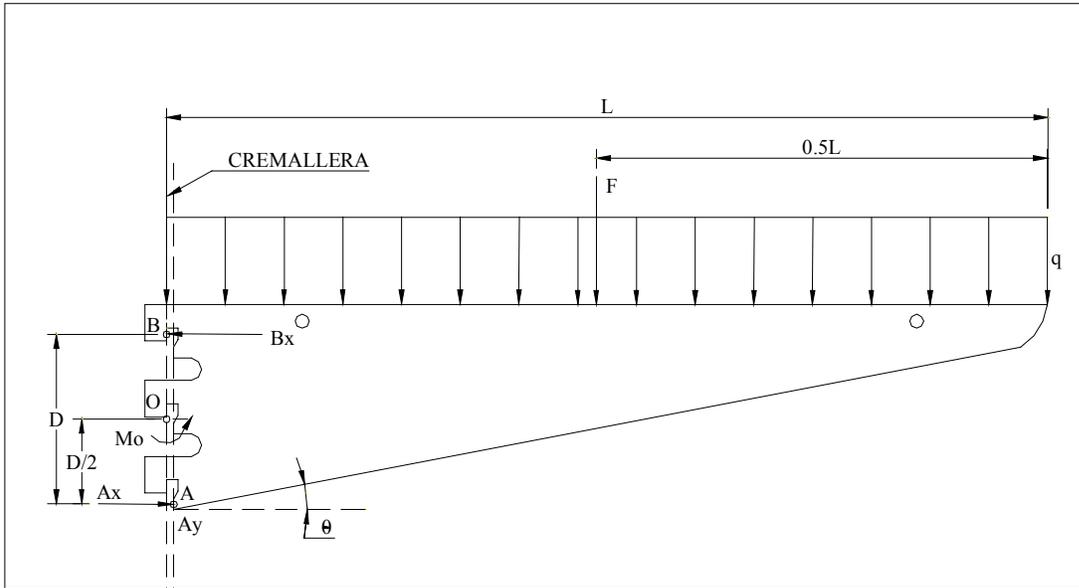


Fig. 3-7: Ménsula con carga uniformemente distribuida.

Este arreglo de carga es el más común, por lo general el producto es distribuido en todo el entrepaño.

$$F = qL \dots\dots\dots(3.21)$$

donde q = Carga concentrada, $[N/m]$

$$M_o = F\left(\frac{L}{2}\right) \dots\dots\dots(3.22)$$

Sustituyendo (3.21) en (3.22)

$$M_o = qL\left(\frac{L}{2}\right) = \frac{qL^2}{2} \dots\dots\dots(3.23)$$



Calculando las fuerzas cortantes y momentos flectores de la viga , utilizando la ecuación 3.22 se obtienen las figuras 3-8 y 3-9.

La fuerza cortante en la ménsula aumenta de manera proporcional con el incremento de la distancia de aplicación de la carga desde el punto de apoyo (Fig. 3-8). El momento flexionante de la ménsula va aumentando de manera exponencial con el incremento de la distancia de aplicación de la carga en la ménsula desde el punto de apoyo (Fig. 3-9).

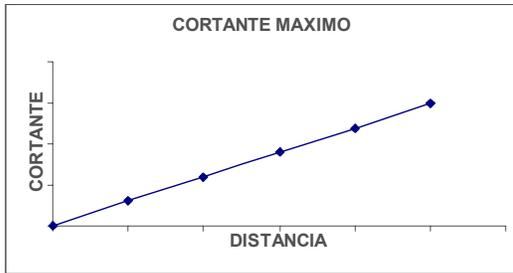


Fig. 3-8: Diagrama de la fuerza cortante a lo largo de la ménsula con carga uniformemente distribuida.

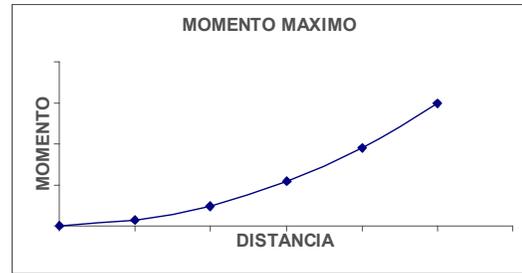


Fig. 3-9: Diagrama del momento máximo a lo largo de la ménsula con carga uniformemente distribuida.

Realizando el mismo análisis que se realizó para del diente superior de la ménsula del caso de carga puntual, se tiene lo siguiente:

Sustituyendo (3.23) en (3.15)

$$S_d = \frac{\left(\frac{qL^2}{2D}\right)j}{0.166eh^2} = \frac{qL^2 j}{2D(0.166eh^2)} \dots\dots\dots (3.24)$$

$$\therefore (3.17) = (3.24)$$

$$1.586 \times 10^8 = \frac{qL^2 j}{2D(0.166eh^2)} \dots\dots\dots (3.25)$$

Despejando q de (3.25)

$$q = \frac{5.24 \times 10^7 eh^2 D}{L^2 j} \dots\dots\dots (3.26)$$

Calculando la deflexión en la ménsula, cuando esta sometida a carga uniformemente distribuida, se tiene:

De la formula (2.42) tenemos:



$$y_{\max} = -\frac{wL^4}{8EI} = -\frac{qL^4}{8EI} = -\frac{qL^4}{8 \times 20.601 \times 10^{10} \times 0.083eH^3} = -\frac{qL^3}{1.367 \times 10^{11} eH^3} \dots\dots\dots(3.27)$$

, donde:

y_{\max} = deflexión máxima de la ménsula [m]

$w = q$ = carga concentrada aplicada a la ménsula $\left[\frac{N}{m}\right]$.

E = modulo de elasticidad $20.601 \times 10^{10} [Pa]$

I_v = Momento de inercia de la viga $[m^4] = 0.083eH^3$.

H = Ancho de la viga [m]

e = espesor del material [m]

L = longitud de la viga (ménsula) [m].

3.3.3 Ménsula con carga concentrada uniformemente variable.

Para el caso de la ménsula con carga concentrada uniformemente variable, se encontrará la carga máxima (F) que resiste la ménsula así como su deflexión, (Fig. 3-10).

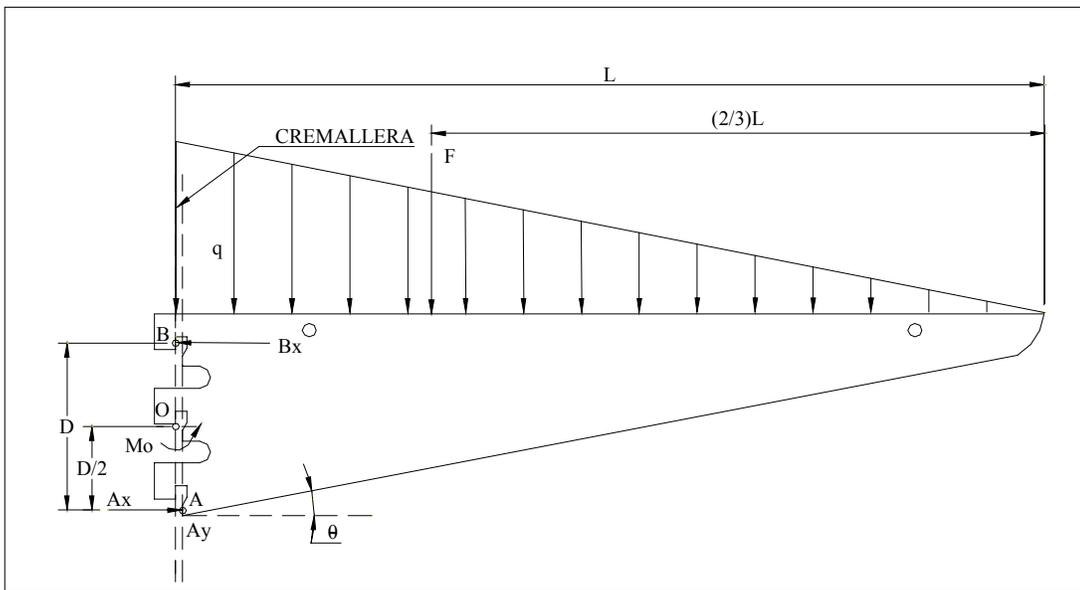


Fig. 3-10: Ménsula con carga concentrada uniformemente variable.

Este arreglo de carga es utilizado por lo general cuando se exhiben latas ó botellas.



$$M_o = F \frac{L}{3} \dots\dots\dots(3.28)$$

$$F = q \frac{L}{2} \dots\dots\dots(3.29)$$

$$M_o = \frac{qL}{2} \frac{1}{3} L = \frac{qL^2}{6} \dots\dots\dots(3.30)$$

Realizando el mismo análisis que se realizó para del diente superior de la ménsula del caso de carga puntual, se tiene lo siguiente:

Sustituyendo (3.30) en (3.15)

$$S_d = \frac{\left(\frac{qL^2}{6D}\right)^j}{0.166eh^2} \dots\dots\dots(3.31)$$

$$\therefore (3.17) = (3.31)$$

$$1.586 \times 10^8 = \frac{\left(\frac{qL^2}{6D}\right)^j}{0.166eh^2} = \frac{qL^2 j}{0.996eh^2 D} \dots\dots\dots(3.32)$$

Despejando q de (3.32)

$$q = \frac{1.57 \times 10^8 eh^2 D}{L^2 j} \dots\dots\dots(3.33)$$

Calculando las fuerzas cortantes y momentos flectores de la viga , utilizando la ecuación 3.28 se obtienen las figuras 3-11 y 3-12.

La fuerza cortante en la ménsula aumenta de manera proporcional con el incremento de la distancia de aplicación de la carga desde el punto de apoyo (Fig. 3-11). El momento flexionante de la ménsula va aumentando de manera exponencial con el incremento de la distancia de aplicación de la carga en la ménsula desde el punto de apoyo (Fig. 3-12).

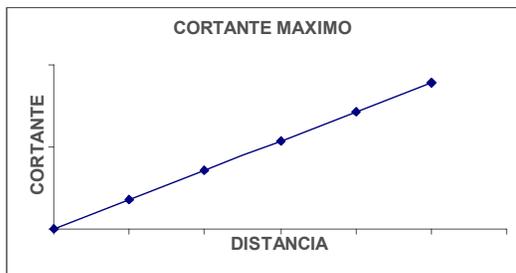


Fig. 3-11: Diagrama de la fuerza cortante a lo largo de la ménsula con carga concentrada uniformemente variable.

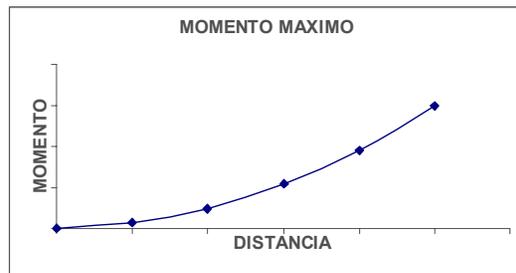


Fig. 3-12: Diagrama del momento máximo a lo largo de la ménsula con carga concentrada uniformemente variable.



Calculando la deflexión en la ménsula, cuando esta sometida a carga uniformemente variable, se tiene:

De la formula (2.54) tenemos:

$$y_{\max} = -\frac{23wL^4}{120EI} = -\frac{23qL^4}{120EI} = -\frac{23qL^4}{120 \times 20.601 \times 10^{10} \times 0.083eH^3} = -\frac{1.12 \times 10^{-11} qL^3}{eH^3} \dots\dots\dots(3.34)$$

, donde:

y_{\max} = deflexión máxima de la ménsula [m]

$w = q$ = carga concentrada aplicada a la ménsula $\left[\frac{N}{m} \right]$.

E = modulo de elasticidad $20.601 \times 10^{10} [Pa]$

I_v = Momento de inercia de la viga $[m^4] = 0.083eH^3$.

H = Ancho de la viga [m]

e = espesor del material [m]

L = longitud de la viga (ménsula) [m].

3.4 Cálculo de la carga máxima.

Cuando se tienen ecuaciones matemáticas paramétricas, es posible automatizar el cálculo, desarrollando una herramienta computacional, en este caso se eligieron las hojas de cálculo.

Al usar hojas de cálculo se facilita la obtención de resultados por su manejo sencillo. En este trabajo se parametrizó el tamaño de la ménsula debido a que cambia de un modelo a otro, pero la geometría es constante. Al parametrizar las dimensiones de los dientes, puntos de apoyo y cuerpo de la ménsula es posible conocer, las dimensiones que son críticas para lograr un mejor diseño de la ménsula. Por medio de esta herramienta se facilita el comparar los resultados que se obtienen al variar las dimensiones de las partes del accesorio. De esta manera se pueden proponer dimensiones y formas adecuadas para el diseño de las ménsulas, enfocadas a lograr los objetivos de este trabajo como el mejorar las propiedades mecánicas de las ménsulas y reducir los costos de materiales y de fabricación.

Como primer paso para cumplir uno de los objetivos particulares de este trabajo, el cuál es contar con la memoria de cálculo de la ménsula para tiendas departamentales, se realizó lo siguiente:

Se desarrolló el análisis teórico de la ménsula de línea para tiendas departamentales de la empresa Storemex que servirá de base para diseñar todos los tipos de ménsulas.

Para la hoja de cálculo se elaboró un programa en excell, que calcula la fuerza máxima (F) que resiste la ménsula, así como la deflexión (y) que se produce por esta carga, en función de sus dimensiones actuales. Se utilizan en la hoja de cálculo las ecuaciones obtenidas en las secciones 3.3.1, 3.3.2 y 3.3.3. Los resultados se muestran en las tablas 3-1 a 3-3, para las diferentes configuraciones de carga a la que es expuesta la ménsula.



En las tablas 3-1 a 3-3 los datos (e) espesor de la lámina, (h) altura del diente, (j) distancia del apoyo del diente, son constantes para todas las ménsulas ya que estas dimensiones no cambian en la geometría de la ménsula para tiendas departamentales de la empresa Storemex.

La dimensión de la ménsula (D) es la distancia entre el punto de apoyo superior y el inferior, cambia sólo del modelo Me-1 al Me-2. Solo las longitudes son variables para todas las ménsulas y están estandarizadas por el cliente como se explicó en el capítulo 1.

De los datos obtenidos veamos el ejemplo de la ménsula de 30[cm] para todos los casos. Para el caso de la carga puntual en un extremo, la carga máxima (F) que resiste es 69.45[N]. En el caso de la carga uniformemente distribuida, la carga máxima (F) que resiste es 138.8[N]. Y para el caso de carga distribuida uniformemente variable es 416.66[N].

Por lo anterior las ménsulas expuestas a carga puntual en un extremo resisten 99.85% menos carga que las expuestas a carga uniformemente distribuida y son 499.92% menos resistentes que las expuestas a carga distribuida uniformemente variable. Con esto se sabe ya que el caso más crítico es la carga puntual en un extremo.

Las deflexiones (y), que se producen para las cargas (F) a las que son expuestas las ménsulas no son críticas para ninguno de los casos de configuración de carga, como puede observarse en las tablas 3-1 a 3-3. Estas deflexiones son menores a 2 [mm], que es la deflexión máxima permitida por el cliente.

Con los datos obtenidos en las tablas 3-1 a 3-3, ya se cuenta con la memoria de cálculo de la ménsula de línea para tiendas departamentales de la empresa Storemex.



3.5 Ménsula de la competencia para tiendas de autoservicio.

Es muy complicado saber como serán distribuidas las mercancías en el entrepaño por el personal de las tiendas departamentales y de autoservicio, esto dependerá del tipo de mercancía, tamaño, demanda y la forma en que se quiera sea presentada ésta por mercadotecnia en el entrepaño. En la sección 3.5 se analizaron algunos de los casos que se usan para la distribución de las mercancías, determinándose que el caso de carga puntual en un extremo es el más crítico, ya que el diente superior de la ménsula resiste menos carga que en las otras configuraciones de carga. Por lo que para garantizar la seguridad del personal y clientes de la tienda, así como de las mercancías, el análisis de las ménsulas se realizará para el caso más crítico, el de carga puntual en un extremo.

Como la empresa Storemex no cuenta con la experiencia en el diseño y la fabricación de ménsulas para tiendas de autoservicio, se decidió para empezar, analizar y estudiar el comportamiento de una ménsula para tiendas de autoservicio de la competencia, ésta ménsula tiene la misma configuración de dientes que la ménsula para tiendas departamentales, y sólo cambia en la forma del cuerpo (Fig. 3-13). Por lo que se puede analizar teóricamente como se hizo con las ménsulas para tiendas departamentales.

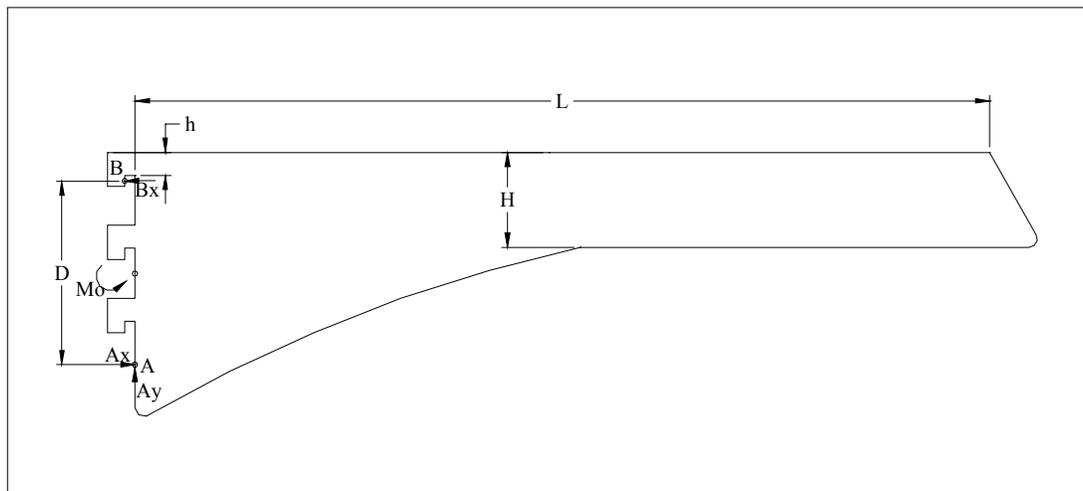
A continuación en la tabla 3-4 se muestran los resultados obtenidos del análisis de la ménsula para tiendas de autoservicio de la competencia.

En el caso de la geometría de la ménsula para tiendas de autoservicio, en el cálculo de la deflexión se tomó el ancho de la viga a la dimensión H, ver figura 3-13, se considera que es la parte crítica de la ménsula que provoca la deflexión.

Por los resultados obtenidos en la tabla 3-4, puede observarse que la ménsula de 50 [cm] de longitud, no resiste la carga estipulada por el cliente que es 200 [N], y sólo alcanza esta ménsula una resistencia de 109.87[N]. En cuanto a la deflexión estas ménsulas no presentan problema están por debajo de 2 [mm], que es la máxima permitida por el cliente.

**TABLA 3-4: Ménsula de la competencia para tiendas de autoservicio con carga puntual en un extremo.**

Descripción	Mc-30	Mc-35	Mc-40	Mc-45	Mc-50
L Longitud de la ménsula (m)	0.30	0.35	0.4	0.45	0.5
e Espesor de la ménsula (m)	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030
h Ancho del diente (m)	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080
H Ancho de la viga	0.0331	0.0331	0.0331	0.0331	0.0331
D Distancia entre los apoyos (m)	0.0645	0.0645	0.0645	0.0645	0.0645
j Distancia de (o) al apoyo superior (m)	0.0060	0.0060	0.0060	0.0060	0.0060
F Fuerza máxima (N)	183.11	156.95	137.34	122.08	109.87
A Area de la pza. (m ²)	0.01466	0.01632	0.01799	0.01965	0.02132
y Deflexión máxima (m)	0.000143	0.000273	0.000448	0.000670	0.000939

**Fig. 3-13:** Dimensiones críticas de la ménsula de la competencia para tiendas de autoservicio.

**TABLA 3-1: Ménsula de 2 y 3 dientes con carga puntual en un extremo.**

	Descripción	Me-1-10	Me-1-15	Me-1-20	Me-1-25	Me-2-30	Me-2-35	Me-2-40	Me-2-45	Me-2-50
L	Longitud de la ménsula (m)	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.4	0.45	0.50
e	Espesor de la ménsula (m)	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023
h	Ancho del diente (m)	0.0079	0.0079	0.0079	0.0079	0.0079	0.0079	0.0079	0.0079	0.0079
H	Ancho de la viga	0.0320	0.0320	0.0320	0.0320	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
D	Distancia entre apoyos (m)	0.0320	0.0320	0.0320	0.0320	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
j	distancia del apoyo del diente (m)	0.0062	0.0062	0.0062	0.0062	0.0062	0.0062	0.0062	0.0062	0.0062
F	Fuerza máxima (N)	192.25	128.17	96.13	76.90	115.75	99.22	86.81	77.17	69.45
y	Deflexión máxima (m)	0.000050	0.000113	0.000201	0.000314	0.000138	0.000188	0.000246	0.000312	0.000385

TABLA 3-2: Ménsula de 2 y 3 dientes con carga uniformemente distribuida.

	Descripción	Me-1-10	Me-1-15	Me-1-20	Me-1-25	Me-2-30	Me-2-35	Me-2-40	Me-2-45	Me-2-50
L	Longitud de la ménsula (m)	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.4	0.45	0.50
e	Espesor de la ménsula (m)	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023
h	Ancho del diente (m)	0.0079	0.0079	0.0079	0.0079	0.0079	0.0079	0.0079	0.0079	0.0079
H	Ancho de la viga	0.0320	0.0320	0.0320	0.0320	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
D	Distancia entre apoyos (m)	0.0320	0.0320	0.0320	0.0320	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
j	distancia del apoyo del diente (m)	0.0062	0.0062	0.0062	0.0062	0.0062	0.0062	0.0062	0.0062	0.0062
q	carga concentrada (N/m)	3842.15	1707.62	960.54	614.74	771.10	566.52	433.74	342.71	277.60
F	Fuerza máxima (N)	384.22	256.14	192.11	153.69	231.33	198.28	173.50	154.22	138.80
y	Deflexión máxima (m)	0.000038	0.000085	0.000150	0.000235	0.000104	0.000141	0.000185	0.000234	0.000288

TABLA 3-3: Ménsula de 2 y 3 dientes con carga distribuida uniformemente variable.

	Descripción	Me-1-10	Me-1-15	Me-1-20	Me-1-25	Me-2-30	Me-2-35	Me-2-40	Me-2-45	Me-2-50
L	Longitud de la ménsula (m)	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.4	0.45	0.50
e	Espesor de la ménsula (m)	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023
h	Ancho del diente (m)	0.0079	0.0079	0.0079	0.0079	0.0079	0.0079	0.0079	0.0079	0.0079
H	Ancho de la viga	0.0320	0.0320	0.0320	0.0320	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
D	Distancia entre apoyos (m)	0.0320	0.0320	0.0320	0.0320	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
j	distancia del apoyo del diente (m)	0.0062	0.0062	0.0062	0.0062	0.0062	0.0062	0.0062	0.0062	0.0062
q	carga concentrada (N/m)	11533.79	5126.13	2883.45	1845.41	2314.77	1700.65	1302.06	1028.79	833.32
F	Fuerza máxima (N)	1153.38	768.92	576.69	461.35	694.43	595.23	520.82	462.95	416.66
y	Deflexión máxima (m)	0.000173	0.000390	0.000693	0.001082	0.000478	0.000650	0.000849	0.001075	0.001327



CAPÍTULO 4: DISEÑO DE LAS MÉNSULAS

INTRODUCCIÓN.

Tomando en cuenta las especificaciones indicadas en el capítulo 1, además de los datos obtenidos de la ménsula para tiendas departamentales de la empresa Storemex y de la ménsula para tiendas de autoservicio de la competencia en el capítulo 3. En este capítulo se diseñan las ménsulas finales para tiendas de autoservicio y las ménsulas finales para tiendas departamentales. Para lo cual se presentan propuestas de ménsulas para llegar a la que cubra con los objetivos planteados.

4.1 Objetivos y criterios para el diseño de las ménsulas.

Los objetivos del diseño de las ménsulas para tiendas de autoservicio y departamentales son:

- Proponer un diseño nuevo.
- Reducir costos (material).
- Simplificar la manufactura.
- Mejorar el comportamiento estructural de la ménsula.
- Garantizar la facilidad del ensamble o movilidad de la ménsula con la cremallera.

Analizando los datos obtenidos en los capítulos anteriores y enfocándolos a lograr los objetivos mencionados, ahora se pueden establecer los criterios de ingeniería que hay que tomar en cuenta para el diseño de las ménsulas.

En los puntos de apoyo de la ménsula (A y B) se producen reacciones cuando se aplica la carga (F) en el canto superior de la ménsula. Estas reacciones equilibran la ménsula, cuando se aplica la carga (F). Los puntos de apoyo como se mencionó en el capítulo 3, se encuentran en el diente superior (B) y en la parte inferior izquierda de la ménsula (A), por lo que el diente inferior y el central no trabajan en reacción con la carga aplicada (F), sólo sirven de tope para impedir que la ménsula se gire hacia arriba y se caiga, en el caso de que alguna persona pudiera mover el entrepaño con las ménsulas de esa manera.

De lo anterior se define el siguiente criterio para el diseño de las ménsulas:

- Se puede eliminar el diente central sin perjudicar la resistencia de la ménsula.

En las tablas 3-1a 3-4, se pueden observar gracias a las hojas de cálculo, que varía la carga (F) que resisten las ménsulas, así como su deflexión (y), si se cambian las dimensiones de la geometría de la ménsula como son: el ancho del diente (h), el espesor del material (e), la distancia entre los puntos de apoyo (D), ancho de la viga (H), la distancia de apoyo del diente (j) y la longitud de la ménsula (L), (Fig. 3-13). Como se indica en las fórmulas obtenidas en las secciones 3.3.1, 3.3.2 y 3.3.3, la carga que resiste la ménsula es directamente proporcional a las dimensiones (h), (e), (D) e inversamente proporcional a las dimensiones (L) y (j), de la ménsula. Y la deflexión de la viga es directamente proporcional a la longitud de la ménsula (L) y la carga aplicada (F) e inversamente proporcional al espesor de la ménsula (e) y el ancho de la ménsula (H).

Por las especificaciones del cliente las longitudes de las ménsulas para tiendas de autoservicio están estandarizadas en: 30, 35, 40, 45 y 50cm. Las otras dimensiones de la geometría de esta ménsula pueden variar siempre y cuando no afecten la estética y la calidad que el cliente solicita para éstos accesorios, como lo sería el caso que la ménsula robará espacio para la adecuada exhibición de las mercancías.



El costo y resistencia de la ménsula varían al cambiar el espesor de la lámina (e) y la distancia entre los apoyos de la ménsula (D) (Fig. 3-2). Es obvio que si aumentan estos valores aumenta el costo del material, aunque por lo visto en las expresiones matemáticas obtenidas para las ménsulas, el aumento de estas dimensiones incrementa la resistencia de la ménsula, como puede observarse en la ecuación 3-19.

Sin embargo, no es conveniente aumentar las dimensiones de (e) y (D) porque se afectaría la estética, y se aumentaría el costo de la ménsula. Por lo anterior se establece el siguiente criterio para el diseño:

- Se podría aumentar la dimensión de (h) altura del diente, para incrementar la resistencia de la ménsula ya que va oculto y no incrementaría el costo del material.

En la fabricación de las ménsulas como se indicó se utiliza corte por laser, por lo que puede realizarse cualquier geometría. Sin embargo el taller de la empresa Storemex, propone el siguiente criterio:

- Eliminar geometrías innecesarias ó complicadas que puedan aumentar el tiempo máquina.

Uno de los objetivos principales de este trabajo es el reducir el costo de la ménsula que se diseñará para las tiendas de autoservicio con respecto a las de la competencia, sin embargo por diseño que el cliente estipula no se puede cambiar significativamente la geometría ó el área del cuerpo de las ménsulas para tiendas de autoservicio ni de las ménsulas para tiendas departamentales, que pudiera servir para ahorrar material. Solo se podría modificar la geometría de los dientes, aunque en esa parte no daría un ahorro notable en el costo del material.

La única manera de reducir el costo del material que se tiene es disminuyendo el espesor del material. Haciendo este cambio es obvio por las ecuaciones matemáticas obtenidas en el capítulo 3, se disminuiría la resistencia de la ménsula. Al no poder cambiar significativamente la geometría del cuerpo de las ménsulas por el diseño que el cliente estipula, se propone realizar el siguiente criterio:

- Disminuir el espesor de las ménsulas al mismo tiempo de mejorar las propiedades mecánicas de sus dientes, para compensar la pérdida de la resistencia por este cambio.

4.2 Generación de propuestas de ménsulas para tiendas de autoservicio.

Tomando en cuenta los criterios del punto 4.1, se realizaron los bosquejos de algunas propuestas para el diseño de la ménsula para tiendas de autoservicio.

Se comenzará proponiendo las geometrías de las ménsulas para tiendas de autoservicio, ya que como se comentó en el capítulo 1, la empresa no cuenta con diseño ni fábrica ésta ménsula que es la de mayor expansión en el mercado. Las ménsulas para tiendas de autoservicio y las ménsulas para tiendas departamentales tienen similitudes en su funcionamiento pero también algunas diferencias en cuanto a la forma del cuerpo y las cargas que deben resistir, los cuales fueron definidos por el cliente.

En la figura 4-1 se muestran las geometrías de las propuestas de las ménsulas para tiendas de autoservicio. Todas las propuestas serán en lámina cal. # 13 para ahorrar en el costo del material ya que la ménsula de la competencia es fabricada en lámina cal. #11.

La propuesta 1 tiene la geometría estándar o conocida de los dientes que utiliza la competencia solo se aumenta el ancho de los dientes, para incrementar las propiedades mecánicas de la ménsula.

En la propuesta 2 se presenta una nueva geometría del diente superior más ancho lo que podría incrementar la resistencia de la ménsula.



La propuesta 3 tiene también una geometría nueva del diente superior que toma la idea de la propuesta 2 y al mismo tiempo la forma de sujeción de los dientes estándar, con la finalidad de aumentar el área de apoyo en la parte superior de la ménsula, y de esta manera incrementar sus propiedades mecánicas.

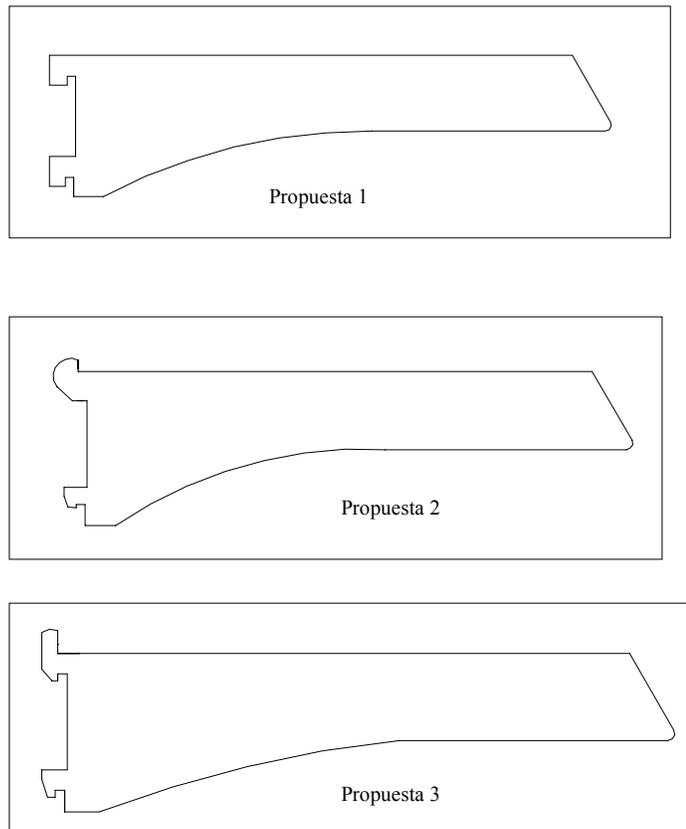


Fig. 4-1: Geometrías de las propuestas de la ménsula para tiendas de autoservicio.

4.3 Desarrollo de las propuestas para las ménsulas de las tiendas de autoservicio.

Se diseñaron mas a detalle las propuestas 1, 2 y 3, para su correcta evaluación y de esta manera garantizar el ensamble de los dientes con las ranuras de las cremalleras y para conocer el área del material que ocuparan para su fabricación, lo que servirá para calcular su costo, así como también obtener sus dimensiones críticas para saber el comportamiento estructural de las ménsulas.

Se dibujaron las propuestas por medio del software de dibujo Autocad, tomando como base a la geometría de la ménsula para tiendas departamentales de la empresa Storemex y la ménsula para tiendas de autoservicio de la competencia, así como las dimensiones de las ranuras de la cremallera y el espacio entre ellas (Fig. 1-14). Además se consideraron los criterios y especificaciones del taller, el cliente e ingeniería. A continuación se mencionan los ajustes hechos al diseño de las ménsulas propuestas para tiendas de autoservicio.



Se aumentó (h) altura del diente de la ménsula (Ingeniería).

Se eliminó el diente de en medio (Ingeniería).

Se aumentó la entrada de ensamble de los dientes con las ranuras para recibir tubo ranurado cal.#11 (Cliente).

Se realizó el chaflan a la punta de la ménsula para el portaprecios. (Cliente).

Se eliminaron algunos detalles de los dientes que aumentarían el tiempo máquina (Taller).

Se eliminaron los barrenos en la ménsula ya que estará soldada a la charola del entrepaño y de ahí se sujetará en el proceso de acabado, además este tipo de ménsulas no utiliza clips (Taller).

4.3.1 Propuesta 1

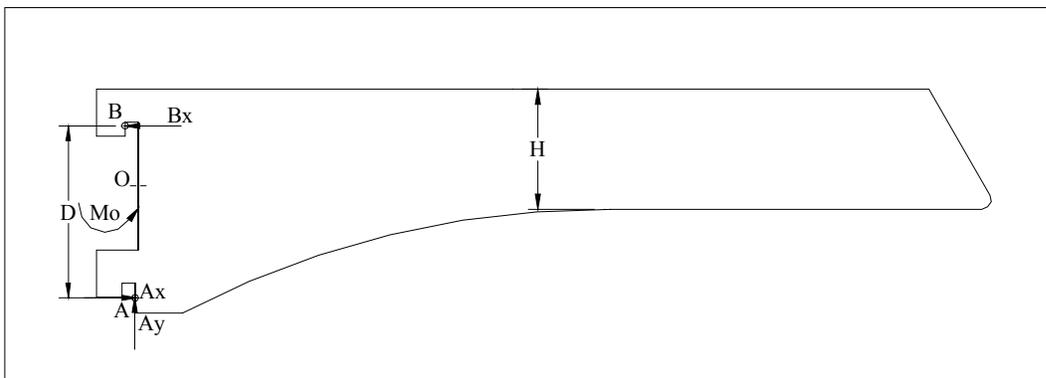


Fig. 4-2: Geometría de la propuesta 1 de la ménsula para tiendas de autoservicio.

En la geometría de la propuesta 1, se tiene la limitante que la forma del diente hace que no se pueda incrementar hasta un cierto punto el valor (h) (Fig. 4-2), ya que $(h+2\lambda)$ es la dimensión del diente que entra con holgura en la ranura, por lo que debe ser menor a 1.6 [cm] que es la dimensión de la ranura, de lo contrario no entraría el diente en las ranuras ó no se garantizaría la sujeción del diente en la cremallera.

Para ensamblar el diente con la cremallera, como se ve en la figura 4-3, se debe dejar un espacio 2λ en el diente para que toque a la cremallera (Fig. 4-3). Si es pequeña la dimensión 2λ podría provocar que se salga la ménsula de la cremallera con cualquier golpe ó movimiento.

Para que entren los dos dientes de la ménsula en las ranuras de la cremallera, la distancia W1 (Fig. 4-3) debe ser menor que la distancia del inicio de la primer ranura al final de la tercer ranura. La dimensión W2 es la que sirve para ensamblar los dientes de la ménsula en la cremallera, por lo que debe ser igual al espesor del material de la cremallera más una holgura para que pueda entrar y ensamblar adecuadamente el diente en el macizo de la cremallera y trabaje la ménsula como se ha definido.

La dimensión W3 sirve de punto de apoyo inferior a la ménsula y esta en función de la parte sólida de la cremallera que no es ranura, es decir al espacio entre ranuras, esta distancia es igual a la dimensión entre ranuras menos la distancia 2λ que es la que sirve para que el diente inferior funcione a modo de seguro y de esta manera no se salga la ménsula de las ranuras, si accidentalmente la movieran en sentido contrario de la dirección especificada para el trabajo.



Para obtener el máximo (h) ancho del diente, que pudiera tener la ménsula, se despejo (h) de la ecuación 3.19 y se propuso una (F) carga, que es la que solicita el cliente 20[kg] para tiendas de autoservicio.

Esto último se corroboró con un programa de dibujo. Se ajustaron todos los valores con cada cambio en las dimensiones del dibujo (Fig. 4-3) para su adecuada entrada en las ranuras (Fig. 4-4) y en la Tabla 4-1 también se actualizaron las dimensiones. Realizando lo anterior se obtuvo para la ménsula de 50[cm] de longitud, el valor máximo de carga (F) = 111.96[N] = 11.41[kg], por lo que resiste 1.37% mas carga que la de la competencia. Esta propuesta de ménsula para tiendas de autoservicio no cubre las especificaciones, ya que el cliente solicita que la ménsula resista 20[kg], para la ménsula de 50[cm] de longitud.

En cuanto al costo del material utilizado es 33% menor al de la competencia ya que esa es la diferencia en el costo del calibre #11 al #13.

La deflexión que se presenta con esta carga máxima (F), en la ménsula propuesta 1 es de 0.82[mm], éste valor entra en el rango especificado en el capítulo 1.

Se observa en la Tabla 4-1 que al aumentar el ancho del diente (h) en la propuesta 1 de 0.008 [m] a 0.0114 [m], 39.25% en comparación con la ménsula de la competencia, la ménsula propuesta 1 incrementa la carga (F) que puede resistir, pero no se aprecia debido a que se disminuyó el espesor del material. En cuanto a la deflexión al aumentar (H) el ancho de la viga en la propuesta 1 en comparación a la ménsula de la competencia de 0.0331[m] a 0.0381[m] en 3.81%, disminuye la deflexión de la propuesta 1 en comparación de la ménsula de la competencia de 0.939 [mm] a 0.82[mm], es decir disminuye la deflexión 14.51%.

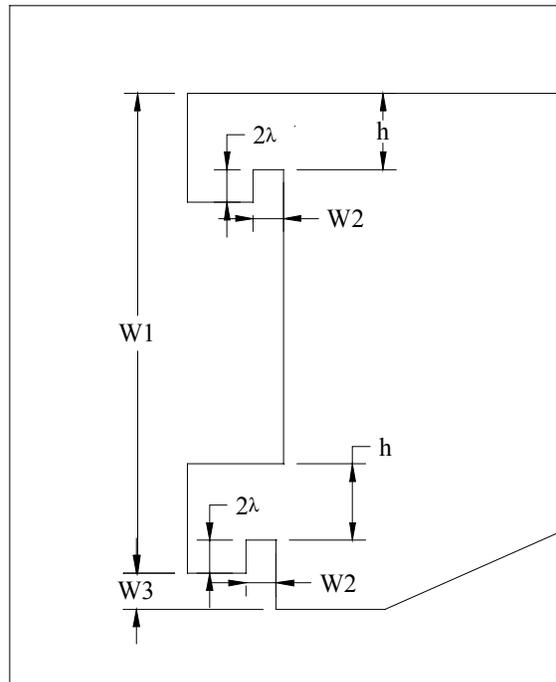


Figura 4-3: Dimensiones críticas de la ménsula para su libre acceso en las ranuras.

TABLA 4-1: Ménsula propuesta 1 con carga puntual en un extremo.

Descripción	Mm-30	Mm-35	Mm-40	Mm-45	Mm-50
L Longitud de la ménsula (m)	0.30	0.35	0.4	0.45	0.5
e Espesor de la ménsula (m)	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023
h Ancho del diente (m)	0.0114	0.0114	0.0114	0.0114	0.0114
H Ancho de la viga	0.0381	0.0381	0.0381	0.0381	0.0381
D Distancia entre los apoyos (m)	0.0535	0.0535	0.0535	0.0535	0.0535
j Distancia del diente al apoyo superior (m)	0.0075	0.0075	0.0075	0.0075	0.0075
F Fuerza máxima (N)	186.60	159.95	139.95	124.40	111.96
A Area de la pza (m ²)	0.01409	0.01600	0.01790	0.01981	0.02171
y Deflexión máxima (m)	0.000127	0.000241	0.000396	0.000591	0.000829

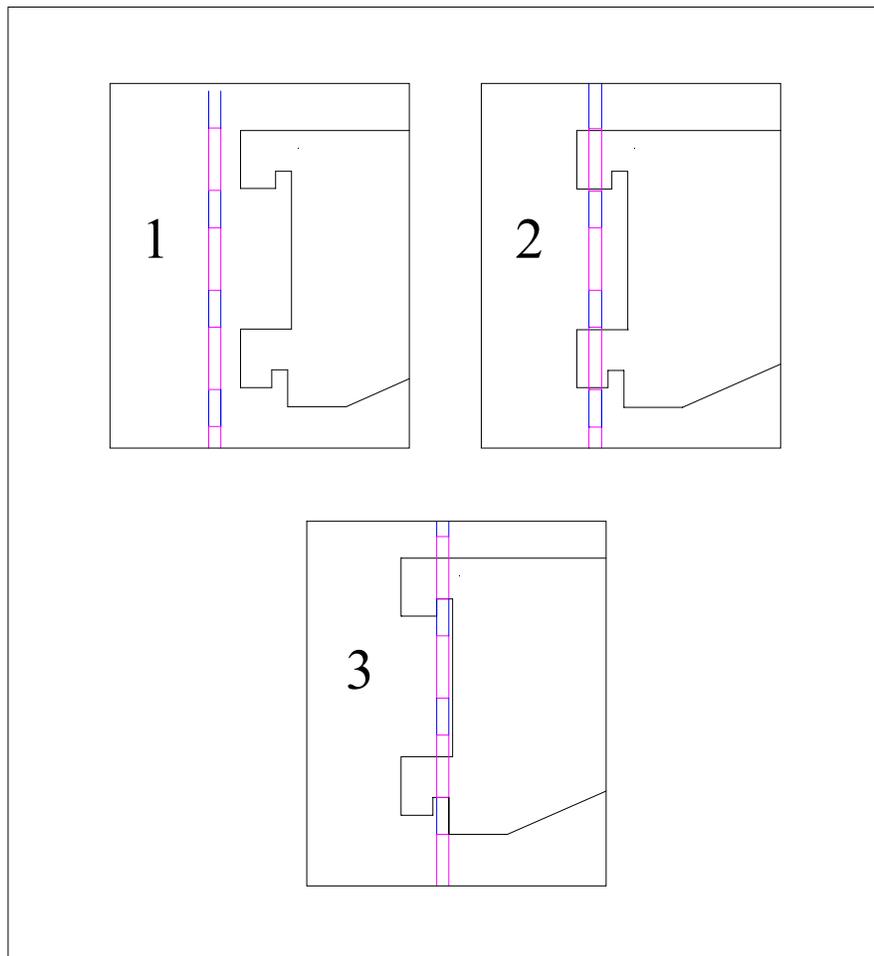


Fig. 4-4: Secuencia de introducción de la ménsula propuesta 1 en la cremallera. Las partes magenta representan las ranuras y las azules los macizos de la cremallera.



4.3.2 Propuesta 2.

Los dientes son la parte de la ménsula que se tiene más libertad para cambiar ya que van ocultos en la cremallera. Aunque tienen la restricción de ensamblar en el ranurado de dimensiones estandarizadas (Fig. 1-14), por otro lado tienen la ventaja de que pueden ser ladeadas ó giradas las ménsulas, hacia arriba ó abajo para introducir las en las ranuras.

Se dibujó a detalle la siguiente forma de diente superior (Fig. 4-5), para poder incrementar el ancho del diente (h) y al mismo tiempo que tenga la ménsula un fácil acceso y ensamble en las ranuras de la cremallera.

Con la ayuda del programa de diseño Autocad se diseñó la forma de la ménsula tomando en consideración para sus dimensiones y forma el espacio y dimensiones de las ranuras de la cremallera (Fig. 4-6 y 4-7)

La forma circular del diente superior se propone ya que es la trayectoria que se describe, al girar la ménsula cuando se introduce el diente superior de la ménsula.

La forma que se utiliza para el diente inferior es la tradicional, debido a que sólo funcionaría este diente como seguro para que la ménsula no se salga de la cremallera en el caso de que se gire hacia arriba.

Por lo que al introducir el diente superior de la ménsula, se hará girándola desde el diente superior como pivote, y al terminar de girar la ménsula cuando ya se introdujeron ambos dientes en las ranuras, la ménsula bajará y así se ensamblará el diente inferior a la cremallera (Fig. 4-7).

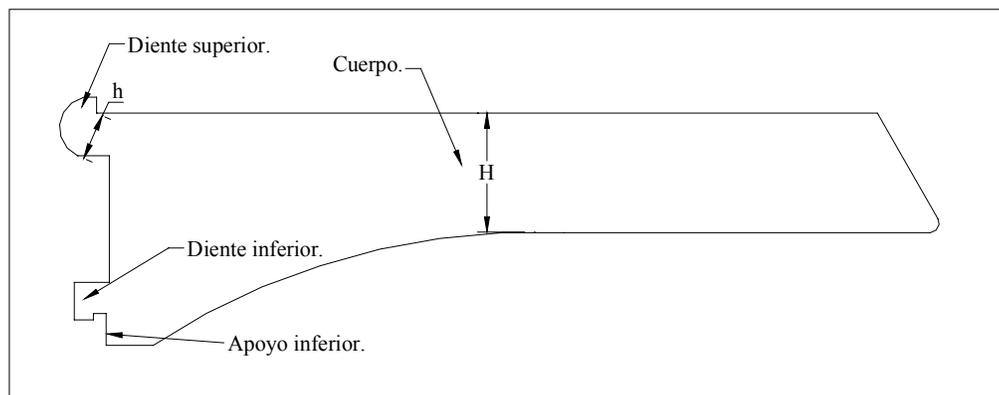


Fig. 4-5: Geometría de la propuesta 2 de la ménsula de para tiendas de autoservicio.

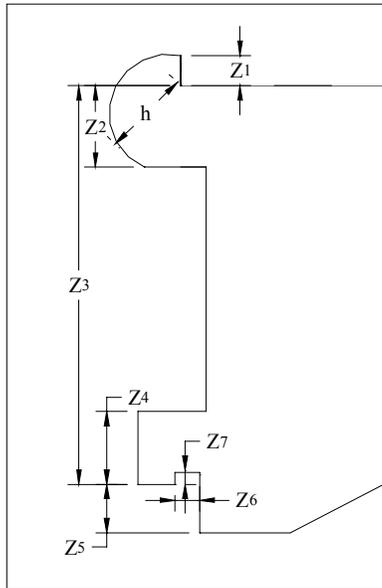


Figura 4-6: Dimensiones críticas de la ménsula para su correcto funcionamiento con la cremallera.

Para las dimensiones críticas de la ménsula que permiten su libre acceso en las ranuras de la cremallera y su adecuada sujeción con ésta (Fig. 4-6) se deben considerar lo siguiente:

Las dimensiones h , $Z2$ y $Z4$ deben ser menor a 1.6[cm] que es la altura de la ranura donde entrarán estas.

$Z1$ debe ser igual a una distancia la cual permita al diente sujetarse con la cremallera y al mismo tiempo ofrezca a la ménsula la libre entrada a la ranura.

$Z3$ debe ser menor a 6.7 cm que es la distancia de la primer ranura a la tercer ranura donde entrarían los dientes.

$Z6$ debe ser igual al espesor de la lámina de la cremallera donde entrará la ménsula más una holgura para facilitar su entrada y salida. Para el valor de la holgura por la experiencia en el uso de este accesorio se propone de 1mm

$Z7$ es la mínima distancia del diente inferior que permite que este se sujete con la cremallera e impida que se salga la ménsula en el caso que se gire ésta hacia arriba.

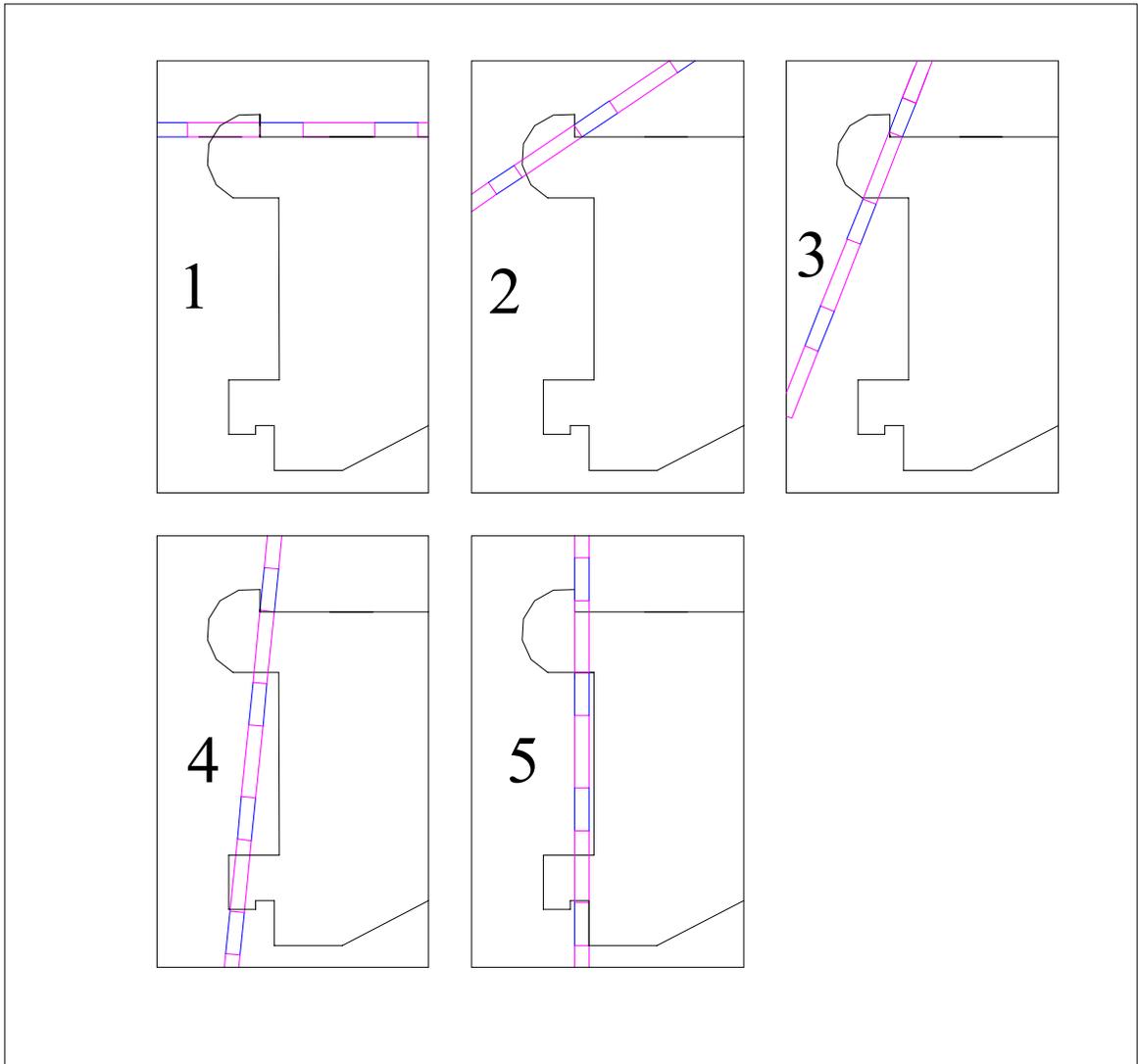


Fig. 4-7: Secuencia de introducción de la ménsula propuesta 2 en la cremallera. Las partes magenta representan las ranuras y las azules los macizos de la cremallera.

4.3.2.1 Análisis Teórico de la Propuesta 2.

En el siguiente análisis teórico, se busca encontrar las dimensiones y formas óptimas para la geometría de la propuesta 2, que brinden a ésta ménsula la máxima resistencia al menor costo del material. Se demostrará en esta parte que la nueva forma geométrica del diente superior, provee una mayor resistencia a la ménsula. Este diseño de ménsula trabaja igual que las ménsulas estudiadas con anterioridad, como puede observarse en la figura 4-8.

En la siguiente configuración de ménsula la carga (F) aplicada, es equilibrada por las fuerzas de reacción en los de apoyos A y B (Fig. 4-8). Por la forma del diente se supone que los esfuerzos máximos corren a 45° como se muestra en la (Fig. 4-9). Se considera que en el punto C, debido a la geometría del diente, se tiene un concentrador de esfuerzos que provocará el aumento en la magnitud de éstos.

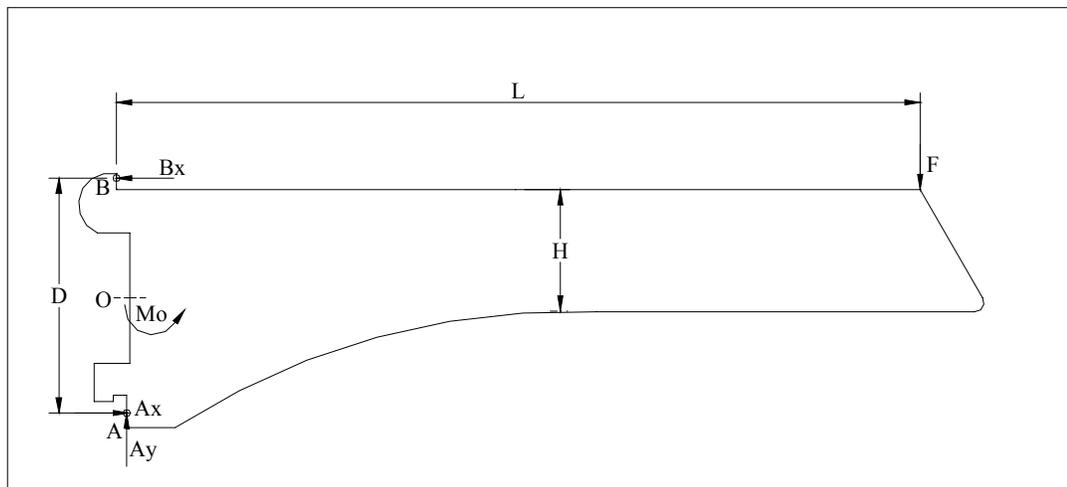


Fig. 4-8: Reacciones en la ménsula.

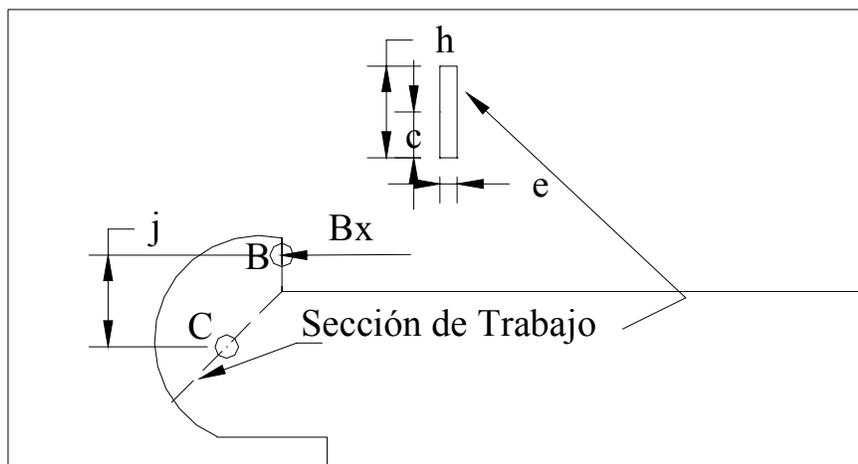


Fig. 4-9: Reacciones en el diente de la ménsula.



En la hoja de cálculo (Tabla 4-2), se calcula la carga máxima (F) que resiste la ménsula, la cual depende de los valores que se incluyen en la tabla. La longitud (L) es variable para todas las ménsulas y el espesor se determinó en cal. #13. Las otras dimensiones se fueron ajustando por medio del CAD ó proponiendo un valor de (F) máxima y despejando (h), para encontrar las dimensiones de las partes de la ménsula, con las que pueda ensamblar correctamente en las ranuras y arroje la máxima carga (F). También se agregó la ecuación para el cálculo de la deflexión.

Los valores máximos de (F) obtenidos para la propuesta 2 en la (Tabla 4-2), son 89.54% mayores que los de la competencia y 86% superiores a los de la propuesta 1. Con respecto al área de material utilizado no varía significativamente entre las propuestas 1 y 2.

En los resultados de la tabla 4-2, para la ménsula propuesta 2 puede observarse que la carga que resiste la ménsula de 50[cm] entra perfectamente dentro de la carga estipulada por el cliente que es de 200[N].

Disminuyendo el espesor de una lamina cal.#11 a una cal. #13, utilizando la misma área. El ahorro en el costo del material de la propuesta 2 con respecto a la ménsula de la competencia es del 33%, y con respecto a la propuesta 1 no varía.

Las deflexiones que se presentan en la propuesta 2, entran en el rango que el cliente solicita.

Tabla 4-2: Ménsula propuesta 2 con carga puntual en un extremo.

	Descripción	Mm-30	Mm-35	Mm-40	Mm-45	Mm-50
L	Longitud de la ménsula (m)	0.30	0.35	0.40	0.45	0.5
e	Espesor de la ménsula (m)	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023
h	Ancho del diente (m)	0.0143	0.0143	0.0143	0.0143	0.0143
H	Ancho de la viga	0.0381	0.0381	0.0381	0.0381	0.0381
D	Distancia entre apoyos, (m)	0.0732	0.0732	0.0732	0.0732	0.0732
j	Distancia del diente superior a la reacción (m)	0.0085	0.0085	0.0085	0.0085	0.0085
F	Fuerza máxima (N)	347.0860	297.5023	260.3145	231.3907	208.2516
A	Área de la pza (m ²)	0.013974	0.015879	0.017784	0.019689	0.021594
y	Deflexión máxima (m)	0.000239	0.000454	0.000745	0.001115	0.001562



4.3.3 Propuesta 3.

Con esta propuesta se comprobará como afecta en la resistencia de la ménsula si se incrementa el apoyo en el diente superior. Al diente superior se le diseñó una saliente en su parte inferior para que el diente ensamble en la parte inferior y superior de la ranura de la cremallera y de esta manera aumentar el área de apoyo.

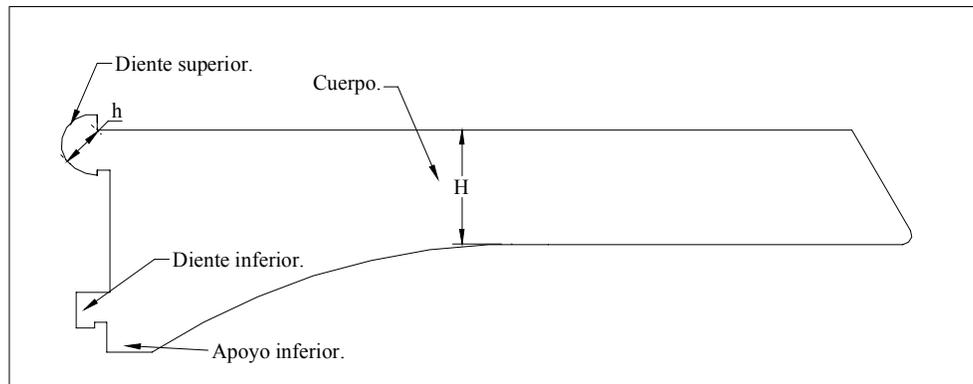


Figura 4-10: Propuesta 3.

Al igual que en las propuestas anteriores por medio por medio del cad se diseñó la propuesta 3 (Figura 4-10), considerando su ensamble con la cremallera.

De la geometría de la ménsula propuesta 3 se establecen las siguientes restricciones y especificaciones geométricas de la ménsula para su adecuado ensamble con la cremallera (Figura 4-11):

Las dimensiones $Z2$, $Z5$ y h deben ser menores a $1.6[\text{cm}]$ que es la dimensión de la ranura.

$Z1$ debe ser igual a la distancia requerida para la sujeción en la cremallera más la holgura para que entre libremente la ménsula en la cremallera.

$Z3$ es igual a la distancia necesaria para sujetar la ménsula en la cremallera.

$Z4$ debe ser menor a la distancia del inicio de la primer ranura al final de la tercer ranura.

$Z6$ es igual al la distancia del macizo de la cremallera menos la distancia de sujeción del diente en la cremallera.

$Z7$ es igual al espesor del material de la cremallera más la holgura para que entre libremente la ménsula en la cremallera.

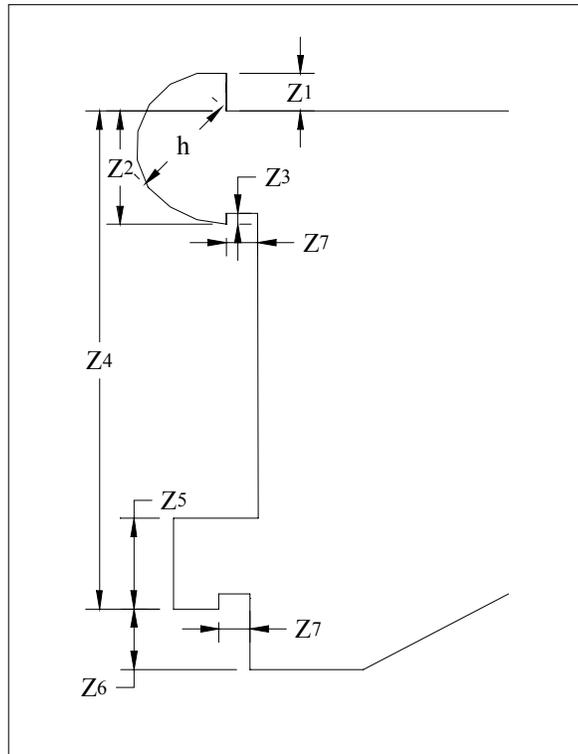


Figura 4-11: Dimensiones críticas de la ménsula para su libre acceso en las ranuras.

Realizando ajustes en la geometría de la propuesta 3, se emula en la figura 4-12 la entrada de la ménsula en la cremallera.

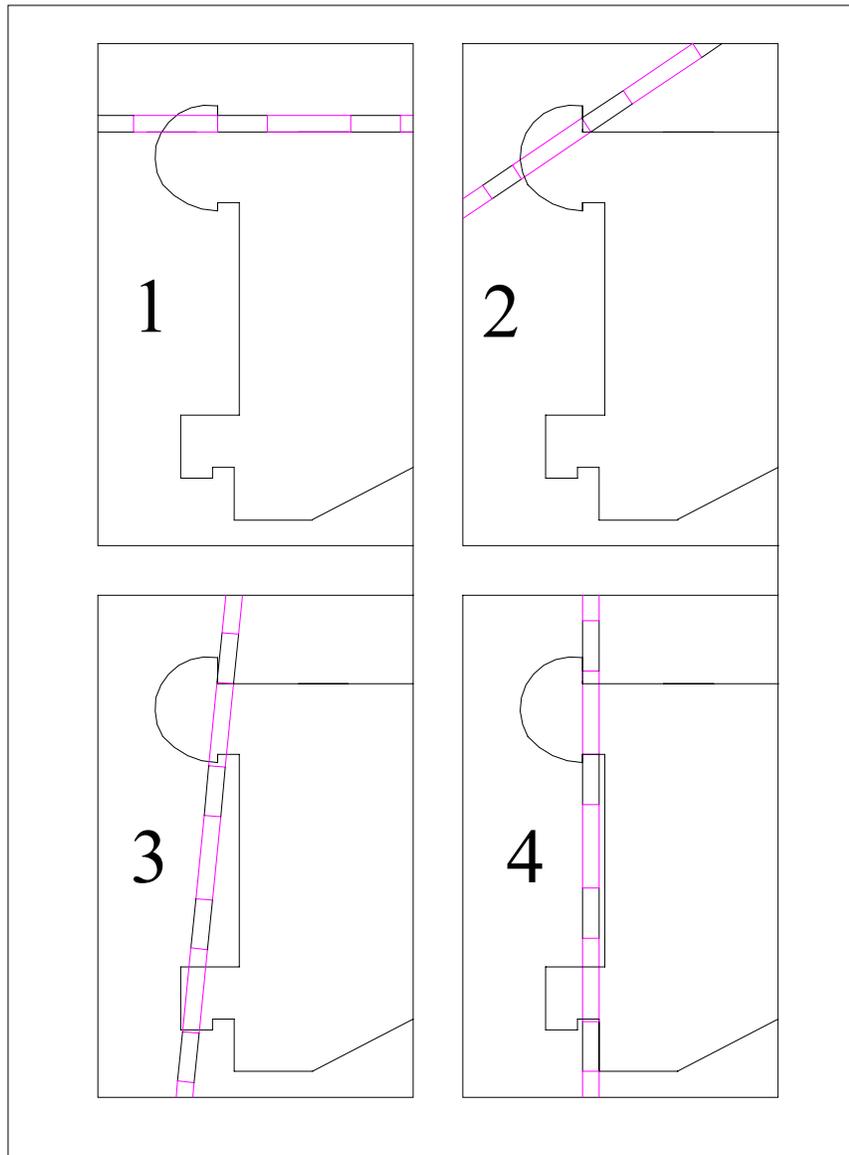


Fig. 4-12: Secuencia de introducción de la ménsula propuesta 3 en la cremallera. Las partes magenta representan las ranuras y las azules los macizos de la cremallera.

Por lo anterior se conoce el análisis geométrico de esta propuesta, pero no se conoce el comportamiento mecánico de esta geometría, por lo que a continuación se presenta el análisis teórico de esta propuesta.



4.3.3.1 Análisis Teórico de la Propuesta 3.

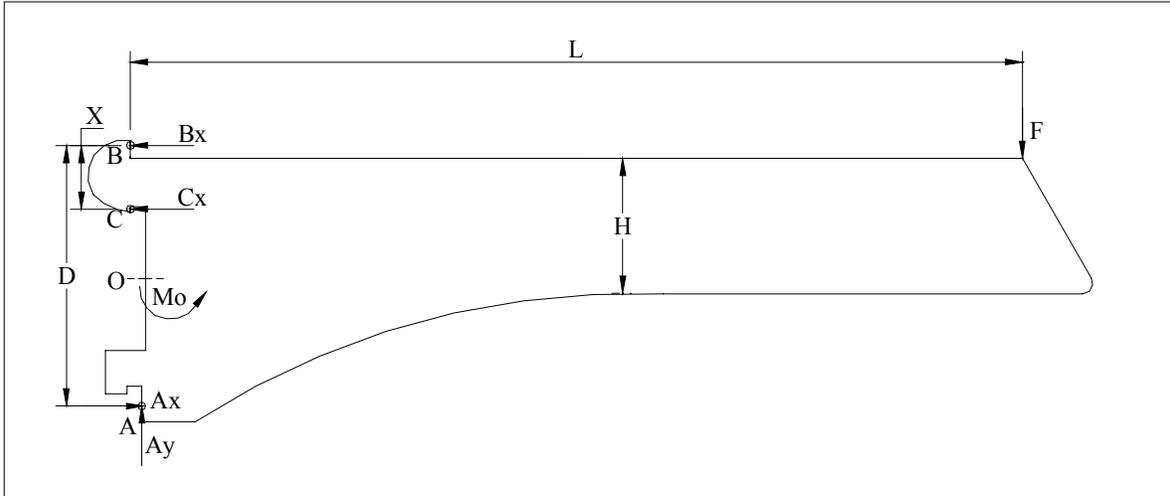


Fig. 4-13: Propuesta 3.

A continuación se realizará el análisis para conocer la carga máxima recomendable (F) que debe soportar la ménsula con la distribución de carga indicada. Para realizar lo anterior se propone relacionar la fuerza (F) aplicada al cuerpo de la ménsula y las reacciones en el diente superior (punto B) y el apoyo inferior (punto A) de la ménsula, ya que éstas reacciones como se observa en la figura 4-13, equilibran la ménsula. También se encontrará la deflexión que provoca la carga aplicada (F) en la ménsula, ya que es importante para la estética y la adecuada exhibición de las mercancías, no tener una deflexión mayor a 2 [mm], como lo solicita el cliente.

Para que la ménsula se mantenga en equilibrio se tiene:

$$\Sigma F_x = 0$$

$$-B_x - C_x + A_x = 0$$

$$B_x + C_x = A_x \dots\dots\dots(4.1)$$

De la figura 4-13 se observa que el momento en la viga que represente la viga es:

$$M_o = FL \dots\dots\dots(4.2)$$

Realizando suma de momentos con respecto al punto (O):

$$\Sigma M_o = 0$$



$$-A_x \frac{D}{2} - C_x \left(\frac{D}{2} - x \right) - B_x \frac{D}{2} + M_o = 0$$

$$-B_x D - C_x D + C_x X + M_o = 0 \dots\dots\dots(4.3)$$

- M_o = Momento en el punto (O), [Nm]
- F = Carga aplicada en la ménsula, [N]
- A_x = Carga de reacción en la ménsula, [N]
- B_x = Carga de reacción en la ménsula, [N]
- C_x = Carga de reacción en la ménsula, [N]
- D = Distancia entre apoyos de la ménsula, [m]
- L = Longitud de la ménsula, [m]

Suponiendo que $B_x = C_x$ (4.4)

Sustituyendo 4.1 y 4.4 en 4.3:

$$B_x(2D - X) = FL \dots\dots\dots(4.5)$$

Despejando B_x de 4.5

$$B_x = \frac{FL}{(2D - X)} \dots\dots\dots(4.6)$$

Aislando la sección del lado izquierdo de la viga, donde se encuentra el diente superior de la ménsula y realizando la suma de momentos en el punto D, tenemos:

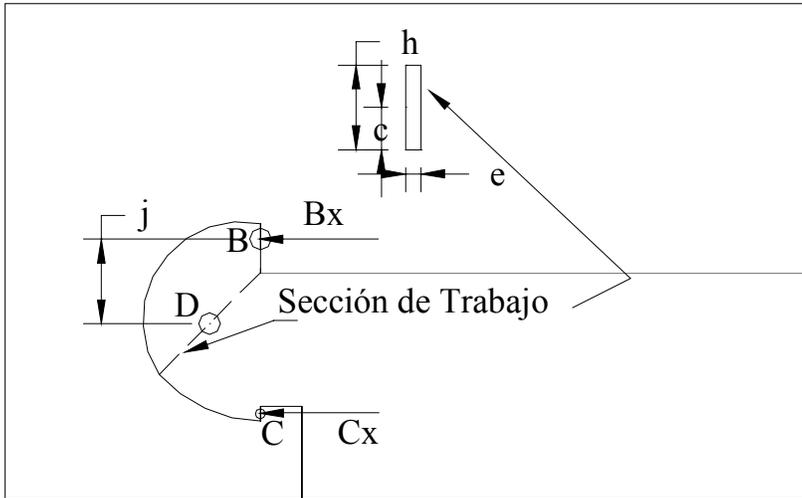


Fig. 4-14: Reacciones en el diente de la ménsula.



$$M_D = B_x j \dots\dots\dots(4.7)$$

- M_D = Momento máximo en D , [Nm]
- j = distancia del apoyo del diente, [m]
- B_x = Carga de reacción en la ménsula, [N]
- e = espesor del material, [m]
- h = ancho del diente, [m]

Para conocer la fuerza máxima que se le puede aplicar a la viga (ménsula), para que el diente no falle, se propone relacionar la viga con la sección de ensamble del diente superior con la cremallera. En esta parte se presenta la reacción en el punto B del diente superior de la ménsula (Fig. 4-13). La reacción B_x en el diente superior, como se mencionó provoca una deformación plástica en la sección de trabajo del diente de la ménsula (Fig. 4-14). Por lo que a continuación se presenta el siguiente desarrollo:

$$I_d = \frac{1}{12} e h^3 = 0.083 e h^3 \dots\dots\dots(4.8)$$

Donde:

- I_d = Momento de inercia de la sección de trabajo del diente, [m^4]
- e = Espesor de la lámina, [m]
- h = Altura del diente, [m]

Obteniendo el Módulo de rigidez

$$S = \frac{I_d}{c} \dots\dots\dots(4.9)$$

S = Módulo rigidez, [m^3]

c = distancia del eje centroidal de la viga a las fibras externas, [m]

Sustituyendo (4.8) en (4.9)

$$S = \frac{0.083 e h^3}{c} \dots\dots\dots(4.10)$$

De la figura 4-14.

$$c = \frac{h}{2} \dots\dots\dots(4.11)$$

Sustituyendo (4.11) en (4.10)



$$S = 0.166eh^2 \dots\dots\dots(4.12)$$

Esfuerzo por flexión

$$Sd = \frac{M_D c}{I_d} \dots\dots\dots(4.13)$$

Sd = Esfuerzo de diseño, [Pa]

Sustituyendo (4.9) en (4.13)

$$Sd = \frac{M_D}{S} \dots\dots\dots(4.14)$$

Sustituyendo (4.7) en (4.14)

$$Sd = \frac{B_x j}{S} \dots\dots\dots(4.15)$$

Sustituyendo (4.6) en (4.15)

$$Sd = \frac{FLj}{(2D-X)S} \dots\dots\dots(4.16)$$

Sustituyendo (4.12) en (4.16)

$$Sd = \frac{FLj}{0.166eh^2(2D-X)} \dots\dots\dots(4.17)$$

De la ecuación del esfuerzo permisible ò de diseño.

$$Sd = \frac{Sy}{N} \dots\dots\dots(4.18)$$

Donde: $N = 2$, factor de seguridad



$$Sd = 1.586 \times 10^8 \text{ (Pa)} \dots\dots\dots(4.19)$$

$$\therefore (4.19) = (4.17)$$

$$1.586 \times 10^8 = \frac{6.024FLj}{eh^2(2D-X)} \dots\dots\dots(4.20)$$

Despejando F en función de las siguientes variables tenemos:

$$F = \frac{2.622 \times 10^7 eh^2(2D-X)}{Lj} \dots\dots\dots(4.21)$$

Calculando la deflexión en la ménsula, cuando esta sometida a carga puntual en un extremo, se presenta el siguiente desarrollo:

En el capítulo 2 se analizaron todas las configuraciones de carga , para este caso se obtuvo la ecuación (2.35) que se muestra a continuación:

$$y_{\max} = -\frac{WL^3}{3EI_v} = -\frac{FL^3}{3EI_v} = -\frac{FL^3}{3 \times 20.601 \times 10^{10} \times 0.083eH^3} = -\frac{FL^3}{5.12 \times 10^{10} eH^3} \dots\dots\dots(4.22)$$

, donde:

y_{\max} = deflexión máxima de la mensula [m]

$W = F$ = carga aplicada a la ménsula [N]

E = modulo de elasticidad 20.601×10^{10} [Pa]

I_v = Momento de inercia de la viga [m⁴] = $0.083eH^3$.

H = Ancho de la viga [m]

e = espesor del material [m]

L = longitud de la viga (ménsula) [m].



Los valores máximos de (F) obtenidos para la propuesta 2 en la (Tabla 4-3), son 142.47% mayores que los de la competencia, 138.63% superiores a los de la propuesta 1 y 27.92% superiores a los de la propuesta 2. Con respecto al área de material utilizado no varía significativamente entre las propuestas 1, 2 y 3.

En los resultados de la tabla 4-3, para la ménsula propuesta 3 puede observarse que la carga que resiste la ménsula de 50[cm] entra perfectamente dentro de la carga estipulada por el cliente que es de 200[N].

Disminuyendo el espesor de una lamina cal.#11 a una cal. #13, utilizando la misma área. El ahorro en el costo del material de la propuesta 3 con respecto a la ménsula de la competencia es del 33%, y con respecto a la propuesta 1 y 2 no varía.

Las deflexiones que se presentan en la propuesta 3, entran en el rango que el cliente solicita.

Tabla 4-3: Ménsula propuesta 3 con carga puntual en un extremo.

	Descripción	Mm-30	Mm-35	Mm-40	Mm-45	Mm-50
L	Longitud de la ménsula (m)	0.30	0.35	0.40	0.45	0.5
e	Espesor de la ménsula (m)	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023
h	Ancho del diente (m)	0.0143	0.0143	0.0143	0.0143	0.0143
H	Ancho de la viga	0.0381	0.0381	0.0381	0.0381	0.0381
D	Distancia entre apoyos, (m)	0.0732	0.0732	0.0732	0.0732	0.0732
j	Distancia del diente superior a la reacción (m)	0.0085	0.0085	0.0085	0.0085	0.0085
X	Distancia del apoyo C, (m)	0.0176	0.0176	0.0176	0.0176	0.0176
F	Fuerza máxima (N)	510.6968	423.4544	358.0226	307.1312	266.4181
A	Área de la pza (m ²)	0.013974	0.015879	0.017784	0.019689	0.021594
y	Deflexión máxima (m)	0.000351	0.000646	0.001025	0.001479	0.001999



4.4 Evaluación de las propuestas para las ménsulas de las tiendas de autoservicio.

Considerando los objetivos y criterios especificados en el punto 4.2 para las ménsulas de autoservicio se evalúan en la tabla 4-4 las propuestas generadas, tomando como 100 puntos el máximo grado de satisfacción. Los criterios a evaluar son:

- Manufactura: facilidad de fabricar la pieza.
- Costo del material: costo del material utilizado por pieza.
- Ensamble: facilidad para ensamblar los dientes de la ménsula con la cremallera.
- Diseño innovador: diseño de la geometría nuevo sin afectar la vista que el cliente solicita de la ménsula.
- Resistencia mecánica: la ménsula resista la carga de 20kg sin deflexionarse más de 2mm.

En la tabla 4-4 se observa que la propuesta 3 es la más baja en el criterio de manufactura, ya que el diente superior tiene un rebajo que la hace más compleja que las otras propuestas. También es la más baja en el criterio de ensamble, porque el diente superior requiere ensamblar en 2 puntos lo que dificultaría su ensamble.

La propuesta 1 no cumple con la resistencia mecánica que el cliente solicita por no satisfacer este punto se descarta, además la geometría de sus dientes es similar a los de la competencia.

En cuanto al costo del material de la ménsula en las tres propuestas por igual se obtiene un ahorro del 33% en comparación a la de la competencia.

La propuesta 2 es la que obtiene el mayor puntaje. Esta propuesta satisface todos los criterios definidos, por lo que es elegida esta ménsula como la ménsula final para las tiendas de autoservicio.

Tabla 4-4. Evaluación de las propuestas.

Criterios.	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3
Manufactura	100	100	90
Costo del material	100	100	100
Ensamble	100	100	80
Diseño innovador	50	100	100
Resistencia mecánica	50	100	100
Promedio Total	80	100	94

El ahorro que se obtiene al utilizar la ménsula final, en comparación a la de la competencia es del 33%. Aunque se disminuyó el espesor para la ménsula de la propuesta final, ésta resiste 89.54% más carga que las ménsulas de la competencia.



4.5 Diseño de la ménsula final para tiendas departamentales.

En el capítulo 3 se realizó la memoria de cálculo de las ménsulas para tiendas departamentales de la empresa Storemex. Sin embargo a continuación en base a los resultados obtenidos por el análisis teórico de ésta ménsula y de la ménsula final para tiendas de autoservicio, se presenta una ménsula con la cual se obtendrá un ahorro en el costo del material en comparación a la que se fabrica actualmente.

Por la información obtenida en el capítulo 3, se observa que la ménsula para tiendas departamentales de la empresa Storemex cumple con la función especificada por el cliente en cuanto a la carga máxima que debe resistir. Pero también por esos datos se propone optimizar el material y al mismo tiempo mejorar sus propiedades mecánicas, realizando algunos cambios en la geometría de la ménsula.

La geometría final para esta ménsula se diseña tomando la forma del diente de la ménsula final para tiendas de autoservicio como se observa en la figura 4-15 y 4-16, en las cuales se muestran 2 anchos de ménsulas. Estos anchos de ménsulas fueron estandarizados por el cliente. Para el caso de la ménsula de la figura 4-15, las longitudes de la ménsula son 10, 15, 20, 25cm, el diente superior entra en una ranura de la cremallera y el segundo diente en la siguiente ranura inferior de la cremallera. Para las ménsulas de 30, 35, 40, 45 y 50cm (Fig. 4-16) de longitud, estas ménsulas utilizan el espacio de tres ranuras de la cremallera, el diente superior de la ménsula entra en una ranura de la cremallera y el segundo diente entra en la tercer ranura de la cremallera.

Se respeta la forma de la punta y el cuerpo de la ménsula por razones de diseño que el cliente solicita. Para obtener un ahorro considerable en el costo del material de la ménsula a continuación se presenta una ménsula para tiendas departamentales, en la cuál se disminuye el espesor del material para reducir el costo del material. Se le incluye la geometría de los dientes diseñados para la ménsula final de las tiendas de autoservicio para compensar la pérdida de resistencia por reducir el espesor de cal. #13 a cal.#16, todo esto sin perder de vista la funcionalidad de las ménsulas para tiendas departamentales.

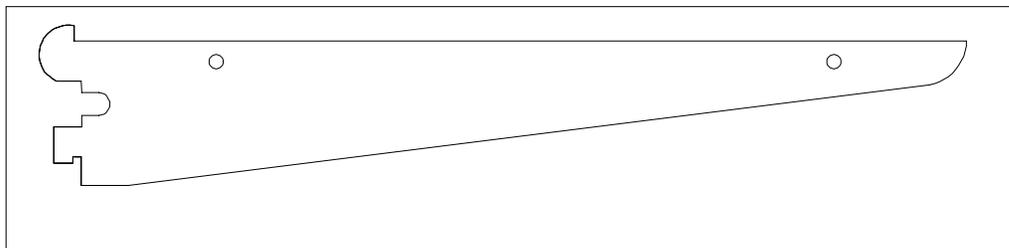


Fig. 4-15: Geometría de la ménsula final para tiendas departamentales, de longitudes 10, 15, 20, 25 cm.

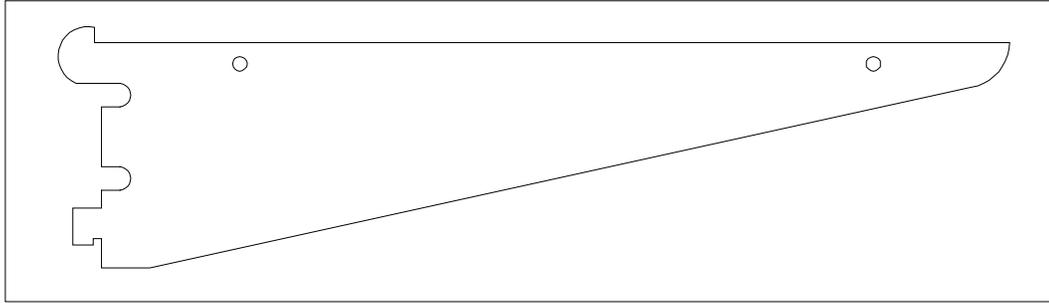


Fig. 4-16: Geometría de la ménsula final para tiendas departamentales, de longitudes 30, 35, 40, 45 y 50 cm.

En la tabla 4-5, se muestran los resultados de la memoria de cálculo de las geometrías finales de las ménsulas para tiendas departamentales. Se puede observar que aunque se redujo el espesor en la ménsula final, la carga que resiste la ménsula propuesta es superior a la ménsula actual para tiendas departamentales (Tabla 4-6). Tomemos el caso de la ménsula de 50cm de longitud, la ménsula final resiste una carga de 137.48[N] y la ménsula actual de línea resiste solo 69.45 [N], por lo que la ménsula final resiste 97.91% mas carga. En cuanto a la deflexión no se presenta ningún problema en ambos tipos de ménsulas y entran en el rango solicitado por el cliente. El ahorro al utilizar un calibre menor en la ménsula final es del 33%.

**Tabla 4-5: Ménsula final para tiendas departamentales con carga puntual en un extremo.**

	Descripción	Md-10	Md-15	Md-20	Md-25	Md-30	Md-35	Md-40	Md-45	Md-50
L	Longitud de la ménsula (m)	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.5
e	Espesor de la ménsula (m)	0.001519	0.001519	0.001519	0.001519	0.001519	0.001519	0.001519	0.001519	0.001519
H	Ancho de la viga	0.0462	0.0462	0.0462	0.0462	0.0715	0.0715	0.0715	0.0715	0.0715
h	Ancho del diente (m)	0.0143	0.0143	0.0143	0.0143	0.0143	0.0143	0.0143	0.0143	0.0143
D	Distancia entre apoyos, (m)	0.0460	0.0460	0.0460	0.0460	0.0722	0.0722	0.0722	0.0722	0.0722
j	Distancia del apoyo superior (m)	0.0085	0.0085	0.0085	0.0085	0.0085	0.0085	0.0085	0.0085	0.0085
F	Fuerza máxima (N)	437.95	291.97	218.98	175.18	229.13	196.40	171.85	152.75	137.48
A	Área de la pza (m ²)	0.003423	0.005005	0.006587	0.00817	0.01345	0.0157	0.0179	0.0201	0.0223
y	Deflexión máxima (m)	0.000057	0.000128	0.000228	0.000356	0.000440	0.000599	0.000783	0.000991	0.001223

Tabla 4-6: Comparativo de las ménsulas para tiendas departamentales.

Longitud de la ménsula (m)	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.5
Espesor de la ménsula actual de línea (m)	0.00228	0.00228	0.00228	0.00228	0.00228	0.00228	0.00228	0.00228	0.00228
Espesor de la ménsula propuesta (m)	0.00189	0.00189	0.00189	0.00189	0.00189	0.00189	0.00189	0.00189	0.00189
Fuerza máxima para la ménsula actual de línea (N)	192	128	96	77	116	99	87	77	69
Fuerza máxima para la ménsula propuesta (N)	438	292	219	175	229	196	172	153	137
Deflexión máxima para la ménsula actual de línea(m)	5E-05	0.00011	0.0002	0.00031	0.00014	0.00019	0.00025	0.00031	0.00038
Deflexión máxima para la ménsula propuesta (m)	5.7E-05	0.00013	0.00023	0.00036	0.00044	0.0006	0.00078	0.00099	0.00122
Área de la ménsula actual de línea (m ²)	0.0031	0.0048	0.0068	0.0808	0.0128	0.0148	0.0168	0.01888	0.02096
Área de la ménsula propuesta (m ²)	0.00342	0.00501	0.00659	0.00817	0.01345	0.01567	0.01789	0.02011	0.02233
% de ahorro en el precio del material con la propuesta final	33	33	33	33	33	33	33	33	33



CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE LAS MÉNSULAS UTILIZANDO ELEMENTO FINITO.

INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se realiza el análisis de las ménsulas para tiendas departamentales y de autoservicio utilizando elemento finito, por medio del programa ANSYS. Con la finalidad de corroborar los datos obtenidos en los capítulos anteriores, en cuanto a la resistencia de los dientes de las ménsulas y las deflexiones que se producen en éstas por la carga aplicada. Y de este modo garantizar un mejor diseño de las ménsulas, para que cumplan con su funcionalidad, dada la necesidad de competir con empresas internacionales. Se realiza el análisis a todas las ménsulas estudiadas con las cargas máximas que solicita el cliente para comparar los resultados con las ménsulas finales.

Se observó en el análisis teórico de las ménsulas, que la ménsulas de 50[cm] de longitud, son las que resisten menos carga que las más cortas, ya que la longitud de la ménsula como se ha mencionado es inversamente proporcional a su resistencia. Por lo que a continuación se analizarán las ménsulas para sus casos más críticos, los cuáles son: ménsulas con carga puntual en su extremo y de longitud 50cm.

5.1 Desarrollo del análisis por medio de ANSYS.

Para el análisis de las ménsulas en el programa ANSYS, se realizaron los análisis por separado de cada una, siguiendo estos pasos:

Definir el tipo de análisis.

Utilizando el programa ANSYS, se realizarán cuatro análisis, para verificar los datos obtenidos en el capítulo 3.

A continuación se mostrarán los pasos realizados para efectuar los análisis mencionados.

Generar ó modelar la geometría.

El programa ANSYS requiere tener la geometría del objeto para su análisis, y se genera en el mismo programa ó bien se importa la pieza realizada en algún programa de diseño. Debido a que genere las geometrías de las ménsulas en el programa Autocad, (Fig. 5-1, 5-2, 5-3, 5-4). El siguiente paso fue exportar las piezas en 3d con extensión SAT y posteriormente las importe al programa ANSYS, realizando el análisis de cada una por separado.

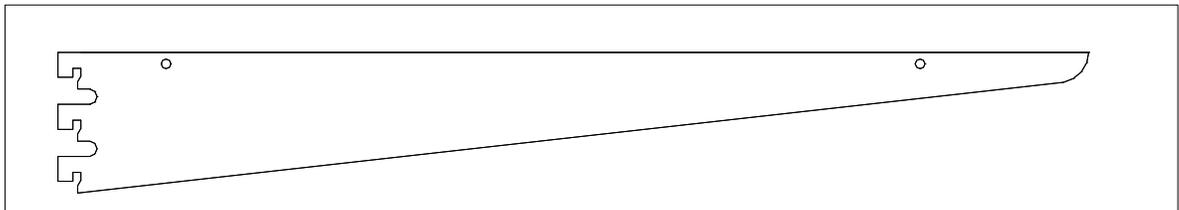


Fig. 5-1: Geometría de la ménsula para tiendas departamentales de la empresa Storemex.

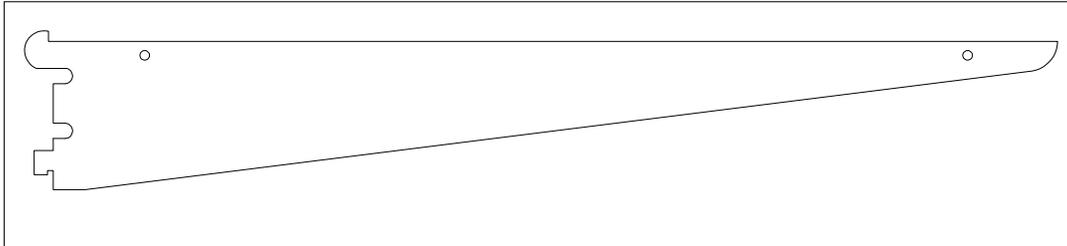


Fig. 5-2: Geometría de la ménsula final para tiendas departamentales.

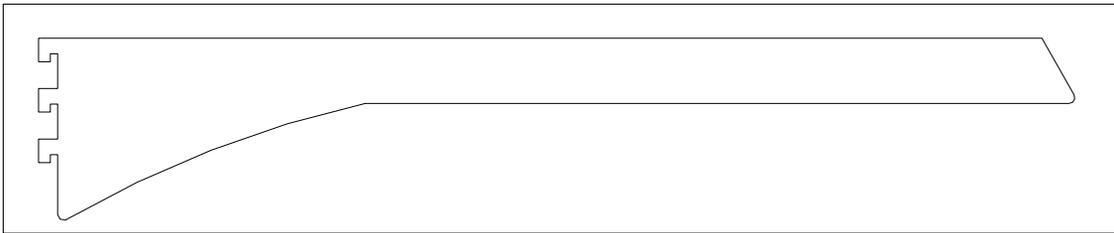


Fig. 5-3: Geometría de la ménsula de la competencia para tiendas de autoservicio.

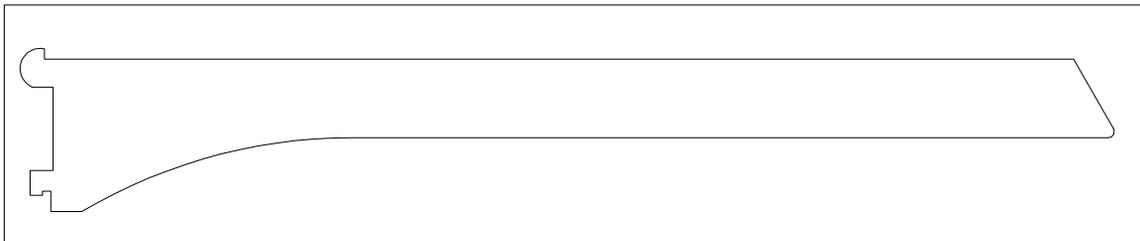


Fig. 5-4: Geometría de la ménsula final para tiendas de autoservicio.

Definir el tipo de elemento.

La pieza fue importada en 3D, por esta razón el tipo de elemento a seleccionar es sólido. Se escogió la opción tetraedro 10 a 92 nodos, ya que es la que tiene un mejor comportamiento en análisis estructural (lo cuál se especifica en el tutorial del programa).



Definir el tipo de material.

Las características físicas del material a utilizar son:

$$E = 2.06 \times 10^5 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

γ = Coeficiente de Poisson = 0.3

$$\rho = \text{densidad} = 0.0765 \left[\frac{N}{mm^3} \right]$$

Mallado de la pieza.

Se realizó el mallado de cada ménsula, resultando las imágenes presentadas en las figuras 5-5, 5-6, 5-7, 5-8.

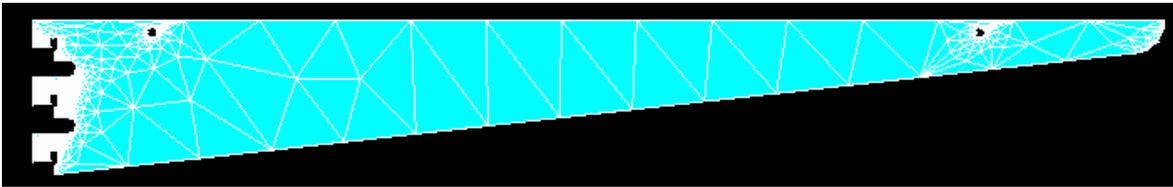


Fig. 5-5: Geometría mallada de la ménsula para tiendas departamentales de la empresa Storemex.

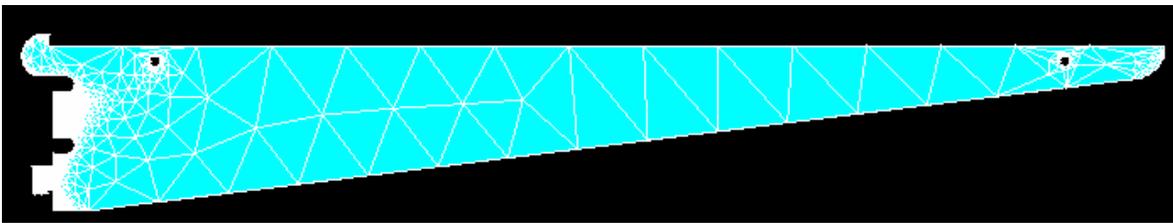


Fig. 5-6: Geometría mallada de la ménsula final para tiendas departamentales.

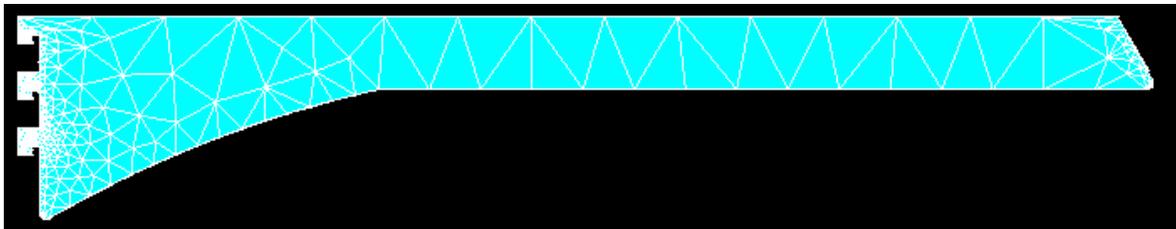


Fig. 5-7: Geometría mallada de la ménsula de la competencia para tiendas de autoservicio.

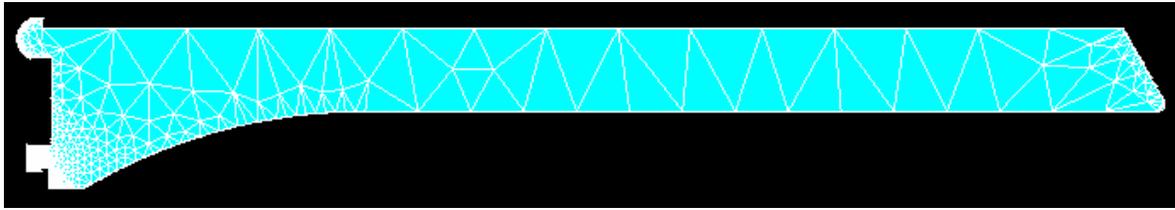


Fig. 5-8: Geometría mallada de la ménsula final para tiendas de autoservicio.

Aplicación de los apoyos y cargas en la pieza.

Se definieron las condiciones de apoyo y carga en cada ménsula respectivamente.

Se asignaron dos restricciones en la ménsula: uno en el diente superior y el otro en la parte inferior izquierda de la ménsula, tal como se mencionó en los capítulos anteriores para todas las ménsulas, en las caras de ensamble con la cremallera como se muestra en las figuras 5-9 y 5-10. El mismo paso se realizó para todas las ménsulas (Figs. 5-11, 5-13, 5-15, 5-17).

La carga que se aplicó en un nodo del extremo derecho de la ménsula, es la máxima que el cliente solicita. Para las ménsulas de tiendas departamentales es $100 [N]$ y para las ménsulas de tiendas de autoservicio es de $200 [N]$, (Figs. 5-12, 5-14, 5-16, 5-18).

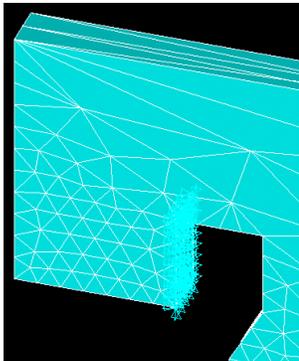


Fig. 5-9: Las flechas de color azul indican el área de aplicación de las restricciones en el diente superior de la ménsula para tiendas departamentales de la empresa Storemex.

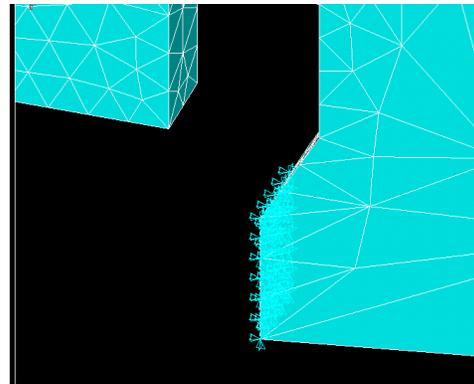


Fig. 5-10: Las flechas de color azul indican el área de aplicación de las restricciones en la parte inferior izquierda de la ménsula para tiendas departamentales de la empresa Storemex.

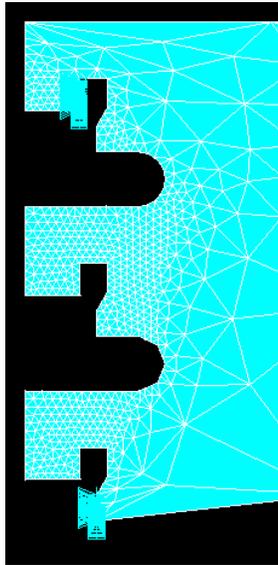


Fig. 5-11: Las flechas de color azul indican la aplicación de las restricciones en la ménsula para tiendas departamentales de la empresa Storemex.

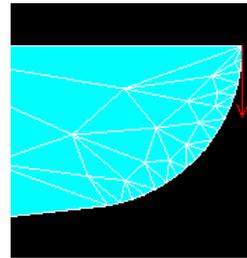


Fig. 5-12: La flecha de color rojo, indica la aplicación de la carga en un nodo del extremo derecho de la ménsula para tiendas departamentales de la empresa Storemex.

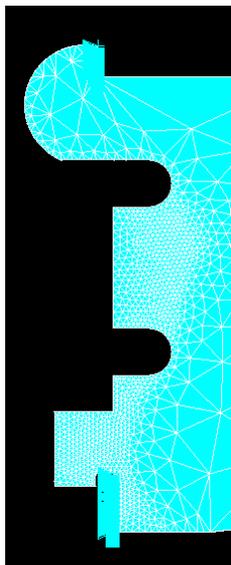


Fig. 5-13: Las flechas de color azul indican la aplicación de las restricciones en la ménsula final para tiendas departamentales.

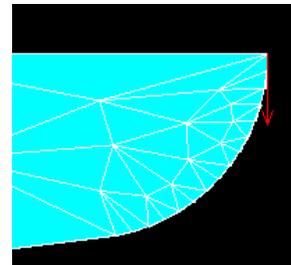


Fig. 5-14: La flecha de color rojo, indica la aplicación de la carga en un nodo del extremo derecho de la ménsula final para tiendas departamentales.

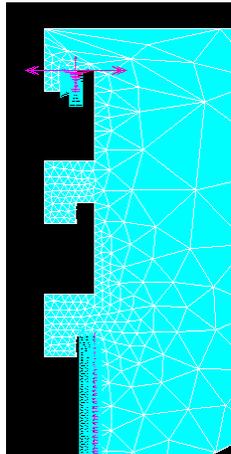


Fig. 5-15: Las flechas de color azul indican la aplicación de las restricciones en la ménsula de la competencia para tiendas de autoservicio.

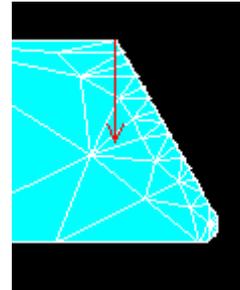


Fig. 5-16: La flecha de color rojo, indica la aplicación de la carga en un nodo del extremo derecho de la ménsula de la competencia para tiendas de autoservicio.

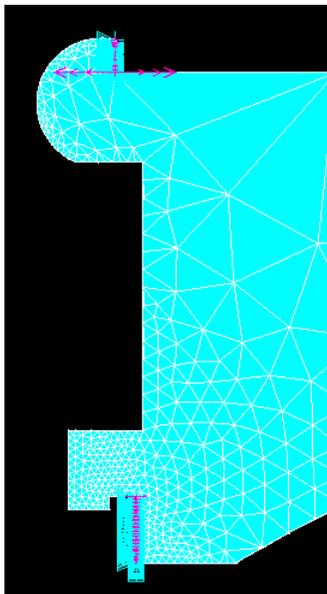


Fig. 5-17: Las flechas de color azul indican la aplicación de las restricciones en la ménsula final para tiendas de autoservicio.

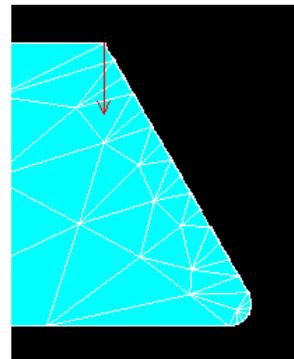


Fig. 5-18: La flecha de color rojo, indica la aplicación de la carga en un nodo del extremo derecho de la ménsula final para tiendas de autoservicio.



Solución al sistema.

Ya definido el objeto, las características y las condiciones de trabajo de éste. Se presentan los resultados del programa de análisis ANSYS para cada ménsula.

5.2 Análisis de los resultados.

5.2.1 Ménsula para tiendas departamentales de la empresa Storemex.

El diente superior como se mencionó en el capítulo 3 es la parte crítica de la ménsula, puede observarse ahí toda la gama de colores. En este caso el color predominante es el color azul que representa un esfuerzo de $67.29 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$, este dato se observa en la parte inferior de la figura 5-19, en el indicador de esfuerzos por colores.

El factor de seguridad definido es igual a 2, por lo que el esfuerzo de diseño en esa parte es $33.64 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$.

El esfuerzo máximo permisible de diseño teórico definido en el capítulo 3 para el material utilizado es $158.6 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$.

Las partes de la ménsula que están sometidas a mayor esfuerzo son el diente superior y el apoyo inferior de la ménsula (Fig. 5-19a y 5-19b). El resto de la ménsula no resiente la carga aplicada, tal como se especifico en la sección teórica.

Por lo anterior $33.64 \left[\frac{N}{mm^2} \right] < 158.6 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$, lo cual indica que la ménsula resiste la carga aplicada.

En cuanto a la deflexión que provoca la carga aplicada en la ménsula no es crítica el valor es $0.418[mm]$, el cual se designa en el recuadro superior de la figura 5-19, por la palabra DMx. La deflexión obtenida es similar a la obtenida en la sección teórica del capítulo 3. La geometría de la ménsula en forma de triangulo ayuda a que esta no presente una deflexión considerable, pero esta geometría requiere mas material que cualquier otra, lo que repercute en el costo. En este análisis puede observarse que esta ménsula esta sobrada en resistencia, para la función que realiza.



```

ELEMENT SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SEQV (NOAVG)
DMX =.418406
SMN =.138E-04
SMX =302.819

```

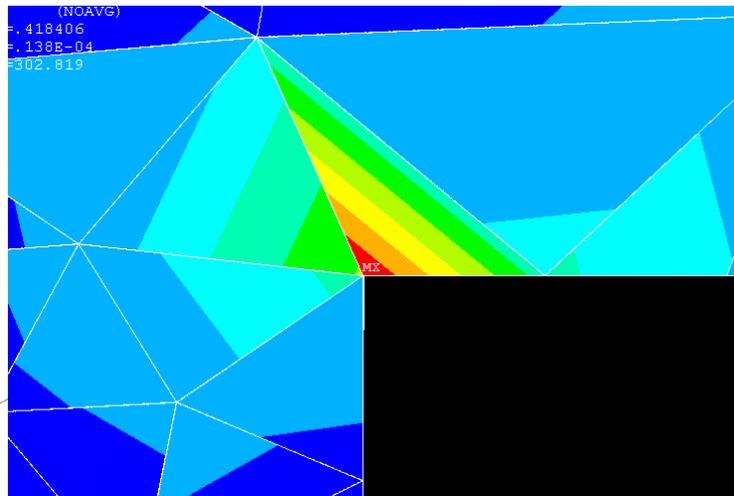


Fig. 5-19a: Ampliación del diente superior.

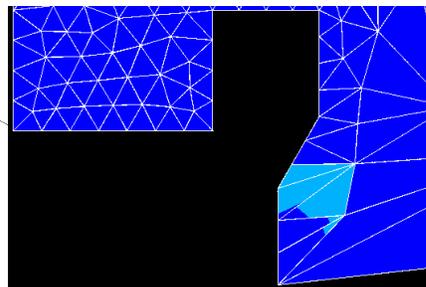
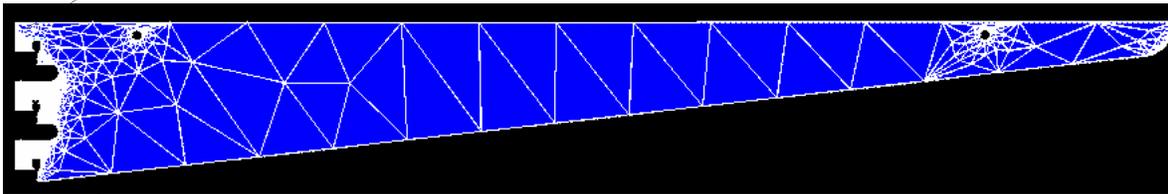
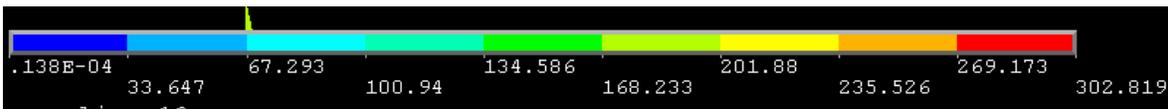


Fig. 5-19b: Ampliación del apoyo inferior.



Unidades en $\frac{N}{mm^2}$

Fig. 5-19: Resultado grafico de la ménsula para tiendas departamentales.



5.2.2 Ménsula final para tiendas departamentales.

El máximo esfuerzo que se presenta en la ménsula es $89.83 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$, éste esfuerzo se puede apreciar en el diente superior de la ménsula, donde se ve el último tono de color azul de los esfuerzos, aplicando el factor de seguridad igual a 2, el esfuerzo de diseño es $44.91 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$, que es menor al esfuerzo de máximo de diseño teórico definido en el capítulo 3 de $158.6 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$. Por lo que esta muy lejos de presentar deformación permanente por la carga máxima aplicada.

Prácticamente toda la ménsula resiente la carga máxima aplicada, pero los máximos esfuerzos se presentan en el diente superior y en el apoyo inferior de la ménsula, tal como se ha definido. La distribución de los esfuerzos es casi igual en estos dos puntos, como se puede ver en las figuras 5-20a y 5-20b.

Puede observarse que la deflexión para esa carga es de $1.204[mm]$, aunque entra en el rango. Esto será una limitante para incrementar la carga en la ménsula, ya que si se aumenta la carga se incrementa también la deflexión de la ménsula. Este valor de deflexión es similar al que se obtuvo en la sección teórica.



```

ELEMENT SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SEQV      (NOAVG)
DMX =1.204
SMN =.004527
SMX =269.495

```

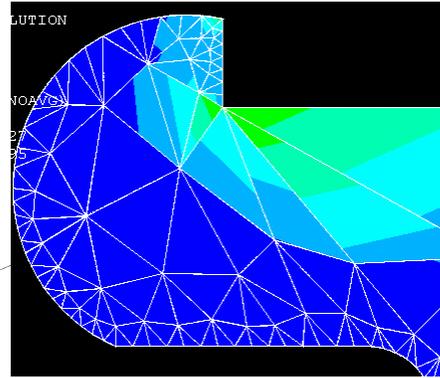


Fig. 5-20a: Ampliación del diente superior

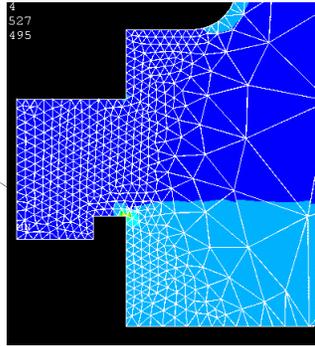
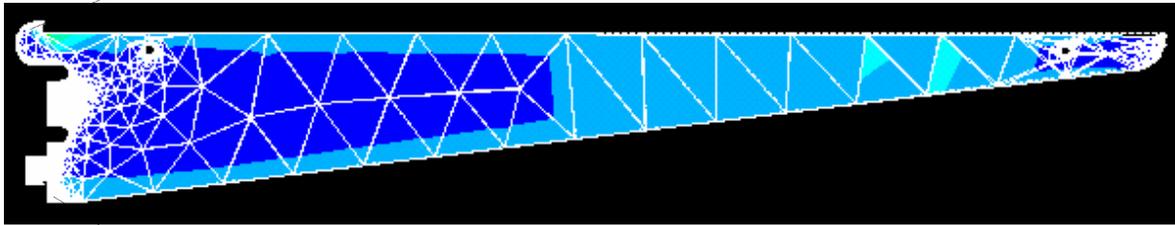
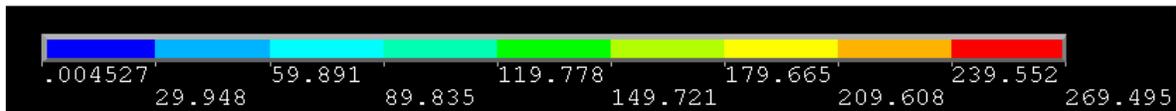


Fig. 5-20b: Ampliación del apoyo inferior.



Unidades en $\frac{N}{mm^2}$

Fig. 5-20: Resultado gráfico de la ménsula final para tiendas departamentales.



5.2.3 Ménsula de la competencia para tiendas de autoservicio.

Las partes de la ménsula que están sometidas a mayor esfuerzo son el diente superior y el cuerpo de la ménsula (Fig. 5-21a). El resto de la ménsula no resiente la carga aplicada.

El cuerpo de la ménsula es donde se concentran los mayores esfuerzos, en esa parte se presenta el esfuerzo en color azul el cual tiene un valor de $86.93 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$

El factor de seguridad definido es igual a 2, por lo que el esfuerzo real de diseño en esta parte es de $43.46 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$.

El esfuerzo máximo permisible de diseño teórico definido en el capítulo 3 para el material utilizado es de $158.6 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$

Por lo anterior $43.46 \left[\frac{N}{mm^2} \right] < 158.6 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$, lo cual indica que la ménsula resiste la carga aplicada para el caso evaluado que es carga puntual en un extremo, por lo que esta ménsula esta sobrada para su función.

En cuanto a la deflexión que provoca la carga aplicada en la ménsula es de $1.15[mm]$, que entra en el rango solicitado. La deflexión se designa en el recuadro superior de la figura 5-21, por la palabra DMx.

Con los resultados obtenidos en el análisis se observa que esta ménsula esta sobrada para el trabajo que realiza, con respecto a la resistencia del material, pero no es conveniente aumentarle la carga aplicada, ya que se incrementaría la deflexión en la ménsula.



```
ELEMENT SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SEQV      (NOAVG)
DMX =1.15
SMN =.279E-03
SMX =391.185
```

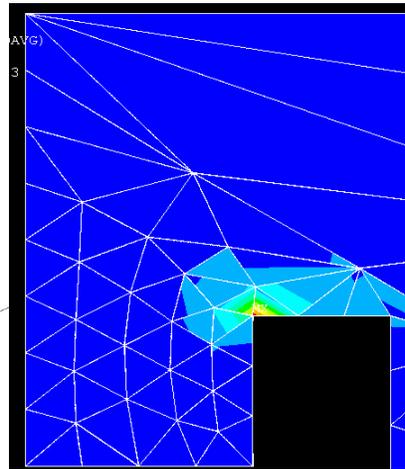
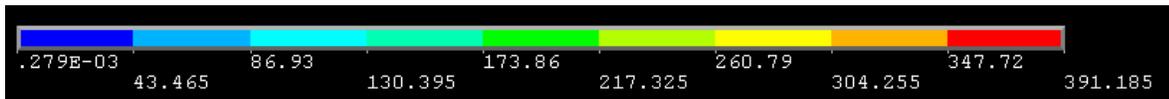
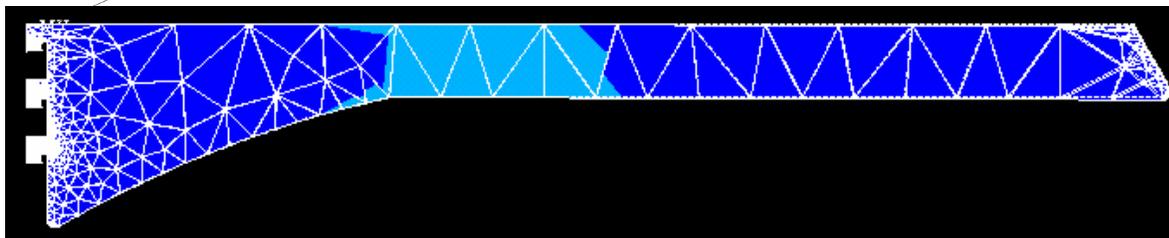


Fig. 5-21a: Ampliación del diente superior.



Unidades en $\frac{N}{mm^2}$

Fig. 5-21: Resultado grafico de la ménsula para tiendas de autoservicio de la competencia.



5.2.4 Ménsula final para tiendas de autoservicio.

Las partes de la ménsula que están sometidas a mayor esfuerzo son el diente superior y el cuerpo de la ménsula, principalmente en la entalladura de ésta (Fig. 5-22a y 5-22). El resto de la ménsula también resiente la carga aplicada, ya que esta ménsula se diseño para que todas sus partes trabajen con la carga máxima aplicada y de esta manera optimizar el material utilizado. En el apoyo inferior de la ménsula también se concentran los esfuerzos, aunque en menor medida (Fig. 5-22b).

El diente superior y el cuerpo es donde se concentran más los esfuerzos (Fig. 5-22a y 5-22), se presenta en esas partes mas dominante el último tono de color verde, que representa un esfuerzo de $78.51 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$.

El factor de seguridad definido es igual a 2, por lo que el esfuerzo real de diseño en esta parte es de $39.25 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$.

El esfuerzo máximo permisible de diseño teórico definido en el capítulo 3 para el material utilizado es de $158.6 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$

Por lo anterior $39.25 \left[\frac{N}{mm^2} \right] < 158.6 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$, lo cual indica que la ménsula resiste la carga aplicada.

En cuanto a la deflexión que provoca la carga aplicada en la ménsula es de $1.4[mm]$, este valor entra en el rango solicitado. La deflexión se designa en el recuadro superior de la figura 5-22, por la palabra DMx, este valor de deflexión es similar al obtenido en la sección teórica Tabla 4-2, que es $1.5[mm]$.



```

ELEMENT SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SEQV      (NOAVG)
DMX  =1.407
SMN  =.003464
SMX  =117.768

```

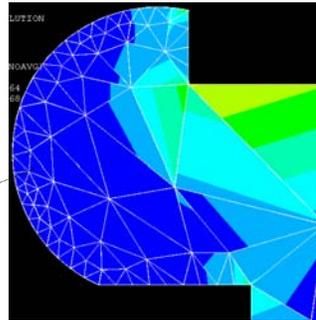


Fig. 5-22a: Ampliación del diente superior.

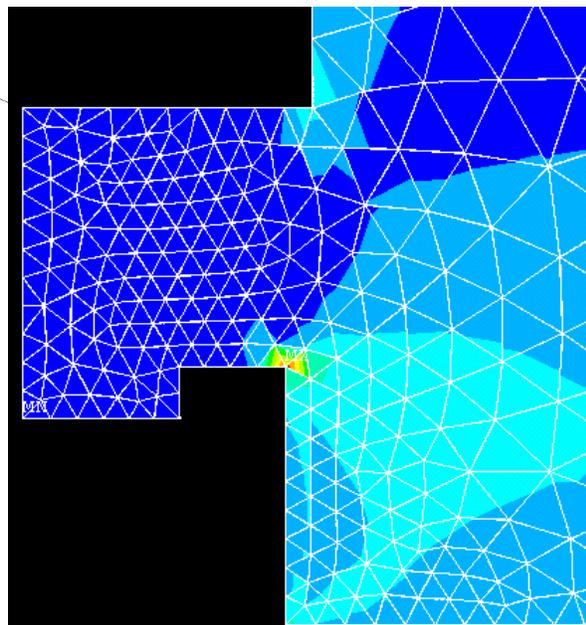
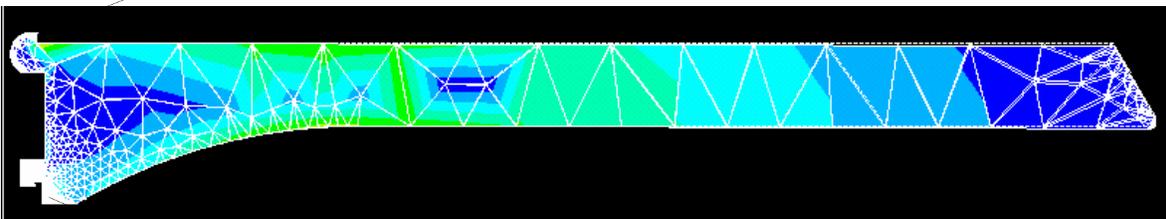
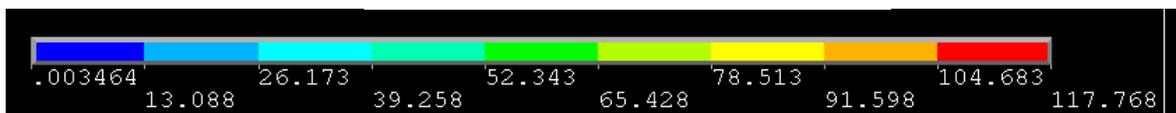


Fig. 5-22b: Ampliación del apoyo inferior.



Unidades en $\frac{N}{mm^2}$

Fig. 5-22: Resultado grafico de la ménsula final para tiendas de autoservicio.



CAPÍTULO 6: CONCLUSIÓN.

Las ménsulas son los productos de la empresa Storemex de más venta y producción. Para lo cual el presente trabajo de tesis mostró el proceso de diseño de las ménsulas departamentales y de autoservicio cumpliéndose en un 100% lo planteado en la introducción. Al aplicar esta información la empresa Storemex se posicionará en una clara ventaja competitiva y esto repercutirá en mayores ventajas y beneficios tanto para la empresa como para el cliente.

Los objetivos particulares que se cubren con este trabajo son:

- El rediseño de la ménsula para tienda departamentales de la empresa Storemex.
- El diseño de la ménsula para tiendas de autoservicio.
- Contar con datos técnicos de las ménsulas.
- Con los diseños finales de las ménsulas para tiendas departamentales y de autoservicio se garantiza su funcionalidad para las diversas condiciones de uso de éstas.
- Con los diseños finales de las ménsulas se cumple con la calidad, especificaciones y restricciones que el cliente solicita en las ménsulas para tiendas de autoservicio y departamentales.
- Al aplicar la información de ingeniería que se presenta en este trabajo al producto, se aprovecharan los recursos de la empresa Storemex y al mismo tiempo se cumplirán con las especificaciones y restricciones de la empresa y del cliente.

Beneficios:

- La información obtenida en este trabajo es una herramienta de consulta para la aplicación presente y futura de proyectos de los departamentos de ventas, mercadotecnia, producción e ingeniería de la empresa Storemex.
- Al aplicar la empresa la información obtenida en este trabajo se obtendrá un ahorro del 33% en el costo del material de la ménsula para tiendas departamentales y de la ménsula para tiendas de autoservicio en comparación de las ménsulas actuales y de la competencia. Además las ménsulas propuestas tienen un diseño que ofrece un mejor comportamiento estructural por su geometría que las actuales.
- Para la elaboración de este trabajo, me fue preciso el recordar la teoría de vigas y el manejo del software CAD, así como aprender y actualizarme en el software de análisis ANSYS. Estos conocimientos y habilidades me servirán en el desarrollo de futuros proyectos.
- El análisis de elemento finito, me ayudo a saber como opera el programa de análisis ANSYS y posteriormente por medio de éste software corroborar la información teórica en una forma simple y gráfica, además de ampliar mi visión en cuanto a como afecta la geometría de los cuerpos en su resistencia.
- Esta tesis me aporta como persona el poder cerrar un capítulo en mi vida al ser el medio por el cual obtenga el grado de Ingeniero. Además de haber logrado tener un recordatorio y actualización de la información que recibí en mi periodo de estudiante, ampliar mi visión profesional y mejorar mi forma de elaborar proyectos. Lo que significa una superación personal.
- La Facultad de Ingeniería de la UNAM, por medio de sus excelentes instalaciones y personal académico capacitado, me ha ayudado en mi formación como ser humano y como Ingeniero para la elaboración de este trabajo, así como también de otros proyectos profesionales y personales.



BIBLIOGRAFÍA

- [1] Física para Ingenieros.
Peyrot G.
Limusa, Noriega Editores.
Pags. 429 a 439

- [2] Resistencia de Materiales.
Hearn
Nueva Editorial Interamericana.
Pags. 57 a 64

- [3] Resistencia de Materiales.
Robert L. Mott.
Pags. 274 a 291

- [4] Mecánica de Materiales
Popov
Limusa, Noriega Editores.
Pags. 84 a 121

- [5] Introducción al Estudio del Elemento Finito en Ingeniería.
Tirupathi R. Chandrupata.
Prentice Hall.
Pags. 240 a 260

- [6] Finite Element Analysis.
George R. Buchanan.
Shaum's.
Pags. 1 a 61

- [7] Manual del Ingeniero Mecánico.
Eugene A. Avallone (Segunda edición, 1995).
Mc Graw Hill.
Pags. 5-17 a 5-39

- [8] Diseño de Elementos de Máquinas.
Faires.
Limusa, Noriega Editores (Cuarta edición, 1994).
Pags. 144 a 146

<http://www.victorydisplay.com>

<http://www.fixtureking.com>

<http://www.thefixturezone.com>

<http://www.wertfixture.com>

<http://store-fixtures.com>

<http://www.displays-store-fixtures.com>