

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**DETERMINACIÓN DE LAS DIRECTRICES DE DISEÑO
DE CUBIERTAS EN POLIETILENO Y PVC FILM.
CÁLCULO - ESTUDIO DE MATERIALES.**

PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR:

TNTE. DE E. RUGEL PARDO ABEL ALEJANDRO.

SANGOLQUÍ, FEBRERO DEL 2007



EXTRACTO / ABSTRACT

El presente trabajo es una alternativa para modelar y diseñar cualquier estructura, que utilice el polietileno o PVC films (plásticos) como cubierta, por medio del programa SAP2000; generalmente las estructuras que utilizan el plástico son los invernaderos.

Por medio de los resultados obtenidos, se ha podido diseñar una estructura desarmable de metal con cubierta de plástico, y sobre éste una malla mimética que servirá de camuflaje, la cual podrá ser utilizada como hangar improvisado, para los helicópteros "LAMA" de la Fuerza Terrestre, al momento de realizar operaciones en unidades militares en el Oriente Ecuatoriano.

The present work is an alternative for modeling and designing any structure that uses the polyethylene or PVC films (plastics) as cover, by means of the program SAP2000; the structures that use the plastic are generally the greenhouses.

By means of the obtained results, a collapsible metal structure with plastic over has been designed, and on this a mimetic mesh that will serve as camouflage, which will be able to be used as improvised hangar, for the helicopters "LAMA" of the Ground Troops, in the moments of carrying out operations in military units in the Ecuadorian Amazon Basin.



CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el **TNTE. DE E. RUGEL PARDO ABEL ALEJANDRO** como requerimiento parcial a la obtención del título de **INGENIERO CIVIL**.

Sangolquí, Febrero del 2007

Ing. Christian Endara

DIRECTOR

Ing. Pablo Caiza Sánchez, Msc.

CODIRECTOR



DEDICATORIA

Este trabajo va especialmente dedicado a mi Señor Dios, quien ha estado conmigo en todos los momentos de mi vida guiándome y mostrándome el camino ha seguir, dándome las herramientas necesarias para seguir por el camino del bien.

A mi esposa Verónica Aragón que siempre ha permanecido a mi lado, brindándome todo su apoyo incondicional, sirviéndome de ejemplo de sacrificio gracias a sus logros alcanzados.

A mi hija Ariana Alejandra quien nació cuando cursaba mi último semestre de la Universidad, creando nuevas y mejores metas a mi vida.

A mis padres Alejandro Rugel y Lucila Pardo que gracias a ellos he conseguido objetivos importantes, por su gran amor y entrega desinteresada.

A mi hermano Roberto que ha su corta edad, consiguió ser un profesional sirviéndome como guía profesional y de buen ejemplo.

Esteban y Javier, hermanos queridos a quienes les recuerdo en todos los momentos de mi vida.

A toda mi familia que siempre han estado cuando he solicitado de ellos.



Tnte. Rugel Abel.

AGRADECIMIENTO

Al Ejército Ecuatoriano, quien confió en mí brindándome la oportunidad de estudiar una carrera de tan alto prestigio como es la Ingeniería Civil.

A la Escuela Politécnica del Ejército quien me abrió las puertas del conocimiento para formarme en sus aulas como un buen profesional.

A mis profesores que durante toda mi carrera supieron brindarme todo sus conocimientos, y supieron ser unos buenos profesionales.

Al Sr. Ing. Christian Endara, Director de Proyecto y Sr. Ing. Pablo Caiza, Codirector del Proyecto, por toda su aportación en la realización de este proyecto.

A la srta. Ing. Ana Gabriela Haro, Coordinadora de la Carrera de Ing. Civil, por toda la apertura y apoyo incondicional hacia todos sus alumnos.



Tnte. Rugel Abel.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I

EL POLIETILENO Y EL PVC FILM EN LA CONSTRUCCIÓN

RESUMEN	1
1.1 INTRODUCCION	2
1.2 CONCEPTOS.	
1.2.1 Polietileno	5
1.2.1.1 PE de Alta Densidad.	7
1.2.1.2 PE de Mediana Densidad	7
1.2.1.3 PE de Baja Densidad	8
1.2.2 Policloruro de vinilo (PVC)	11
1.3 USO DE LOS MATERIALES Y SU IMPORTANCIA EN LA CONSTRUCCIÓN	13
1.3.1 ¿Por qué el plástico aumenta la producción?	16
1.3.1.1 Difusión de luz	16
1.3.1.2 Fotosíntesis	16
1.3.1.3 Microclima	17
1.3.1.4 Luminosidad	18
1.3.1.5 Humedad relativa	19
1.3.1.6 Anhídrido Carbónico (CO ₂)	20
1.3.1.7 Lluvias	21
1.3.1.8 Luz ultravioleta	22
1.3.1.9 Viento	23
1.3.1.10 Aves y otros depredadores	24
1.3.2 Principales ventajas del uso del polietileno y PVC film en los invernaderos	24

CAPÍTULO II

ESTUDIO DE MATERIALES

RESUMEN	25
2.1 OBTENCIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	



NECESARIAS PARA SU INSTALACIÓN Y USO EN CONSTRUCCIÓN	26
2.1.1 Instalación y tensado de las películas en estructuras ligeras	28
2.1.1.1 Instalación de las películas	28
2.1.1.2 Tensado de las películas de plástico	31
2.1.2 Cálculo de las estructuras	34
2.1.2.1 Construcción	35
2.1.2.2 La cubierta	35
2.1.2.2.1 Transporte y almacenamiento.	36
2.1.2.2.2 Colocación del plástico.	36
2.1.2.2.3 Durante el cultivo.	37
2.2 RESISTENCIA DE LOS MATERIALES	37
2.2.1 Ensayo en el laboratorio para la obtención de la curva fuerza-alargamiento real del cable de acero nuevo, por medio de tracción	37
2.2.1.1 Objetivos	37
2.2.1.2 Marco teórico	38
2.2.1.3 Características de las Muestras	38
2.2.1.4 Aplicación de la Carga y Mediciones	38
2.2.1.5 Equipos	39
2.2.1.6 Procedimiento	39
2.2.1.7 Resultados	39
2.2.1.8 Fotografías tomadas durante los ensayos Realizados	43
2.2.2 Ensayo en el laboratorio para la obtención de curvas esfuerzo-deformación de muestras de polietileno nuevo, por medio de tracción	47
2.2.2.1 Objetivos	47
2.2.2.2 Marco teórico	47
2.2.2.3 Características de las Muestras	48
2.2.2.4 Aplicación de la Carga y Mediciones	49
2.2.2.5 Equipos	49
2.2.2.6 Procedimiento	49
2.2.2.7 Resultados	49
2.2.2.8 Fotografías tomadas durante los ensayos realizados con muestras de polietileno nuevo	72



2.2.3	Ensayo en el laboratorio para la obtención de las curvas esfuerzo-deformación de muestras de pvc film, por medio de tracción	78
2.2.3.1	Objetivos	78
2.2.3.2	Procedimiento	78
2.2.3.3	Fotografías tomadas durante los ensayos realizados con muestras de PVC film nuevo	83
2.2.4	Ensayo en el laboratorio para la obtención de las curvas esfuerzo-deformación del polietileno de un año de expuestas a la intemperie por medio de tracción.	84
2.2.4.1	Fotografías tomadas durante los ensayos realizados con muestras de polietileno de 1 año de expuestas en un invernadero	88

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DE CARGAS

RESUMEN	89
3.1 MÉTODO TRADICIONAL PARA LA DETERMINACIÓN DE CARGAS DE VIENTO.	90
3.2 MÉTODO ASCE 7-98.	92
3.2.1 Cálculo de cargas mínimas de viento para edificios y otras estructuras.	93
3.2.1.1 Procedimiento analítico del diseño de la carga del viento	94
3.2.1.1.1 Presión por velocidad	95
3.2.1.1.2 Coeficientes de la presión y de la fuerza	96
3.2.1.1.3 Factor G del efecto de la ráfaga	96
3.3 ESCALAMIENTO DE CARGAS PARA PRODUCIR FALLAS LOCALES Y GLOBALES.	97
3.4 APLICACIÓN DE LAS CURVAS ESFUERZO-DEFORMACIÓN DEL POLIETILENO Y PVC FILM PARA UTILIZARLAS EN LOS MODELOS ESTRUCTURALES DE UN INVERNADERO TIPO Y UN HANGAR PARA HELICÓPTERO “LAMA”	100



CAPÍTULO IV

DISEÑO Y ESTABLECIMIENTO DEL MODELO O LOS MODELOS DE CÁLCULO

RESUMEN	101
4.1 MODELOS INFORMÁTICOS BASADOS EN LOS RESULTADOS OBTENIDOS ANTERIORMENTE.	102
4.2 MODELACIÓN TRIDIMENSIONAL (SAP2000).	102
4.3 MODELACIÓN DE ELEMENTOS CRÍTICOS BÁSICOS (EXCEL).	107
4.3.1 Comprobación de compacidad de las secciones de acero	107
4.3.2 La capacidad de compresión	108
4.3.3 Requisitos para el diseño a flexión	108

CAPÍTULO V

CÁLCULO Y DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA CON CUBIERTA FLEXIBLE PARA INVERNADERO Y DE UN HANGAR DESMONTABLE PARA UN HELICÓPTERO “LAMA” DEL EJÉRCITO ECUATORIANO.

RESUMEN	112
5.1 CÁLCULO Y DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA CON CUBIERTA FLEXIBLE PARA INVERNADERO	113
5.1.1 Aplicación de cargas a la estructura	117
5.1.1.1 Carga viva	117
5.1.1.2 Carga viento	118
5.1.2. Chequeo de secciones del invernadero	120
5.1.3 Resultados Obtenidos en los dos invernaderos	125
5.2 CÁLCULO Y DISEÑO DE UN HANGAR DESMONTABLE PARA UN HELICÓPTERO “LAMA” DEL EJÉRCITO ECUATORIANO	130
5.2.1 Aplicación de cargas a la estructura	134



5.2.1.1 Carga viva	135
5.2.1.2 Carga viento	135
5.2.2 Chequeo de secciones del hangar	136
5.2.3 Chequeo de dos cerchas del hangar	140
5.2.4 Fotografías	143
5.2.5 Planos del hangar para helicóptero "LAMA"	148

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

RESUMEN	149
6.1 CONCLUSIONES	150
6.2 RECOMENDACIONES	155
BIBLIOGRAFÍA	156
ANEXOS	157



LISTADO DE TABLAS

CAPÍTULO I

EL POLIETILENO Y EL PVC FILM EN LA CONSTRUCCIÓN

Tabla 1.1 Porcentaje de transparencia en distintos materiales.

Tabla 1.2 Aplicaciones más importantes de los plásticos en agricultura.

Tabla 1.3: Nuevos materiales.

Tabla 1.4: Exigencias de temperatura para distintas especies.

CAPÍTULO II

ESTUDIO DE MATERIALES

Tabla 2.1: Resultados del Ensayo de Tracción del cable de acero.

Tabla 2.2: Valores obtenidos en el Ensayo de Tracción del cable de acero muestra A.1.2.

Tabla 2.3: Resultados del Ensayo de Tracción de varias muestras de polietileno nuevo.

Tabla 2.4: Datos obtenidos del ensayo de tracción de polietileno 3S muestra B1 en sentido Longitudinal.

Tabla 2.5: Datos obtenidos del ensayo de tracción de polietileno 3S muestra B2 en sentido Longitudinal.

Tabla 2.6: Datos obtenidos del ensayo de tracción de polietileno 2S muestra B3 en sentido Longitudinal.

Tabla 2.7: Datos obtenidos del ensayo de tracción de polietileno 2S muestra B4 en sentido Longitudinal.

Tabla 2.8: Datos obtenidos del ensayo de tracción del PVC FILM nuevo, muestra D1, en sentido Longitudinal.



Tabla 2.9 Datos obtenidos del ensayo de tracción del polietileno de un año de expuestas a la intemperie, muestra C, en sentido transversal.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DE CARGAS

Tabla 3.1: Método Beaufort, para la determinación de la Fuerza de viento sobre cerchas en invernadero standard.

Tabla 3.2: Módulo de Young obtenido en laboratorio.

CAPÍTULO IV

DISEÑO Y ESTABLECIMIENTO DEL MODELO O LOS MODELOS DE CÁLCULO

Tabla 4.1: Características de tubos estructurales.

Tabla 4.2: Cargas de viento por el Método Tradicional.

Tabla 4.3: Cargas de viento por el Método ASCE 7-98.

CAPÍTULO V

CÁLCULO Y DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA CON CUBIERTA FLEXIBLE PARA INVERNADERO Y DE UN HANGAR DESMONTABLE PARA UN HELICÓPTERO “LAMA” DEL EJÉRCITO ECUATORIANO.

Tabla 5.1: Cálculo de viento método tradicional.

Tabla 5.2: Cuadro comparativo entre los dos métodos.

Tabla 5.3: Cuadro comparativo de deformadas de la cercha exterior.

Tabla 5.4: Cuadro comparativo de deformadas de la cercha central.

Tabla 5.5: Cálculos obtenidos para carga de viento método ASCE 7-98.

Tabla 5.6: Deformada de la cercha exterior.



Tabla 5.7: Deformada de la cercha central.

LISTADO DE FIGURAS

CAPÍTULO I

EL POLIETILENO Y EL PVC FILM EN LA CONSTRUCCIÓN

Figura 1.1: Vista interior de un Invernadero.

Figura 1.2: Estructura interna del polietileno.

Figura 1.3: Estructura interna del polietileno de baja densidad.

Figura 1.4: Invernadero con cubierta flexible.

Figura 1.5: Luminosidad en el interior del invernadero.

Figura 1.6: Diseño interior deberá evitar ingreso de gotas.

Figura 1.7: Efectos de la luz sobre el invernadero.

CAPÍTULO II

ESTUDIO DE MATERIALES

Figura 2.1 Diversos sistemas de fijación de la película plástica.

Figura 2.2 Combinación de elemento de fijación y canalón.

Figura 2.3 Fijación por inserción de tubo de plástico en perfil de acero.

Figura 2.4 Perfil especial de plástico para fijación de película.

Figura 2.5 Tensado de plástico con dispositivo mecánico.

Figura 2.6 Tensado por medio de tubo de plástico inflado.

Figura 2.7 Forma de enrollar el polietileno.

Figura 2.8: Curva Carga-Alargamiento del Cable de Acero.

Figura 2.9: Curva Fuerza-Alargamiento Real del Cable de Acero.

Figura 2.10: Cable a ser ensayado.

Figura 2.11: Equipo de Ensayos Universales "AMSLER".

Figura 2.12: Colocación de la Probeta en las mordazas.

Figura 2.13: Falla de la probeta al aplicar la fuerza constante.



- Figura 2.14:** Falla de la probeta al aplicar la fuerza constante.
- Figura 2.15:** Probeta A.1.1 luego de ser ensayada.
- Figura 2.16:** Probeta A.1.2 luego de ser ensayada.
- Figura 2.17:** Curva Carga-Alargamiento del Polietileno 3S muestra B1 en sentido Longitudinal.
- Figura 2.18:** Curva Esfuerzo-Deformación del Polietileno 3S muestra B1 en sentido Longitudinal.
- Figura 2.19:** Curva Carga-Alargamiento del Polietileno 3S muestra B2 en sentido Longitudinal.
- Figura 2.20:** Curva Esfuerzo-Deformación del Polietileno 3S muestra B2 en sentido Longitudinal.
- Figura 2.21:** Curva Carga-Alargamiento del Polietileno 2S muestra B3 en sentido Longitudinal.
- Figura 2.22:** Curva Esfuerzo-Deformación del Polietileno 2S muestra B3 en sentido Longitudinal.
- Figura 2.23:** Curva Carga-Alargamiento del Polietileno 2S muestra B4 en sentido Longitudinal.
- Figura 2.24:** Curva Esfuerzo-Deformación del Polietileno 2S muestra B4 en sentido Longitudinal.
- Figura 2.25:** Numeración de las muestras.
- Figura 2.26:** Obtención de las probetas por medio de la troqueladora.
- Figura 2.27:** Probetas listas para ser ensayadas y numeradas.
- Figura 2.28:** Micrómetro para medir espesores.
- Figura 2.29:** Pie de Rey para medir longitudes.
- Figura 2.30:** Máquina de Tracción Horizontal "AMSLER".
- Figura 2.31:** Probeta puesta en las mordazas.
- Figura 2.32:** Obtención de la curva esfuerzo-deformación.
- Figura 2.33:** Aplicación de la tracción a la probeta.
- Figura 2.34:** Medición de la probeta conforme su alargamiento.
- Figura 2.35:** Probetas ensayadas.
- Figura 2.36:** Curva Carga-Alargamiento del PVC film nuevo muestra D1 en sentido Longitudinal.
- Figura 2.37:** Curva Esfuerzo-Deformación del PVC film nuevo muestra D1 en sentido Longitudinal.



Figura 2.38: Muestra de PVC film nuevo.

Figura 2.39: Probetas para realizar el ensayo.

Figura 2.40: Probetas luego de realizado el ensayo.

Figura 2.41: Curva Carga-Alargamiento del polietileno de 1 año de exposición en un invernadero, muestra C.

Figura 2.42: Curva Esfuerzo-Deformación del polietileno de 1 año de exposición en un invernadero, muestra C.

Figura 2.43: Muestra de polietileno de 1 año.

Figura 2.44: Probetas para realizar el ensayo.

Figura 2.45: Probetas ensayadas.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DE CARGAS

Figura 3.1: Presiones de viento sobre la estructura.

Figura 3.2: Presiones por velocidad sobre la estructura.

CAPÍTULO IV

DISEÑO Y ESTABLECIMIENTO DEL MODELO O LOS MODELOS DE CÁLCULO

Figura 4.1: Colocación de propiedades a un material OTHER.

Figura 4.2: creación del elemento shell.

Figura 4.3: Definición de estados de cargas.

Figura 4.4: Colocación de la carga de viento.

CAPÍTULO V

CÁLCULO Y DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA CON CUBIERTA FLEXIBLE PARA INVERNADERO Y DE UN HANGAR DESMONTABLE PARA UN HELICÓPTERO “LAMA” DEL EJÉRCITO ECUATORIANO.

Figura 5.1: Invernadero en 3D en SAP2000.

Figura 5.2: Grilla del Invernadero.



- Figura 5.3:** Características de los perfiles del Invernadero.
- Figura 5.4:** Creación de los diferentes del cables de acero.
- Figura 5.5:** Características del cable de acero.
- Figura 5.6:** Bases de la estructura siendo empotradas.
- Figura 5.7:** Colocación de las membranas de polietileno.
- Figura 5.8:** Definición de las cargas que actuarán en la estructura.
- Figura 5.9:** Asignación de la carga viva.
- Figura 5.10:** Nombres de cada membrana para la colocación de la carga de viento.
- Figura 5.11:** Asignación de la carga de viento.
- Figura 5.12:** Ubicación de la cercha para el análisis.
- Figura 5.13:** Denominación de los elementos de la cercha.
- Figura 5.14:** Numeración de los Puntos de la Cercha para la comparación.
- Figura 5.15:** Ubicación de la cercha para el análisis.
- Figura 5.16:** Fotografía de un helicóptero “LAMA”.
- Figura 5.17:** Dimensiones de la cercha del hangar.
- Figura 5.18:** Vista lateral del hangar con sus dimensiones.
- Figura 5.19:** Perfiles que intervienen en el hangar.
- Figura 5.20:** Perfiles que intervienen en el hangar.
- Figura 5.21:** Colocación de las membranas al hangar.
- Figura 5.22:** Características del cable.
- Figura 5.23:** Ubicación de los cables de acero.
- Figura 5.24:** Definición de cargas del hangar.
- Figura 5.25:** Asignación de la carga viva.
- Figura 5.26:** Vista en planta del hangar.
- Figura 5.27:** Ubicación de las cerchas para su análisis.
- Figura 5.28:** Ubicación de las juntas de la Cercha para su análisis.
- Figura 5.29:** Cercha del hangar siendo ensamblada.
- Figura 5.30:** Bocines de los componentes de la cercha.
- Figura 5.31:** Unión del tubo troquelado a la cubierta.
- Figura 5.32:** Columna del hangar.
- Figura 5.33:** Unión de la columna a la cubierta.
- Figura 5.34:** Pernos de 3/8” x 3 1/2” utilizados en la cubierta.
- Figura 5.35:** Tecele para tensar los cables con 300 kg.



Figura 5.36: Holladora para realizar huecos en la superficie y colocar las estacas.

Figura 5.37: Ganchos “J” $\frac{1}{4} \times 3$ ”.

Figura 5.38: Grillete para sujeción del cable de acero.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Figura 6.1: Polietileno.

Figura 6.2: Cable de acero en la maquina Universal.

Figura 6.3: Alargamiento de la probeta de polietileno.

Figura 6.4: Muestra de Polietileno.



LISTADO DE ANEXOS

Anexo 1:	Figura 6-2 del ASCE 7-98
Anexo 2:	Figura 6-3 del ASCE 7-98
Anexo 3:	Tabla 6-1 del ASCE 7-98
Anexo 4:	Tabla 6-4 del ASCE 7-98
Anexo 5:	Tabla 6-5 del ASCE 7-98
Anexo 6:	Tabla 6-6 del ASCE 7-98
Anexo 7:	Tabla 6-4 del ASCE 7-98
Anexo 8:	Tabla 6-8 del ASCE 7-98



CAPÍTULO I

EL POLIETILENO Y EL PVC FILM EN LA CONSTRUCCIÓN

RESUMEN

El presente capítulo inicia dando una visión general del polietileno y el PVC film, materiales utilizados en diversos productos que se presentan en el mercado, con varias aplicaciones para la construcción, especialmente en invernaderos alrededor del mundo.

Se exponen conceptos, estructura, clases e importancia del uso de estos materiales en la construcción.



1.1 INTRODUCCIÓN

El polietileno es el material más usado a nivel mundial para la construcción de estructuras ligeras, a excepción de Japón en donde el material más usado es el PVC.



Figura 1.1: Vista interior de un Invernadero.

El polietileno es probablemente el polímero que más se ve en la vida diaria; es el plástico más popular del mundo, con el cual se que hace las bolsas de almacén, los frascos de champú, los juguetes de los niños, e incluso chalecos a prueba de balas.

Uno de los problemas de tipo económico-social de difícil solución con el que se enfrentan los países del mundo es lo referente a la agricultura, que apenas ha cambiado frente a la industria que realiza enormes progresos de todo tipo.



Pues bien, la aplicación de los materiales plásticos en la agricultura moderna está contribuyendo a resolver muchos de los problemas que se le presentan al agricultor.

Durante los últimos años estas aplicaciones se han extendido con tal rapidez que actualmente constituyen un complemento indispensable en numerosas técnicas de cultivo. Algunas de las más importantes innovaciones en estas técnicas han implicado a los materiales plásticos que, en sus diversas formas, encuentran más de 200 aplicaciones útiles para las necesidades directas e indirectas de los agricultores.

En la era de los plásticos, la agricultura no podía ser una excepción y la PLASTICULTURA, ciencia joven de no más de 20 años, que se ocupa de la ingeniería de la utilización de los plásticos en la agricultura y horticultura modernas, está contribuyendo eficazmente a elevar el nivel de vida de muchos agricultores en todo el mundo.

Los materiales plásticos, en su versatilidad, llegan incluso a presentar soluciones distintas, según sea el clima en el que han de utilizarse, son capaces de adaptarse con facilidad y rapidez a diversas funciones gracias a sus características (ligeros, flexibles o rígidos, transparentes u opacos, de fácil fabricación y manipulación, resistentes a productos químicos, a las heladas, etc.) y los gastos de inversión no son, en general, elevados.

Aunque el precio de los plásticos ha aumentado sensiblemente a partir de la crisis de la energía, estos materiales siguen siendo una inversión válida para la producción de alimentos, ya que permiten ahorro de energía y de agua,



facilitando así el aumento del rendimiento en tierras frías, permitiendo la recuperación de terrenos no adecuados para el cultivo.

Se entiende por invernadero todo cierre o invernáculo de construcción más o menos perfecta, cuyo ambiente puede ser controlado y bajo el cual se cultivan plantas hortícolas y ornamentales, también puede definirse como construcciones que tienen por objeto la producción sistemática y fuera de estación de productos hortofrutícolas, convirtiéndose en un elemento de trabajo, que permite controlar eficazmente los rendimientos en calidad y cantidad. El invernadero o abrigo así visto, se transforma en un factor de seguridad para el cultivo.

La reducción de los intercambios de aire con la atmósfera exterior, la transmisión de onda corta (radiación solar) y la absorción parcial o total de radiación de onda larga por el material de cubierta provocan un aumento de temperatura con respecto al exterior, a esto se le conoce como el Efecto Invernadero.

De un material de cubierta debemos esperar que:

- Durante su vida útil conserve sus características.
- La transmisividad a la luz solar sea la máxima posible.

Son características deseadas para una mayor precocidad, productividad y calidad de las cosechas.

El cultivo bajo invernadero siempre ha permitido obtener producciones de primera calidad y mayores rendimientos, en cualquier momento del año, a la



vez que permiten alargar el ciclo de cultivo, permitiendo producir en las épocas del año más difíciles y obteniéndose mejores precios. Este incremento del valor de los productos permite que el agricultor pueda invertir tecnológicamente en su explotación mejorando la estructura del invernadero, los sistemas de riego localizado, los sistemas de gestión del clima, etc., que se reflejan posteriormente en una mejora de los rendimientos y de la calidad del producto final.

1.2 CONCEPTOS

1.2.1 Polietileno

Se le designa con las siglas PE.

Es el material plástico más conocido del mundo, como se mencionó anteriormente, debido a su precio, a sus buenas propiedades mecánicas, y a la facilidad para incorporar aditivos que mejoran sus prestaciones.

Por ser un material tan versátil, tiene una estructura muy simple, la más simple de todos los polímeros comerciales. Una molécula del polietileno no es nada más que una cadena larga de átomos de carbono, con dos átomos de hidrógeno unidos a cada átomo de carbono.

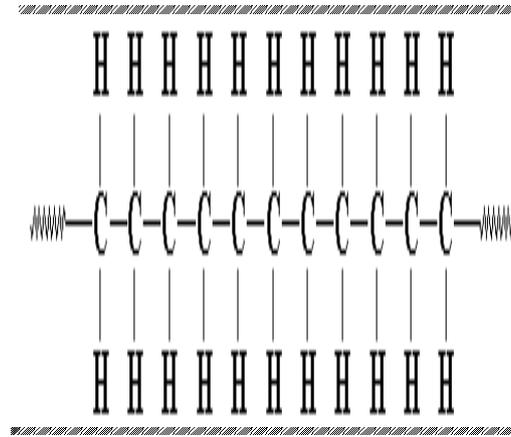


Figura 1.2: Estructura interna del polietileno.

En ocasiones es un poco más complicado. A veces algunos de los carbonos, en lugar de tener hidrógenos unidos a ellos, tienen asociadas largas cadenas de polietileno. Esto se llama polietileno ramificado, o de baja densidad.

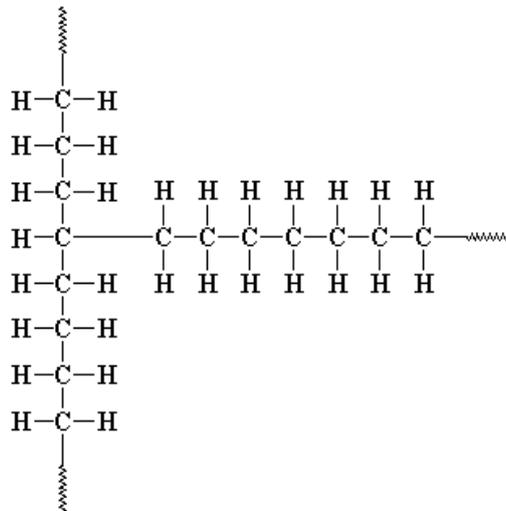


Figura 1.3: Estructura interna del polietileno de baja densidad.



Cuando no hay ramificación, se llama polietileno lineal. El polietileno lineal es mucho más fuerte que el polietileno ramificado, pero el polietileno ramificado es más barato y más fácil de hacer.

El PE junto al PVC, son los termoplásticos de más consumo. El PE se obtiene mediante la polimerización del etileno utilizándose en su fabricación varios procesos y sistemas catalíticos. La mayor parte del PE para invernaderos se fabrica por el proceso de alta presión y catálisis de radicales libres mediante peróxidos.

Atendiendo a su densidad los PE se clasifican en:

- Baja densidad $< 930 \text{ kg/m}^3$.
- Media densidad $930\text{-}940 \text{ kg/m}^3$.
- Alta densidad $> 940 \text{ kg/m}^3$.

1.2.1.1 PE de Alta Densidad

Es un polímero obtenido del etileno en cadenas con moléculas bastantes juntas. Es un plástico incoloro, inodoro, no tóxico, fuerte y resistente a golpes y productos químicos. Su temperatura de ablandamiento es de 120°C . Se utiliza para fabricar envases de distintos tipos de fontanería, tuberías flexibles, prendas textiles, contenedores de basura, papeles, etc. Todos ellos son productos de gran resistencia y no atacables por los agentes químicos.

1.2.1.2 PE de Mediana Densidad

Se emplea en la fabricación de tuberías subterráneas de gas natural los cuales son fáciles de identificar por su color amarillo.



1.2.1.2 PE de Baja Densidad

Es un polímero con cadenas de moléculas menos ligadas y más dispersas. Es un plástico incoloro, inodoro, no tóxico, más blando y flexible que el de alta densidad. Se ablanda a partir de los 85°C. Por tanto se necesita menos energía para destruir sus cadenas, por otro lado es menos resistente. Aunque en sus más valiosas propiedades se encuentran un buen aislante. Lo podemos encontrar bajo las formas de transparentes y opaco. Se utiliza para bolsas y sacos de los empleados en comercios y supermercados, tuberías flexibles, aislantes para conductores eléctricos (enchufes, conmutadores), juguetes, etc. que requieren flexibilidad.

Para cerramiento de invernaderos se utiliza sólo el de baja densidad (baja cristalinidad) y alto peso molecular (bajo índice de fluidez). Una de las características del PE es que su alargamiento en el punto de rotura es cercano al 500% (Comprobado en laboratorio). Un material se considera degradado cuando su alargamiento se ha reducido en un 50% de su valor inicial. El polietileno, al igual que todas la poliolefinas es degradado por la radiación UV y el oxígeno. La exposición a la intemperie provoca su rotura al perder las propiedades mecánicas.



Figura 1.4: Invernadero con cubierta flexible.

Esto se mejora añadiendo aditivos que limitan la acción de la radiación UV, consiguiendo aumentar la vida del plástico, obteniendo el PE Larga Duración con aditivos como:

- Absorbentes de radiación UV (derivados de benzotriazoles y benzofenonas).
- Secuestradores de radicales libres.
- Desactivadores (sales orgánicas de níquel).
- Estabilizantes (Hindered Amines Light Stabilizers).

Se puede hacer dos grandes grupos de aditivos:

- Aditivos de proceso: destinados a evitar la degradación térmica durante la extrusión (antioxidantes) o para mejorar la procesabilidad del polímero.



- Aditivos de aplicación: Se añaden al polímero con el fin de obtener las cualidades deseadas: deslizantes, antibloqueo, estabilizantes frente a UV, aditivos térmicos, pigmentos.

El polietileno es un material termoplástico semicristalino que posee buenas propiedades mecánicas, gran inercia química, alta aislación eléctrica, apolar, no absorbe humedad, inodoro e inerte fisiológicamente. En forma general, el film de polietileno tiene una utilización generalizada como elemento fundamental de estanqueidad e impermeabilidad; sin embargo, su empleo se ha extendido a todas las áreas industriales.

El film tricapa, que es el más utilizado en los invernaderos, aparte de contener aditivos protectores contra la degradación UV, que le incrementa su vida útil y por lo tanto las temporadas de uso, se fabrica con propiedades selectivas de mayor interés para los agricultores como son la transmisión de la luz y la termicidad del film y con aditivos que mitigan los efectos causados por elementos físico químicos del ambiente interno y externo de la cubierta, como: evapotranspiración, pesticidas, polvo y otros.

Los film fabricados para invernaderos, siempre contendrán la aditivación requerida para su protección solar y para entregarle un grado térmico que cumpla el efecto invernadero. Otras propiedades requerirán aditivos específicos o según las necesidades del agricultor, tales como; niquelado, antifog, antipolvo, etc.



De estudios comparativos de eficacia y costo, entre distintos materiales existentes en el mercado, surge sin lugar a dudas, que el envoltente más conveniente para este tipo de construcción es el film de polietileno de 200 micrones de espesor, que se emplea en la mayoría de ellas, y que reúne las mejores condiciones respecto al costo (Tabla 1.1).

Tabla 1.1 Porcentaje de transparencia en distintos materiales.

MATERIAL	TRANSPARENCIA (%) (al infrarrojo)
Cristal de 3 mm	0,00
Poliéster (placa)	0,50
PVC de 1 mm (placa)	0,50
Polietileno térmico de 0,2 mm	18,00
PVC de 0,2 mm	28,00
Copolímero de 0,2 mm	18,00
PVC de 0,1 mm	32,00
Polietileno de 0,5 mm (c/aditivos)	56,50
Polietileno de 0,5 mm (s/aditivos)	77,00

Este film delimita, separará el interior del exterior, permitiendo el ingreso de los rayos solares, fundamentalmente la radiación de onda corta (U.V.), necesarios para satisfacer los requerimientos diurnos de los cultivos.

1.2.2 Policloruro de vinilo (PVC)

Se designa con las siglas PVC.

El PVC es un material plástico más versátil, pues puede ser fabricado con muy diversas características, añadiéndole aditivos que se las proporcionen. Es muy



estable, duradero y resistente, pudiendo hacerse menos rígido y más elástico si se le añaden un aditivo más plastificante.

Es un material rígido que mediante plastificantes se consigue transformar en flexible. Su densidad es de 1250 - 1500 kg/m³, siendo más pesado que el PE. Su resistencia al rasgado es muy baja, por lo que requiere de estructuras poco agresivas que mantengan bien sujeta la película. También se le añaden antioxidantes, estabilizantes y absorbentes UV. Transmite la luz visible en porcentajes elevados, pero con baja dispersión. Su elevada electricidad estática hace que el polvo se adhiera fácilmente, restándole transmisividad.

Comenzó a fabricarse industrialmente en 1931, en la empresa alemana IG Farben industrie, gracias a los trabajos de Hubert y Schönburg.

Su capacidad para admitir todo tipo de aditivos permite que pueda adquirir propiedades muy distintas y teniendo en cuenta su precio relativamente bajo le hace ser un material muy apreciado y utilizado para fabricar multitud de productos. Así puede ser flexible o rígido; transparente, translúcido o completamente opaco; frágil o tenaz; compacto o espumado.

Se obtiene por polimerización¹ del monómero cloruro de vinilo. Procede del acetileno y del etileno, derivados éstos del petróleo y de la hulla. Este material es rígido y es necesario añadirle plastificantes, con objeto de obtener láminas flexibles.

Se presenta en placas lisas u onduladas con espesores entre 1 a 2 mm.

¹ Reacción química en la que dos o más moléculas se combinan para formar otra en la que se repiten unidades estructurales de las primitivas.



Su principal ventaja es una opacidad a la radiación térmica menor del 40%, y una alta transparencia a la radiación visible, aproximadamente del 90%.

Los filmes de PVC se presentan en su versión de PVC armados que consisten en una red interior que mejora las cualidades físicas de la lámina, pero se reduce la transparencia.

1.3 USO DE LOS MATERIALES Y SU IMPORTANCIA EN LA CONSTRUCCIÓN

Los plásticos no sólo se utilizan en aplicaciones ya clásicas, sino que han dado lugar al desarrollo de aplicaciones nuevas. Tal es el caso del riego gota a gota, técnica en la que los plásticos han hecho posible pasar de las investigaciones a nivel de laboratorio, al riego de grandes extensiones de cultivos.

En general, puede decirse que la PLASTICULTURA se desarrolla en los años 60 en los países más avanzados agrónomicamente; lo primero que los plásticos aportan al agricultor, es SEGURIDAD.

En verdad, la idea de una cubierta transparente en el cultivo de vegetales es muy antigua. El vidrio aún se emplea en los invernaderos, si bien encuentra una gran competencia en los filmes plásticos, especialmente en PE y en menor grado en PVC.

Gracias a la flexibilidad de estos filmes se ha podido llevar a cabo, además de invernaderos, el acolchado del terreno y el uso de túneles bajos.



Las aplicaciones más importantes de los materiales plásticos en la agricultura moderna son las siguientes, las cuales resumimos en la tabla 1.2, que van perfeccionándose y ampliándose a medida que aparecen nuevos materiales (tabla 1.3) .

Tabla 1.2 Aplicaciones más importantes de los plásticos en agricultura.

Protección de cultivos	Desinfección de suelos Semilleros Acolchado de suelo Corta-vientos Túneles bajos Redes
Protección de productos	Ensilado de forrajes Envases y embalajes Conservación Transporte
Protección de maquinaria	Cobertizos Toldos
Contención de agua	Embalses Riego Protección contra ceniza
Mejoramiento del suelo	Drenaje Espumas

**Tabla 1.3:** Nuevos materiales.

-Filmes antigoteo
-Filmes de PE termoaislantes y de larga duración
- Filmes de copolímero EVA
-Filmes fotoselectivos para productos de mejor calidad, precoces o tardíos.
-Filmes opacos térmicos para acolchados
-Filmes fotodegradables
-Filmes verdes para plantas exigentes en calor
-Filmes anti-vaho, interesantes para espárragos.
-Laminados de PEE con poliéster aluminizado(ahorro de energía)
-Placas de poliéster/fibras de vidrio recubiertas con filmes de PVF, para aumentar la durabilidad.

Los fines de las investigaciones en la aplicación de los materiales plásticos en agricultura son:

- Ahorro de energía y de agua.
- Mayor duración de los materiales plásticos.
- Plásticos a medida para aplicaciones específicas.
- Desarrollo de nuevas técnicas de cultivo, posibles solo gracias al concurso de los plásticos.
- Aprovechamiento de la energía solar con ayuda de los plásticos.



1.3.1 ¿Por qué el plástico aumenta la producción?

La eficiencia del polietileno en la actividad agrícola se establece comparando producciones bajo invernadero y al aire libre con idénticos productos en zonas iguales. La cubierta no se usa solamente para evitar que el agua se precipite sobre el cultivo, aunque es muy común esta idea. El polietileno brinda a las plantas protección efectiva en sus diferentes etapas de desarrollo.

Son muchos los factores que contribuyen a beneficiar una plantación protegida bajo invernadero. Entre ellos se destacan los siguientes:

1.3.1.1 Difusión de luz (Estabilización térmica)

Es la propiedad que tienen las cubiertas de cambiar la dirección de los rayos solares distribuyéndola equitativamente por toda el área para beneficiar a todo el invernadero en su conjunto y a la vez impedir que lleguen directamente a la planta.

Este factor permite el desarrollo armónico del cultivo y ayuda a obtener frutos más homogéneos y sanos.

1.3.1.2 Fotosíntesis (Luz par)

El proceso fotosintético se ve favorecido dentro del invernadero, debido en gran medida a la forma en que es difundida la luz y a la conservación de temperaturas homogéneas, que deben ser en términos generales, las óptimas.



1.3.1.3 Microclima

Manejar un microclima que permita controlar y mantener las temperaturas óptimas, aportará en cosechas más abundantes y de mejor calidad, reconocidas en el mercado por mejores precios. Adicionalmente permite programar las cosechas para épocas de escasez.

Este es el parámetro más importante a tener en cuenta en el manejo del ambiente dentro de un invernadero, ya que es el que más influye en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Normalmente la temperatura óptima para las plantas se encuentra entre los 10 y 20° C.

Para el manejo de la temperatura es importante conocer las necesidades y limitaciones de la especie cultivada.

Tabla 1.4: Exigencias de temperatura para distintas especies.

	TOMATE	PIMIENTO	BERENJENA	PEPINO	MELÓN	SANDÍA
T° mínima letal	0-2	(-1)	0	(-1)	0-1	0
T° mínima biológica	10-12	10-12	10-12	10-12	13-15	11-13
T° óptima	13-16	16-18	17-22	18-18	18-21	17-20
T° máxima biológica	21-27	23-27	22-27	20-25	25-30	23-28
T° máxima letal	33-38	33-35	43-53	31-35	33-37	33-37



La temperatura en el interior del invernadero, va a estar en función de la radiación solar, la misión principal del invernadero será la de acumular calor durante las épocas invernales.

1.3.1.4 Luminosidad

Dentro de un invernadero se puede obtener mayor o menor luminosidad, dependiendo de su diseño y de su cubierta.

Los invernaderos metálicos permiten ingresar una mayor cantidad de luz porque cubren mayor área útil que los de madera, empleando menores espacios con los perfiles.

También es importante tener en cuenta que en días nublados se reduce la transmisión de luz a lo que la transparencia del material de cubierta sobresale en importancia.

El espesor no contribuye ni afecta la transmisión de luz al interior del invernadero. Una película calibre 8 (200 mic.) transmite prácticamente la misma luz que una cubierta calibre 2 (50 mic).

Sin embargo la transmisión de luz sí varía dependiendo del ángulo de los rayos solares. En las mañanas y en el atardecer cuando los rayos llegan más oblicuos se reduce la transmisión debido al incremento de la reflexión.

A mayor luminosidad en el interior del invernadero se aumenta la temperatura, la humedad relativa y el CO_2 , con esto la fotosíntesis será máxima; por el contrario, si hay poca luz pueden descender las necesidades de otros factores.

Para mejorar la luminosidad natural se usan los siguientes medios:

- Materiales de cubierta con buena transparencia.
- Orientación adecuada del invernadero.



- Materiales que reduzcan el mínimo las sombras interiores.
- Aumento del ángulo de incidencia de las radiaciones sobre las cubiertas.
- Acolchados del suelo con plástico blanco.



Figura 1.5: Luminosidad en el interior del invernadero.

1.3.1.5 Humedad relativa

La humedad es la masa de agua en unidad de volumen, o en unidad de masa de aire. La humedad relativa es la cantidad de agua contenida en el aire, en relación con la máxima que sería capaz de contener a la misma temperatura.

Existe una relación inversa de la temperatura con la humedad por lo que a elevadas temperaturas, aumenta la capacidad de contener vapor de agua y por tanto disminuye la HR. Con temperaturas bajas, el contenido en HR aumenta.

Cada especie tiene una humedad ambiental idónea para vegetar en perfectas condiciones: al tomate, al pimiento y berenjena les gusta una HR sobre el 50-60%; al melón, entre el 60-70%; y al pepino entre el 70-90%.



La HR del aire es un factor climático que puede modificar el rendimiento final de los cultivos. Cuando la HR es excesiva las plantas reducen la transpiración y disminuyen su crecimiento. Por el contrario, si es muy baja, las plantas transpiran en exceso, pudiendo deshidratarse.

1.3.1.6 Anhídrido Carbónico (CO₂)

El anhídrido carbónico de la atmósfera es la materia prima imprescindible de la función clorofílica de las plantas. El enriquecimiento de la atmósfera del invernadero con CO₂, es muy interesante en muchos cultivos, tanto en hortalizas como en flores.

La concentración normal de CO₂ en la atmósfera es del 0,03%. Este índice debe aumentarse a límites de 0,1-0,2%, cuando los demás factores de la producción vegetal sean óptimos, si se desea el aprovechamiento al máximo de la actividad fotosintética de las plantas. Las concentraciones superiores al 0,3% resultan tóxicas para los cultivos.

En los invernaderos que no se aplique anhídrido carbónico, la concentración de este gas es muy variable a lo largo del día. Alcanza el máximo de la concentración al final de la noche y el mínimo a las horas de máxima luz que coinciden con el mediodía. En un invernadero cerrado por la noche, antes de que se inicie la ventilación por la mañana, la concentración de CO₂ puede llegar a límites mínimos de 0,005-0,01%, que los vegetales no pueden tomarlo y la fotosíntesis es nula. En el caso que el invernadero esté cerrado durante



todo el día, en épocas demasiado frías, esa concentración mínima sigue disminuyendo y los vegetales se encuentran en situación de extrema necesidad en CO_2 para poder realizar la fotosíntesis.

Los niveles aconsejados de CO_2 dependen de la especie o variedad cultivada, de la radiación solar, de la ventilación, de la temperatura y de la humedad. El óptimo de asimilación está entre los 18 y 23° C de temperatura, descendiendo por encima de los 23-24° C. Respecto a la luminosidad y humedad, cada especie vegetal tiene un óptimo distinto.

1.3.1.7 Lluvias

El ingreso de gotas o lluvia impulsada por el viento, debe ser controlado desde el diseño, ya que estos factores aumentan la humedad en el área con las consecuencias referidas en el párrafo referente a exceso de humedad relativa.



Figura 1.6: Diseño interior deberá evitar ingreso de gotas.

1.3.1.8 Luz ultravioleta

La utilización de plásticos con propiedades para bloquear el paso de la luz ultravioleta beneficia a las plantas porque evita que se filtre por el plástico el rango de luz UV que estresa a las plantas, que tiene el efecto detrimento², y que contribuye a producir ennegrecimiento, quemazón y plagas. El plástico impide el paso de esta luz y consigue que se reflecte o se absorba. Adicionalmente, el plástico consigue que la luz que ingresa al invernadero se difunda en ciertas proporciones, beneficiando la plantación al distribuir homogéneamente la luz en el espacio protegido.

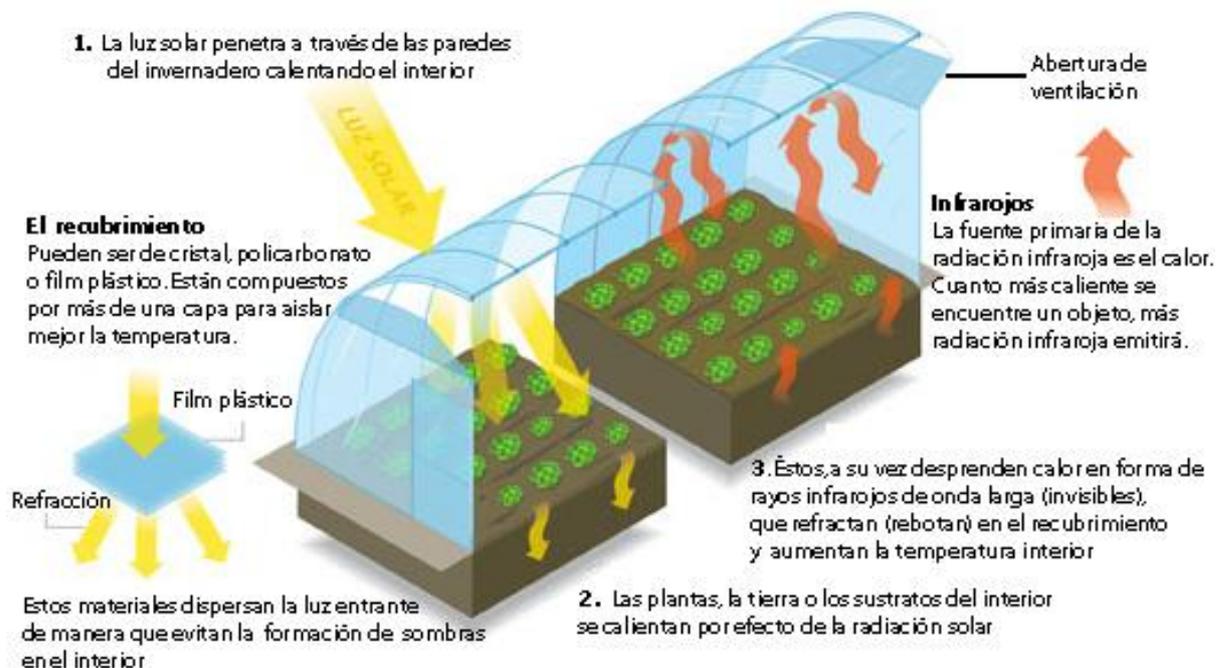


Figura 1.7: Efectos de la luz sobre el invernadero.

² Destrucción leve o parcial



1.3.1.9 Viento

El viento es uno de los factores más importantes en el diseño de un invernadero de ambientación climática natural.

En los invernaderos inteligentes, el balance térmico es logrado por equipos que reaccionan ante sensores electrónicos y actúan permanentemente en la estabilización de temperaturas, humedad, etc.

En el caso de invernaderos sencillos, el balance térmico se logra aprovechando óptimamente la velocidad y la dirección de los vientos. En ambientación térmica natural, el viento ejerce el papel de motor del invernadero y contribuye eficazmente a:

- Balancear las temperaturas.
- Reducir la humedad relativa.
- Polinizar las plantas.
- Oxigenar la plantación.

La dirección del viento es determinante en función de varios aspectos:

- Protección de la estructura porque esta debe situarse en dirección que evite ser dañada por vientos extremos.
- Evitar que los gases acumulados en la parte superior circulen entre las plantas.
- La orientación del cultivo para la ventilación de las plantas y su consiguiente polinización.



1.3.1.10 Aves y otros depredadores

Dentro de un invernadero deben brindarse condiciones apropiadas para que el cultivo esté a salvo de pájaros y otros depredadores que pudieran perjudicar los resultados de la plantación y/o traer consigo plagas y enfermedades.

1.3.2 Principales ventajas del uso del polietileno y PVC film en los invernaderos

- Proteger las plantas de la luz UV.
- Mejorar temperatura en el ambiente.
- Proteger el cultivo de las inclemencias del tiempo tales como Lluvias, Granizo, Heladas, Viento etc.
- Aumento sustantivo de la productividad.
- Reducción de costos.
- Precocidad de cosechas (se acorta el ciclo vegetativo).
- Mayores rendimientos (3-5 veces respecto a plantaciones al aire libre).
- Posibilidad de obtener cosechas fuera de época.
- Frutos de mayor calidad (limpios, sanos y uniformes).
- Ahorro de agua (menor evaporación).
- Control de plagas.
- Posibilidad de instalación de riegos automáticos.
- Siembra de variedades escogidas con rendimientos máximos.

Los puntos expuestos en los párrafos anteriores dejan claramente establecido que el grado de protección y abrigo que una plantación tiene en un invernadero no puede ser conseguido al aire libre y es la razón fundamental por la cual es mucho más alta la productividad bajo invernadero.



CAPÍTULO II

ESTUDIO DE MATERIALES

RESUMEN

En este capítulo se presenta las especificaciones técnicas para la instalación y uso de los plásticos en los invernaderos.

Por medio del laboratorio de resistencia de materiales de la ESPE, se ha podido ensayar materiales mediante la prueba de tracción a cables de acero, plásticos como el polietileno nuevo y viejo, pvc film nuevo; se presenta por medio de tablas y curvas, obteniendo resultados muy interesantes.



2.1 OBTENCIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS NECESARIAS PARA SU INSTALACIÓN Y USO EN CONSTRUCCIÓN

Considerando únicamente los invernaderos cubiertos con plástico, cabe tener en cuenta los siguientes puntos:

- El diseño en la construcción del invernadero.
- La composición química y las propiedades de la película de cubierta.
- El sistema de sujeción del plástico.
- El tensado de la película sobre la estructura.
- La ventilación como parte de la estructura.

Todo ello, lleva a la conclusión de que las estructuras actuales de invernaderos de cubierta plástica, tendrían una calidad limitada si no se toma en cuenta la lista siguiente de requerimientos mínimos:

- Bajo costo de construcción y de mantenimiento.
- Resistencia máxima contra la acción del viento.
- Sistema de cambio de película simple y con baja necesidad de mano de obra.
- Elementos de sujeción de la película desconectables e integrados con la construcción.
- Eliminación del daño en la lámina debido a la acción del viento.
- Uso de elementos sencillos de tensión.
- Eliminación del contacto entre la lámina y la parte de la estructura que es calentada por la radiación solar, por consiguiente la posibilidad de cubrir la estructura ya sea con lámina o con plástico rígido.



- Ventilación efectiva.
- Construcción hermética (casos específicos).
- Eliminación de pérdidas por infiltración.
- Alta transmisividad de la película en el caso de que se use como doble cubierta.
- Alta transmisividad de la construcción.
- Eliminación del goteo procedente de la condensación por la elección de la adecuada pendiente del techo, tratamiento de la lámina con los nuevos sistemas antigoteo y diseño geométrico.
- Suficiente altura de las paredes laterales.
- Escasez de elementos estructurales dentro del invernadero para permitir la mecanización del cultivo.

El Polietileno y PVC film se considerará que es bueno si:

- Es económico, lo cual no significa necesariamente que sea el más barato.
- Su duración coincide con la declarada por el comerciante.
- Ofrece la máxima transparencia a la radiación solar, principalmente dentro del rango de la llamada visible o fotosintéticamente activa, luz par.
- Retiene la mayor cantidad posible del infrarrojo largo, esto es, el calor emitido por el suelo y las plantas del invernadero, después de que ambos hayan absorbido la radiación solar incidente (en otras palabras, el material debe generar el denominado efecto invernadero, en el máximo grado posible). Por tanto los PE (polietilenos) deben contener cargas que absorban el infrarrojo largo.
- Evita que el calor atrapado previamente se escape del invernadero.
- No atrae polvo o al menos que sea fácil de lavar con agua pura o con una solución de ácido oxálico al 6%, ya que de no cumplirse esta



premisa, las propiedades de transparencia a la luz se reducen drásticamente (El material debe ser antiestático)

- Evita la condensación de gotas grandes en la cara interior del material, pero favorece la condensación en forma de una película continua, que aumenta las propiedades térmicas del filme de polietileno y que escurre por gravedad hacia las zonas laterales, en lugar de caer sobre las plantas. A menudo es necesaria la inclusión de un agente anticondensación.
- Desafortunadamente, no todos los materiales que se ofrecen en el mercado, tienen las características mencionadas. Una manera de combatir la propaganda exagerada y carente de rigor, es el tener los productos etiquetados con una marca de calidad, certificada por una institución nacional o internacional de prestigio indudable.

2.1.1 Instalación y tensado de las películas en las estructuras ligeras

2.1.1.1 Instalación de las películas

Los sistemas de sujeción del plástico deben ser diseñados de manera que movilice el menor número de personas durante el tiempo más corto posible. El quitar el plástico, debe ser también una operación rápida y el tensado debe ser tal, que evite que la película se mueva por la acción del viento.

Para evitar cualquier tipo de rasgado, la película debe fijarse sin discontinuidad. Debe estar cubierta por el suelo a todo lo largo de los laterales o deben usarse perfiles especiales. Se puede encontrar una serie de elementos de sujeción de plástico, aluminio o acero, diseñados todos ellos para acelerar las operaciones de instalación o de retirada del plástico.

Los perfiles de sujeción deben cumplir los siguientes requisitos:

- No deben tener bordes afilados.
- El montaje debe hacerse rápidamente sin necesidad de usar ningún tipo de herramienta de corte.
- Deben poder sujetar dos películas al mismo tiempo.

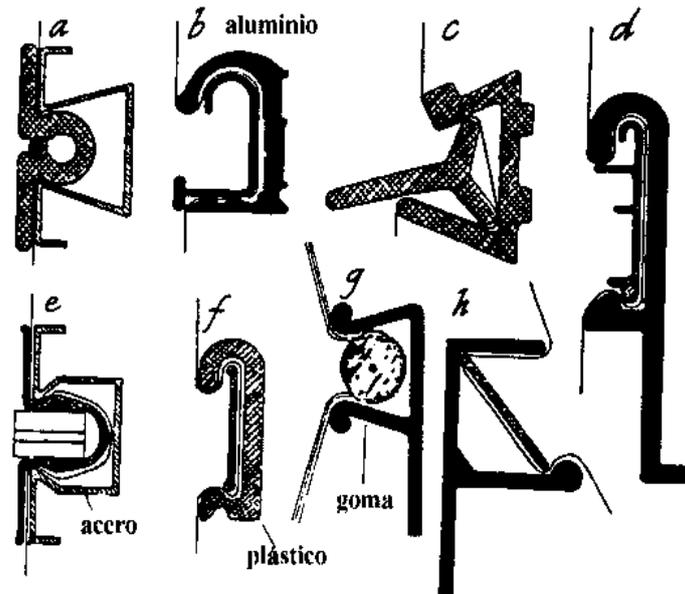


Figura 2.1 Diversos sistemas de fijación de la película plástica.

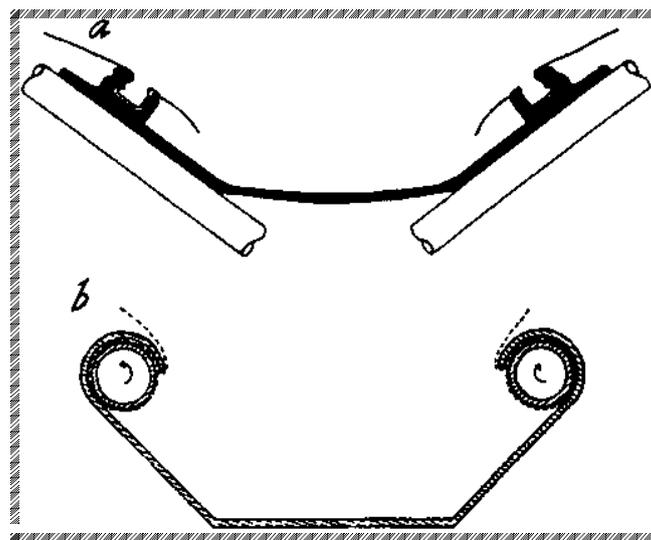


Figura 2.2 Combinación de elemento de fijación y canalón.

La figura 2.2 muestra la combinación de canal de pluviales y del elemento de sujeción integrado en el mismo. En el esquema **(a)** el elemento de fijación es una parte integral del canal, mientras que en el esquema **(b)**, el canal está diseñado de manera que la película puede enrollarse en una tubería y fijarse en un recodo.

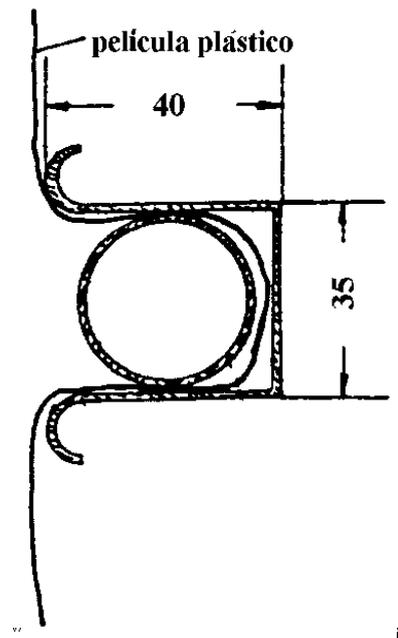


Figura 2.3 Fijación por inserción de tubo de plástico en perfil de acero.

La figura 2.3 muestra un perfil de acero que es al mismo tiempo un elemento de la construcción del invernadero y un elemento de fijación de la película. El filme se sujeta por medio de tuberías de plástico empotradas en el perfil metálico. La figura 2.4 muestra otro perfil de plástico de diseño especial.

Este perfil plástico se fija a la construcción del invernadero cada 2 m, desde la cumbrera hasta el canal. Las películas de plástico sencillo o doble, se enrollan alrededor de una especie de guía, que es una cuerda plástica y esta guía se hace pasar por el interior del perfil, de manera que es posible pasar el plástico

desde un canal a la zona de la cumbrera y de ésta al siguiente canal. Es un sistema muy estable que permite la reparación rápida de cualquier daño, puesto que se reemplaza únicamente la parte de plástico comprendida entre dos cercos.

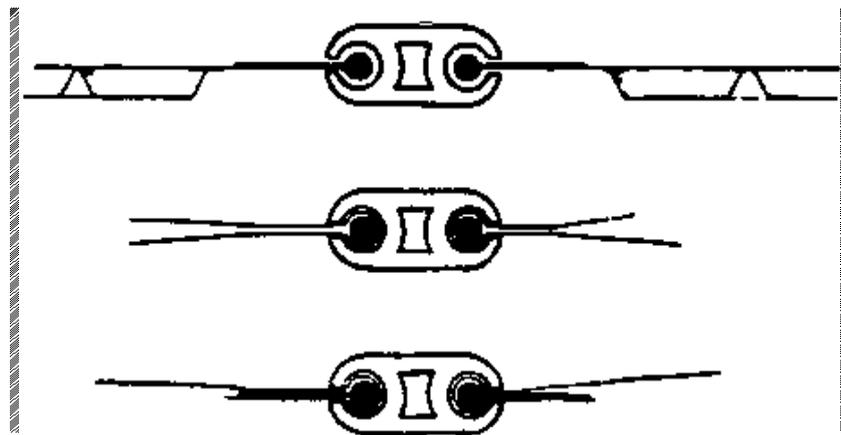


Figura 2.4 Perfil especial de plástico para fijación de película.

En algunos países el plástico queda fijado y tensado a la estructura, por medio de unas zanjas cavadas en el suelo a todo lo largo de los laterales de la construcción. Los agricultores cavan ambas zanjas a los dos lados del invernadero, tensan el filme sobre la estructura, dejan caer sus bordes dentro de las zanjas y las cubren con tierra, este sistema como se ve no es el más adecuado, pero en algunos casos es práctico.

2.1.1.2 Tensado de las películas de plástico

Una vez extendida la película. Puede ser tensada de distintas maneras utilizando:

- Los perfiles de sujeción.
- Cuerdas de plástico extendidas sobre la película.

- Barras de fibra de vidrio.
- Algún tipo de mecanismo. (Véase la figura 2.5).
- Enrollado de la película en una tubería en el canalón. (Véase figura 2.2).
- Lámina doble inflada con aire.
- Un tubo de plástico inflado. (Véase la figura 2.6).
- La presión dentro del invernadero.

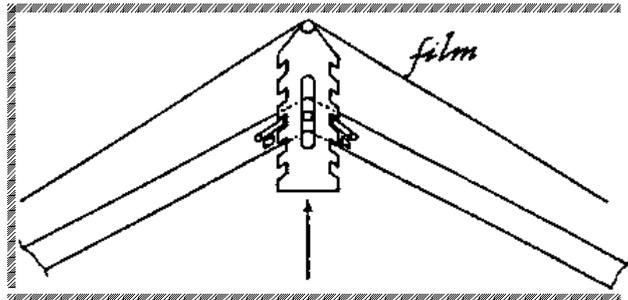


Figura 2.5 Tensado de plástico con dispositivo mecánico.

Tanto los elementos de sujeción como de tensado del filme son muy importantes, afectan a la duración de la película y de la construcción. Generalmente cuando se aumenta el costo de la construcción, aumenta también la seguridad en la producción y la disminución de los costos de mano de obra.

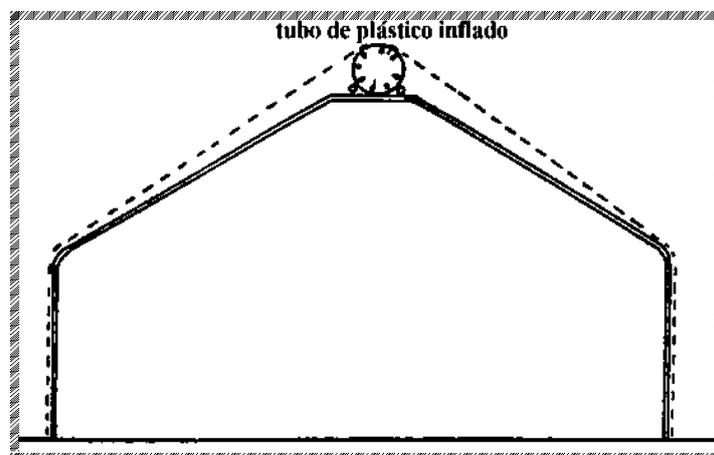


Figura 2.6 Tensado por medio de tubo de plástico inflado.

Para evitar que la película se destruya prematuramente, no debe permitirse que se sobrecaliente en la zona de contacto con elementos metálicos del invernadero, ni que se destense. Se recomienda pintar de blanco las zonas superiores de los tubos, en los que se apoya la película para que el sol se refleje, lo máximo posible, en lugar de ser absorbido o poner materiales aislantes pegados a los tubos. Otra solución posible, consiste en cortar trozos de tubería sintética y cubrir con ellos los tubos metálicos.

Si ha usado pintura acrílica blanca en las superficies que estarán en contacto con el polietileno, conviene esperar a que esté totalmente seca, antes de colocar el polietileno.

Iniciar la fijación del polietileno cuando la temperatura ambiente sea suficiente para entibiarlo y adquiera flexibilidad.

Para estirar la lámina de los extremos, fijarla a la estructura y darle tensión, use listones de 2 por 2 pulgadas donde enrolle dos vueltas del polietileno como base al tomarlo. No lo sobreestire para no reducir su duración. Se fija a los extremos del invernadero con los listones en los cuales se enrolló, cuidando que, una vez colocado el polietileno, el agua de la lluvia escurra sobre él y no entre hacia el listón, apozándola.

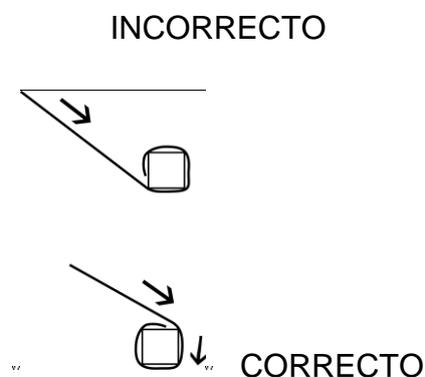


Figura 2.7 Forma de enrollar el polietileno.



2.1.2 Cálculo de las estructuras

Para hacer el cálculo de las estructuras, se debe distinguir entre cargas permanentes y sobrecargas de funcionamiento. Entre las cargas permanentes, la principal es la del material de cobertura, que va desde 7-15 kg/m² cuando se usa vidrio, hasta una carga despreciable en el caso de láminas de polietileno. El peso de algunos materiales de cobertura es aproximadamente el siguiente:

- Polietileno de 200 micras 0.02 Kg/m²
- Polietileno de 100 micras 0.01 Kg/m²
- PVC film 0.02 Kg/m²

Entre las sobrecargas, se consideran las ocasionadas por el clima de la zona y las sobrecargas de funcionamiento, tales como sostener equipos de calefacción, refrigeración, riego, humidificación, iluminación, acondicionamiento de cultivos. Existe gran influencia de las techumbres de los invernaderos sobre las sobrecargas debidas al clima, ya que si la pendiente es superior a los 20°, las sobrecargas se reducen en porcentajes superiores al 2%. Las sobrecargas debidas al clima son normalmente cerca de los 25 a 50 Kg/m². No obstante, la sobrecarga más importante es la originada por el viento.

Es importante destacar que la fortaleza del invernadero, no se basa en la tenacidad de los materiales con que se construye, sino en el diseño del mismo, el que debe ser cuidadoso, observando cada una de las estructuras que participan, los esfuerzos a los que se someten las partes debe ser de tensión y no de compresión, los arriostramientos de estas estructuras deben ser longitudinales para contrarrestar la fuerza tangencial horizontal del viento, el



buen anclaje de los materiales de cubierta, etc. Respecto a las cargas que generan los equipos de riego, refrigeración y otros, estas no deben calcularse por debajo de los 15 kg/m^2 . En cultivos se deben considerar sobrecargas de entre $14\text{-}16 \text{ kg/m}^2$.

2.1.2.1 Construcción

La resistencia al viento es función no sólo de la calidad de la construcción, sino del tipo del material de cubierta, sus elementos de sustentación y su tensado, se debe evitar el destensado y el uso de clavos.

La ventilación será insuficiente en invernaderos multimodulares con ventilación únicamente a través de sus laterales, si tienen una anchura superior a los 25 m. La ventilación lateral es la más económica para los invernaderos de plástico. La ventilación cenital es más costosa, en el caso de los invernaderos multimodulares. La ventilación forzada consume una cantidad relativamente elevada de electricidad. Los canales son elementos constructivos integrados en el invernadero y deben usarse para recoger el agua de lluvia y para sujetar la película.

Las construcciones en acero deben hacerse con forma de arco redondeado o de arco en punta, puesto que son más apropiadas para el tensado de la película de plástico.

2.1.2.2 La cubierta

Los requisitos que deben cumplir las películas son:



- Las películas deben durar sobre la estructura al menos un año -deben tener la máxima transparencia posible a la radiación solar.
- Deben absorber el máximo de radiación de longitud de onda.
- Deben tener propiedades antigoteo, esto significa que deben evitar la formación de gotas en la cara interior del material y la condensación debe formar una capa continua de agua, que escurra por gravedad.
- La duración del filme va ligada a la manera en que ha sido fijada y tensada y a la cantidad de radiación solar que ha recibido. Como mínimo deben tener una duración de un año pero es preferible que su duración sea superior, máxima de tres años.

Por todo esto a continuación se recogen una serie de recomendaciones y consejos útiles que pueden ayudar a alargar la vida de los plásticos:

2.1.2.2.1 Transporte y almacenamiento

- No arrastrar las bobinas ni rozar sus bordes.
- Apoyarlas sobre una superficie lisa y sin salientes.
- No colocar sobre las bobinas objetos pesados, duros o punzantes.
- Guardar las bobinas en un lugar oscuro y seco.

2.1.2.2.2 Colocación del plástico

- No rodar la bobina por el suelo.
- No colocar los plásticos durante las horas de máximo calor para evitar su excesiva dilatación.
- Al instalar los laminados de tres capas, verificar que la parte exterior del laminado quede por encima del invernadero, de acuerdo a los pliegues e instrucciones de instalación dadas por el fabricante.



- No tensar excesivamente los plásticos sobre las estructuras ya que se puede reducir su espesor y duración.
- Revisar el invernadero antes de instalar el plástico.
- Sujetar bien el plástico para que no sea desplazado por el viento.

2.1.2.2.3 Durante el cultivo

- Si se realiza desinfección del suelo, se recomienda usar técnicas de solarización antes de la instalación de la nueva cubierta.
- Realizar los tratamientos necesarios y ventilar el invernadero de forma apropiada para evitar que los productos fitosanitarios se fijen en el plástico.
- Para la eliminación de encalados se recomienda el empleo de agua a presión y no emplear ácidos.
- Traslado de los plásticos deteriorados a los centros de recogida apropiados.

2.2 RESISTENCIA DE LOS MATERIALES

2.2.1 Ensayo en el laboratorio para la obtención de la curva fuerza-alargamiento real del cable de acero nuevo, por medio de tracción

2.2.1.1 Objetivos

- Evaluar a través de una Máquina de Ensayos Universales “AMSLER”, el comportamiento de deformación bajo tensión uniaxial de una muestra de cable de acero.
- Determinar los parámetros típicos de las curvas de Fuerza-Alargamiento Real, obtenidas en ensayos de tensión uniaxial para tres probetas en condiciones de ensayos constantes.
- Interpretar correctamente los datos obtenidos en el diagrama de Fuerza-Alargamiento Real.



2.2.1.2 Marco teórico

Cuando se habla de una prueba de tracción usualmente nos referimos a un ensayo que se realiza en una máquina que permite medir la deformación y la fuerza aplicada a una probeta fabricada con el material que se desea ensayar. Si la prueba se realiza correctamente, permite conocer las propiedades mecánicas fundamentales del material que son de vital importancia en el diseño.

Utilizando sistemas estandarizados de ensayo, la prueba se puede convertir en un criterio de aceptación o rechazo de un producto después de establecer si el material posee determinadas propiedades mecánicas y tendrá un buen comportamiento durante el tiempo de servicio.

2.2.1.3 Características de las Muestras

Las dimensiones y forma de la muestra están normalizadas de acuerdo al producto que se va a ensayar. En general la probeta utilizada para este ensayo es de sección circular constante conformada por un cable de acero de 1/8" de 7x7.

2.2.1.4 Aplicación de la Carga y Mediciones

Las cargas se aplican en forma hidráulica. Esta máquina para pruebas de tracción tiene diferentes rangos de medición. Antes de realizar el ensayo se debe determinar aproximadamente la fuerza máxima que se va a alcanzar de acuerdo al material, para seleccionar una escala adecuada en la que la fuerza



máxima no corresponda a las primeras subdivisiones ni a las últimas del dispositivo utilizado para medir la fuerza.

2.2.1.5 Equipos

- Máquina Universal de Ensayos AMSLER y accesorios para el ensayo.

2.2.1.6 Procedimiento

Se colocará la probeta en las mordazas de la máquina, asegurándose que la fijación sea la correcta.

Se aplicará una carga a velocidad uniforme hasta alcanzar la ruptura.

Se generará un archivo de datos de Carga aplicada y Curva de fuerza que resiste-alargamiento real.

2.2.1.7 Resultados

Con los datos obtenidos en la práctica tabla 2.2, se elabora la siguiente Tabla 2.1:

Tabla 2.1: Resultados del Ensayo de Tracción del cable de acero.

PROBETA	FUERZA	PESO	FUERZA
	Kg-f	CABEZAL	FINAL
		Kg-f	Kg-f
A.1.1	2100,0	135	1965
A.1.2	2102,5	135	1967,5
A.1.3	2090	135	1955
		PROMEDIO	1962,5

Tabla 2.2: Valores obtenidos en el Ensayo de Tracción del cable de acero muestra A.1.2.



CARGA EN EL DIAL	ALARGAMIENTO EN EL DIAL	FUERZA Kg-f	ALARGAMIENTO REAL (mm)
0,000	0,000	0,000	0,000
2,710	1,000	67,750	0,400
5,420	2,000	135,500	0,800
8,130	3,000	203,250	1,200
10,840	4,000	271,000	1,600
13,550	5,000	338,750	2,000
16,260	6,000	406,500	2,400
18,970	7,000	474,250	2,800
21,680	8,000	542,000	3,200
24,390	9,000	609,750	3,600
27,100	10,000	677,500	4,000
29,810	11,000	745,250	4,400
32,520	12,000	813,000	4,800
35,230	13,000	880,750	5,200
37,940	14,000	948,500	5,600
40,650	15,000	1016,250	6,000
43,360	16,000	1084,000	6,400
46,070	17,000	1151,750	6,800
48,780	18,000	1219,500	7,200
51,490	19,000	1287,250	7,600
54,200	20,000	1355,000	8,000
56,910	21,000	1422,750	8,400
59,620	22,000	1490,500	8,800
62,330	23,000	1558,250	9,200
65,040	24,000	1626,000	9,600
67,750	25,000	1693,750	10,000
70,460	26,000	1761,500	10,400
73,170	27,000	1829,250	10,800
76,000	28,000	1900,000	11,200
77,200	29,000	1930,000	11,600
78,500	30,000	1962,500	12,000
80,000	31,000	2000,000	12,400
81,200	32,000	2030,000	12,800
82,200	33,000	2055,000	13,200
83,000	34,000	2075,000	13,600
84,000	35,000	2100,000	14,000
84,100	36,000	2102,500	14,400
84,100	37,000	2102,500	14,800
83,500	38,000	2087,500	15,200
69,000	39,000	1725,000	15,600
69,000	40,000	1725,000	16,000
66,000	41,000	1650,000	16,400
62,000	42,000	1550,000	16,800
59,000	43,000	1475,000	17,200
56,000	44,000	1400,000	17,600
47,000	45,000	1175,000	18,000
30,000	46,000	750,000	18,400
CARGA EN EL DIAL	ALARGAMIENTO EN EL DIAL	FUERZA Kg-f	ALARGAMIENTO REAL (mm)
31,000	47,000	775,000	18,800



30,500	48,000	762,500	19,200
29,500	49,000	737,500	19,600
23,000	50,000	575,000	20,000
26,000	51,000	650,000	20,400
26,300	52,000	657,500	20,800
26,900	53,000	672,500	21,200
26,000	54,000	650,000	21,600
20,000	55,000	500,000	22,000
13,000	56,000	325,000	22,400
12,500	57,000	312,500	22,800
16,000	58,000	400,000	23,200
18,500	59,000	462,500	23,600
17,700	60,000	442,500	24,000
17,000	61,000	425,000	24,400
17,000	62,000	425,000	24,800
17,100	63,000	427,500	25,200
17,200	64,000	430,000	25,600
17,300	65,000	432,500	26,000
17,600	66,000	440,000	26,400
17,900	67,000	447,500	26,800
18,000	68,000	450,000	27,200
18,000	69,000	450,000	27,600
19,000	70,000	475,000	28,000
19,100	71,000	477,500	28,400
19,200	72,000	480,000	28,800
19,300	73,000	482,500	29,200
19,400	74,000	485,000	29,600
19,500	75,000	487,500	30,000
19,600	76,000	490,000	30,400
19,800	77,000	495,000	30,800
20,000	78,000	500,000	31,200

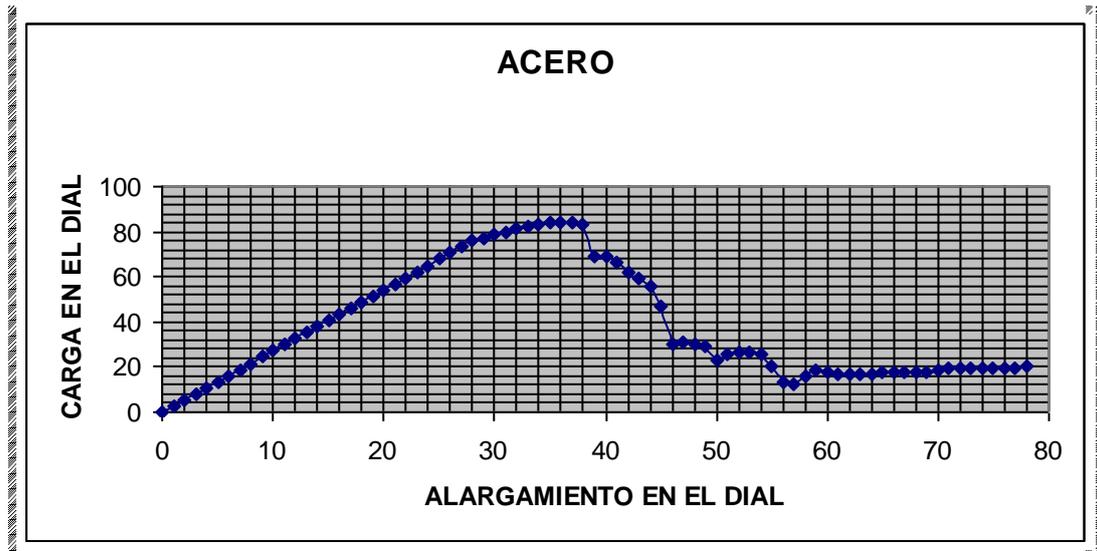


Figura 2.8: Curva Carga-Alargamiento del Cable de Acero.

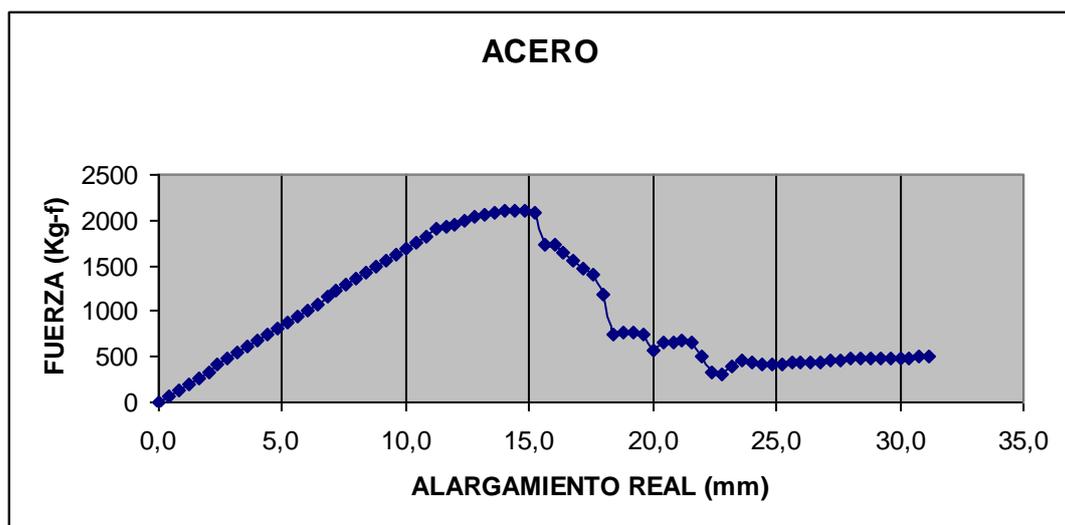


Figura 2.9: Curva Fuerza-Alargamiento Real del Cable de Acero.

Finalmente se concluye que de las tres probetas ensayadas en la Máquina de Ensayos Universales, fallan cuando se alcanza los 1962,5 Kg de fuerza en dirección uniaxial.

En las figuras 2.8 y 2.9 se aprecia que la deformación presenta un comportamiento lineal, casi no existe fluencia.

2.2.1.8 Fotografías tomadas durante los ensayos realizados



Figura 2.10: Cable a ser ensayado.



Figura 2.11: Equipo de Ensayos Universales “AMSLEER”.



Figura 2.12: Colocación de la Probeta en las mordazas.



Figura 2.13: Falla de la probeta al aplicar la fuerza constante.



Figura 2.14: Falla de la probeta al aplicar la fuerza constante.

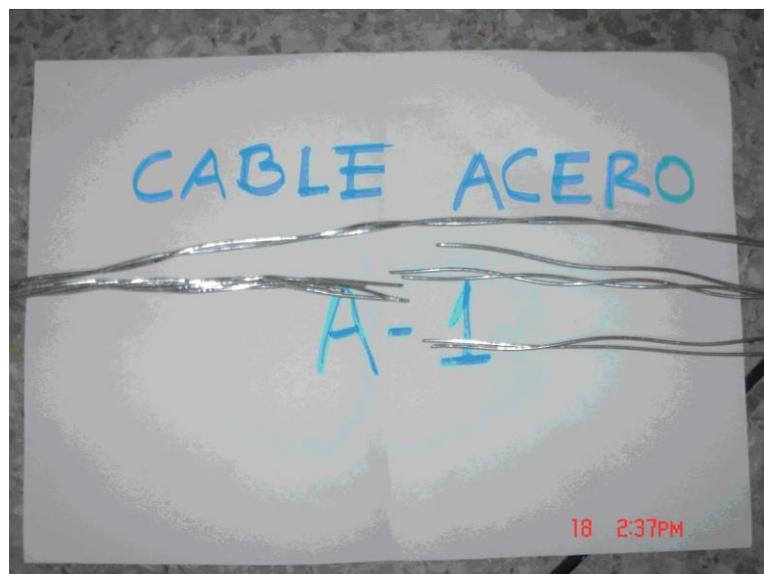


Figura 2.15: Probeta A.1.1 luego de ser ensayada.



Figura 2.16: Probeta A.1.2 luego de ser ensayada.



2.2.2 Ensayo en el laboratorio para la obtención de curvas esfuerzo-deformación de muestras de polietileno nuevo, por medio de tracción

2.2.2.1 Objetivos

- Evaluar a través de una Máquina de Tracción horizontal “AMSLER”, el comportamiento de deformación bajo tensión uniaxial de varias probetas de plástico.
- Determinar los parámetros típicos de las curvas de esfuerzo-deformación obtenidas en ensayos de tensión uniaxial para ocho probetas en condiciones de ensayos constantes.
- Interpretar correctamente los datos obtenidos en el diagrama de esfuerzo - deformación.

2.2.2.2 Marco teórico

La máquina de tracción horizontal “AMSLER”, nos proporciona una curva Carga-Alargamiento. Partiendo de esta gráfica y sin más que modificar las escalas vertical y horizontal obtenemos la curva Esfuerzo- Deformación.

Cuando se aplica una fuerza de módulo F sobre los extremos de una probeta, ésta experimenta una elongación $\Delta l = l_u - l_o$, donde l_o y l_u son las longitudes inicial y final de la misma. Se definen la tensión σ como la fuerza normal aplicada por unidad de área A y la deformación ε como la variación relativa de longitud del cuerpo, esto es:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_u} \quad (2.1)$$



Dentro del rango elástico de los materiales, la tensión y la deformación son proporcionales, verificándose una relación del tipo:

$$\sigma = E * \varepsilon \text{ (ley de Hooke)} \quad (2.2)$$

Donde el factor de proporcionalidad E es el módulo de Young o elástico, característico del material, y nos da una idea bastante clara de la elasticidad del material.

2.2.2.3 Características de las Muestras

La probeta es de sección rectangular y los extremos son mayores que el resto del material para facilitar la fijación de la probeta a la máquina.

La región central se hace más delgada para hacer que la fractura ocurra en una porción que no está afectada por los esfuerzos producidos por el dispositivo de sujeción, garantizando que el esfuerzo en esta región sea de tensión únicamente; esta zona se llama longitud de prueba y en ella se hacen las mediciones de elongación durante el ensayo. El cambio de sección de los extremos al centro debe ser muy suave y el acabado de la probeta muy fino, para evitar la concentración de esfuerzos. La exactitud de las dimensiones y el paralelismo de las caras son muy importantes para que la falla no ocurra en un sitio determinado por el cambio de las dimensiones.

2.2.2.4 Aplicación de la Carga y Mediciones



Las cargas se aplican en forma mecánica. Esta máquina para pruebas de tracción puede aplicar al material una fuerza de hasta de 200 gramos.

2.2.2.5 Equipos

- Máquina de tracción horizontal y accesorios para el ensayo.
- Troqueladora.
- Micrómetro Digital.
- Pie de rey Digital.

2.2.2.6 Procedimiento

Primero con la troqueladora obtenemos probetas longitudinales y transversales de cada uno de los plásticos, es decir, obtenemos 8 probetas.

- Medimos de espesor y ancho con el micrómetro y pie de rey respectivamente.
- Marcamos la parte central de cada probeta y con la ayuda del pie de rey medimos la longitud inicial (L_0).
- Se coloca la probeta en las mordazas de la máquina, asegurándose que la fijación sea la correcta.
- Se aplica una carga a velocidad uniforme hasta alcanzar la ruptura, obteniendo así la longitud última.
- Se genera un archivo de datos de Carga aplicada y Curva de esfuerzo-deformación.

2.2.2.7 Resultados

Con los datos obtenidos en la práctica, se elabora la Tabla 2.3;

**Tabla 2.3:** Resultados del Ensayo de Tracción de varias muestras de polietileno nuevo.**ENSAYO DE TRACCIÓN**

PROBETA	a	b	So	Lo	Lu	Fe	Fe	Fm	Fm	Re	Rm	A
	mm	mm	mm ²	mm	mm	Kg	N	kg	N	Mpa	Mpa	%
B1 Longitudinal	0,16	3,25	0,52	38,87	164,00	0,75	7,36	1,00	9,81	14,06	18,75	321,92
B1 Transversal	0,16	3,25	0,52	33,39	225,00	0,60	5,89	1,13	11,04	11,25	21,09	573,85
B2 Longitudinal	0,17	3,25	0,57	34,44	224,00	0,55	5,40	1,25	12,26	9,54	21,68	550,41
B2 Transversal	0,17	3,25	0,57	34,55	237,00	0,60	5,89	1,25	12,26	10,41	21,68	585,96
B3 Longitudinal	0,19	3,25	0,62	34,55	192,00	0,65	6,38	1,25	12,26	10,33	19,86	455,72
B3 Transversal	0,19	3,25	0,62	35,07	260,00	0,70	6,87	1,55	15,21	11,12	24,62	641,37
B4 Longitudinal	0,17	3,25	0,54	32,59	164,00	0,55	5,40	1,10	10,79	10,06	20,12	403,22
B4 Transversal	0,16	3,25	0,50	34,70	230,00	0,55	5,40	1,10	10,79	10,71	21,42	562,82

SIMBOLOGIA

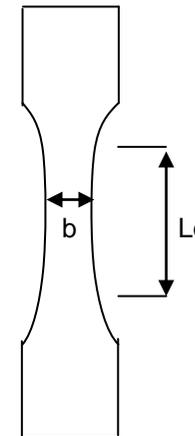
a =	Espesor
b =	Ancho
So =	Área
Lo =	Longitud inicial
Lu =	Longitud final
Fe =	Fuerza en la fluencia
Fm =	Fuerza máxima aplicada
Re =	Esfuerzo a la fluencia
Rm =	Resistencia última
A =	Alargamiento %

$$So = a * b$$

$$Re = \frac{Fe}{So}$$

$$Rm = \frac{Fm}{So}$$

$$A = \frac{Lu - Lo}{Lo} * 100$$



Como se observa en la tabla anterior las probetas ensayadas son muy dúctiles, puesto que con una fuerza aplicada entre 1,00 a 1,55 kg estas se alargan pero antes de romperse alcanzan un alargamiento porcentual promedio del 500% aproximadamente.

Las probetas B1 y B2 corresponden a las muestras 3S dadas por el fabricante y se ve claramente que las muestras transversales tienen más ductibilidad que las longitudinales.

Las probetas B3 y B4 corresponden a las muestras 2S dadas por el fabricante y se observa que las muestras transversales tienen más ductibilidad que las longitudinales.

Se incluye los diagramas Esfuerzo - Deformación de cada probeta. Las cuales ya fueron analizadas para poder desarrollar la tabla 2.3.

Cabe mencionar que a las muestras se las ensayó en el sentido longitudinal y transversal, a continuación se exponen los resultados de las probetas más críticas.



Tabla 2.4: Datos obtenidos del ensayo de tracción de polietileno 3S muestra B1 en sentido Longitudinal.

a	b	Ao	Lo
mm	mm	mm ²	mm
0,16	3,25	0,52	38,87

CARGA EN EL DIAL	ALARGAMIENTO EN EL DIAL	CARGA REAL (Tn)	ALARGAMIENTO REAL (m)	ESFUERZO Tn/m ²	DEFORMACIÓN
0,000	0,000	0,00000	0,000	0,000	0,000
1,500	1,000	0,00008	0,001	143,335	0,026
4,900	2,000	0,00025	0,002	468,227	0,051
7,000	3,000	0,00035	0,003	668,896	0,077
8,500	4,000	0,00043	0,004	812,231	0,103
9,000	5,000	0,00045	0,005	860,010	0,129
9,800	6,000	0,00049	0,006	936,455	0,154
10,000	7,000	0,00050	0,007	955,566	0,180
10,100	8,000	0,00051	0,008	965,122	0,206
10,200	9,000	0,00051	0,009	974,677	0,232
10,600	10,000	0,00053	0,010	1012,900	0,257
10,900	11,000	0,00055	0,011	1041,567	0,283
10,900	12,000	0,00055	0,012	1041,567	0,309
10,900	13,000	0,00055	0,013	1041,567	0,334
11,000	14,000	0,00055	0,014	1051,123	0,360
11,200	15,000	0,00056	0,015	1070,234	0,386
11,800	16,000	0,00059	0,016	1127,568	0,412
11,900	17,000	0,00060	0,017	1137,124	0,437
11,900	18,000	0,00060	0,018	1137,124	0,463
11,900	19,000	0,00060	0,019	1137,124	0,489
11,900	20,000	0,00060	0,020	1137,124	0,515
12,000	21,000	0,00060	0,021	1146,679	0,540
12,000	22,000	0,00060	0,022	1146,679	0,566
12,000	23,000	0,00060	0,023	1146,679	0,592
12,600	24,000	0,00063	0,024	1204,013	0,617
12,700	25,000	0,00064	0,025	1213,569	0,643
13,000	26,000	0,00065	0,026	1242,236	0,669
13,000	27,000	0,00065	0,027	1242,236	0,695
13,063	28,000	0,00065	0,028	1248,256	0,720
13,126	29,000	0,00066	0,029	1254,276	0,746
13,189	30,000	0,00066	0,030	1260,296	0,772
13,252	31,000	0,00066	0,031	1266,316	0,798
13,315	32,000	0,00067	0,032	1272,336	0,823
13,378	33,000	0,00067	0,033	1278,356	0,849
13,441	34,000	0,00067	0,034	1284,376	0,875
13,504	35,000	0,00068	0,035	1290,397	0,900
13,567	36,000	0,00068	0,036	1296,417	0,926
13,630	37,000	0,00068	0,037	1302,437	0,952
13,693	38,000	0,00068	0,038	1308,457	0,978
13,756	39,000	0,00069	0,039	1314,477	1,003



CARGA EN EL DIAL	ALARGAMIENTO EN EL DIAL	CARGA REAL (Tn)	ALARGAMIENTO REAL (m)	ESFUERZO Tn/m ²	DEFORMACIÓN
13,819	40,000	0,00069	0,040	1320,497	1,029
13,882	41,000	0,00069	0,041	1326,517	1,055
13,945	42,000	0,00070	0,042	1332,537	1,081
14,008	43,000	0,00070	0,043	1338,557	1,106
14,071	44,000	0,00070	0,044	1344,577	1,132
14,134	45,000	0,00071	0,045	1350,597	1,158
14,197	46,000	0,00071	0,046	1356,617	1,183
14,260	47,000	0,00071	0,047	1362,637	1,209
14,323	48,000	0,00072	0,048	1368,657	1,235
14,386	49,000	0,00072	0,049	1374,677	1,261
14,449	50,000	0,00072	0,050	1380,698	1,286
14,512	51,000	0,00073	0,051	1386,718	1,312
14,575	52,000	0,00073	0,052	1392,738	1,338
14,638	53,000	0,00073	0,053	1398,758	1,364
14,701	54,000	0,00074	0,054	1404,778	1,389
14,764	55,000	0,00074	0,055	1410,798	1,415
14,827	56,000	0,00074	0,056	1416,818	1,441
14,890	57,000	0,00074	0,057	1422,838	1,466
14,953	58,000	0,00075	0,058	1428,858	1,492
15,000	59,000	0,00075	0,059	1433,349	1,518
15,000	60,000	0,00075	0,060	1433,349	1,544
15,000	61,000	0,00075	0,061	1433,349	1,569
15,000	62,000	0,00075	0,062	1433,349	1,595
15,000	63,000	0,00075	0,063	1433,349	1,621
15,000	64,000	0,00075	0,064	1433,349	1,647
15,000	65,000	0,00075	0,065	1433,349	1,672
15,000	66,000	0,00075	0,066	1433,349	1,698
15,000	67,000	0,00075	0,067	1433,349	1,724
15,000	68,000	0,00075	0,068	1433,349	1,749
15,000	69,000	0,00075	0,069	1433,349	1,775
15,000	70,000	0,00075	0,070	1433,349	1,801
15,000	71,000	0,00075	0,071	1433,349	1,827
15,000	72,000	0,00075	0,072	1433,349	1,852
15,000	73,000	0,00075	0,073	1433,349	1,878
15,000	74,000	0,00075	0,074	1433,349	1,904
15,000	75,000	0,00075	0,075	1433,349	1,930
15,000	76,000	0,00075	0,076	1433,349	1,955
15,000	77,000	0,00075	0,077	1433,349	1,981
15,000	78,000	0,00075	0,078	1433,349	2,007
15,000	79,000	0,00075	0,079	1433,349	2,032
15,000	80,000	0,00075	0,080	1433,349	2,058
15,000	81,000	0,00075	0,081	1433,349	2,084
15,000	82,000	0,00075	0,082	1433,349	2,110
15,000	83,000	0,00075	0,083	1433,349	2,135
15,000	84,000	0,00075	0,084	1433,349	2,161
15,000	85,000	0,00075	0,085	1433,349	2,187
15,000	86,000	0,00075	0,086	1433,349	2,213
15,000	87,000	0,00075	0,087	1433,349	2,238
15,000	88,000	0,00075	0,088	1433,349	2,264
15,000	89,000	0,00075	0,089	1433,349	2,290



CARGA EN EL DIAL	ALARGAMIENTO EN EL DIAL	CARGA REAL (Tn)	ALARGAMIENTO REAL (m)	ESFUERZO Tn/m ²	DEFORMACIÓN
15,000	90,000	0,00075	0,090	1433,349	2,315
15,000	91,000	0,00075	0,091	1433,349	2,341
15,000	92,000	0,00075	0,092	1433,349	2,367
15,000	93,000	0,00075	0,093	1433,349	2,393
15,000	94,000	0,00075	0,094	1433,349	2,418
15,000	95,000	0,00075	0,095	1433,349	2,444
15,000	96,000	0,00075	0,096	1433,349	2,470
15,000	97,000	0,00075	0,097	1433,349	2,495
15,000	98,000	0,00075	0,098	1433,349	2,521
15,000	99,000	0,00075	0,099	1433,349	2,547
15,000	100,000	0,00075	0,100	1433,349	2,573
15,000	101,000	0,00075	0,101	1433,349	2,598
15,000	102,000	0,00075	0,102	1433,349	2,624
15,000	103,000	0,00075	0,103	1433,349	2,650
15,000	104,000	0,00075	0,104	1433,349	2,676
15,000	105,000	0,00075	0,105	1433,349	2,701
15,000	106,000	0,00075	0,106	1433,349	2,727
15,000	107,000	0,00075	0,107	1433,349	2,753
15,000	108,000	0,00075	0,108	1433,349	2,778
15,000	109,000	0,00075	0,109	1433,349	2,804
15,000	110,000	0,00075	0,110	1433,349	2,830
15,000	111,000	0,00075	0,111	1433,349	2,856
15,000	112,000	0,00075	0,112	1433,349	2,881
15,000	113,000	0,00075	0,113	1433,349	2,907
15,000	114,000	0,00075	0,114	1433,349	2,933
15,000	115,000	0,00075	0,115	1433,349	2,959
15,000	116,000	0,00075	0,116	1433,349	2,984
15,000	117,000	0,00075	0,117	1433,349	3,010
16,000	118,000	0,00080	0,118	1528,906	3,036
16,110	119,000	0,00081	0,119	1539,417	3,061
16,220	120,000	0,00081	0,120	1549,928	3,087
16,330	121,000	0,00082	0,121	1560,440	3,113
16,440	122,000	0,00082	0,122	1570,951	3,139
16,550	123,000	0,00083	0,123	1581,462	3,164
16,660	124,000	0,00083	0,124	1591,973	3,190
16,770	125,000	0,00084	0,125	1602,484	3,216
16,880	126,000	0,00084	0,126	1612,996	3,242
16,990	127,000	0,00085	0,127	1623,507	3,267
17,100	128,000	0,00086	0,128	1634,018	3,293
17,210	129,000	0,00086	0,129	1644,529	3,319
17,320	130,000	0,00087	0,130	1655,041	3,344
17,430	131,000	0,00087	0,131	1665,552	3,370
17,540	132,000	0,00088	0,132	1676,063	3,396
17,650	133,000	0,00088	0,133	1686,574	3,422
17,760	134,000	0,00089	0,134	1697,086	3,447
17,870	135,000	0,00089	0,135	1707,597	3,473
17,980	136,000	0,00090	0,136	1718,108	3,499
18,090	137,000	0,00090	0,137	1728,619	3,525
18,200	138,000	0,00091	0,138	1739,130	3,550
18,310	139,000	0,00092	0,139	1749,642	3,576

CARGA EN EL DIAL	ALARGAMIENTO EN EL DIAL	CARGA REAL (Tn)	ALARGAMIENTO REAL (m)	ESFUERZO Tn/m ²	DEFORMACIÓN
18,420	140,000	0,00092	0,140	1760,153	3,602
18,530	141,000	0,00093	0,141	1770,664	3,627
18,640	142,000	0,00093	0,142	1781,175	3,653
18,750	143,000	0,00094	0,143	1791,687	3,679
18,860	144,000	0,00094	0,144	1802,198	3,705
18,970	145,000	0,00095	0,145	1812,709	3,730
19,080	146,000	0,00095	0,146	1823,220	3,756
19,190	147,000	0,00096	0,147	1833,731	3,782
19,300	148,000	0,00097	0,148	1844,243	3,808
19,410	149,000	0,00097	0,149	1854,754	3,833
19,520	150,000	0,00098	0,150	1865,265	3,859
19,630	151,000	0,00098	0,151	1875,776	3,885
19,740	152,000	0,00099	0,152	1886,288	3,910
19,850	153,000	0,00099	0,153	1896,799	3,936
19,960	154,000	0,00100	0,154	1907,310	3,962
20,000	155,000	0,00100	0,155	1911,132	3,988
20,000	156,000	0,00100	0,156	1911,132	4,013
17,000	157,000	0,00085	0,157	1624,462	4,039
10,500	158,000	0,00053	0,158	1003,344	4,065
5,500	159,000	0,00028	0,159	525,561	4,091
2,500	160,000	0,00013	0,160	238,892	4,116
0,500	162,000	0,00003	0,162	47,778	4,168
0,000	164,000	0,00000	0,164	0,000	4,219

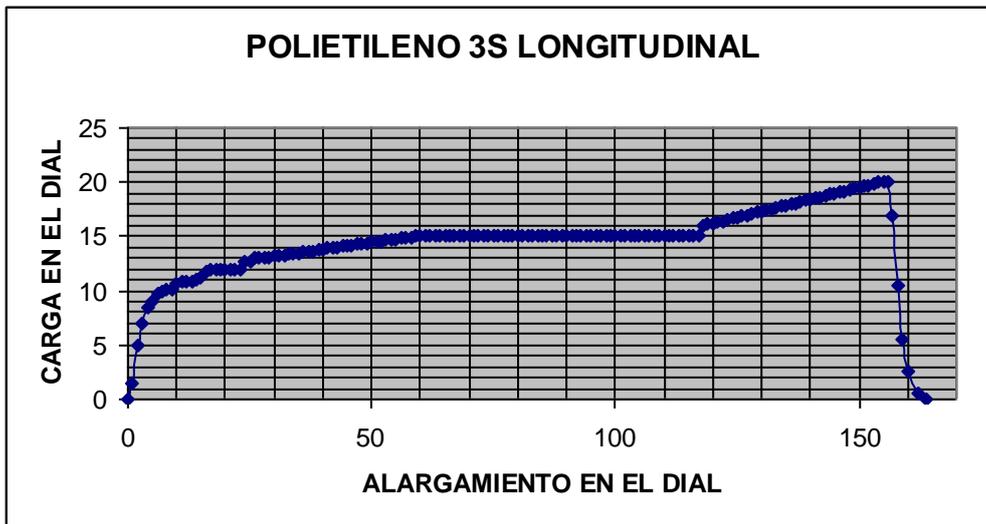


Figura 2.17: Curva Carga-Alargamiento del Polietileno 3S muestra B1 en sentido Longitudinal.

$$\text{Módulo de Young } E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\text{carga}}{\text{área}} \times \frac{\text{longitud calibrada}}{\text{extensión}}$$

$$E = \frac{\text{carga}}{\text{extensión}} \times \frac{\text{longitud calibrada}}{\text{área}} = \text{Pendiente de la Gráfica} \times \frac{L}{A}$$

$$E = 8666,67 \text{ Tn/m}^2$$

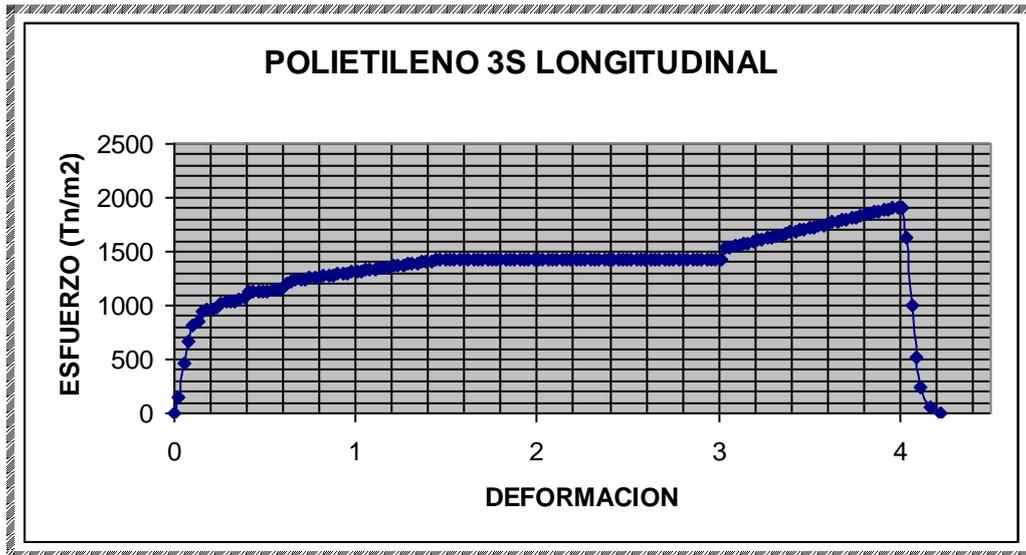


Figura 2.18: Curva Esfuerzo-Deformación del Polietileno 3S muestra B1 en sentido Longitudinal.

Tabla 2.5: Datos obtenidos del ensayo de tracción de polietileno 3S muestra B2 en sentido Longitudinal.

a	b	Ao	Lo
mm	mm	mm ²	mm
0,17	3,25	0,57	34,44

CARGA EN EL DIAL	ALARGAMIENTO EN EL DIAL	CARGA REAL (Tn)	ALARGAMIENTO REAL (m)	ESFUERZO Tn/m ²	DEFORMACIÓN
0,000	0,000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
2,500	1,000	0,00013	0,00100	221,04332	0,02904
5,500	2,000	0,00028	0,00200	486,29531	0,05807
7,800	3,000	0,00039	0,00300	689,65517	0,08711
9,200	4,000	0,00046	0,00400	813,43943	0,11614
10,200	5,000	0,00051	0,00500	901,85676	0,14518
10,900	6,000	0,00055	0,00600	963,74889	0,17422



CARGA EN EL DIAL	ALARGAMIENTO EN EL DIAL	CARGA REAL (Tn)	ALARGAMIENTO REAL (m)	ESFUERZO Tn/m ²	DEFORMACIÓN
11,100	7,000	0,00056	0,00700	981,43236	0,20325
11,300	8,000	0,00057	0,00800	999,11583	0,23229
11,500	9,000	0,00058	0,00900	1016,79929	0,26132
11,900	10,000	0,00060	0,01000	1052,16622	0,29036
10,900	11,000	0,00055	0,01100	963,74889	0,31940
12,000	12,000	0,00060	0,01200	1061,00796	0,34843
12,100	13,000	0,00061	0,01300	1069,84969	0,37747
12,100	14,000	0,00061	0,01400	1069,84969	0,40650
12,200	15,000	0,00061	0,01500	1078,69142	0,43554
12,400	16,000	0,00062	0,01600	1096,37489	0,46458
12,600	17,000	0,00063	0,01700	1114,05836	0,49361
12,800	18,000	0,00064	0,01800	1131,74182	0,52265
12,900	19,000	0,00065	0,01900	1140,58355	0,55168
12,900	20,000	0,00065	0,02000	1140,58355	0,58072
12,932	21,000	0,00065	0,02100	1143,41291	0,60976
12,964	22,000	0,00065	0,02200	1146,24226	0,63879
12,996	23,000	0,00065	0,02300	1149,07162	0,66783
13,028	24,000	0,00065	0,02400	1151,90097	0,69686
13,060	25,000	0,00065	0,02500	1154,73033	0,72590
13,092	26,000	0,00065	0,02600	1157,55968	0,75494
13,124	27,000	0,00066	0,02700	1160,38904	0,78397
13,156	28,000	0,00066	0,02800	1163,21839	0,81301
13,188	29,000	0,00066	0,02900	1166,04775	0,84204
13,220	30,000	0,00066	0,03000	1168,87710	0,87108
13,252	31,000	0,00066	0,03100	1171,70645	0,90012
13,284	32,000	0,00066	0,03200	1174,53581	0,92915
13,316	33,000	0,00067	0,03300	1177,36516	0,95819
13,348	34,000	0,00067	0,03400	1180,19452	0,98722
13,380	35,000	0,00067	0,03500	1183,02387	1,01626
13,412	36,000	0,00067	0,03600	1185,85323	1,04530
13,444	37,000	0,00067	0,03700	1188,68258	1,07433
13,476	38,000	0,00067	0,03800	1191,51194	1,10337
13,508	39,000	0,00068	0,03900	1194,34129	1,13240
13,540	40,000	0,00068	0,04000	1197,17065	1,16144
13,572	41,000	0,00068	0,04100	1200,00000	1,19048
13,604	42,000	0,00068	0,04200	1202,82935	1,21951
13,636	43,000	0,00068	0,04300	1205,65871	1,24855
13,668	44,000	0,00068	0,04400	1208,48806	1,27758
13,700	45,000	0,00069	0,04500	1211,31742	1,30662
13,732	46,000	0,00069	0,04600	1214,14677	1,33566
13,764	47,000	0,00069	0,04700	1216,97613	1,36469
13,796	48,000	0,00069	0,04800	1219,80548	1,39373
13,828	49,000	0,00069	0,04900	1222,63484	1,42276
13,860	50,000	0,00069	0,05000	1225,46419	1,45180
13,892	51,000	0,00069	0,05100	1228,29355	1,48084
13,924	52,000	0,00070	0,05200	1231,12290	1,50987
13,956	53,000	0,00070	0,05300	1233,95225	1,53891
13,988	54,000	0,00070	0,05400	1236,78161	1,56794
14,020	55,000	0,00070	0,05500	1239,61096	1,59698
14,052	56,000	0,00070	0,05600	1242,44032	1,62602



CARGA EN EL DIAL	ALARGAMIENTO EN EL DIAL	CARGA REAL (Tn)	ALARGAMIENTO REAL (m)	ESFUERZO Tn/m ²	DEFORMACIÓN
14,084	57,000	0,00070	0,05700	1245,26967	1,65505
14,116	58,000	0,00071	0,05800	1248,09903	1,68409
14,148	59,000	0,00071	0,05900	1250,92838	1,71312
14,180	60,000	0,00071	0,06000	1253,75774	1,74216
14,212	61,000	0,00071	0,06100	1256,58709	1,77120
14,244	62,000	0,00071	0,06200	1259,41645	1,80023
14,276	63,000	0,00071	0,06300	1262,24580	1,82927
14,308	64,000	0,00072	0,06400	1265,07515	1,85830
14,340	65,000	0,00072	0,06500	1267,90451	1,88734
14,372	66,000	0,00072	0,06600	1270,73386	1,91638
14,404	67,000	0,00072	0,06700	1273,56322	1,94541
14,436	68,000	0,00072	0,06800	1276,39257	1,97445
14,468	69,000	0,00072	0,06900	1279,22193	2,00348
14,500	70,000	0,00073	0,07000	1282,05128	2,03252
14,532	71,000	0,00073	0,07100	1284,88064	2,06156
14,564	72,000	0,00073	0,07200	1287,70999	2,09059
14,596	73,000	0,00073	0,07300	1290,53935	2,11963
14,628	74,000	0,00073	0,07400	1293,36870	2,14866
14,660	75,000	0,00073	0,07500	1296,19805	2,17770
14,692	76,000	0,00073	0,07600	1299,02741	2,20674
14,724	77,000	0,00074	0,07700	1301,85676	2,23577
14,756	78,000	0,00074	0,07800	1304,68612	2,26481
14,788	79,000	0,00074	0,07900	1307,51547	2,29384
14,820	80,000	0,00074	0,08000	1310,34483	2,32288
14,852	81,000	0,00074	0,08100	1313,17418	2,35192
14,884	82,000	0,00074	0,08200	1316,00354	2,38095
14,916	83,000	0,00075	0,08300	1318,83289	2,40999
14,948	84,000	0,00075	0,08400	1321,66225	2,43902
14,980	85,000	0,00075	0,08500	1324,49160	2,46806
15,000	86,000	0,00075	0,08600	1326,25995	2,49710
15,060	87,000	0,00075	0,08700	1331,56499	2,52613
15,120	88,000	0,00076	0,08800	1336,87003	2,55517
15,180	89,000	0,00076	0,08900	1342,17507	2,58420
15,240	90,000	0,00076	0,09000	1347,48011	2,61324
15,300	91,000	0,00077	0,09100	1352,78515	2,64228
15,360	92,000	0,00077	0,09200	1358,09019	2,67131
15,420	93,000	0,00077	0,09300	1363,39523	2,70035
15,480	94,000	0,00077	0,09400	1368,70027	2,72938
15,540	95,000	0,00078	0,09500	1374,00531	2,75842
15,600	96,000	0,00078	0,09600	1379,31034	2,78746
15,660	97,000	0,00078	0,09700	1384,61538	2,81649
15,720	98,000	0,00079	0,09800	1389,92042	2,84553
15,780	99,000	0,00079	0,09900	1395,22546	2,87456
15,840	100,000	0,00079	0,10000	1400,53050	2,90360
15,900	101,000	0,00080	0,10100	1405,83554	2,93264
15,960	102,000	0,00080	0,10200	1411,14058	2,96167
16,020	103,000	0,00080	0,10300	1416,44562	2,99071
16,080	104,000	0,00080	0,10400	1421,75066	3,01974
16,140	105,000	0,00081	0,10500	1427,05570	3,04878
16,200	106,000	0,00081	0,10600	1432,36074	3,07782



CARGA EN EL DIAL	ALARGAMIENTO EN EL DIAL	CARGA REAL (Tn)	ALARGAMIENTO REAL (m)	ESFUERZO Tn/m ²	DEFORMACIÓN
16,260	107,000	0,00081	0,10700	1437,66578	3,10685
16,320	108,000	0,00082	0,10800	1442,97082	3,13589
16,380	109,000	0,00082	0,10900	1448,27586	3,16492
16,440	110,000	0,00082	0,11000	1453,58090	3,19396
16,500	111,000	0,00083	0,11100	1458,88594	3,22300
16,560	112,000	0,00083	0,11200	1464,19098	3,25203
16,620	113,000	0,00083	0,11300	1469,49602	3,28107
16,680	114,000	0,00083	0,11400	1474,80106	3,31010
16,740	115,000	0,00084	0,11500	1480,10610	3,33914
16,800	116,000	0,00084	0,11600	1485,41114	3,36818
16,860	117,000	0,00084	0,11700	1490,71618	3,39721
16,920	118,000	0,00085	0,11800	1496,02122	3,42625
16,980	119,000	0,00085	0,11900	1501,32626	3,45528
17,000	120,000	0,00085	0,12000	1503,09461	3,48432
17,086	121,000	0,00085	0,12100	1510,69850	3,51336
17,172	122,000	0,00086	0,12200	1518,30239	3,54239
17,258	123,000	0,00086	0,12300	1525,90628	3,57143
17,344	124,000	0,00087	0,12400	1533,51017	3,60046
17,430	125,000	0,00087	0,12500	1541,11406	3,62950
17,516	126,000	0,00088	0,12600	1548,71795	3,65854
17,602	127,000	0,00088	0,12700	1556,32184	3,68757
17,688	128,000	0,00088	0,12800	1563,92573	3,71661
17,774	129,000	0,00089	0,12900	1571,52962	3,74564
17,860	130,000	0,00089	0,13000	1579,13351	3,77468
17,946	131,000	0,00090	0,13100	1586,73740	3,80372
18,032	132,000	0,00090	0,13200	1594,34129	3,83275
18,118	133,000	0,00091	0,13300	1601,94518	3,86179
18,204	134,000	0,00091	0,13400	1609,54907	3,89082
18,290	135,000	0,00091	0,13500	1617,15296	3,91986
18,376	136,000	0,00092	0,13600	1624,75685	3,94890
18,462	137,000	0,00092	0,13700	1632,36074	3,97793
18,548	138,000	0,00093	0,13800	1639,96463	4,00697
18,634	139,000	0,00093	0,13900	1647,56852	4,03600
18,720	140,000	0,00094	0,14000	1655,17241	4,06504
18,806	141,000	0,00094	0,14100	1662,77630	4,09408
18,892	142,000	0,00094	0,14200	1670,38019	4,12311
18,978	143,000	0,00095	0,14300	1677,98408	4,15215
19,064	144,000	0,00095	0,14400	1685,58798	4,18118
19,150	145,000	0,00096	0,14500	1693,19187	4,21022
19,236	146,000	0,00096	0,14600	1700,79576	4,23926
19,322	147,000	0,00097	0,14700	1708,39965	4,26829
19,408	148,000	0,00097	0,14800	1716,00354	4,29733
19,494	149,000	0,00097	0,14900	1723,60743	4,32636
19,580	150,000	0,00098	0,15000	1731,21132	4,35540
19,666	151,000	0,00098	0,15100	1738,81521	4,38444
19,752	152,000	0,00099	0,15200	1746,41910	4,41347
19,838	153,000	0,00099	0,15300	1754,02299	4,44251
19,924	154,000	0,00100	0,15400	1761,62688	4,47154
20,010	155,000	0,00100	0,15500	1769,23077	4,50058
20,096	156,000	0,00100	0,15600	1776,83466	4,52962



CARGA EN EL DIAL	ALARGAMIENTO EN EL DIAL	CARGA REAL (Tn)	ALARGAMIENTO REAL (m)	ESFUERZO Tn/m ²	DEFORMACIÓN
20,182	157,000	0,00101	0,15700	1784,43855	4,55865
20,268	158,000	0,00101	0,15800	1792,04244	4,58769
20,354	159,000	0,00102	0,15900	1799,64633	4,61672
20,440	160,000	0,00102	0,16000	1807,25022	4,64576
20,526	161,000	0,00103	0,16100	1814,85411	4,67480
20,612	162,000	0,00103	0,16200	1822,45800	4,70383
20,698	163,000	0,00103	0,16300	1830,06189	4,73287
20,784	164,000	0,00104	0,16400	1837,66578	4,76190
20,870	165,000	0,00104	0,16500	1845,26967	4,79094
20,956	166,000	0,00105	0,16600	1852,87356	4,81998
21,042	167,000	0,00105	0,16700	1860,47745	4,84901
21,128	168,000	0,00106	0,16800	1868,08134	4,87805
21,214	169,000	0,00106	0,16900	1875,68523	4,90708
21,300	170,000	0,00106	0,17000	1883,28912	4,93612
21,386	171,000	0,00107	0,17100	1890,89302	4,96516
21,472	172,000	0,00107	0,17200	1898,49691	4,99419
21,558	173,000	0,00108	0,17300	1906,10080	5,02323
21,644	174,000	0,00108	0,17400	1913,70469	5,05226
21,730	175,000	0,00109	0,17500	1921,30858	5,08130
21,816	176,000	0,00109	0,17600	1928,91247	5,11034
21,902	177,000	0,00110	0,17700	1936,51636	5,13937
21,988	178,000	0,00110	0,17800	1944,12025	5,16841
22,074	179,000	0,00110	0,17900	1951,72414	5,19744
22,160	180,000	0,00111	0,18000	1959,32803	5,22648
22,246	181,000	0,00111	0,18100	1966,93192	5,25552
22,332	182,000	0,00112	0,18200	1974,53581	5,28455
22,418	183,000	0,00112	0,18300	1982,13970	5,31359
22,504	184,000	0,00113	0,18400	1989,74359	5,34262
22,590	185,000	0,00113	0,18500	1997,34748	5,37166
22,676	186,000	0,00113	0,18600	2004,95137	5,40070
22,762	187,000	0,00114	0,18700	2012,55526	5,42973
22,848	188,000	0,00114	0,18800	2020,15915	5,45877
22,934	189,000	0,00115	0,18900	2027,76304	5,48780
23,020	190,000	0,00115	0,19000	2035,36693	5,51684
23,106	191,000	0,00116	0,19100	2042,97082	5,54588
23,192	192,000	0,00116	0,19200	2050,57471	5,57491
23,278	193,000	0,00116	0,19300	2058,17860	5,60395
23,364	194,000	0,00117	0,19400	2065,78249	5,63298
23,450	195,000	0,00117	0,19500	2073,38638	5,66202
23,536	196,000	0,00118	0,19600	2080,99027	5,69106
23,622	197,000	0,00118	0,19700	2088,59416	5,72009
23,708	198,000	0,00119	0,19800	2096,19805	5,74913
23,794	199,000	0,00119	0,19900	2103,80195	5,77816
23,880	200,000	0,00119	0,20000	2111,40584	5,80720
23,966	201,000	0,00120	0,20100	2119,00973	5,83624
24,052	202,000	0,00120	0,20200	2126,61362	5,86527
24,138	203,000	0,00121	0,20300	2134,21751	5,89431
24,224	204,000	0,00121	0,20400	2141,82140	5,92334
24,310	205,000	0,00122	0,20500	2149,42529	5,95238
24,396	206,000	0,00122	0,20600	2157,02918	5,98142

CARGA EN EL DIAL	ALARGAMIENTO EN EL DIAL	CARGA REAL (Tn)	ALARGAMIENTO REAL (m)	ESFUERZO Tn/m ²	DEFORMACIÓN
24,482	207,000	0,00122	0,20700	2164,63307	6,01045
24,568	208,000	0,00123	0,20800	2172,23696	6,03949
24,654	209,000	0,00123	0,20900	2179,84085	6,06852
24,740	210,000	0,00124	0,21000	2187,44474	6,09756
24,826	211,000	0,00124	0,21100	2195,04863	6,12660
24,912	212,000	0,00125	0,21200	2202,65252	6,15563
25,000	213,000	0,00125	0,21300	2210,43324	6,18467
21,200	214,000	0,00106	0,21400	1874,44739	6,21370
20,900	215,000	0,00105	0,21500	1847,92219	6,24274
20,200	216,000	0,00101	0,21600	1786,03006	6,27178
19,900	217,000	0,00100	0,21700	1759,50486	6,30081
19,400	218,000	0,00097	0,21800	1715,29620	6,32985
17,500	219,000	0,00088	0,21900	1547,30327	6,35889
11,500	220,000	0,00058	0,22000	1016,79929	6,38792
7,000	221,000	0,00035	0,22100	618,92131	6,41696
3,000	222,000	0,00015	0,22200	265,25199	6,44599
1,000	223,000	0,00005	0,22300	88,41733	6,47503
0,000	224,000	0,00000	0,22400	0,00000	6,50407

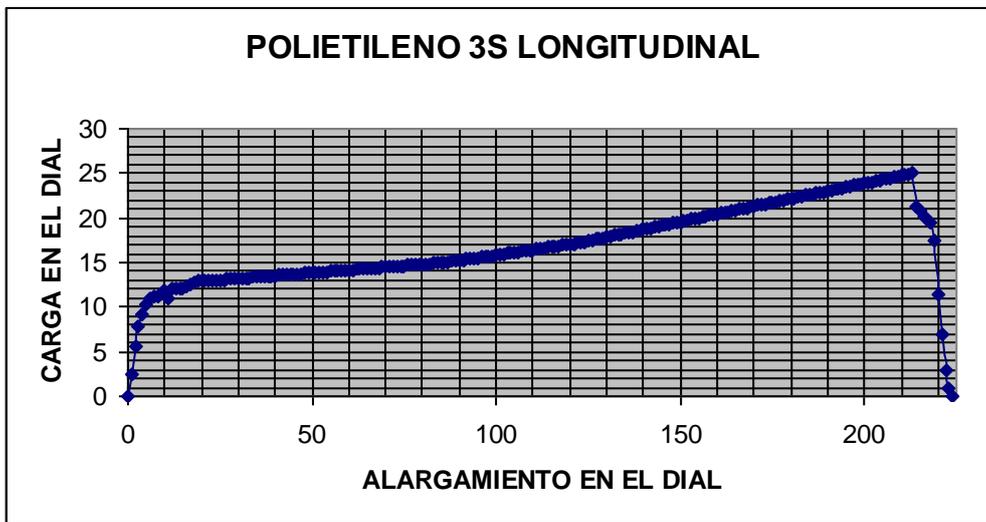


Figura 2.19: Curva Carga-Alargamiento del Polietileno 3S muestra B2 en sentido Longitudinal.

$$E = 4364,63 \text{ Tn/m}^2$$

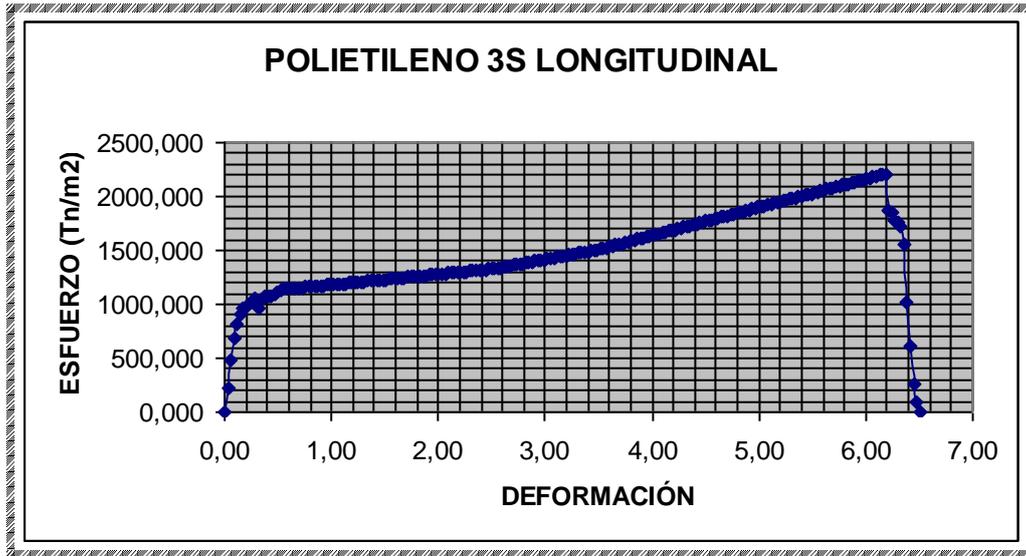


Figura 2.20: Curva Esfuerzo-Deformación del Polietileno 3S muestra B2 en sentido Longitudinal.

Tabla 2.6: Datos obtenidos del ensayo de tracción de polietileno 2S muestra B3 en sentido Longitudinal.

a	b	Ao	Lo
mm	mm	mm ²	mm
0,19	3,25	0,62	34,55

CARGA EN EL DIAL	ALARGAMIENTO EN EL DIAL	CARGA REAL (Tn)	ALARGAMIENTO REAL (m)	ESFUERZO Tn/m ²	DEFORMACIÓN
0,000	0,000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
2,900	1,000	0,00015	0,00100	234,81781	0,02894
5,700	2,000	0,00029	0,00200	461,53846	0,05789
8,000	3,000	0,00040	0,00300	647,77328	0,08683
7,000	4,000	0,00035	0,00400	566,80162	0,11577
11,000	5,000	0,00055	0,00500	890,68826	0,14472
11,900	6,000	0,00060	0,00600	963,56275	0,17366
12,100	7,000	0,00061	0,00700	979,75709	0,20260
12,500	8,000	0,00063	0,00800	1012,14575	0,23155
12,900	9,000	0,00065	0,00900	1044,53441	0,26049
13,000	10,000	0,00065	0,01000	1052,63158	0,28944
13,100	11,000	0,00066	0,01100	1060,72874	0,31838
13,100	12,000	0,00066	0,01200	1060,72874	0,34732
13,100	13,000	0,00066	0,01300	1060,72874	0,37627
13,100	14,000	0,00066	0,01400	1060,72874	0,40521
13,500	15,000	0,00068	0,01500	1093,11741	0,43415
13,900	16,000	0,00070	0,01600	1125,50607	0,46310
14,100	17,000	0,00071	0,01700	1141,70040	0,49204
14,100	18,000	0,00071	0,01800	1141,70040	0,52098



CARGA EN EL DIAL	ALARGAMIENTO EN EL DIAL	CARGA REAL (Tn)	ALARGAMIENTO REAL (m)	ESFUERZO Tn/m ²	DEFORMACIÓN
14,300	19,000	0,00072	0,01900	1157,89474	0,54993
14,700	20,000	0,00074	0,02000	1190,28340	0,57887
14,900	21,000	0,00075	0,02100	1206,47773	0,60781
15,000	22,000	0,00075	0,02200	1214,57490	0,63676
15,000	23,000	0,00075	0,02300	1214,57490	0,66570
15,000	24,000	0,00075	0,02400	1214,57490	0,69465
15,000	25,000	0,00075	0,02500	1214,57490	0,72359
15,000	26,000	0,00075	0,02600	1214,57490	0,75253
15,000	27,000	0,00075	0,02700	1214,57490	0,78148
15,000	28,000	0,00075	0,02800	1214,57490	0,81042
15,035	29,000	0,00075	0,02900	1217,40891	0,83936
15,070	30,000	0,00075	0,03000	1220,24291	0,86831
15,105	31,000	0,00076	0,03100	1223,07692	0,89725
15,140	32,000	0,00076	0,03200	1225,91093	0,92619
15,175	33,000	0,00076	0,03300	1228,74494	0,95514
15,210	34,000	0,00076	0,03400	1231,57895	0,98408
15,245	35,000	0,00076	0,03500	1234,41296	1,01302
15,280	36,000	0,00076	0,03600	1237,24696	1,04197
15,315	37,000	0,00077	0,03700	1240,08097	1,07091
15,350	38,000	0,00077	0,03800	1242,91498	1,09986
15,385	39,000	0,00077	0,03900	1245,74899	1,12880
15,420	40,000	0,00077	0,04000	1248,58300	1,15774
15,455	41,000	0,00077	0,04100	1251,41700	1,18669
15,490	42,000	0,00077	0,04200	1254,25101	1,21563
15,525	43,000	0,00078	0,04300	1257,08502	1,24457
15,560	44,000	0,00078	0,04400	1259,91903	1,27352
15,595	45,000	0,00078	0,04500	1262,75304	1,30246
15,630	46,000	0,00078	0,04600	1265,58704	1,33140
15,665	47,000	0,00078	0,04700	1268,42105	1,36035
15,700	48,000	0,00079	0,04800	1271,25506	1,38929
15,735	49,000	0,00079	0,04900	1274,08907	1,41823
15,770	50,000	0,00079	0,05000	1276,92308	1,44718
15,805	51,000	0,00079	0,05100	1279,75709	1,47612
15,840	52,000	0,00079	0,05200	1282,59109	1,50507
15,875	53,000	0,00079	0,05300	1285,42510	1,53401
15,910	54,000	0,00080	0,05400	1288,25911	1,56295
15,945	55,000	0,00080	0,05500	1291,09312	1,59190
15,980	56,000	0,00080	0,05600	1293,92713	1,62084
16,015	57,000	0,00080	0,05700	1296,76113	1,64978
16,050	58,000	0,00080	0,05800	1299,59514	1,67873
16,085	59,000	0,00080	0,05900	1302,42915	1,70767
16,120	60,000	0,00081	0,06000	1305,26316	1,73661
16,155	61,000	0,00081	0,06100	1308,09717	1,76556
16,190	62,000	0,00081	0,06200	1310,93117	1,79450
16,225	63,000	0,00081	0,06300	1313,76518	1,82344
16,260	64,000	0,00081	0,06400	1316,59919	1,85239
16,295	65,000	0,00081	0,06500	1319,43320	1,88133
16,330	66,000	0,00082	0,06600	1322,26721	1,91027
16,365	67,000	0,00082	0,06700	1325,10121	1,93922
16,400	68,000	0,00082	0,06800	1327,93522	1,96816



CARGA EN EL DIAL	ALARGAMIENTO EN EL DIAL	CARGA REAL (Tn)	ALARGAMIENTO REAL (m)	ESFUERZO Tn/m ²	DEFORMACIÓN
16,435	69,000	0,00082	0,06900	1330,76923	1,99711
16,470	70,000	0,00082	0,07000	1333,60324	2,02605
16,505	71,000	0,00083	0,07100	1336,43725	2,05499
16,540	72,000	0,00083	0,07200	1339,27126	2,08394
16,575	73,000	0,00083	0,07300	1342,10526	2,11288
16,610	74,000	0,00083	0,07400	1344,93927	2,14182
16,645	75,000	0,00083	0,07500	1347,77328	2,17077
16,680	76,000	0,00083	0,07600	1350,60729	2,19971
16,715	77,000	0,00084	0,07700	1353,44130	2,22865
16,750	78,000	0,00084	0,07800	1356,27530	2,25760
16,785	79,000	0,00084	0,07900	1359,10931	2,28654
16,820	80,000	0,00084	0,08000	1361,94332	2,31548
16,855	81,000	0,00084	0,08100	1364,77733	2,34443
16,890	82,000	0,00084	0,08200	1367,61134	2,37337
16,925	83,000	0,00085	0,08300	1370,44534	2,40232
16,960	84,000	0,00085	0,08400	1373,27935	2,43126
17,000	85,000	0,00085	0,08500	1376,51822	2,46020
17,083	86,000	0,00085	0,08600	1383,23887	2,48915
17,166	87,000	0,00086	0,08700	1389,95951	2,51809
17,249	88,000	0,00086	0,08800	1396,68016	2,54703
17,332	89,000	0,00087	0,08900	1403,40081	2,57598
17,415	90,000	0,00087	0,09000	1410,12146	2,60492
17,498	91,000	0,00087	0,09100	1416,84211	2,63386
17,581	92,000	0,00088	0,09200	1423,56275	2,66281
17,664	93,000	0,00088	0,09300	1430,28340	2,69175
17,747	94,000	0,00089	0,09400	1437,00405	2,72069
17,830	95,000	0,00089	0,09500	1443,72470	2,74964
17,913	96,000	0,00090	0,09600	1450,44534	2,77858
17,996	97,000	0,00090	0,09700	1457,16599	2,80753
18,079	98,000	0,00090	0,09800	1463,88664	2,83647
18,162	99,000	0,00091	0,09900	1470,60729	2,86541
18,245	100,000	0,00091	0,10000	1477,32794	2,89436
18,328	101,000	0,00092	0,10100	1484,04858	2,92330
18,411	102,000	0,00092	0,10200	1490,76923	2,95224
18,494	103,000	0,00092	0,10300	1497,48988	2,98119
18,577	104,000	0,00093	0,10400	1504,21053	3,01013
18,660	105,000	0,00093	0,10500	1510,93117	3,03907
18,743	106,000	0,00094	0,10600	1517,65182	3,06802
18,826	107,000	0,00094	0,10700	1524,37247	3,09696
18,909	108,000	0,00095	0,10800	1531,09312	3,12590
18,992	109,000	0,00095	0,10900	1537,81377	3,15485
19,075	110,000	0,00095	0,11000	1544,53441	3,18379
19,158	111,000	0,00096	0,11100	1551,25506	3,21274
19,241	112,000	0,00096	0,11200	1557,97571	3,24168
19,324	113,000	0,00097	0,11300	1564,69636	3,27062
19,407	114,000	0,00097	0,11400	1571,41700	3,29957
19,490	115,000	0,00097	0,11500	1578,13765	3,32851
19,573	116,000	0,00098	0,11600	1584,85830	3,35745
19,656	117,000	0,00098	0,11700	1591,57895	3,38640
19,739	118,000	0,00099	0,11800	1598,29960	3,41534



CARGA EN EL DIAL	ALARGAMIENTO EN EL DIAL	CARGA REAL (Tn)	ALARGAMIENTO REAL (m)	ESFUERZO Tn/m ²	DEFORMACIÓN
19,822	119,000	0,00099	0,11900	1605,02024	3,44428
19,905	120,000	0,00100	0,12000	1611,74089	3,47323
19,988	121,000	0,00100	0,12100	1618,46154	3,50217
20,071	122,000	0,00100	0,12200	1625,18219	3,53111
20,154	123,000	0,00101	0,12300	1631,90283	3,56006
20,237	124,000	0,00101	0,12400	1638,62348	3,58900
20,320	125,000	0,00102	0,12500	1645,34413	3,61795
20,403	126,000	0,00102	0,12600	1652,06478	3,64689
20,486	127,000	0,00102	0,12700	1658,78543	3,67583
20,569	128,000	0,00103	0,12800	1665,50607	3,70478
20,652	129,000	0,00103	0,12900	1672,22672	3,73372
20,735	130,000	0,00104	0,13000	1678,94737	3,76266
20,818	131,000	0,00104	0,13100	1685,66802	3,79161
20,901	132,000	0,00105	0,13200	1692,38866	3,82055
20,984	133,000	0,00105	0,13300	1699,10931	3,84949
21,067	134,000	0,00105	0,13400	1705,82996	3,87844
21,150	135,000	0,00106	0,13500	1712,55061	3,90738
21,233	136,000	0,00106	0,13600	1719,27126	3,93632
21,316	137,000	0,00107	0,13700	1725,99190	3,96527
21,399	138,000	0,00107	0,13800	1732,71255	3,99421
21,482	139,000	0,00107	0,13900	1739,43320	4,02315
21,565	140,000	0,00108	0,14000	1746,15385	4,05210
21,648	141,000	0,00108	0,14100	1752,87449	4,08104
21,731	142,000	0,00109	0,14200	1759,59514	4,10999
21,814	143,000	0,00109	0,14300	1766,31579	4,13893
21,897	144,000	0,00109	0,14400	1773,03644	4,16787
21,980	145,000	0,00110	0,14500	1779,75709	4,19682
22,063	146,000	0,00110	0,14600	1786,47773	4,22576
22,146	147,000	0,00111	0,14700	1793,19838	4,25470
22,229	148,000	0,00111	0,14800	1799,91903	4,28365
22,312	149,000	0,00112	0,14900	1806,63968	4,31259
22,395	150,000	0,00112	0,15000	1813,36032	4,34153
22,478	151,000	0,00112	0,15100	1820,08097	4,37048
22,561	152,000	0,00113	0,15200	1826,80162	4,39942
22,644	153,000	0,00113	0,15300	1833,52227	4,42836
22,727	154,000	0,00114	0,15400	1840,24291	4,45731
22,810	155,000	0,00114	0,15500	1846,96356	4,48625
22,893	156,000	0,00114	0,15600	1853,68421	4,51520
22,976	157,000	0,00115	0,15700	1860,40486	4,54414
23,059	158,000	0,00115	0,15800	1867,12551	4,57308
23,142	159,000	0,00116	0,15900	1873,84615	4,60203
23,225	160,000	0,00116	0,16000	1880,56680	4,63097
23,308	161,000	0,00117	0,16100	1887,28745	4,65991
23,391	162,000	0,00117	0,16200	1894,00810	4,68886
23,474	163,000	0,00117	0,16300	1900,72874	4,71780
23,557	164,000	0,00118	0,16400	1907,44939	4,74674
23,640	165,000	0,00118	0,16500	1914,17004	4,77569
23,723	166,000	0,00119	0,16600	1920,89069	4,80463
23,806	167,000	0,00119	0,16700	1927,61134	4,83357
23,889	168,000	0,00119	0,16800	1934,33198	4,86252

CARGA EN EL DIAL	ALARGAMIENTO EN EL DIAL	CARGA REAL (Tn)	ALARGAMIENTO REAL (m)	ESFUERZO Tn/m ²	DEFORMACIÓN
23,972	169,000	0,00120	0,16900	1941,05263	4,89146
24,055	170,000	0,00120	0,17000	1947,77328	4,92041
24,138	171,000	0,00121	0,17100	1954,49393	4,94935
24,221	172,000	0,00121	0,17200	1961,21457	4,97829
24,304	173,000	0,00122	0,17300	1967,93522	5,00724
24,387	174,000	0,00122	0,17400	1974,65587	5,03618
24,470	175,000	0,00122	0,17500	1981,37652	5,06512
24,553	176,000	0,00123	0,17600	1988,09717	5,09407
24,636	177,000	0,00123	0,17700	1994,81781	5,12301
24,719	178,000	0,00124	0,17800	2001,53846	5,15195
24,802	179,000	0,00124	0,17900	2008,25911	5,18090
24,885	180,000	0,00124	0,18000	2014,97976	5,20984
24,968	181,000	0,00125	0,18100	2021,70040	5,23878
25,000	182,000	0,00125	0,18200	2024,29150	5,26773
21,000	183,000	0,00105	0,18300	1700,40486	5,29667
20,500	184,000	0,00103	0,18400	1659,91903	5,32562
20,000	185,000	0,00100	0,18500	1619,43320	5,35456
19,600	186,000	0,00098	0,18600	1587,04453	5,38350
19,300	187,000	0,00097	0,18700	1562,75304	5,41245
17,000	188,000	0,00085	0,18800	1376,51822	5,44139
12,000	189,000	0,00060	0,18900	971,65992	5,47033
7,500	190,000	0,00038	0,19000	607,28745	5,49928
2,800	191,000	0,00014	0,19100	226,72065	5,52822
0,000	192,000	0,00000	0,19200	0,00000	5,55716

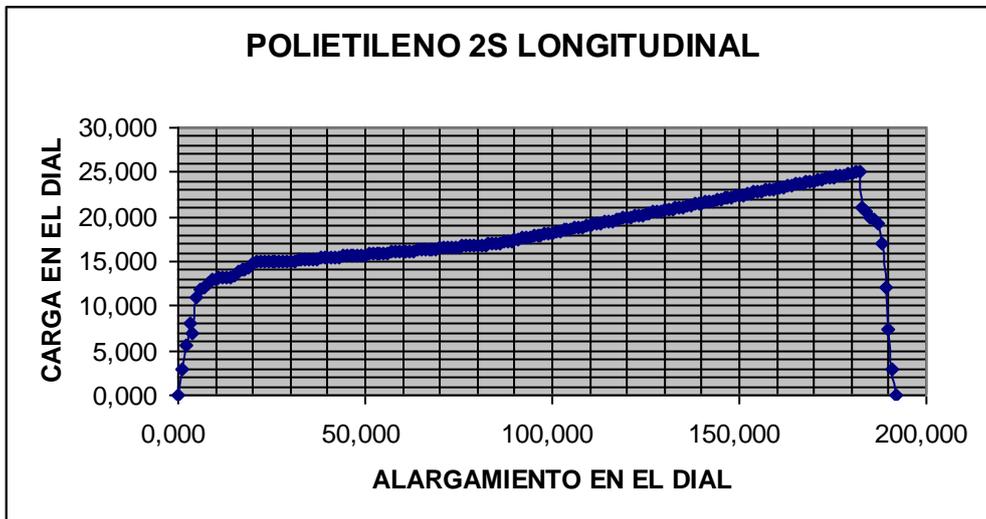


Figura 2.21: Curva Carga-Alargamiento del Polietileno 2S muestra B3 en sentido Longitudinal.

E= 4835,80 Tn/m²

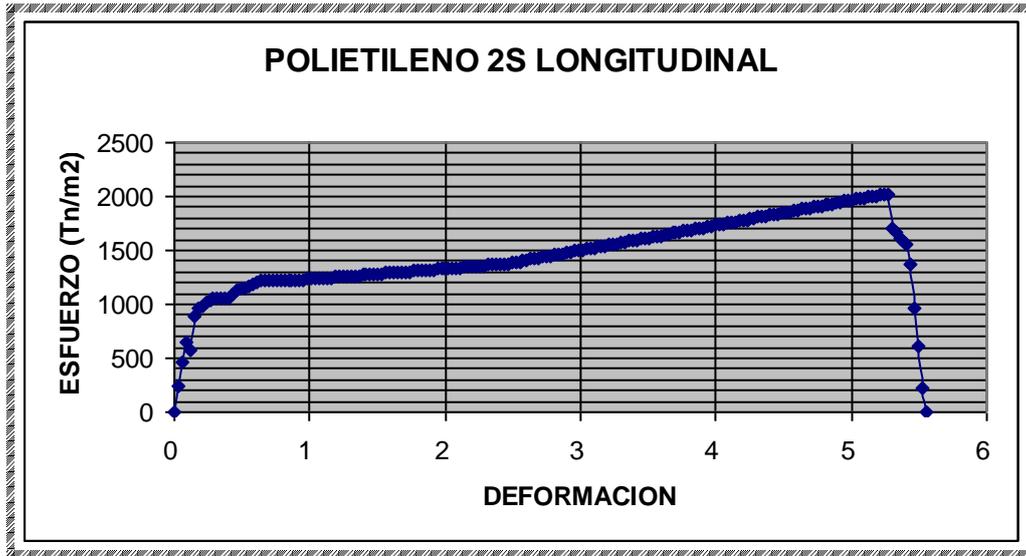


Figura 2.22: Curva Esfuerzo-Deformación del Polietileno 2S muestra B3 en sentido Longitudinal.

Tabla 2.7: Datos obtenidos del ensayo de tracción de polietileno 2S muestra B4 en sentido Longitudinal.

a	b	Ao	Lo
mm	mm	mm ²	mm
0,17	3,25	0,54	32,59

CARGA EN EL DIAL	ALARGAMIENTO EN EL DIAL	CARGA REAL (Tn)	ALARGAMIENTO REAL (m)	ESFUERZO Tn/m ²	DEFORMACIÓN
0,000	0,000	0,00000	0,0000	0,0000	0,0000
2,000	1,000	0,00010	0,0010	186,4802	0,0307
5,000	2,000	0,00025	0,0020	466,2005	0,0614
7,000	3,000	0,00035	0,0030	652,6807	0,0921
8,900	4,000	0,00045	0,0040	829,8368	0,1227
9,500	5,000	0,00048	0,0050	885,7809	0,1534
10,000	6,000	0,00050	0,0060	932,4009	0,1841
10,500	7,000	0,00053	0,0070	979,0210	0,2148
10,900	8,000	0,00055	0,0080	1016,3170	0,2455
11,000	9,000	0,00055	0,0090	1025,6410	0,2762
11,000	10,000	0,00055	0,0100	1025,6410	0,3068
11,000	11,000	0,00055	0,0110	1025,6410	0,3375
11,000	12,000	0,00055	0,0120	1025,6410	0,3682
11,000	13,000	0,00055	0,0130	1025,6410	0,3989
11,000	14,000	0,00055	0,0140	1025,6410	0,4296
11,500	15,000	0,00058	0,0150	1072,2611	0,4603
11,500	16,000	0,00058	0,0160	1072,2611	0,4909



CARGA EN EL DIAL	ALARGAMIENTO EN EL DIAL	CARGA REAL (Tn)	ALARGAMIENTO REAL (m)	ESFUERZO Tn/m ²	DEFORMACIÓN
11,500	17,000	0,00058	0,0170	1072,2611	0,5216
11,500	18,000	0,00058	0,0180	1072,2611	0,5523
12,200	19,000	0,00061	0,0190	1137,5291	0,5830
12,300	20,000	0,00062	0,0200	1146,8531	0,6137
12,900	21,000	0,00065	0,0210	1202,7972	0,6444
13,000	22,000	0,00065	0,0220	1212,1212	0,6751
13,000	23,000	0,00065	0,0230	1212,1212	0,7057
13,000	24,000	0,00065	0,0240	1212,1212	0,7364
13,300	25,000	0,00067	0,0250	1240,0932	0,7671
13,500	26,000	0,00068	0,0260	1258,7413	0,7978
13,600	27,000	0,00068	0,0270	1268,0653	0,8285
13,900	28,000	0,00070	0,0280	1296,0373	0,8592
13,990	29,000	0,00070	0,0290	1304,4289	0,8898
14,000	30,000	0,00070	0,0300	1305,3613	0,9205
14,000	31,000	0,00070	0,0310	1305,3613	0,9512
14,000	32,000	0,00070	0,0320	1305,3613	0,9819
14,000	33,000	0,00070	0,0330	1305,3613	1,0126
14,000	34,000	0,00070	0,0340	1305,3613	1,0433
14,100	35,000	0,00071	0,0350	1314,6853	1,0739
14,100	36,000	0,00071	0,0360	1314,6853	1,1046
14,145	37,000	0,00071	0,0370	1318,8811	1,1353
14,190	38,000	0,00071	0,0380	1323,0769	1,1660
14,235	39,000	0,00071	0,0390	1327,2727	1,1967
14,280	40,000	0,00071	0,0400	1331,4685	1,2274
14,325	41,000	0,00072	0,0410	1335,6643	1,2581
14,370	42,000	0,00072	0,0420	1339,8601	1,2887
14,415	43,000	0,00072	0,0430	1344,0559	1,3194
14,460	44,000	0,00072	0,0440	1348,2517	1,3501
14,505	45,000	0,00073	0,0450	1352,4476	1,3808
14,550	46,000	0,00073	0,0460	1356,6434	1,4115
14,595	47,000	0,00073	0,0470	1360,8392	1,4422
14,640	48,000	0,00073	0,0480	1365,0350	1,4728
14,685	49,000	0,00073	0,0490	1369,2308	1,5035
14,730	50,000	0,00074	0,0500	1373,4266	1,5342
14,775	51,000	0,00074	0,0510	1377,6224	1,5649
14,820	52,000	0,00074	0,0520	1381,8182	1,5956
14,865	53,000	0,00074	0,0530	1386,0140	1,6263
14,910	54,000	0,00075	0,0540	1390,2098	1,6569
14,955	55,000	0,00075	0,0550	1394,4056	1,6876
15,000	56,000	0,00075	0,0560	1398,6014	1,7183
15,041	57,000	0,00075	0,0570	1402,4242	1,7490
15,082	58,000	0,00075	0,0580	1406,2471	1,7797
15,123	59,000	0,00076	0,0590	1410,0699	1,8104
15,164	60,000	0,00076	0,0600	1413,8928	1,8411
15,205	61,000	0,00076	0,0610	1417,7156	1,8717
15,246	62,000	0,00076	0,0620	1421,5385	1,9024
15,287	63,000	0,00076	0,0630	1425,3613	1,9331
15,328	64,000	0,00077	0,0640	1429,1841	1,9638
15,369	65,000	0,00077	0,0650	1433,0070	1,9945
15,410	66,000	0,00077	0,0660	1436,8298	2,0252



CARGA EN EL DIAL	ALARGAMIENTO EN EL DIAL	CARGA REAL (Tn)	ALARGAMIENTO REAL (m)	ESFUERZO Tn/m ²	DEFORMACIÓN
15,451	67,000	0,00077	0,0670	1440,6527	2,0558
15,492	68,000	0,00077	0,0680	1444,4755	2,0865
15,533	69,000	0,00078	0,0690	1448,2984	2,1172
15,574	70,000	0,00078	0,0700	1452,1212	2,1479
15,615	71,000	0,00078	0,0710	1455,9441	2,1786
15,656	72,000	0,00078	0,0720	1459,7669	2,2093
15,697	73,000	0,00078	0,0730	1463,5897	2,2400
15,738	74,000	0,00079	0,0740	1467,4126	2,2706
15,779	75,000	0,00079	0,0750	1471,2354	2,3013
15,820	76,000	0,00079	0,0760	1475,0583	2,3320
15,861	77,000	0,00079	0,0770	1478,8811	2,3627
15,902	78,000	0,00080	0,0780	1482,7040	2,3934
15,943	79,000	0,00080	0,0790	1486,5268	2,4241
16,000	80,000	0,00080	0,0800	1491,8415	2,4547
16,055	81,000	0,00080	0,0810	1496,9697	2,4854
16,110	82,000	0,00081	0,0820	1502,0979	2,5161
16,165	83,000	0,00081	0,0830	1507,2261	2,5468
16,220	84,000	0,00081	0,0840	1512,3543	2,5775
16,275	85,000	0,00081	0,0850	1517,4825	2,6082
16,330	86,000	0,00082	0,0860	1522,6107	2,6388
16,385	87,000	0,00082	0,0870	1527,7389	2,6695
16,440	88,000	0,00082	0,0880	1532,8671	2,7002
16,495	89,000	0,00082	0,0890	1537,9953	2,7309
16,550	90,000	0,00083	0,0900	1543,1235	2,7616
16,605	91,000	0,00083	0,0910	1548,2517	2,7923
16,660	92,000	0,00083	0,0920	1553,3800	2,8230
16,715	93,000	0,00084	0,0930	1558,5082	2,8536
16,770	94,000	0,00084	0,0940	1563,6364	2,8843
16,825	95,000	0,00084	0,0950	1568,7646	2,9150
16,880	96,000	0,00084	0,0960	1573,8928	2,9457
16,935	97,000	0,00085	0,0970	1579,0210	2,9764
17,000	98,000	0,00085	0,0980	1585,0816	3,0071
17,100	99,000	0,00086	0,0990	1594,4056	3,0377
17,200	100,000	0,00086	0,1000	1603,7296	3,0684
17,300	101,000	0,00087	0,1010	1613,0536	3,0991
17,400	102,000	0,00087	0,1020	1622,3776	3,1298
17,500	103,000	0,00088	0,1030	1631,7016	3,1605
17,600	104,000	0,00088	0,1040	1641,0256	3,1912
17,700	105,000	0,00089	0,1050	1650,3497	3,2218
17,800	106,000	0,00089	0,1060	1659,6737	3,2525
17,900	107,000	0,00090	0,1070	1668,9977	3,2832
18,000	108,000	0,00090	0,1080	1678,3217	3,3139
18,053	109,000	0,00090	0,1090	1683,2634	3,3446
18,106	110,000	0,00091	0,1100	1688,2051	3,3753
18,159	111,000	0,00091	0,1110	1693,1469	3,4060
18,212	112,000	0,00091	0,1120	1698,0886	3,4366
18,265	113,000	0,00091	0,1130	1703,0303	3,4673
18,318	114,000	0,00092	0,1140	1707,9720	3,4980
18,371	115,000	0,00092	0,1150	1712,9138	3,5287
18,424	116,000	0,00092	0,1160	1717,8555	3,5594



CARGA EN EL DIAL	ALARGAMIENTO EN EL DIAL	CARGA REAL (Tn)	ALARGAMIENTO REAL (m)	ESFUERZO Tn/m ²	DEFORMACIÓN
18,477	117,000	0,00092	0,1170	1722,7972	3,5901
18,530	118,000	0,00093	0,1180	1727,7389	3,6207
18,583	119,000	0,00093	0,1190	1732,6807	3,6514
18,636	120,000	0,00093	0,1200	1737,6224	3,6821
18,689	121,000	0,00093	0,1210	1742,5641	3,7128
18,742	122,000	0,00094	0,1220	1747,5058	3,7435
18,795	123,000	0,00094	0,1230	1752,4476	3,7742
18,848	124,000	0,00094	0,1240	1757,3893	3,8048
18,901	125,000	0,00095	0,1250	1762,3310	3,8355
18,954	126,000	0,00095	0,1260	1767,2727	3,8662
19,000	127,000	0,00095	0,1270	1771,5618	3,8969
19,100	128,000	0,00096	0,1280	1780,8858	3,9276
19,200	129,000	0,00096	0,1290	1790,2098	3,9583
19,300	130,000	0,00097	0,1300	1799,5338	3,9890
19,400	131,000	0,00097	0,1310	1808,8578	4,0196
19,500	132,000	0,00098	0,1320	1818,1818	4,0503
19,600	133,000	0,00098	0,1330	1827,5058	4,0810
19,700	134,000	0,00099	0,1340	1836,8298	4,1117
19,800	135,000	0,00099	0,1350	1846,1538	4,1424
19,900	136,000	0,00100	0,1360	1855,4779	4,1731
20,000	137,000	0,00100	0,1370	1864,8019	4,2037
20,091	138,000	0,00100	0,1380	1873,2867	4,2344
20,182	139,000	0,00101	0,1390	1881,7716	4,2651
20,273	140,000	0,00101	0,1400	1890,2564	4,2958
20,364	141,000	0,00102	0,1410	1898,7413	4,3265
20,455	142,000	0,00102	0,1420	1907,2261	4,3572
20,546	143,000	0,00103	0,1430	1915,7110	4,3878
20,637	144,000	0,00103	0,1440	1924,1958	4,4185
20,728	145,000	0,00104	0,1450	1932,6807	4,4492
20,819	146,000	0,00104	0,1460	1941,1655	4,4799
20,910	147,000	0,00105	0,1470	1949,6503	4,5106
21,000	148,000	0,00105	0,1480	1958,0420	4,5413
21,100	149,000	0,00106	0,1490	1967,3660	4,5720
21,200	150,000	0,00106	0,1500	1976,6900	4,6026
21,300	151,000	0,00107	0,1510	1986,0140	4,6333
21,400	152,000	0,00107	0,1520	1995,3380	4,6640
21,500	153,000	0,00108	0,1530	2004,6620	4,6947
21,600	154,000	0,00108	0,1540	2013,9860	4,7254
21,700	155,000	0,00109	0,1550	2023,3100	4,7561
21,800	156,000	0,00109	0,1560	2032,6340	4,7867
21,900	157,000	0,00110	0,1570	2041,9580	4,8174
22,000	158,000	0,00110	0,1580	2051,2821	4,8481
17,500	159,000	0,00088	0,1590	1631,7016	4,8788
12,500	160,000	0,00063	0,1600	1165,5012	4,9095
7,500	161,000	0,00038	0,1610	699,3007	4,9402
3,000	162,000	0,00015	0,1620	279,7203	4,9708
0,500	163,000	0,00003	0,1630	46,6200	5,0015
0,000	164,000	0,00000	0,1640	0,0000	5,0322

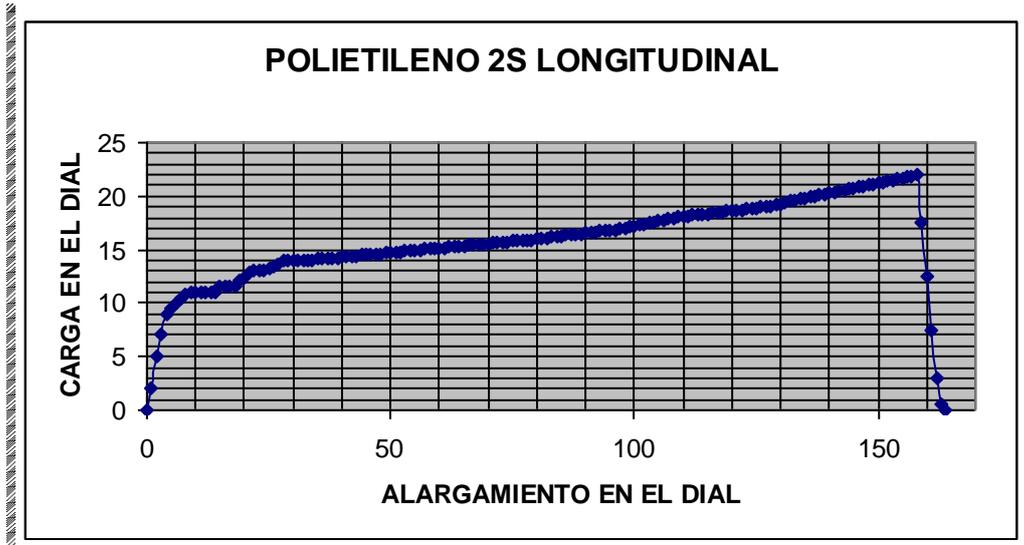


Figura 2.23: Curva Carga-Alargamiento del Polietileno 2S muestra B4 en sentido Longitudinal.

$$E = 6761,10 \text{ Tn/m}^2$$

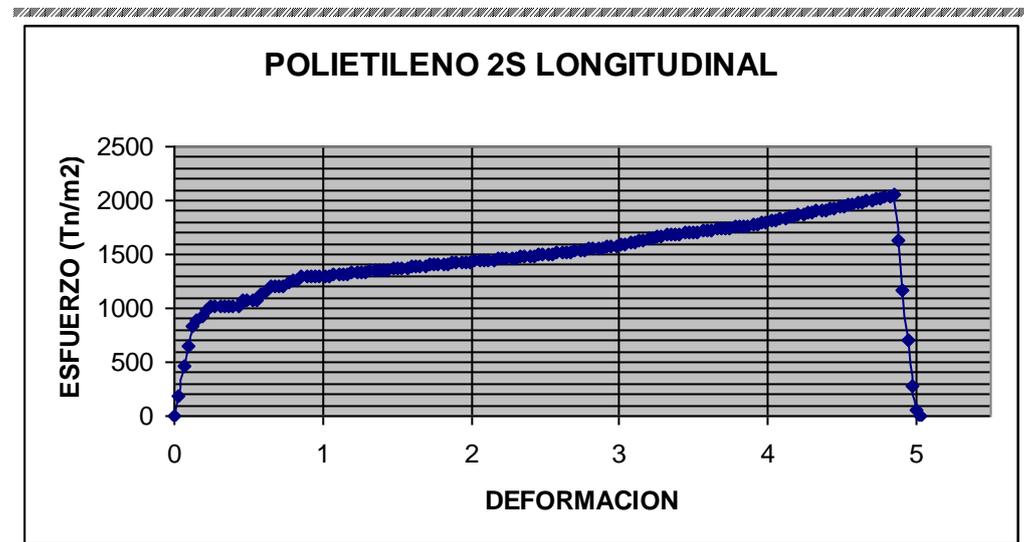


Figura 2.24: Curva Esfuerzo-Deformación del Polietileno 2S muestra B4 en sentido Longitudinal.

2.2.2.8 Fotografías tomadas durante los ensayos realizados con muestras de polietileno nuevo



Figura 2.25: Numeración de las muestras.



Figura 2.26: Obtención de las probetas por medio de la troqueladora.



Figura 2.27: Probetas listas para ser ensayadas y numeradas.



Figura 2.28: Micrómetro para medir espesores.



Figura 2.29: Pie de Rey para medir longitudes.



Figura 2.30: Máquina de Tracción Horizontal "AMSLER".



Figura 2.31: Probeta puesta en las mordazas.



Figura 2.32: Obtención de la curva esfuerzo-deformación.



Figura 2.33: Aplicación de la tracción a la probeta.



Figura 2.34: Medición de la probeta conforme su alargamiento.

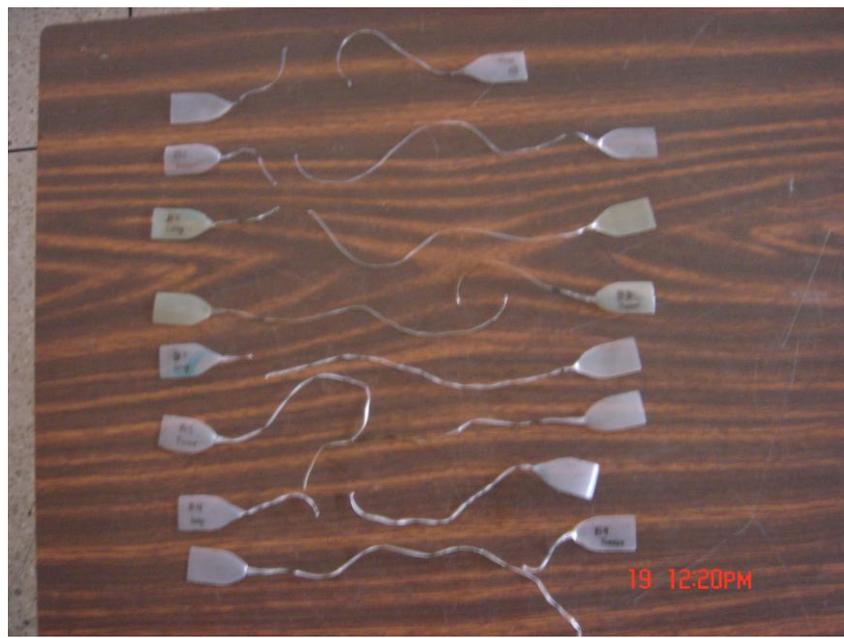


Figura 2.35: Probetas ensayadas.



2.2.3 Ensayo en el laboratorio para la obtención de las curvas esfuerzo-deformación de muestras de pvc film, por medio de tracción

2.2.3.1 Objetivos

- Evaluar a través de una Máquina de Tracción horizontal "AMSLER", el comportamiento de deformación bajo tensión uniaxial de varias probetas de PVC FILM nuevo, en sentido longitudinal y transversal.
- Determinar los parámetros típicos de las curvas de esfuerzo-deformación obtenidas en ensayos de tensión uniaxial para dos probetas en condiciones de ensayos constantes.
- Interpretar correctamente los datos obtenidos en el diagrama de esfuerzo - deformación.

2.2.3.2 Procedimiento

- Primero con la troqueladora obtenemos una probeta longitudinal y otra transversal, es decir, obtenemos 2 probetas.
- Obtenemos las medidas de espesor y ancho con el micrómetro y pie de rey respectivamente.
- Marcamos la parte central de cada probeta y con la ayuda del pie de rey medimos la longitud inicial (L_0).
- Se coloca la probeta en las mordazas de la máquina, asegurándose que la fijación sea la correcta.
- Se aplicará una carga a velocidad uniforme hasta alcanzar la ruptura, obteniendo así la longitud última.
- Se generará un archivo de datos de Carga aplicada, Curva de esfuerzo-deformación y se obtiene el Módulo de Young (E).

**Tabla 2.8:** Datos obtenidos del ensayo de tracción del PVC FILM nuevo, muestra D1, en sentido Longitudinal.

a	b	Ao	Lo
mm	mm	mm ²	mm
0,11	3,25	0,36	33,92

CARGA EN EL DIAL	ALARGAMIENTO EN EL DIAL	CARGA REAL (Tn)	ALARGAMIENTO REAL (m)	ESFUERZO Tn/m ²	DEFORMACIÓN
0,000	0,000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
1,000	1,000	0,00005	0,00100	139,86014	0,02948
1,800	2,000	0,00009	0,00200	251,74825	0,05896
2,100	3,000	0,00011	0,00300	293,70629	0,08844
2,700	4,000	0,00014	0,00400	377,62238	0,11792
3,000	5,000	0,00015	0,00500	419,58042	0,14741
3,400	6,000	0,00017	0,00600	475,52448	0,17689
4,000	7,000	0,00020	0,00700	559,44056	0,20637
4,200	8,000	0,00021	0,00800	587,41259	0,23585
4,900	9,000	0,00025	0,00900	685,31469	0,26533
5,100	10,000	0,00026	0,01000	713,28671	0,29481
5,500	11,000	0,00028	0,01100	769,23077	0,32429
5,900	12,000	0,00030	0,01200	825,17483	0,35377
6,000	13,000	0,00030	0,01300	839,16084	0,38325
6,500	14,000	0,00033	0,01400	909,09091	0,41274
6,645	15,000	0,00033	0,01500	929,37063	0,44222
6,790	16,000	0,00034	0,01600	949,65035	0,47170
6,935	17,000	0,00035	0,01700	969,93007	0,50118
7,080	18,000	0,00035	0,01800	990,20979	0,53066
7,225	19,000	0,00036	0,01900	1010,48951	0,56014
7,370	20,000	0,00037	0,02000	1030,76923	0,58962
7,515	21,000	0,00038	0,02100	1051,04895	0,61910
7,660	22,000	0,00038	0,02200	1071,32867	0,64858
7,805	23,000	0,00039	0,02300	1091,60839	0,67807
7,950	24,000	0,00040	0,02400	1111,88811	0,70755
8,095	25,000	0,00040	0,02500	1132,16783	0,73703
8,240	26,000	0,00041	0,02600	1152,44755	0,76651
8,385	27,000	0,00042	0,02700	1172,72727	0,79599
8,530	28,000	0,00043	0,02800	1193,00699	0,82547
8,675	29,000	0,00043	0,02900	1213,28671	0,85495
8,820	30,000	0,00044	0,03000	1233,56643	0,88443
8,965	31,000	0,00045	0,03100	1253,84615	0,91392
9,110	32,000	0,00046	0,03200	1274,12587	0,94340
9,255	33,000	0,00046	0,03300	1294,40559	0,97288
9,400	34,000	0,00047	0,03400	1314,68531	1,00236
9,545	35,000	0,00048	0,03500	1334,96503	1,03184
9,690	36,000	0,00048	0,03600	1355,24476	1,06132
9,835	37,000	0,00049	0,03700	1375,52448	1,09080
9,980	38,000	0,00050	0,03800	1395,80420	1,12028
10,125	39,000	0,00051	0,03900	1416,08392	1,14976
10,270	40,000	0,00051	0,04000	1436,36364	1,17925
10,415	41,000	0,00052	0,04100	1456,64336	1,20873



CARGA EN EL DIAL	ALARGAMIENTO EN EL DIAL	CARGA REAL (Tn)	ALARGAMIENTO REAL (m)	ESFUERZO Tn/m ²	DEFORMACIÓN
10,560	42,000	0,00053	0,04200	1476,92308	1,23821
10,705	43,000	0,00054	0,04300	1497,20280	1,26769
10,850	44,000	0,00054	0,04400	1517,48252	1,29717
10,995	45,000	0,00055	0,04500	1537,76224	1,32665
11,140	46,000	0,00056	0,04600	1558,04196	1,35613
11,285	47,000	0,00056	0,04700	1578,32168	1,38561
11,430	48,000	0,00057	0,04800	1598,60140	1,41509
11,575	49,000	0,00058	0,04900	1618,88112	1,44458
11,720	50,000	0,00059	0,05000	1639,16084	1,47406
11,865	51,000	0,00059	0,05100	1659,44056	1,50354
12,010	52,000	0,00060	0,05200	1679,72028	1,53302
12,155	53,000	0,00061	0,05300	1700,00000	1,56250
12,300	54,000	0,00062	0,05400	1720,27972	1,59198
12,445	55,000	0,00062	0,05500	1740,55944	1,62146
12,590	56,000	0,00063	0,05600	1760,83916	1,65094
12,735	57,000	0,00064	0,05700	1781,11888	1,68042
12,880	58,000	0,00064	0,05800	1801,39860	1,70991
13,025	59,000	0,00065	0,05900	1821,67832	1,73939
13,170	60,000	0,00066	0,06000	1841,95804	1,76887
13,315	61,000	0,00067	0,06100	1862,23776	1,79835
13,460	62,000	0,00067	0,06200	1882,51748	1,82783
13,605	63,000	0,00068	0,06300	1902,79720	1,85731
13,750	64,000	0,00069	0,06400	1923,07692	1,88679
13,895	65,000	0,00069	0,06500	1943,35664	1,91627
14,040	66,000	0,00070	0,06600	1963,63636	1,94575
14,185	67,000	0,00071	0,06700	1983,91608	1,97524
14,330	68,000	0,00072	0,06800	2004,19580	2,00472
14,475	69,000	0,00072	0,06900	2024,47552	2,03420
14,620	70,000	0,00073	0,07000	2044,75524	2,06368
14,765	71,000	0,00074	0,07100	2065,03497	2,09316
14,910	72,000	0,00075	0,07200	2085,31469	2,12264
15,055	73,000	0,00075	0,07300	2105,59441	2,15212
15,200	74,000	0,00076	0,07400	2125,87413	2,18160
15,345	75,000	0,00077	0,07500	2146,15385	2,21108
15,490	76,000	0,00077	0,07600	2166,43357	2,24057
15,635	77,000	0,00078	0,07700	2186,71329	2,27005
15,780	78,000	0,00079	0,07800	2206,99301	2,29953
15,925	79,000	0,00080	0,07900	2227,27273	2,32901
16,070	80,000	0,00080	0,08000	2247,55245	2,35849
16,215	81,000	0,00081	0,08100	2267,83217	2,38797
16,360	82,000	0,00082	0,08200	2288,11189	2,41745
16,505	83,000	0,00083	0,08300	2308,39161	2,44693
16,650	84,000	0,00083	0,08400	2328,67133	2,47642
16,795	85,000	0,00084	0,08500	2348,95105	2,50590
16,940	86,000	0,00085	0,08600	2369,23077	2,53538
17,085	87,000	0,00085	0,08700	2389,51049	2,56486
17,230	88,000	0,00086	0,08800	2409,79021	2,59434
17,375	89,000	0,00087	0,08900	2430,06993	2,62382
17,520	90,000	0,00088	0,09000	2450,34965	2,65330
17,665	91,000	0,00088	0,09100	2470,62937	2,68278

CARGA EN EL DIAL	ALARGAMIENTO EN EL DIAL	CARGA REAL (Tn)	ALARGAMIENTO REAL (m)	ESFUERZO Tn/m ²	DEFORMACIÓN
17,810	92,000	0,00089	0,09200	2490,90909	2,71226
17,955	93,000	0,00090	0,09300	2511,18881	2,74175
18,100	94,000	0,00091	0,09400	2531,46853	2,77123
18,245	95,000	0,00091	0,09500	2551,74825	2,80071
18,390	96,000	0,00092	0,09600	2572,02797	2,83019
18,535	97,000	0,00093	0,09700	2592,30769	2,85967
18,680	98,000	0,00093	0,09800	2612,58741	2,88915
18,825	99,000	0,00094	0,09900	2632,86713	2,91863
18,970	100,000	0,00095	0,10000	2653,14685	2,94811
19,115	101,000	0,00096	0,10100	2673,42657	2,97759
19,260	102,000	0,00096	0,10200	2693,70629	3,00708
19,405	103,000	0,00097	0,10300	2713,98601	3,03656
19,550	104,000	0,00098	0,10400	2734,26573	3,06604
19,695	105,000	0,00098	0,10500	2754,54545	3,09552
19,840	106,000	0,00099	0,10600	2774,82517	3,12500
20,000	107,000	0,00100	0,10700	2797,20280	3,15448
14,500	108,000	0,00073	0,10800	2027,97203	3,18396
8,700	109,000	0,00044	0,10900	1216,78322	3,21344
4,500	110,000	0,00023	0,11000	629,37063	3,24292
1,500	111,000	0,00008	0,11100	209,79021	3,27241
0,000	112,000	0,00000	0,11200	0,00000	3,30189
-0,100	113,000	-0,00001	0,11300	-13,98601	3,33137

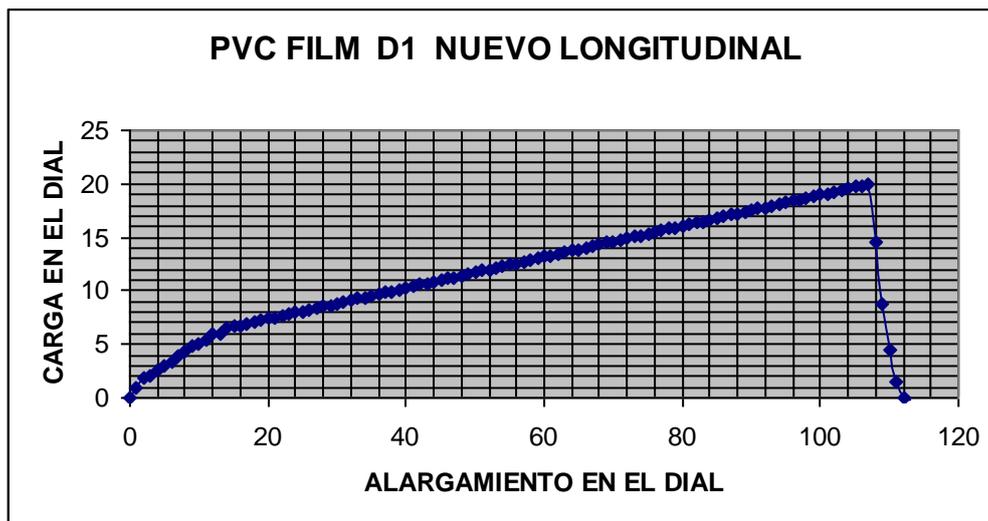


Figura 2.36: Curva Carga-Alargamiento del PVC film nuevo muestra D1 en sentido Longitudinal.

$$\text{Módulo de Young } E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\text{c arg a}}{\text{área}} \times \frac{\text{longitud calibrada}}{\text{extensión}}$$

$$E = \frac{\text{c arg a}}{\text{extensión}} \times \frac{\text{longitud calibrada}}{\text{área}} = \text{Pendiente de la Gráfica} \times \frac{L}{A}$$

$$E = 3320,84 \quad \text{Tn/m}^2$$

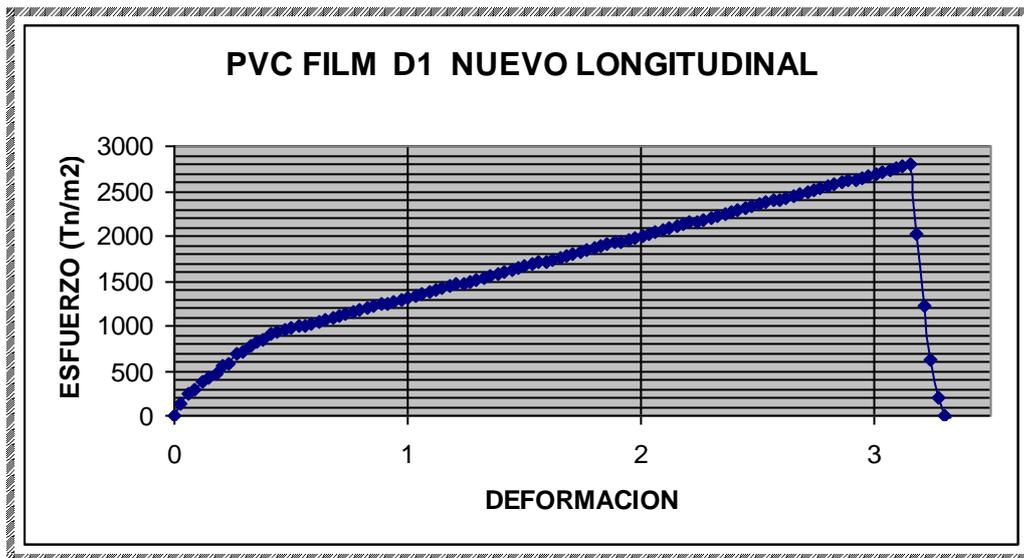


Figura 2.37: Curva Esfuerzo-Deformación del PVC film nuevo muestra D1 en sentido Longitudinal.

2.2.3.3 Fotografías tomadas durante los ensayos realizados con muestras de PVC film nuevo



Figura 2.38: Muestra de PVC film nuevo.

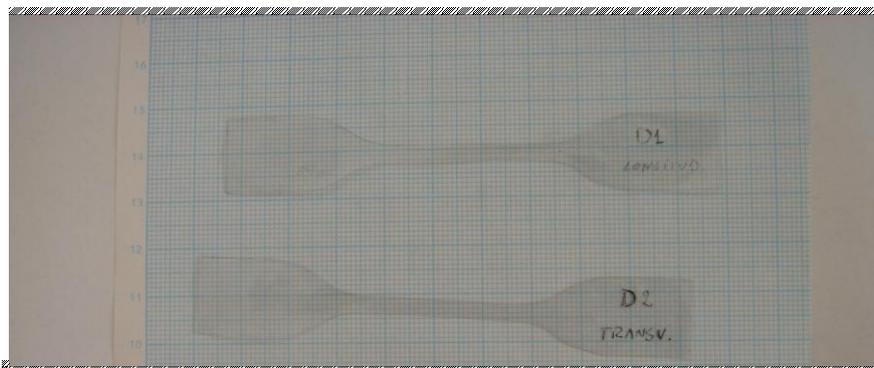


Figura 2.39: Probetas para realizar el ensayo.



Figura 2.40: Probetas luego de realizado el ensayo.

2.2.4 Ensayo en el laboratorio para la obtención de las curvas esfuerzo-deformación del polietileno de un año de expuestas a la intemperie por medio de tracción

Mediante el ensayo en el laboratorio de resistencia de materiales se realizó la prueba de tracción al polietileno de 1 año de expuesta en un invernadero, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 2.9 Datos obtenidos del ensayo de tracción del polietileno de un año de expuestas a la intemperie, muestra C, en sentido transversal.

a	b	Ao	Lo
mm	mm	mm ²	mm
0,16	3,25	0,52	35,06

CARGA EN EL DIAL	ALARGAMIENTO EN EL DIAL	CARGA REAL (Tn)	ALARGAMIENTO REAL (m)	ESFUERZO Tn/m ²	DEFORMACIÓN
0,000	0,000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
4,000	1,000	0,00020	0,00100	384,61538	0,02852
6,700	2,000	0,00034	0,00200	644,23077	0,05705
8,500	3,000	0,00043	0,00300	817,30769	0,08557
9,500	4,000	0,00048	0,00400	913,46154	0,11409
10,000	5,000	0,00050	0,00500	961,53846	0,14261
10,500	6,000	0,00053	0,00600	1009,61538	0,17114
10,506	7,000	0,00053	0,00700	1010,20192	0,19966
10,512	8,000	0,00053	0,00800	1010,78846	0,22818
10,518	9,000	0,00053	0,00900	1011,37500	0,25670
10,524	10,000	0,00053	0,01000	1011,96154	0,28523
10,531	11,000	0,00053	0,01100	1012,54808	0,31375
10,537	12,000	0,00053	0,01200	1013,13462	0,34227
10,543	13,000	0,00053	0,01300	1013,72115	0,37079
10,549	14,000	0,00053	0,01400	1014,30769	0,39932
10,555	15,000	0,00053	0,01500	1014,89423	0,42784
10,561	16,000	0,00053	0,01600	1015,48077	0,45636
10,567	17,000	0,00053	0,01700	1016,06731	0,48488
10,573	18,000	0,00053	0,01800	1016,65385	0,51341
10,579	19,000	0,00053	0,01900	1017,24038	0,54193
10,585	20,000	0,00053	0,02000	1017,82692	0,57045
10,592	21,000	0,00053	0,02100	1018,41346	0,59897
10,598	22,000	0,00053	0,02200	1019,00000	0,62750
10,604	23,000	0,00053	0,02300	1019,58654	0,65602



CARGA EN EL DIAL	ALARGAMIENTO EN EL DIAL	CARGA REAL (Tn)	ALARGAMIENTO REAL (m)	ESFUERZO Tn/m ²	DEFORMACIÓN
10,610	24,000	0,00053	0,02400	1020,17308	0,68454
10,616	25,000	0,00053	0,02500	1020,75962	0,71306
10,622	26,000	0,00053	0,02600	1021,34615	0,74159
10,628	27,000	0,00053	0,02700	1021,93269	0,77011
10,634	28,000	0,00053	0,02800	1022,51923	0,79863
10,640	29,000	0,00053	0,02900	1023,10577	0,82715
10,646	30,000	0,00053	0,03000	1023,69231	0,85568
10,653	31,000	0,00053	0,03100	1024,27885	0,88420
10,659	32,000	0,00053	0,03200	1024,86538	0,91272
10,665	33,000	0,00053	0,03300	1025,45192	0,94124
10,671	34,000	0,00053	0,03400	1026,03846	0,96977
10,677	35,000	0,00053	0,03500	1026,62500	0,99829
10,683	36,000	0,00053	0,03600	1027,21154	1,02681
10,689	37,000	0,00053	0,03700	1027,79808	1,05533
10,695	38,000	0,00053	0,03800	1028,38462	1,08386
10,701	39,000	0,00054	0,03900	1028,97115	1,11238
10,707	40,000	0,00054	0,04000	1029,55769	1,14090
10,714	41,000	0,00054	0,04100	1030,14423	1,16942
10,720	42,000	0,00054	0,04200	1030,73077	1,19795
10,726	43,000	0,00054	0,04300	1031,31731	1,22647
10,732	44,000	0,00054	0,04400	1031,90385	1,25499
10,738	45,000	0,00054	0,04500	1032,49038	1,28351
10,744	46,000	0,00054	0,04600	1033,07692	1,31204
10,750	47,000	0,00054	0,04700	1033,66346	1,34056
10,756	48,000	0,00054	0,04800	1034,25000	1,36908
10,762	49,000	0,00054	0,04900	1034,83654	1,39760
10,768	50,000	0,00054	0,05000	1035,42308	1,42613
10,775	51,000	0,00054	0,05100	1036,00962	1,45465
10,781	52,000	0,00054	0,05200	1036,59615	1,48317
10,787	53,000	0,00054	0,05300	1037,18269	1,51169
10,793	54,000	0,00054	0,05400	1037,76923	1,54022
10,799	55,000	0,00054	0,05500	1038,35577	1,56874
10,805	56,000	0,00054	0,05600	1038,94231	1,59726
10,811	57,000	0,00054	0,05700	1039,52885	1,62578
10,817	58,000	0,00054	0,05800	1040,11538	1,65431
10,823	59,000	0,00054	0,05900	1040,70192	1,68283
10,829	60,000	0,00054	0,06000	1041,28846	1,71135
10,836	61,000	0,00054	0,06100	1041,87500	1,73987
10,842	62,000	0,00054	0,06200	1042,46154	1,76840
10,848	63,000	0,00054	0,06300	1043,04808	1,79692
10,854	64,000	0,00054	0,06400	1043,63462	1,82544
10,860	65,000	0,00054	0,06500	1044,22115	1,85396
10,866	66,000	0,00054	0,06600	1044,80769	1,88249
10,872	67,000	0,00054	0,06700	1045,39423	1,91101
10,878	68,000	0,00054	0,06800	1045,98077	1,93953
10,884	69,000	0,00054	0,06900	1046,56731	1,96805
10,890	70,000	0,00054	0,07000	1047,15385	1,99658
10,897	71,000	0,00054	0,07100	1047,74038	2,02510
10,903	72,000	0,00055	0,07200	1048,32692	2,05362
10,909	73,000	0,00055	0,07300	1048,91346	2,08214



CARGA EN EL DIAL	ALARGAMIENTO EN EL DIAL	CARGA REAL (Tn)	ALARGAMIENTO REAL (m)	ESFUERZO Tn/m ²	DEFORMACIÓN
10,915	74,000	0,00055	0,07400	1049,50000	2,11067
10,921	75,000	0,00055	0,07500	1050,08654	2,13919
10,927	76,000	0,00055	0,07600	1050,67308	2,16771
10,933	77,000	0,00055	0,07700	1051,25962	2,19624
10,939	78,000	0,00055	0,07800	1051,84615	2,22476
10,945	79,000	0,00055	0,07900	1052,43269	2,25328
10,951	80,000	0,00055	0,08000	1053,01923	2,28180
10,958	81,000	0,00055	0,08100	1053,60577	2,31033
10,964	82,000	0,00055	0,08200	1054,19231	2,33885
10,970	83,000	0,00055	0,08300	1054,77885	2,36737
10,976	84,000	0,00055	0,08400	1055,36538	2,39589
10,982	85,000	0,00055	0,08500	1055,95192	2,42442
10,988	86,000	0,00055	0,08600	1056,53846	2,45294
10,994	87,000	0,00055	0,08700	1057,12500	2,48146
11,000	88,000	0,00055	0,08800	1057,69231	2,50998
11,005	89,000	0,00055	0,08900	1058,17308	2,53851
11,010	90,000	0,00055	0,09000	1058,65385	2,56703
11,015	91,000	0,00055	0,09100	1059,13462	2,59555
11,020	92,000	0,00055	0,09200	1059,61538	2,62407
11,025	93,000	0,00055	0,09300	1060,09615	2,65260
11,030	94,000	0,00055	0,09400	1060,57692	2,68112
11,035	95,000	0,00055	0,09500	1061,05769	2,70964
11,040	96,000	0,00055	0,09600	1061,53846	2,73816
11,045	97,000	0,00055	0,09700	1062,01923	2,76669
11,050	98,000	0,00055	0,09800	1062,50000	2,79521
11,055	99,000	0,00055	0,09900	1062,98077	2,82373
11,060	100,000	0,00055	0,10000	1063,46154	2,85225
11,065	101,000	0,00055	0,10100	1063,94231	2,88078
11,070	102,000	0,00055	0,10200	1064,42308	2,90930
11,075	103,000	0,00055	0,10300	1064,90385	2,93782
11,080	104,000	0,00055	0,10400	1065,38462	2,96634
11,085	105,000	0,00055	0,10500	1065,86538	2,99487
11,090	106,000	0,00055	0,10600	1066,34615	3,02339
11,095	107,000	0,00055	0,10700	1066,82692	3,05191
11,100	108,000	0,00056	0,10800	1067,30769	3,08043
11,106	109,000	0,00056	0,10900	1067,84615	3,10896
11,111	110,000	0,00056	0,11000	1068,38462	3,13748
11,117	111,000	0,00056	0,11100	1068,92308	3,16600
11,122	112,000	0,00056	0,11200	1069,46154	3,19452
11,128	113,000	0,00056	0,11300	1070,00000	3,22305
11,134	114,000	0,00056	0,11400	1070,53846	3,25157
11,139	115,000	0,00056	0,11500	1071,07692	3,28009
11,145	116,000	0,00056	0,11600	1071,61538	3,30861
11,150	117,000	0,00056	0,11700	1072,11538	3,33714
10,000	118,000	0,00050	0,11800	961,53846	3,36566
5,000	119,000	0,00025	0,11900	480,76923	3,39418
1,800	120,000	0,00009	0,12000	173,07692	3,42270
0,000	121,000	0,00000	0,12100	0,00000	3,45123
-1,000	122,000	-0,00005	0,12200	-96,15385	3,47975

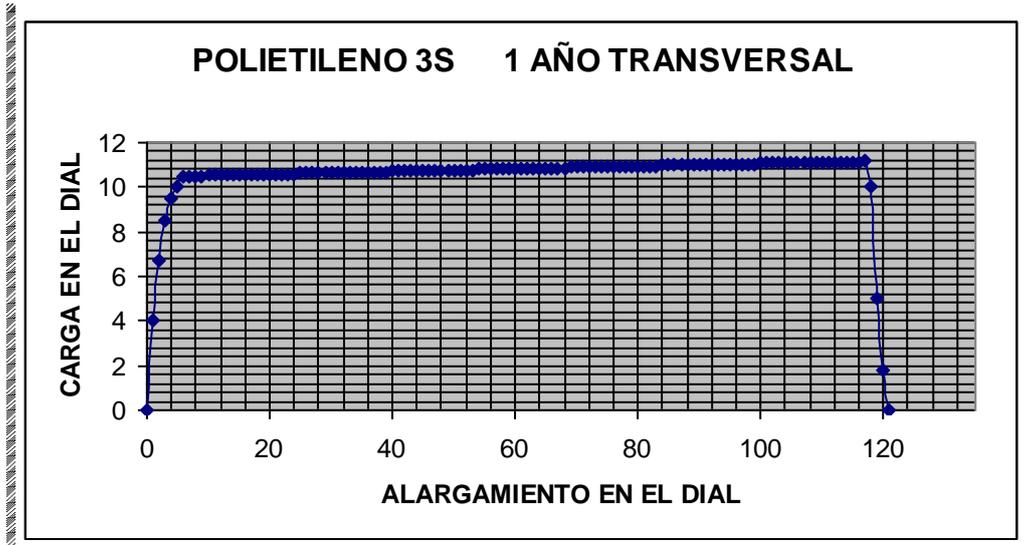


Figura 2.41: Curva Carga-Alargamiento del polietileno de 1 año de exposición en un invernadero, muestra C.

$$\text{Módulo de Young } E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{\text{c arg a}}{\text{área}} \times \frac{\text{longitud calibrada}}{\text{extensión}}$$

$$E = \frac{\text{c arg a}}{\text{extensión}} \times \frac{\text{longitud calibrada}}{\text{área}} = \text{Pendiente de la Gráfica} \times \frac{L}{A}$$

E= 6742,31 Tn/m²

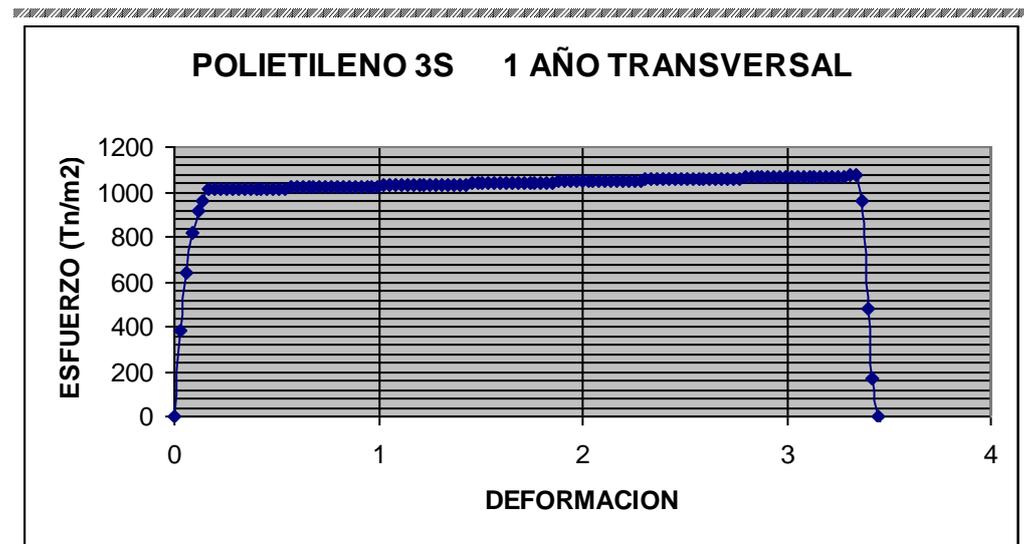


Figura 2.42: Curva Esfuerzo-Deformación del polietileno de 1 año de exposición en un invernadero, muestra C.

2.2.4.1 Fotografías tomadas durante los ensayos realizados con muestras de polietileno de 1 año de expuestas en un invernadero



Figura 2.43: Muestra de polietileno de 1 año.



Figura 2.44: Probetas para realizar el ensayo.



Figura 2.45: Probetas ensayadas.



CAPÍTULO III

ANÁLISIS DE CARGAS.

RESUMEN

En el presente capítulo, se explican dos métodos para el cálculo de cargas de viento sobre estructuras de invernaderos. El primero es el más general y se ha usado por ser más sencillo, pero no considera factores importantes como lo hace el segundo método, el ASCE 7-98, que es el que recomienda la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles y que actualmente se utiliza en toda estructura para el cálculo de sus cargas.

Posteriormente procedemos con el escalamiento de cargas para producir fallas locales y globales, con lo que se determina cuanta carga soporta la estructura, finalmente explicamos la manera de aplicar las curvas de esfuerzo-deformación de los materiales al utilizar el SAP2000.



3.1 MÉTODO TRADICIONAL PARA LA DETERMINACIÓN DE CARGAS DE VIENTO

Cabe mencionar que este método fue utilizado por el Capt. Espinosa Javier en su tesis de grado "PARÁMETROS PARA EL CÁLCULO Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS TIPO INVERNADERO Y COMPARACIÓN CON ESTRUCTURAS METÁLICAS CONVENCIONALES". Misma que se explica a continuación con el objetivo de poder comparar sus resultados con los obtenidos en este proyecto.

El efecto del viento sobre una estructura depende de la densidad y velocidad del aire, del ángulo de incidencia del viento, de la forma y de la rigidez de la estructura y de la rugosidad de su superficie.

La presión ejercida por el viento es proporcional a la velocidad del viento al cuadrado.

Se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Presión del Viento (Po)} = 1/2 * \rho * V^2 \quad (3.1)$$

Donde:

ρ = densidad (se expresa en Kg/m³) $\approx 1,2$ Kg/m³

V = velocidad del viento (m/s)

El resultado es en Pascales = Newton/m² . El Newton equivale a Kg m/seg²

Es decir, la expresión finalmente queda:

$$Po = \frac{V^2 (m/seg)}{16} \quad (3.2)$$

La presión del viento (Po) incide directamente en las estructuras en función de su inclinación, para ello utilizamos las ecuaciones siguientes.

$$W_{x_{barlo.}} = Po (1,2.Sen \alpha - 0,4) \quad (3.3)$$

$$W_{x_{sotav.}} = Po (1,2.Sen (-\alpha) - 0,4) \quad (3.4)$$

Estas presiones se colocarán en forma distribuida en la superficie donde ejerce la presión del viento por medio de la utilización del SAP2000 explicado más adelante en el capítulo 5.1.1.2.

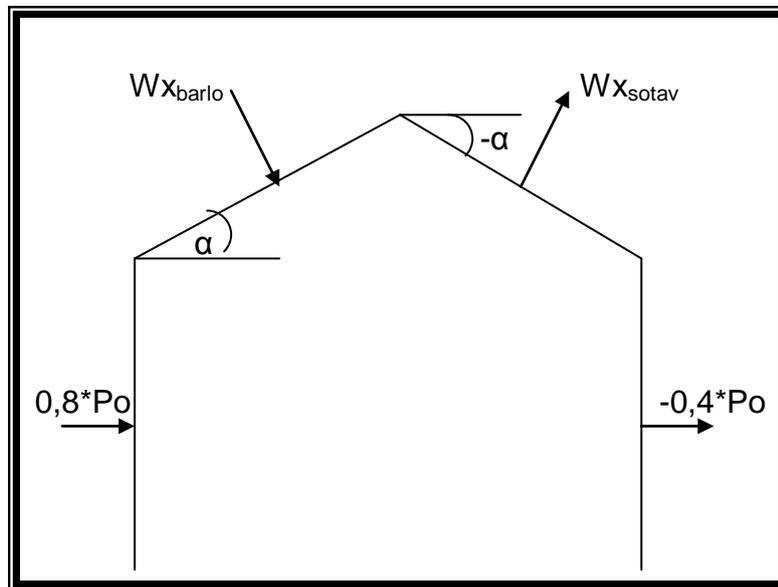


Figura 3.1: Presiones de viento sobre la estructura.

3.2 MÉTODO ASCE 7-98

American Society of Civil Engineers, *ASCE 7-98: Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*.

Los conceptos simples se han utilizado con frecuencia en estimar las cargas vivas para el diseño estructural. Ahora, sin embargo, las cargas vivas en



estructuras, tales como viento, nieve y terremoto, están recibiendo atención creciente para análisis estructurales lo más exactos que sean posibles.

Las cargas del viento han llegado a ser particularmente significativas debido al aumento de estructuras con materiales como plásticos. Otros factores también han contribuido a la importancia del viento en diseño: azoteas bajas, construcción de estructuras especiales que tienen “formas aerodinámicas.”

Algunos invernaderos están en regiones donde la velocidad del viento los ha sacudido excesivamente. Las fuerzas del viento han destapado invernaderos y los techos han sido levantados por altas succiones locales.

Éstos y muchos otros problemas han acentuado la importancia de una comprensión más clara del viento y de sus efectos. Es por ello que la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles preocupado por estos sucesos ha elaborado el Método ASCE 7-98 con el cual se evita el viejo acercamiento simplificado del cálculo de viento sobre estructuras de todo tipo.

El viento no es constante en altura o en tiempo, no es uniforme sobre el costado de un edificio, y no causa siempre presión positiva. De hecho, el viento es un fenómeno muy complicado; es aire en flujo turbulento, lo que significa que el movimiento de las partículas de aire son individuales, provocando movimientos erráticos.

Los ingenieros son responsables no sólo del diseño estructural, sino también



de la elección de los materiales y de los componentes exteriores del revestimiento, de la operación de servicios mecánicos tales como calefacción y ventilación, y de los detalles de aberturas para limitar la infiltración de aire. El viento tiene efectos importantes en cada uno de estos aspectos del diseño.

3.2.1 Cálculo de cargas mínimas de viento para edificios y otras estructuras

Todos los edificios y otras estructuras deben ser diseñados para resistir cargas ambientales. Un ejemplo es la carga de viento. La magnitud de la carga de viento para el diseño pueden ser resueltos usando 3 procedimientos: procedimiento simplificado, procedimiento analítico y procedimiento del túnel de viento.

Para poder aplicar cualquiera de los métodos anteriores es necesario conocer en que se diferencia la estructura flexible de la rígida:

Edificio o estructura flexible: El edificio o estructura se considera flexible si contiene una reacción dinámica significativa. La respuesta resonante en una estructura depende: de la ráfaga de viento que se acerca, de las presiones del viento y de las características dinámicas del edificio o de la estructura. Generalmente el edificio es flexible si la relación de altura con anchura es superior a 4.

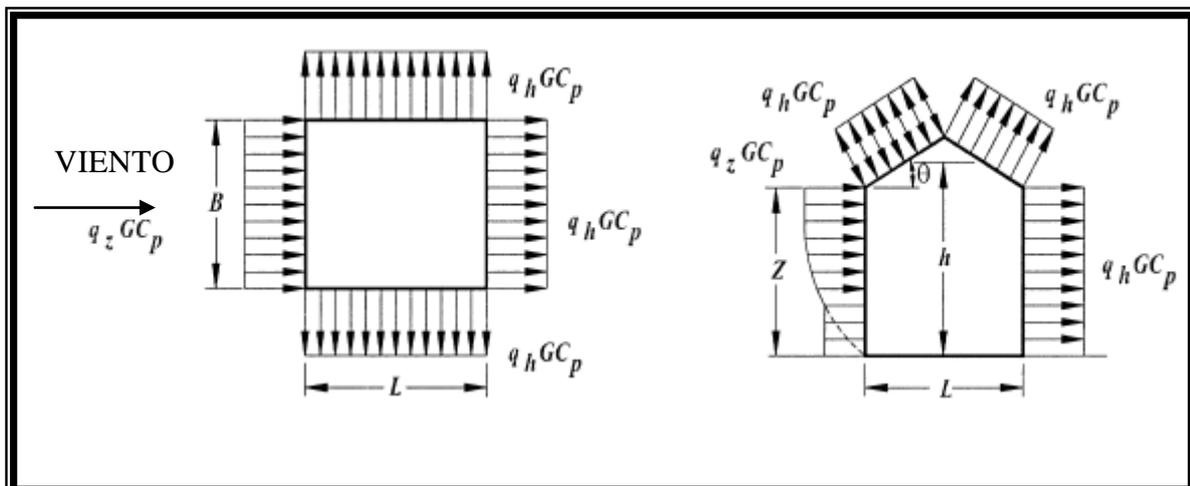
Edificio o estructura rígido: Es una estructura de frecuencia mayor o igual que 1 hertzio. Como regla general los edificios o las estructuras más rígidos tienen una relación de altura a la anchura, máxima o igual a 4.

3.2.1.1 Procedimiento analítico del diseño de la carga del viento

Para el cálculo de cargas de viento en nuestras estructuras se ha considerado el método analítico ya que se aplican las ecuaciones paso por paso, mientras que el método simplificado utiliza constantes válidas sólo para regiones de Estados Unidos de Norteamérica.

Se observa que tanto para el caso del invernadero como para el hangar la relación de altura con respecto a su ancho es menor de 4; por lo tanto nuestras estructuras a analizar son rígidas.

3.2.1.1.1 Presión por velocidad





PLANTA

ELEVACIÓN

Figura 3.2: Presiones por velocidad sobre la estructura.

La presión por velocidad, q_z , evaluado en la altura z (la altura sobre el nivel de tierra) será calculado con la siguiente ecuación:

$$q_z = 0,00256 * K_z * K_{zt} * K_d * V^2 * I \quad (\text{lb} / \text{ft}^2) \quad (3.5)$$

Donde **K_d** = factor de la direccionalidad del viento, tabla 6-6 código.

K_z = coeficiente de la exposición de la presión de la velocidad, tabla 6-5 código.

K_{zt} = factor topográfico y tiene la siguiente ecuación:

$$K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2 \quad (3.6)$$

K_1 , K_2 y K_3 se encuentran en la Fig 6-2 del código.

V = velocidad del viento, en las millas por hora (metros por segundo), y

I = es el factor de importancia de la estructura, es tomado de la tabla 6-1

3.2.1.1.2 Coeficientes de la presión y de la fuerza

Las presiones del viento serán determinadas por la ecuación siguiente:

$$p = qGC_p - q_i(GC_{pi}) \quad (\text{lb} / \text{ft}^2) \quad (\text{N} / \text{m}^2) \quad (3.7)$$

Donde:

qh = la presión de velocidad evaluado a la altura $z = h$ (altura media del tejado), en el lb/ft^2 (N/m^2).

q = q_z para las paredes de barlovento.



$q = q_h$ para las paredes de sotavento, las paredes laterales y las azoteas.

$q_i = q_h$ para las paredes de barlovento, las paredes laterales, las paredes de sotavento y las azoteas de edificios incluidos.

$q_i = q_z$ para la evaluación interna positiva de la presión en edificios parcialmente cerrados.

G = Factor de ráfaga, explicado más adelante.

C_p = coeficiente externo de la presión, Fig 6-3 y Tabla 6-8 del código.

(GC_{pi}) = coeficiente de presión interna, Tabla 6-7 del código.

3.2.1.1.3 Factor G del efecto de la ráfaga

Para las estructuras rígidas, el factor del efecto de la ráfaga será tomado como 0.85 o calculado:

$$G = 0,925 \left(\frac{(1 + 1,7 g_Q I_z^- Q)}{1 + 1,7 g_v I_z^-} \right) \quad (3.8)$$

$$I_z^- = c \left(33 / \bar{z} \right)^{1/6} \quad (3.9)$$

Donde:

La intensidad I_z^- de la turbulencia en la altura \bar{z} (altura equivalente de la estructura definida como **0.6h**); el g_Q y el g_v serán tomados como **3,4**.

c = que es Factor de Intensidad de Turbulencia esta en la Tabla 6-4 del código.

Q que es la respuesta de fondo



$$Q = \sqrt{\frac{1}{1 + 0,63 \left(\frac{B + h}{L_z} \right)^{0,63}}} \quad (3.10)$$

Donde:

$$L_z = l \left(\bar{z} / 33 \right)^{\bar{\epsilon}} \quad (3.11)$$

Donde l y $\bar{\epsilon}$ son constantes que se dan en la Tabla 6-4 del código.

B es la dimensión horizontal de la estructura perpendicular al viento y h es la altura media del tejado.

3.3 ESCALAMIENTO DE CARGAS PARA PRODUCIR FALLAS LOCALES Y GLOBALES

Se ha determinado en estudios anteriores que las estructuras conformadas con plástico, modeladas en el programa SAP2000 fallan a los 80 km/h, pero en la práctica estas estructuras no fallan, aquí entra una interrogante: ¿cómo es posible que esto ocurra?, la respuesta es muy sencilla el plástico a estas velocidades de viento se rompe y se abre provocando que las cargas de viento sobre la estructura disminuyan evitando el colapso.

En el capítulo 3.1 se explicó que la Presión del Viento tiene la siguiente expresión:

$$P_o = \frac{V^2 (m/seg)}{16} \quad (3.12)$$

Como vemos si a nuestra estructura le aplicamos un viento de 80km/h obtenemos una presión de 30,86 kg/m², en cambio, si disminuimos a 60km/h



la presión del viento cae a casi la mitad $17,36 \text{ kg/m}^2$. Lo cual provoca que las cargas sobre la estructura disminuyan notablemente y nuestra estructura no falle, esto se puede realizar en SAP2000 con el cual se determina presión de viento que puede resistir una estructura al aplicar las diferentes cargas de viento. (vea capítulo 5).

Se presenta una alternativa para determinar las cargas de viento sobre estructuras pequeñas, para las diferentes velocidades que presentan los vientos gracias al método Beaufort, presentamos la Tabla 3.1, como guía práctica para determinar la fuerza de carga sobre un invernadero standard, conforme a la velocidad del viento sobre suelo terrestre.

Tabla 3.1: Método Beaufort, para la determinación de la Fuerza de viento sobre cerchas en invernadero standard.

ESTIMACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO SOBRE SUELO TERRESTRE					
Especificación para determinar la velocidad	Descripción	Velocidad Equivalente [km/h]	Fuerza sobre cerchas en Invernadero standard [kg / metro de cercha]		Número Beaufort
			Barlovento	Sotavento	
La acción del viento se percibe sobre la cara, se escucha el susurrar de las hojas de las plantas, las veletas comunes se mueven	Brisa Suave	6 - 11	0.59	2.46	2
Las hojas y pequeñas ramas están moviéndose continuamente, el viento extiende las banderas hechas de tejido suave	Brisa Leve	12 - 19	1.77	7.34	3
Se levantan el polvo y los papeles sueltos, las pequeñas ramas de los árboles se mueven	Brisa moderada	20 - 28	3.83	15.93	4
En los árboles pequeños todo el ramaje empieza a mecarse y se forman pequeñas crestas en las ondas de agua de lagunas	Viento moderado	29 - 38	7.06	29.35	5
Se mueven las ramas grandes de los árboles					



3.4 APLICACIÓN DE LAS CURVAS ESFUERZO-DEFORMACIÓN DEL POLIETILENO Y PVC FILM PARA UTILIZARLAS EN LOS MODELOS ESTRUCTURALES DE UN INVERNADERO TIPO Y UN HANGAR PARA HELICÓPTERO “LAMA”

Gracias a la obtención de las curvas de esfuerzo-deformación del polietileno y PVC film, en el Laboratorio de Resistencia de Materiales de la ESPE, se ha podido determinar el Módulo de Young, que no es más que la fuerza necesaria



por unidad de superficie, para producir un estiramiento unitario en el material, dándonos una idea bastante clara de la elasticidad del material.

Este módulo es necesario para colocarlo en las características del material que se colocará como cubierta en nuestro invernadero y en el hangar de helicóptero.

Se han obtenido los siguientes resultados de los ensayos de laboratorio:

Tabla 3.2: Módulo de Young obtenido en laboratorio.

MATERIAL		Módulo de Young σ (E)	
POLIETILENO	3S-UV 200 mic.	8666,67	Tn/m ²
	3S-UV+AV+AF 200 mic.	4364,63	Tn/m ²
	2S-UV+AF+IR 200 mic.	4835,80	Tn/m ²
	2S-UV+IR 200 mic.	6761,10	Tn/m ²
PVC FILM		3320,84	Tn/m ²
POLIETILENO	1 AÑO	6742,31	Tn/m ²

CAPÍTULO IV

DISEÑO Y ESTABLECIMIENTO DEL MODELO O LOS MODELOS DE CÁLCULO



RESUMEN

Se expone una visión general de cómo se aplican las cargas de viento y cargas vivas sobre la estructura, y se explica otra nueva opción para aplicar las cargas mencionadas.

Se comienza a modelar una estructura tridimensional en SAP2000, para posteriormente presentar las ecuaciones que este programa aplica para poder determinar los esfuerzos en los elementos de una estructura de acero y poder diseñar.

2.1. MODELOS INFORMÁTICOS BASADOS EN LOS RESULTADOS OBTENIDOS ANTERIORMENTE

En la Tesis desarrollada por el Sr. Capt. Espinosa Javier, se aplicaron las cargas provocadas por el viento sobre los elementos frame, es decir, directamente en la estructura del invernadero, ahora, por medio de los ensayos de laboratorio, realizados en la Escuela Politécnica del Ejército, se han obtenido las características de los materiales de cubierta utilizados en invernaderos como son los polietilenos y el PVC film, de esta forma se ha



desarrollado un elemento membrana con características muy parecidas a la de los plásticos, a estas membranas se les debe aplicar las cargas de viento calculadas por uno de los dos métodos expuestos en el capítulo 3.1 o 3.2, de esta forma encontramos resultados más próximos a la realidad, y otro método para calcular este tipo de estructuras que están conformadas con elementos tan complejos como son el polietileno y pvc film.

2.2. MODELACIÓN TRIDIMENSIONAL (SAP2000)

Para comenzar a modelar una estructura es necesario ayudarnos del programa AutoCAD, en el cual se debe dibujar toda nuestra estructura en 3D con todos los detalles.

Desde el programa SAP 2000v10.01 importamos nuestro archivo creado en AutoCAD.

Aparece nuestra estructura en SAP2000 en 3D, a un material OTHER se le colocara las características del plástico, como se muestra a continuación:

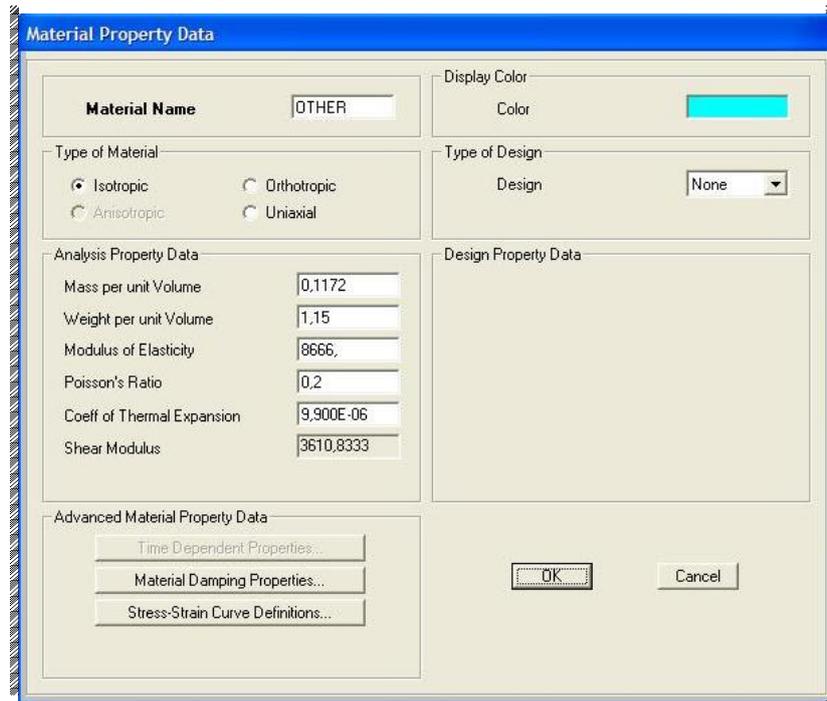


Figura 4.1: Colocación de propiedades a un material OTHER.

Será necesario crear los perfiles para cada elemento de nuestra estructura, para ello nos podemos basar en manuales acero estructural, y asignarles a nuestros elementos frame, un ejemplo de estos manuales esta en la Tabla 4.1 presente a continuación:

Tabla 4.1: Características de tubos estructurales.

1. Tubos Redondos



DENOMINACIÓN		ESPESOR	PESO	
Diámetro Exterior (D)		e	P	P
pulg.	mm	mm	Kg/m	Kg/6m
5/8	15,88	1,50	0,55	3,28
3/4	19,05	1,50	0,67	3,99
7/8	22,22	1,50	0,79	4,73
1	25,40	1,50	0,90	5,37
		2,00	1,17	7,02
1 1/4	31,75	1,50	1,13	6,78
		2,00	1,48	8,90
1 1/2	38,10	1,50	1,37	8,20
		2,00	1,80	10,79
1 3/4	44,45	1,50	1,60	9,57
		2,00	2,13	12,76
1 7/8	47,63	1,50	1,72	10,32
		2,00	2,27	13,62
2	50,80	1,50	1,84	11,02
		2,00	2,43	14,55
		3,00	3,45	20,69
2 1/4	57,15	1,50	2,08	12,47
		2,00	2,79	16,72
2 3/8	60,50	1,50	2,24	13,42
		2,00	2,83	17,00
		3,00	4,38	26,28
2 1/2	63,50	1,50	2,34	14,04
		2,00	3,13	18,75
		3,00	4,62	27,69
3	76,20	2,00	3,68	22,42
		3,00	5,26	33,35
		4,00	7,35	44,09
3 1/2	89,10	2,00	4,37	26,19
		3,00	6,50	39,00
		4,00	8,60	51,62
4 1/2	114,30	2,00	5,59	33,53
		3,00	8,36	50,16
		4,00	11,09	66,51
5	127,00	2,00	6,22	37,30
		3,00	9,26	55,53
		4,00	12,28	73,66

Posteriormente creamos una sección con características de membrana y material OTHER detallado anteriormente, de espesor obtenido en laboratorio, en este caso 0,16mm:

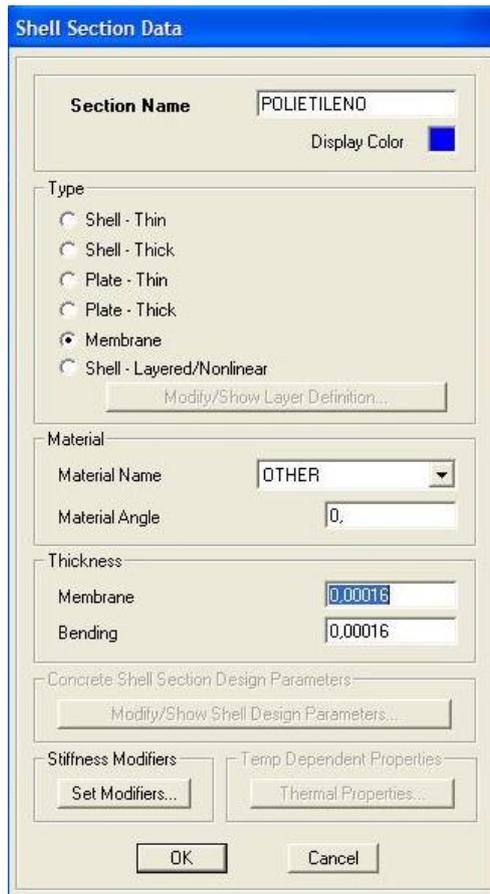


Figura 4.2: creación del elemento shell.

Definimos los siguientes estados de cargas: **muerta** es peso propio; **viva** cargas de granizo, lluvia o ceniza volcánica; y **viento1** que será el viento obtenido con **GCpi (+)** , **viento2** obtenido **GCpi (-)** , que fueron explicados en el capítulo 3.2:

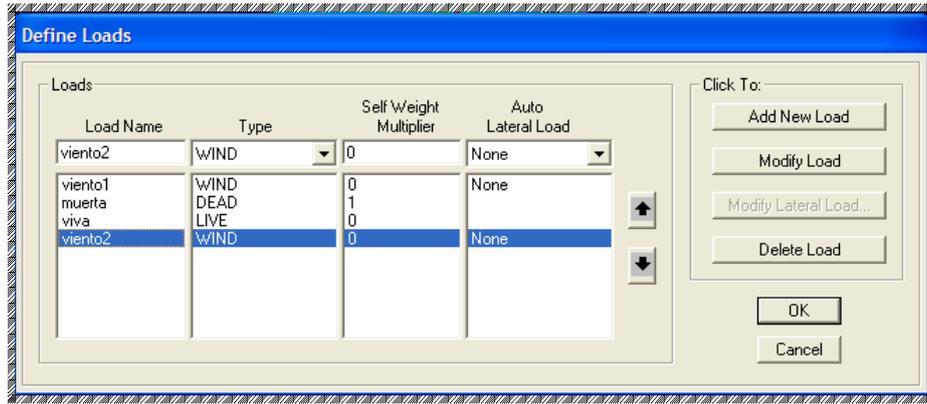


Figura 4.3: Definición de estados de cargas.

Se procederá a colocar las membranas de polietileno a la estructura en todos los lugares donde se cubrirá con el plástico.

En base a los resultados obtenidos con la utilización de las fórmulas expuestas en el capítulo 3.1 Método tradicional o en el capítulo 3.2 Método ASCE 7-98, obtenemos las cargas de viento para nuestra estructura:

Tabla 4.2: Cargas de viento por el Método Tradicional.

	VIENTO		Po	α	W	W	
	Km/h	m/s			barlovento	sotavento	
			Kg/m ²	°	W (Kg/m ²)	W (Kg/m ²)	
Pol1	80,00	22,22	30,86	34	8,37	-33,06	Pol8
Pol2	80,00	22,22	30,86	21	0,93	-25,62	Pol7
Pol3	80,00	22,22	30,86	14	-3,39	-21,31	Pol6
Pol4	80,00	22,22	30,86	6	-8,47	-16,22	Pol5

Tabla 4.3: Cargas de viento por el Método ASCE 7-98.

	GCpi +	GCpi -	
<i>p barlovento</i> =	-26,506	-4,811	kg/m²
<i>p mitad central</i> =	-26,239	-4,545	kg/m²
<i>p sotavento</i> =	-19,547	2,148	kg/m²

Para el ejemplo utilizaremos las cargas de viento calculadas por el Método ASCE 7-98. Estas cargas serán colocadas en las membranas de polietileno como corresponden a cada viento, por ejemplo:

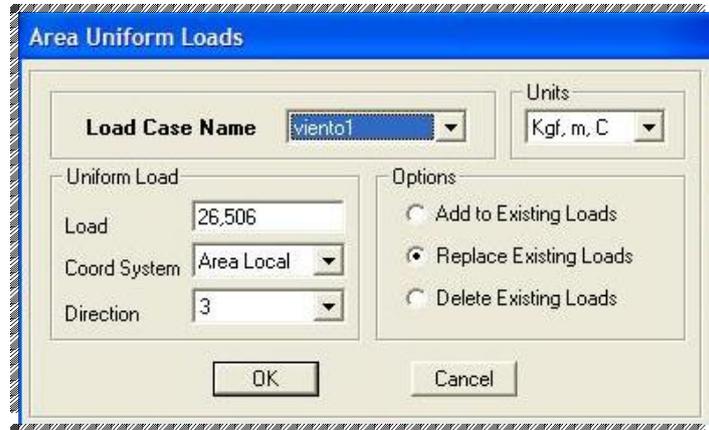


Figura 4.4: Colocación de la carga de viento.

Posteriormente se procede a correr la estructura, obteniendo los resultados para proceder con el diseño.

2.3. MODELACIÓN DE ELEMENTOS CRÍTICOS BÁSICOS (EXCEL)

Para el proceso de diseño nos basamos con el código AISC-LRFD93, por medio del cual el SAP2000 estudia los esfuerzos de una estructura de acero.

4.3.1 Comprobación de compacidad de las secciones de acero

$$\frac{D}{t} \leq \frac{2070}{F_y} [ksi] \quad (4.1)$$



4.3.2 La capacidad de compresión

La fuerza de compresión axial (P_n), depende del valor del radio, y se evalúa por medio de la expresión siguiente:

$$\lambda_c = \frac{KL}{r} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad (4.2)$$

P_n para secciones compactas o no, se evalúan con las siguientes ecuaciones:

$$P_n = A_g F_{cr} \quad (4.3)$$

Siendo:

$$F_{cr} = (0,658^{\lambda_c^2}) F_y, \text{ para } \lambda_c \leq 1,5 \quad (4.4)$$

$$F_{cr} = \left[\frac{0,877}{\lambda_c^2} \right] F_y, \text{ para } \lambda_c > 1,5 \quad (4.5)$$

De esta forma obtenemos cual es la máxima carga que puede resistir una sección de acero.

4.3.3 Requisitos para el diseño a flexión

Uno de los requisitos para el diseño es:

$$M_u \leq \phi_b * M_n \quad (4.6)$$



Donde el factor de resistencia a la compresión (ϕ_b) es igual a 0,90, y el momento requerido M_u esta en función de las cargas aplicadas al elemento, quedando por determinar M_n que es el momento nominal.

Se verifica primeramente si existe pandeo en nuestra sección, y esto se da cuando los apoyos están muy separados, lo cual se debe evitar para que esto no ocurra.

Los pandeos se pueden dar de dos formas: plástica o elástica.

La distancia entre apoyos (L_b) deberá ser menor que L_p para que no ocurra el pandeo lateral-torsional plástico.

$$L_p = 1,76 * r_y * \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (4.7)$$

Para evitar el pandeo lateral-torsional elástico, (L_b) deberá ser menor que L_r cuantificado de la siguiente manera:

$$L_r = \frac{r_y * X_1}{F_y - F_r} \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 (F_y - F_r)^2}} \quad \text{Ecuación F1-6 del LRFD} \quad (4.8)$$

En donde F_r es igual a 10 ksi para perfiles laminados en caliente y 16,5 ksi para perfiles armados a partir de plancha, y:

$$X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{EGJA}{2}} \quad X_2 = 4 \frac{C_w}{I_y} \left(\frac{S_x}{GJ} \right)^2 \quad \text{Ecuación F1-8 y F1-9 del LRFD} \quad (4.9)$$



Donde:

S_x = Módulo de la sección sobre el eje mayor, in³

E = Módulo de Elasticidad del Acero (29000 ksi)

G = Módulo de elasticidad de corte (11200 ksi)

I_y = Momento de Inercia eje y, in⁴

C_w = Constante de torsión, in⁶

Se dan valores calculados de C_w en el manual LOAD & RESISTANCE FACTOR DESIGN (LRFD), para todas las formas T. Sin embargo, para muchos ángulos y formas, C_w es tan pequeño que para los propósitos prácticos puede tomarse como cero.

Si $L_b \leq L_p$, el momento nominal es:

$$M_n = M_p \leq 1,5M_y \quad (4.10)$$

Si $L_p < L_b \leq L_r$, el momento nominal es:

$$M_n = \left[M_p - (M_p - M_r) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (4.11)$$

Si $L_p > L_r$, el momento nominal es:

$$M_n = \frac{S_x \cdot X_1 \cdot \sqrt{2}}{\frac{L_b}{r_4}} \sqrt{1 + \frac{X_1^2 \cdot X_2}{2 \left(\frac{L_b}{r_y} \right)^2}} \leq M_p \quad (4.12)$$



En particular, el momento nominal, para una sección circular es igual al momento plástico:

$$M_p = Z_x * F_y \quad (4.13)$$

Donde:

$$Z_x = \frac{A_{tubo}}{2} * \left(r - \frac{4 * r}{3 * \pi} \right) \quad (4.14)$$



CAPÍTULO V

CÁLCULO Y DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA CON CUBIERTA FLEXIBLE PARA UN INVERNADERO Y UN HANGAR DESMONTABLE PARA UN HELICÓPTERO “LAMA” DEL EJÉRCITO ECUATORIANO.

RESUMEN

En este capítulo se procede al cálculo y diseño de un invernadero y un hangar para el helicóptero “LAMA” del ejército ecuatoriano, con el cálculo de las cargas de viento por el método tradicional y método ASCE 7-98 respectivamente, mediante la utilización del programa SAP2000 y comparando el diseño de elementos con el método AISC-LRFD93 utilizando un programa elaborado en EXCEL.

5.1 CÁLCULO Y DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA CON CUBIERTA FLEXIBLE PARA INVERNADERO

Partiendo del invernadero desarrollado en la Tesis del Sr. Capt Espinosa Javier “Parámetros para el cálculo y diseño de estructuras tipo invernadero y comparación con estructuras metálicas convencionales”, desarrollado en 3D en el SAP2000.

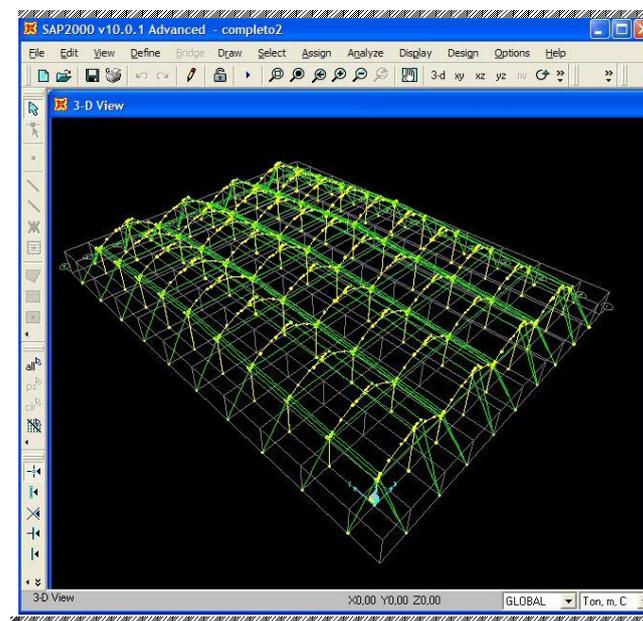


Figura 5.1: Invernadero en 3D en SAP2000.

El mismo que tiene las siguientes características de espaciamientos de cerchas y naves:

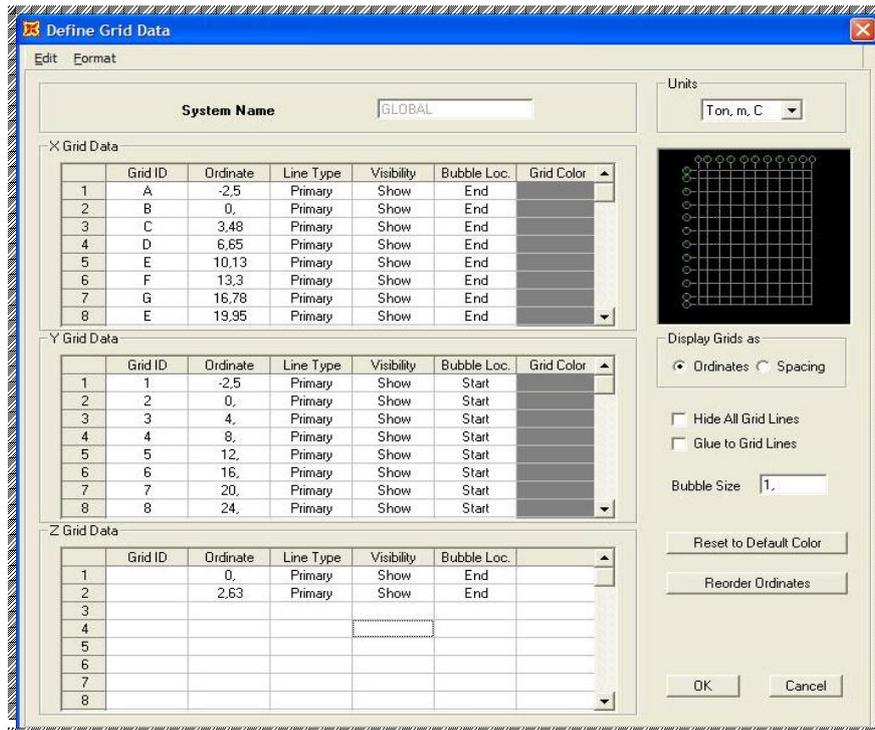


Figura 5.2: Grilla del Invernadero.

Se ha colocado un nombre para cada perfil con sus características, las mismas que han sido asignadas a cada uno de los elementos frame de la estructura como se muestra:

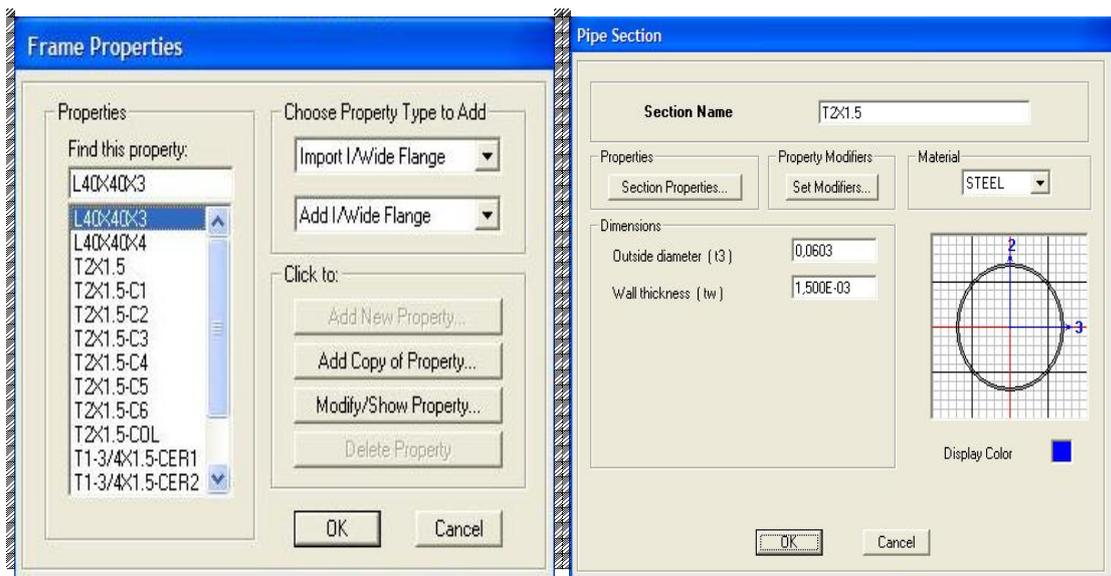


Figura 5.3: Características de los perfiles del Invernadero.

De la misma manera se ha creado los cables con sus características y con diferentes nombres por su ubicación:

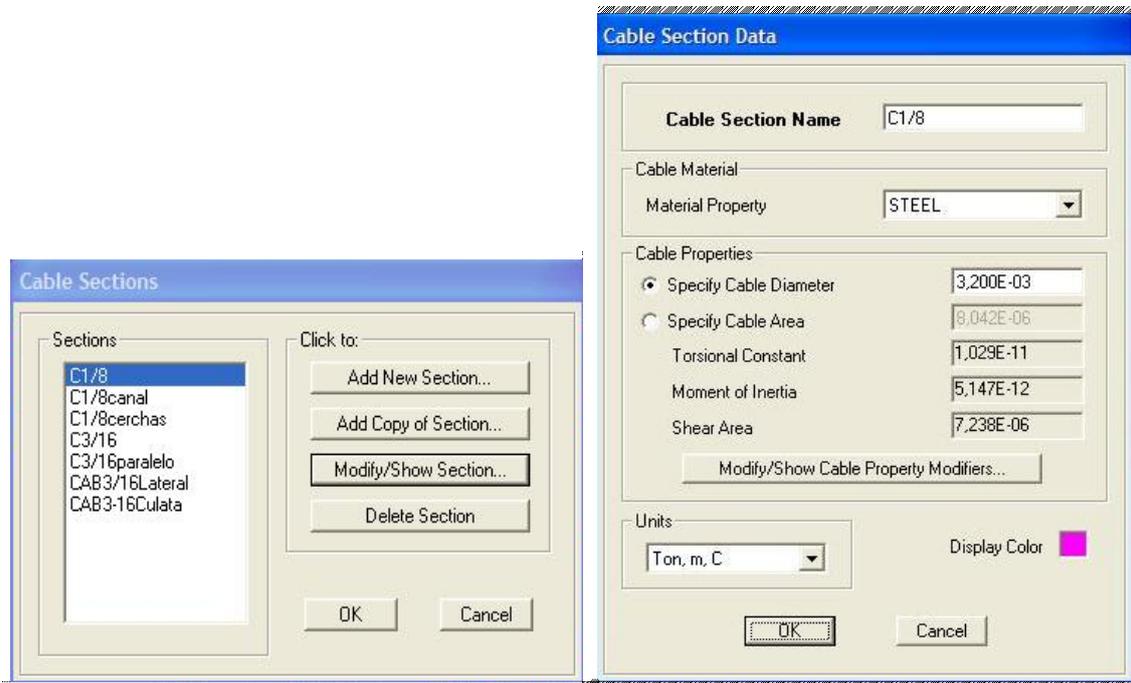


Figura 5.4: Creación de los diferentes del cables de acero.

Los mismos que han sido colocados en la estructura metálica con una fuerza de 300 kg, que es con la que se tensan los cables.

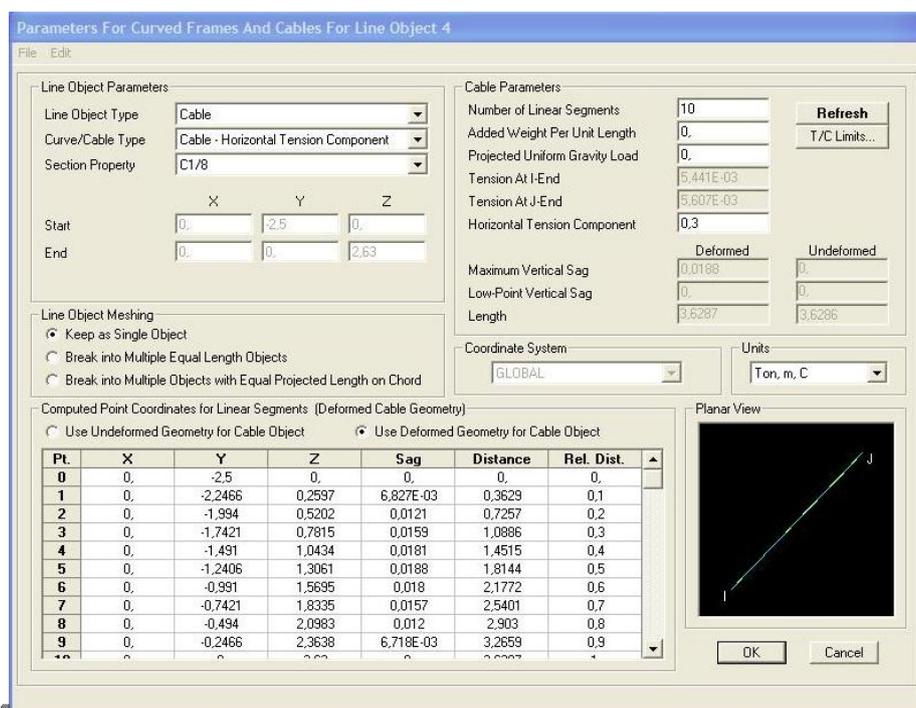


Figura 5.5: Características del cable de acero.

Toda la estructura está empotrada en el nivel Z=0

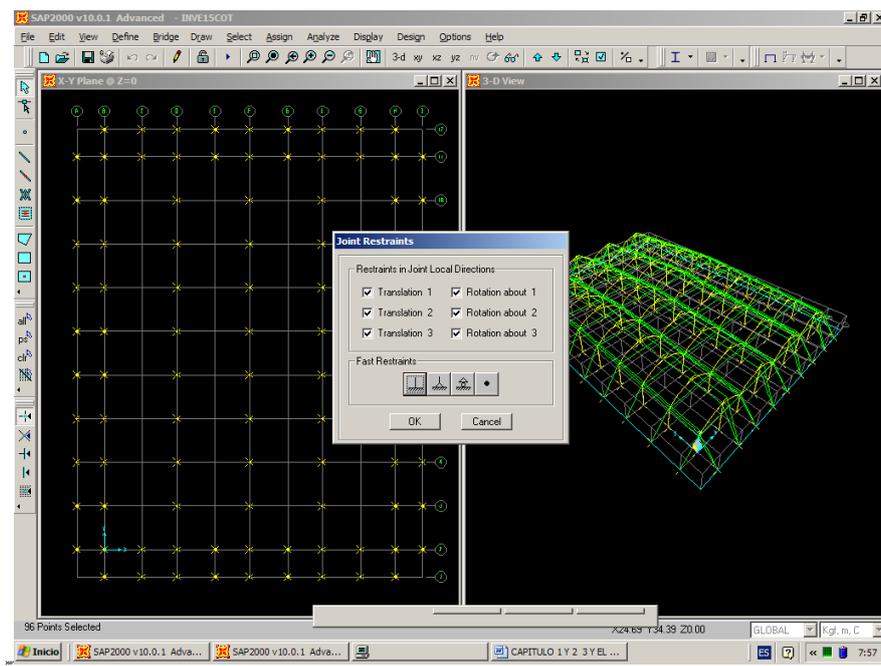


Figura 5.6: Bases de la estructura siendo empotradas.

Posteriormente se debe crear una membrana con las características del polietileno como se explicó en el capítulo 4.2, y colocar esta membrana en cada una de las partes del invernadero donde éste lo requiera.

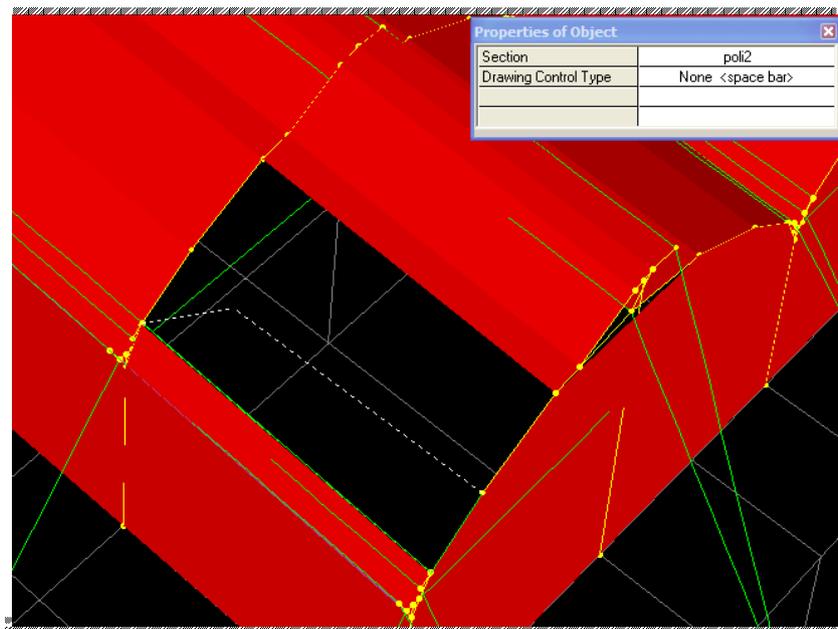


Figura 5.7: Colocación de las membranas de polietileno.

5.1.1 Aplicación de cargas a la estructura

Se procede a definir las cargas que intervendrán:

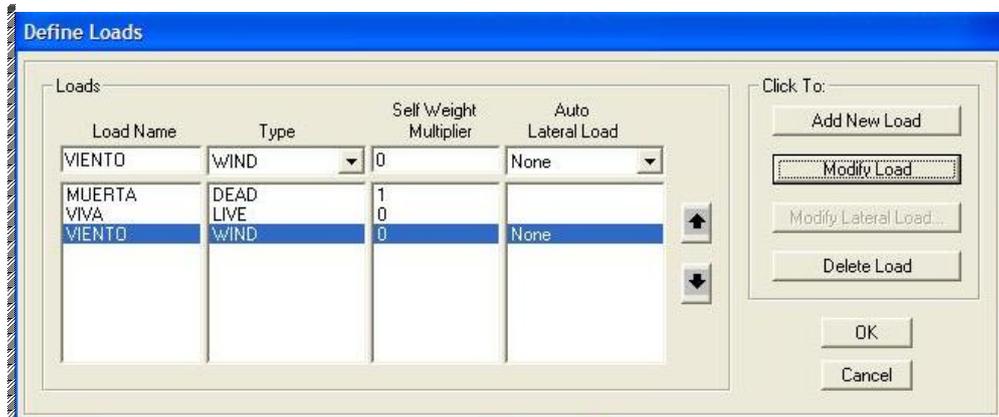


Figura 5.8: Definición de las cargas que actuarán en la estructura.

5.1.1.1 Carga viva

Gracias a estudios realizados por empresas dedicadas a la construcción de este tipo de estructuras, como es BIOACERO, se ha podido determinar la carga máxima que pueden soportar los canales y es de 45 Kg/m², ya sea de Granizo, Lluvia o ceniza volcánica, antes de que las grapas que sujetan al polietileno en estas partes se desgarran y/o desprendan.

Se debe mencionar que las cubiertas sólo llevan la carga de su peso propio, por ser el polietileno un plástico es casi despreciable, éstas tienen una pendiente tal que permite el desalojo de las cargas vivas hacia los canales.

Estas cargas colocaremos en los canales seleccionando todas las membranas que están en los canales y colocando una carga de 45 Kg/m² distribuida en toda su superficie.



Figura 5.9: Asignación de la carga viva.

5.1.1.2 Carga viento

Para poder realizar una comparación con lo realizado en la Tesis el capt. Espinosa Javier, se procede al cálculo del viento por el método tradicional explicado en el capítulo 3.1 y cuyas ecuaciones arrojan los siguientes resultados:

Tabla 5.1: Cálculo de viento método tradicional.

	VIENTO		Po	α	W	W	
	Km/h	m/s			barlovento	sotavento	
			Kg/m ²	°	W (Kg/m ²)	W (Kg/m ²)	
Poli1	80,00	22,22	30,86	37	9,94	-34,64	Poli9
Poli2	80,00	22,22	30,86	26	3,89	-28,58	Poli8
Poli3	80,00	22,22	30,86	9	-6,55	-18,14	Poli7
Poli4	80,00	22,22	30,86	28	5,04		
Poli5	80,00	22,22	30,86	12	-4,65		
Poli6	80,00	22,22	30,86	0	-12,35		
PAREDES	80,00	22,22	30,86	90	24,69	12,35	

Estas cargas se colocarán en cada uno de los polietilenos que conforman el invernadero, como se muestra a continuación:

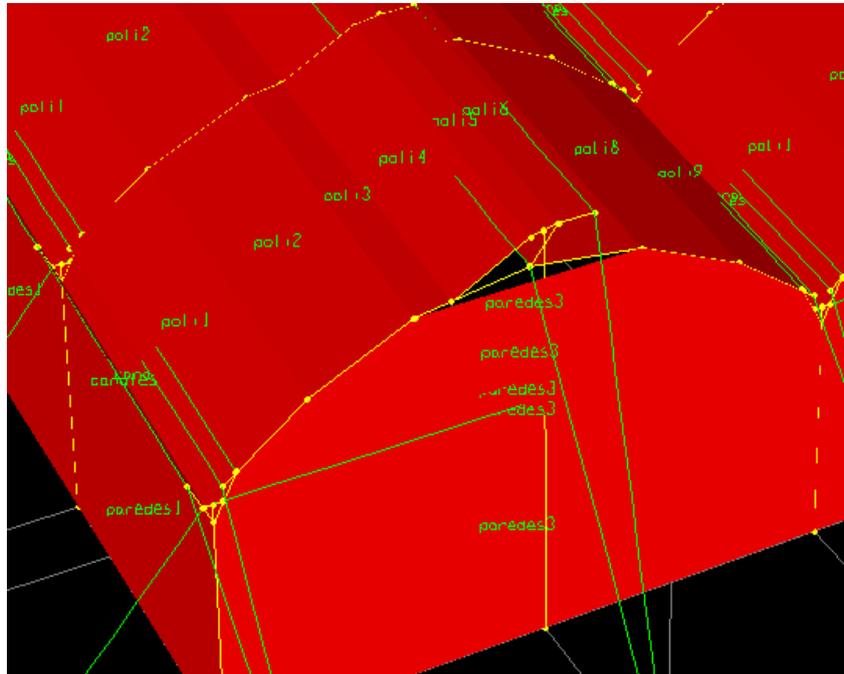


Figura 5.10: Nombres de cada membrana para la colocación de la carga de viento.

Por ejemplo se selecciona todas las membranas de la primera parte de la cubierta (poli1) y se le asigna la carga de viento calculada en el cuadro anterior como se muestra a continuación.

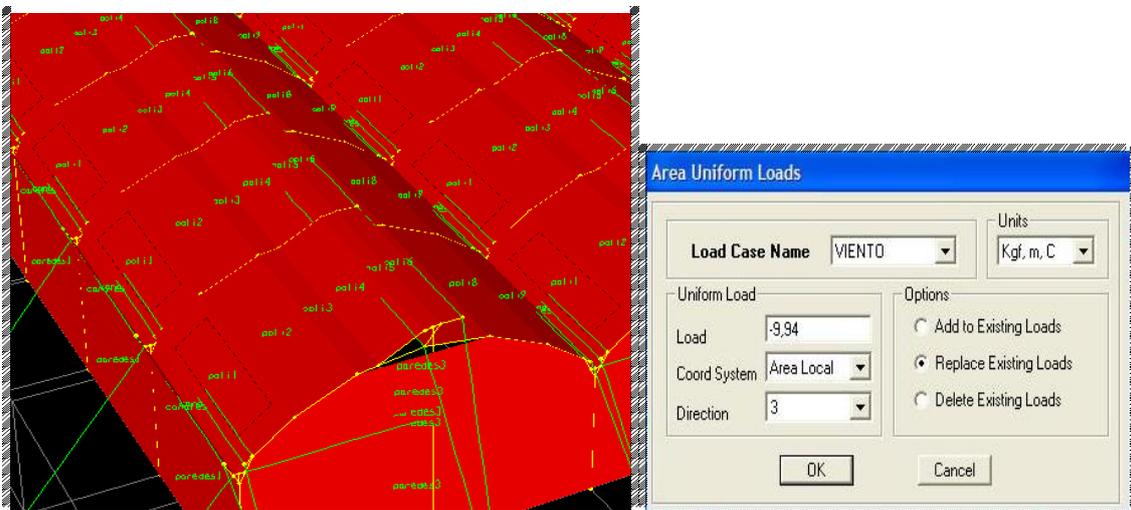


Figura 5.11: Asignación de la carga de viento.



Una vez colocadas todas las cargas en todos los polietilenos se procede a correr la estructura para obtener resultados.

5.1.2. Chequeo de secciones del invernadero

Este método se explicó en el capítulo 4.3 y gracias a un programa desarrollado en Excel se procede a obtener los siguientes resultados:

Resultados obtenidos de una Columna Perimetral:

Steel Stress Check Data AISC-LRFD93							
File							
Units: Kgf, cm, C							
Frame : 8	Design Sect: T2-3/8X2C-COL						
X Mid : 0,000	Design Type: Column						
Y Mid : 0,000	Frame Type : Moment Resisting Frame						
Z Mid : 141,765	Sect Class : Compact						
Length : 283,530	Major Axis : 0,000 degrees counterclockwise from local 3						
Loc : 263,000	RLLF : 1,000						
Area : 3,663	SMajor : 5,168	rMajor : 2,062	AUMajor:				
IMajor : 15,581	SMinor : 5,168	rMinor : 2,062	AUMinor:				
IMinor : 15,581	ZMajor : 6,800	E : 2038901,900					
Ixy : 0,000	ZMinor : 6,800	Fy : 2531,051					
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS							
Location	Pu	Mu33	Mu22	Uu2	Uu3	Tu	
263,000	71,717	1517,391	-84,229	73,545	-4,127	-30,860	
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO							
Governing Equation (H1-1b)	Total Ratio	P Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check	
	0,102	= 0,004	+ 0,098	+ 0,005	0,950	OK	
AXIAL FORCE DESIGN							
Axial	Pu Force	phi*Pnc Capacity	phi*Pnt Capacity				
	71,717	2907,525	8344,336				
MOMENT DESIGN							
	Mu Moment	phi*Mn Capacity	Cm Factor	B1 Factor	B2 Factor	K Factor	L Factor
Major Moment	1517,391	15491,048	1,000	1,000	1,000	1,000	0,928
Minor Moment	-84,229	15491,048	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
SHEAR DESIGN							
	Uu Force	phi*Un Capacity	Stress Ratio	Status Check	Tu Torsion		
Major Shear	73,545	2505,264	0,029	OK	0,000		
Minor Shear	4,127	2505,264	0,002	OK	0,000		

**COMPACIDAD DE LAS SECCIONES ACERO A36**

Diametro (D)= 6,03 cm
 Espesor (t) = 0,2 cm
 Fy = 2531,0507 Kg/cm² 36 ksi

$$\frac{D}{t} \leq \frac{2070}{F_y}$$

$$30,150 \leq 58$$

LA SECCION ES COMPACTA

Pu = 71,717 Kg = 0,158 kip
 M = 1517,391 Kgxcn = 1,314 kip-in
 L = 283,53 cm = 111,626 in
 r = 2,062 cm = 0,812 in
 K = 1
 E = 2038901,9 Kg/cm² 28939 ksi
 A = 3,663 cm² = 0,568 in²
 S = 5,168 cm³ = 0,315 in³

ESFUERZO PERMISIBLE A LA COMPRESION AXIAL

$$\lambda_c = 1,542$$

$$P_n = A_g F_{cr}$$

$$P_n = 7,522 \text{ kip} > 0,158 \text{ kip} \text{ SI RESISTE LA COMPRESION AXIAL}$$

$$P_n = 2906,235 \text{ Kg} > 71,717 \text{ Kg} \text{ SI RESISTE LA COMPRESION AXIAL}$$



Resultados Obtenidos de una Columna interna:

Steel Stress Check Data AISC-LRFD93																	
File																	
Units Kgf, cm, C																	
Frame	: 1098	Design Sect:	T2X1.5-COL														
X Mid	: 1330,000	Design Type:	Column														
Y Mid	: 800,000	Frame Type:	Moment Resisting Frame														
Z Mid	: 164,765	Sect Class:	Compact														
Length	: 329,530	Major Axis:	0,000 degrees counterclockwise from local 3														
Loc	: 309,000	RLLF	: 1,000														
Area	: 2,323	SMajor	: 2,781	rMajor	: 1,744	AUMajor:											
IMajor	: 7,065	SMinor	: 2,781	rMinor	: 1,744	AUMinor:											
IMinor	: 7,065	ZMajor	: 3,647	E	: 2038901,900												
Ixy	: 0,000	ZMinor	: 3,647	Fy	: 2531,051												
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS																	
Location		Pu		Mu33		Mu22		Uu2		Uu3		Tu					
	309,000	92,890		1471,116		-20,362		83,479		-0,988		-8,996					
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO																	
Governing Equation (H1-1b)		Total Ratio		P Ratio		MMajor Ratio		MMinor Ratio		Ratio Limit		Status Check					
		0,186	=	0,009	+	0,177	+	0,002		0,950		OK					
AXIAL FORCE DESIGN																	
		Pu Force		phi*Pnc Capacity		phi*Pnt Capacity											
Axial		92,890		975,931		5292,141											
MOMENT DESIGN																	
		Mu Moment		phi*Mn Capacity		Cm Factor		B1 Factor		B2 Factor		K Factor		L Factor		Cb Factor	
Major Moment		1471,116		8307,349		1,000		1,000		1,000		1,000		0,938		2,870	
Minor Moment		-20,362		8307,349		1,000		1,000		1,000		1,000		1,000			
SHEAR DESIGN																	
		Uu Force		phi*Un Capacity		Stress Ratio		Status Check		Tu Torsion							
Major Shear		83,479		1588,622		0,053		OK		0,000							
Minor Shear		0,988		1588,622		0,001		OK		0,000							

COMPACIDAD DE LAS SECCIONES ACERO A36

Diametro (D)= 5,08 cm

Espesor (t) = 0,15 cm

Fy = 2531,0507 Kg/cm² 36 ksi

$$\frac{D}{t} \leq \frac{2070}{F_y}$$

$$33,867 \leq 58$$

LA SECCION ES COMPACTA

Pu =	92,89 Kg	=	0,204 kip
M =	1471,116 Kgxcm	=	1,274 kip-in
L =	329,53 cm	=	129,736 in
r =	1,744 cm	=	0,687 in
K =	1		
E =	2038901,9 Kg/cm ²		28939 ksi
A =	2,323 cm ²	=	0,360 in ²
S =	2,781 cm ³	=	0,170 in ³



ESFUERZO PERMISIBLE A LA COMPRESION AXIAL

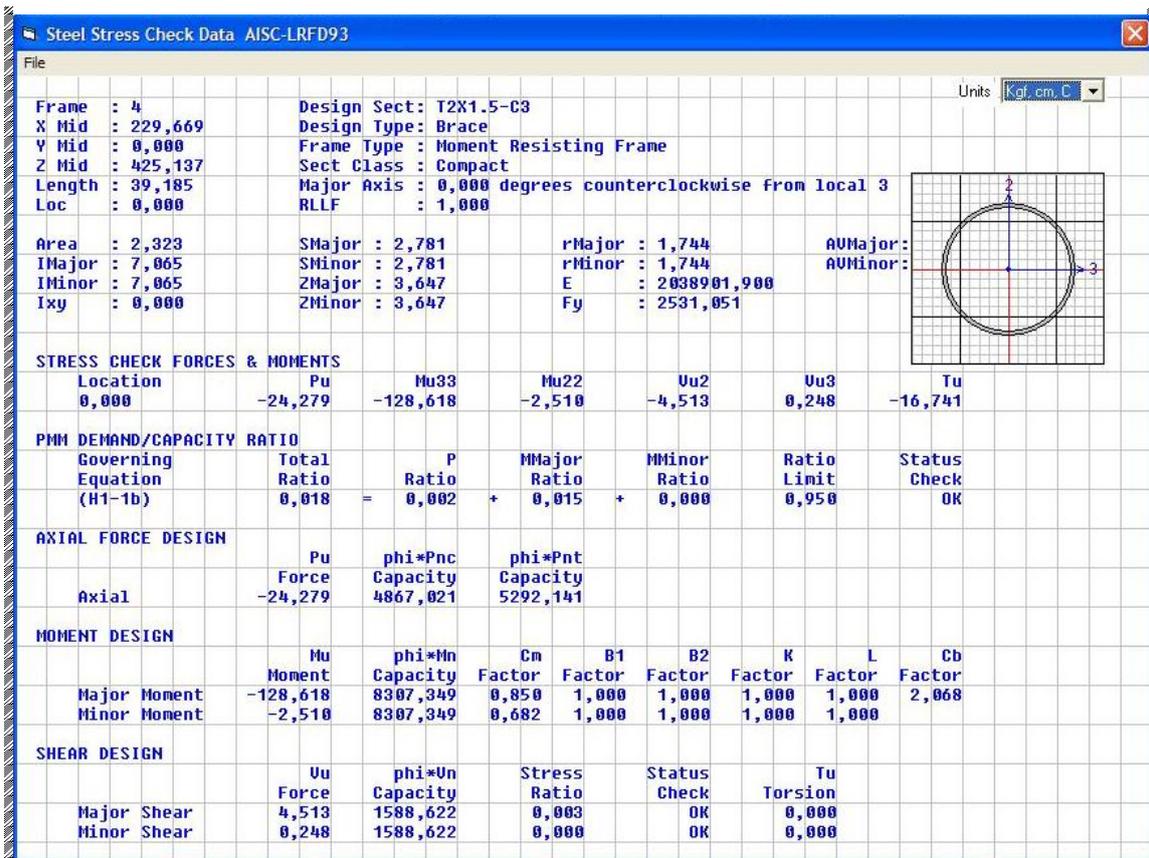
$$\lambda c = 2,119$$

$$P_n = A_g F_{cr}$$

$$P_n = 2,526 \text{ kip} > 0,204 \text{ kip SI RESISTE LA COMPRESION AXIAL}$$

$$P_n = 976,038 \text{ Kg} > 92,890 \text{ Kg SI RESISTE LA COMPRESION AXIAL}$$

Y resultados obtenidos de un Elemento que conforma la cercha:



**COMPACIDAD DE LAS SECCIONES ACERO A36**

Diametro (D)= 5,08 cm
 Espesor (t) = 0,15 cm
 Fy = 2531,0507 Kg/cm² 36 ksi

$$\frac{D}{t} \leq \frac{2070}{F_y}$$

$$33,867 \leq 58$$

LA SECCION ES COMPACTA

Pu = 24,279 Kg = 0,053 kip
 M = 128,618 Kgxcn = 0,111 kip-in
 L = 39,185 cm = 15,427 in
 r = 1,744 cm = 0,687 in
 K = 1
 E = 2038901,9 Kg/cm² 28939 ksi
 A = 2,323 cm² = 0,360 in²
 S = 2,781 cm³ = 0,170 in³
 G = 11200 ksi
 J = 1,33 in⁴
 I = 7,065 in⁴

ESFUERZO PERMISIBLE A LA COMPRESION AXIAL

$$\lambda_c = 0,252$$

$$P_n = A_g F_{cr}$$

$$P_n = 12,596 \text{ kip} > 0,053 \text{ kip} \text{ SI RESISTE LA COMPRESION AXIAL}$$

$$P_n = 4866,614 \text{ Kg} > 24,279 \text{ Kg} \text{ SI RESISTE LA COMPRESION AXIAL}$$

CHEQUEO POR FLEXION

$$M_u \leq \phi_b * M_n$$

CONTROL PANDEO LATERAL-TORSIONAL PLÁSTICO

$$L_p = 1,76 * r_y * \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$L_p = 34,298 \text{ in} > 15,427 \text{ in} \text{ NO FALLA}$$

CONTROL PANDEO LATERAL-TORSIONAL ELÁSTICO

$$L_r = \frac{r_y * X_1}{F_y - F_r} \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 (F_y - F_r)^2}}$$



$$X1 = 163081,23 \text{ ksi}$$
$$X2 = 7,3487E-11 \text{ (1/ksi)}^2$$

$$Lr = 6108,310 \text{ in} > 15,427 \text{ in} \quad \text{NO FALLA}$$

$$Mn = Mp \leq 1,5 My$$

$$Mp = Zx * Fy$$

$$Zx = 0,104 \text{ in}^3$$

$$Mp = 3,723 \text{ kip-in}$$

$$Mu \leq 3,350 \text{ kip-in} \quad \text{CORRECTO}$$

5.1.3 Resultados Obtenidos en los dos invernaderos

Se ha seleccionado una cercha del hangar para el análisis comparativo.

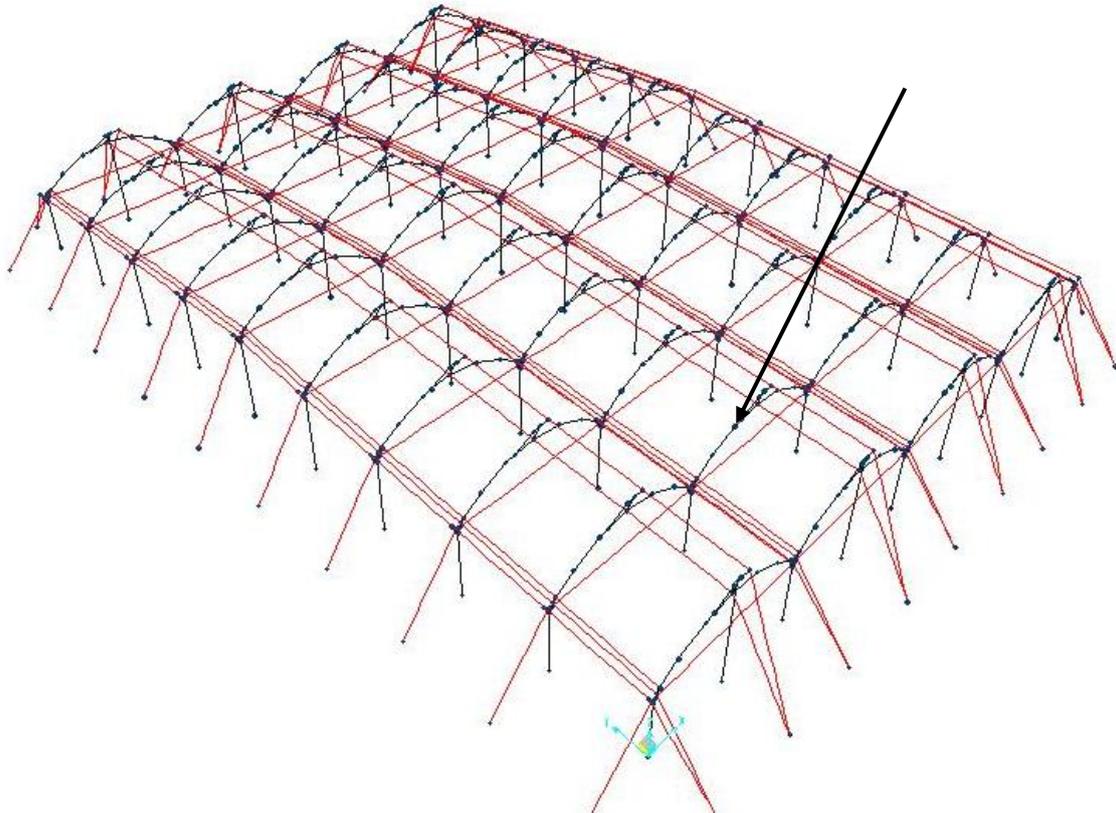


Figura 5.12: Ubicación de la cercha para el análisis.

Descripción de los elementos para el análisis:

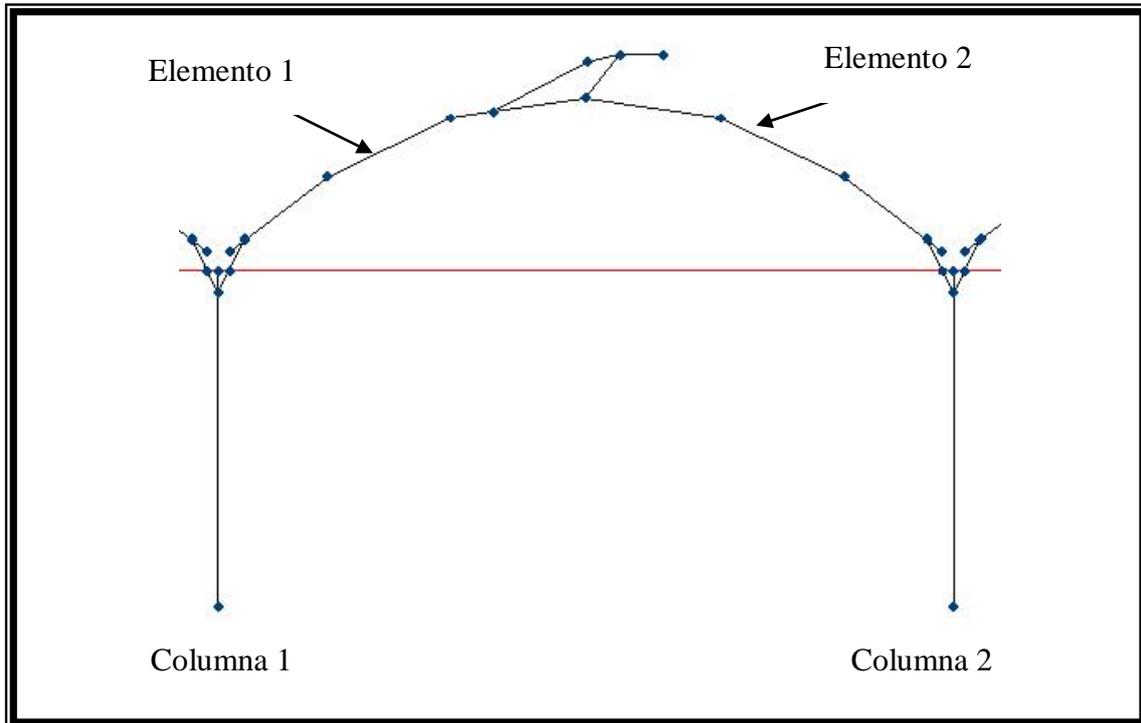


Figura 5.13: Denominación de los elementos de la cercha.

En la tabla 5.2 se presenta los resultados obtenidos en los dos invernaderos aplicando los dos métodos de colocación de cargas sobre la estructura.

Tabla 5.2: Cuadro comparativo entre los dos métodos.

CARGA			INVERNADERO 1	INVERNADERO 2	% DIFERENCIA
VIENTO	AXIAL (kgf)	columna 1	502,85	450,77	-10,36
		columna 2	424,66	392,08	-7,67
		elemento 1	231,95	212,62	-8,33
		elemento 2	178,27	189,98	6,57
	CORTANTE (kgf)	columna 1	288,86	265,07	-8,24
		columna 2	226,32	219,25	-3,12
		elemento 1	-24,08	-12,23	-49,21
		elemento 2	77,47	5,73	-92,60
MOMENTO (Kgf-cm)	columna 1	9254,47	8356,13	-9,71	
	columna 2	9938,05	8837,94	-11,07	
	elemento 1	9561,55	8873,00	-7,20	
	elemento 2	-9549,03	-8174,95	-14,39	
				PROMEDIO	-17,94

INVERNADERO 1 = Método desarrollado por el sr. Capt. Espinosa Javier.

INVERNADERO 2 = Método desarrollado por el sr. Tnte. Rugel Abel



Luego de comparar Axial, Cortante y Momento, procedemos a comparar la deformada en la cercha ubicada en la Figura 5.12., para los dos métodos en la tabla 5.3:

Los sectores marcados con rojo son los puntos donde la deformación es superior a 1cm

$$\delta_{\max perm} = \frac{L}{360}$$

$$\delta_{\max perm} = \frac{685cm}{360} = 1,903cm$$

$$\delta_{\max permisible} = 1,903cm$$

Tabla 5.3: Cuadro comparativo de deformadas de la cercha exterior.

PUNTO	CARGAS	TNTE. RUGEL	CAPT. ESPINOSA	Porcentaje diferencia
		U3 m	U3 m	
1	DEAD	-0,00002	-0,000015	33,33
1	viento	0,000185	0,000188	-1,60
2	DEAD	6,67E-06	3,63E-06	83,62
2	viento	-0,004833	-0,005403	-10,55
3	DEAD	0,00007	0,000051	37,25
3	viento	-0,012839	-0,014351	-10,54
4	DEAD	0,000251	0,000182	37,91
4	viento	-0,014945	-0,010929	-9,82
5	DEAD	-0,0002	-0,000175	14,29
5	viento	-0,012741	-0,01978	-10,09
6	DEAD	-0,000472	-0,000384	22,92
6	viento	-0,017217	-0,012984	-10,88
7	DEAD	-0,000917	-0,000717	27,89
7	viento	0,001121	-0,000366	-406,28
8	DEAD	-0,001075	-0,000835	28,74
8	viento	0,018734	0,01882	-0,46
9	DEAD	-0,001337	-0,001032	29,55
9	viento	0,011793	0,013763	-4,50
10	DEAD	-0,000909	-0,000711	27,85
10	viento	0,000857	-0,000637	-234,54
11	DEAD	-0,000421	-0,000301	39,87
11	viento	0,011037	0,016976	-8,87
12	DEAD	0,000151	0,000139	8,63
12	viento	0,015458	0,012509	-11,28
13	DEAD	0,000052	0,000043	20,93
13	viento	0,01335	0,015386	-13,23
14	DEAD	-0,000047	-0,000035	34,29
14	viento	0,005174	0,005789	-10,62
15	DEAD	-0,00002	-0,000015	33,33
15	viento	0,000182	0,000182	0,00
PROMEDIO DE SECTORES EN ROJO				-8,85

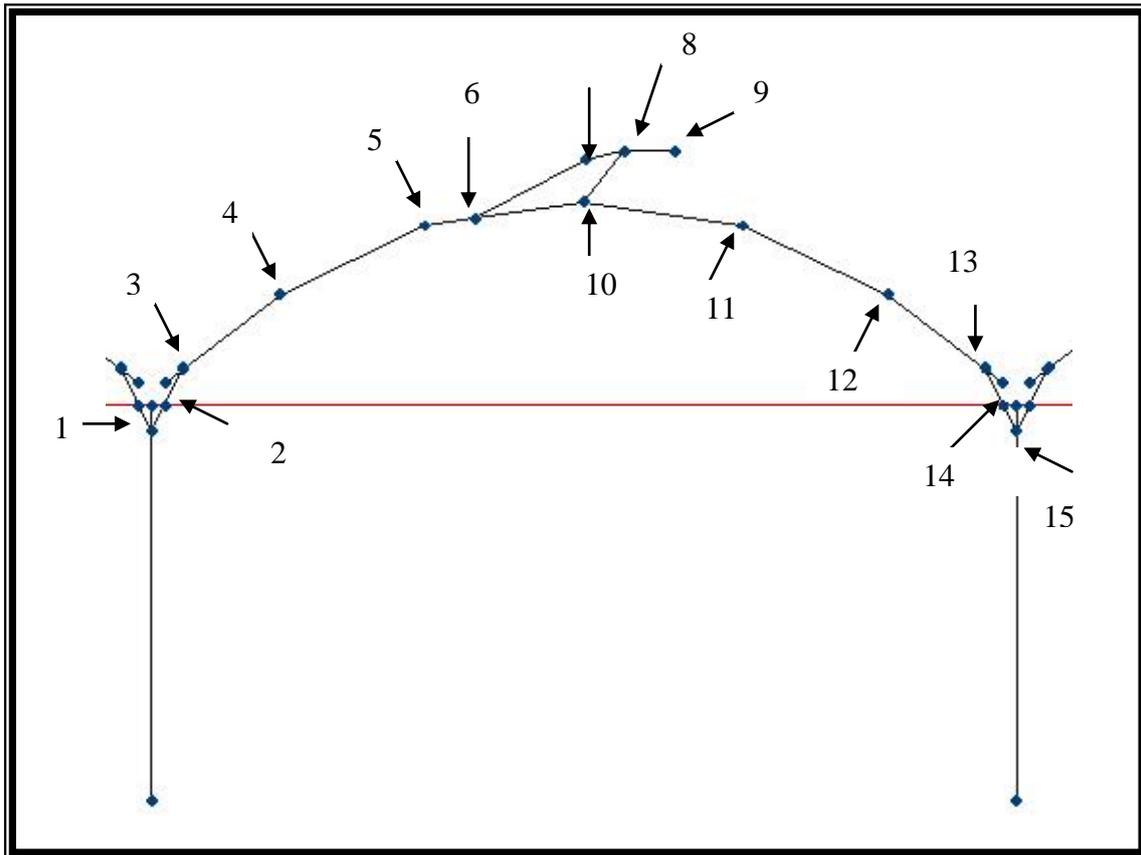


Figura 5.14: Numeración de los Puntos de la Cercha para la comparación.

También vamos a comparar la cercha de la figura 5.15 por los dos métodos:

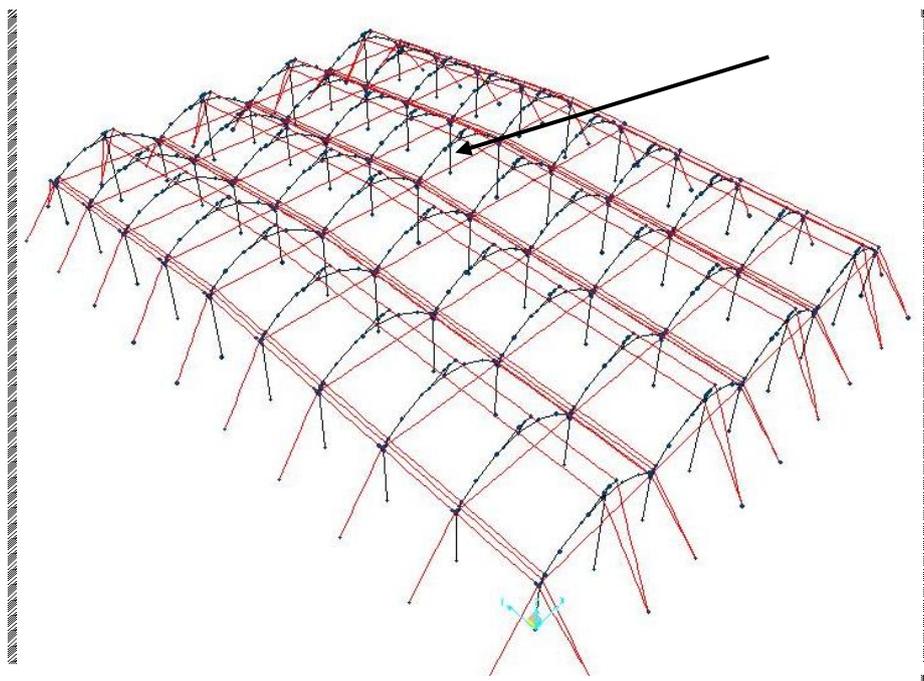


Figura 5.15: Ubicación de la cercha para el análisis.



Y estos son los resultados obtenidos:

Los sectores marcados con rojo son los puntos donde la deformación es superior a 1cm.

$$\delta_{\max perm} = \frac{L}{360}$$

$$\delta_{\max perm} = \frac{685cm}{360} = 1,903cm$$

$$\delta_{\max permisible} = 1,903cm$$

Tabla 5.4: Cuadro comparativo de deformadas de la cercha central.

PUNTO	CARGAS	TNTE. RUGEL	CAPT. ESPINOSA	Porcentaje diferencia
		U3 m	U3 m	
1	DEAD	-0,000023	-0,000018	27,78
1	viento	0,000197	0,000204	-3,43
2	DEAD	-3,16E-06	-2,45E-06	28,83
2	viento	-0,004711	-0,005252	-10,30
3	DEAD	0,000051	0,00004	27,50
3	viento	-0,012475	-0,013906	-10,29
4	DEAD	0,000196	0,000158	24,05
4	viento	-0,012588	-0,018157	-9,58
5	DEAD	-0,00026	-0,000203	28,08
5	viento	-0,018334	-0,014279	-9,25
6	DEAD	-0,000524	-0,00041	27,80
6	viento	-0,012925	-0,017268	-9,19
7	DEAD	-0,000948	-0,000739	28,28
7	viento	0,004212	0,004758	-11,48
8	DEAD	-0,001096	-0,000855	28,19
8	viento	0,011285	0,013711	-10,23
9	DEAD	-0,001344	-0,00105	28,00
9	viento	0,013194	0,018238	-10,46
10	DEAD	-0,000938	-0,000733	27,97
10	viento	0,003877	0,004488	-13,61
11	DEAD	-0,00041	-0,000309	32,69
11	viento	0,012821	0,019055	-9,55
12	DEAD	0,000177	0,000142	24,65
12	viento	0,015569	0,011948	-10,30
13	DEAD	0,000061	0,000045	35,56
13	viento	0,012768	0,014498	-11,93
14	DEAD	-0,000041	-0,000033	24,24
14	viento	0,004565	0,005095	-10,40
15	DEAD	-0,000023	-0,000018	27,78
15	viento	0,000192	0,0002	-4,00
PROMEDIO DE SECTORES EN ROJO				-10,086

5.2 CÁLCULO Y DISEÑO DE UN HANGAR DESMONTABLE PARA UN HELICÓPTERO “LAMA” DEL EJÉRCITO ECUATORIANO



Figura 5.16: Fotografía de un helicóptero “LAMA”.

Para diseñar este hangar es necesario determinar las características técnicas del helicóptero. Son las siguientes:

- Largo del helicóptero con palas 12,919 m.
- Largo del helicóptero sin palas 10,236 m.
- Diámetro del rotor principal 11,020 m.
- Altura con rotor 3,090 m.

Con los datos obtenidos se procede a diseñar el hangar, obteniendo las siguientes medidas (se detallan de mejor manera en los planos):

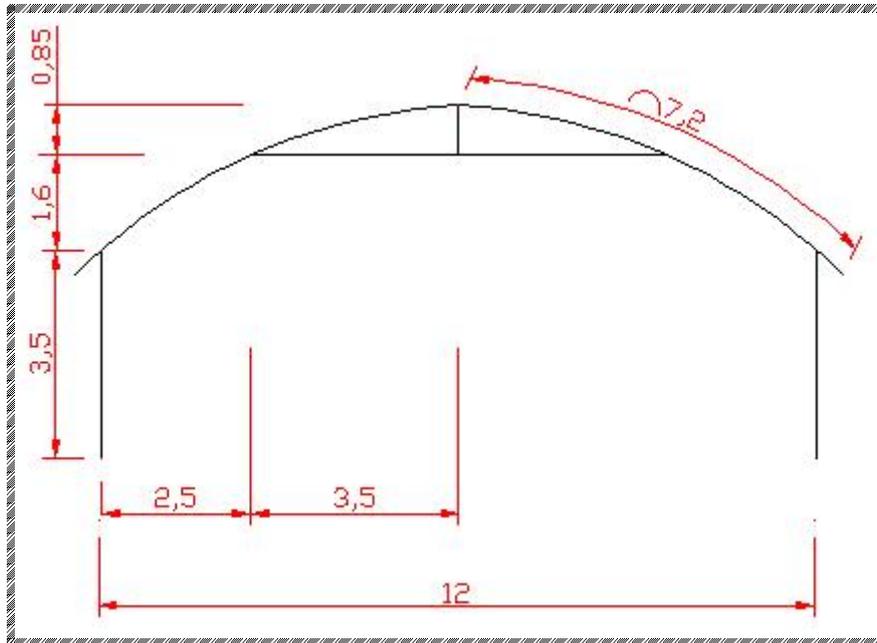


Figura 5.17: Dimensiones de la cercha del hangar.

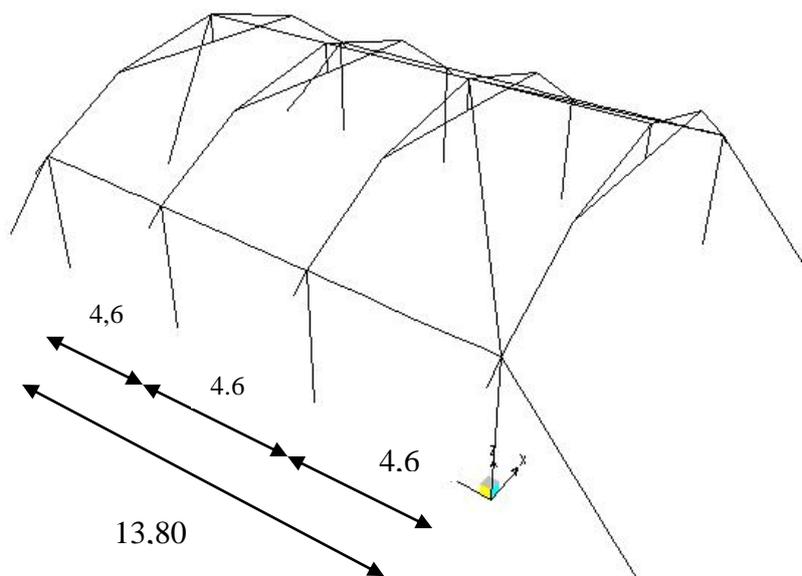


Figura 5.18: Vista lateral del hangar con sus dimensiones.

Una vez dibujado en AutoCAD, e importado a SAP2000, se procede a crear el polietileno como lo explicado en el capítulo 4.2.

Se crean los perfiles que serán utilizados en el hangar, como se muestra a continuación:

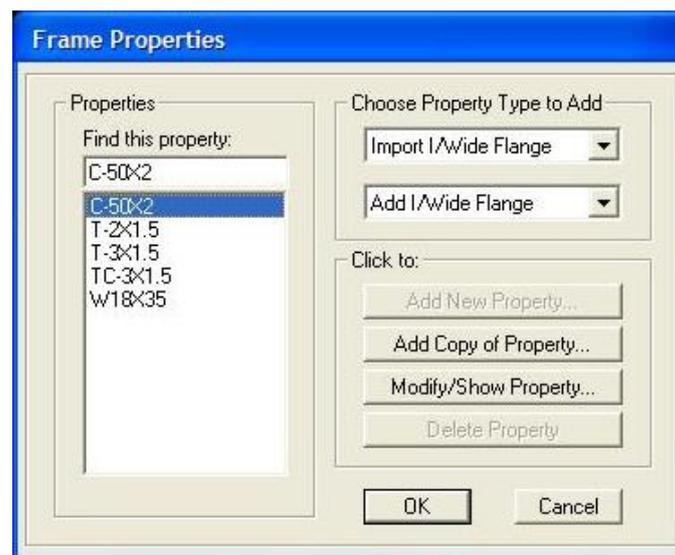


Figura 5.19: Perfiles que intervienen en el hangar.

Los mismos que serán asignados a cada elemento frame:

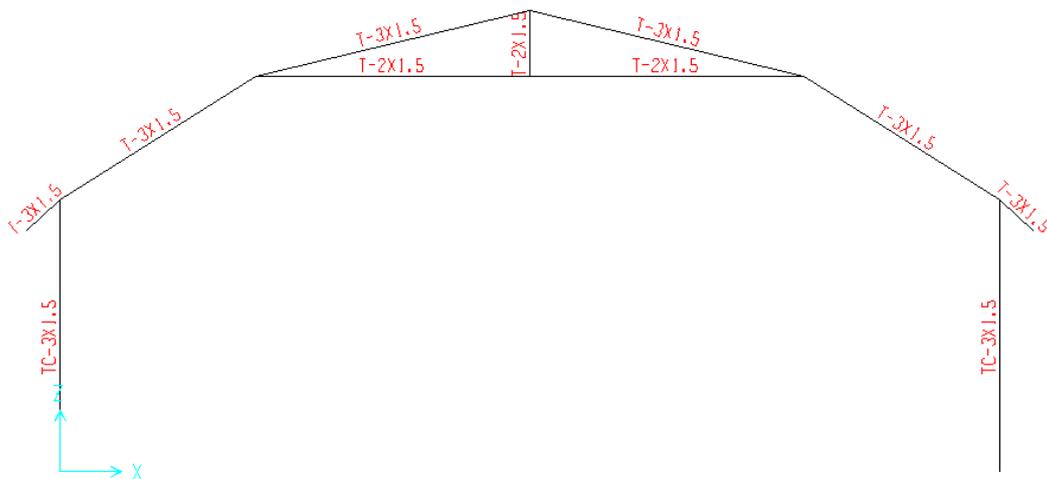


Figura 5.20: Perfiles que intervienen en el hangar.

Luego se colocarán los elementos membrana ya creados a la parte superior del hangar y también se empotrarán todas sus bases.

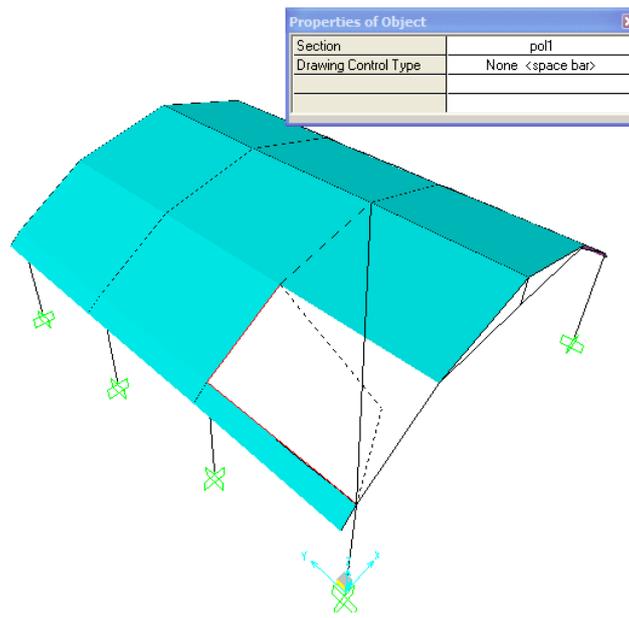
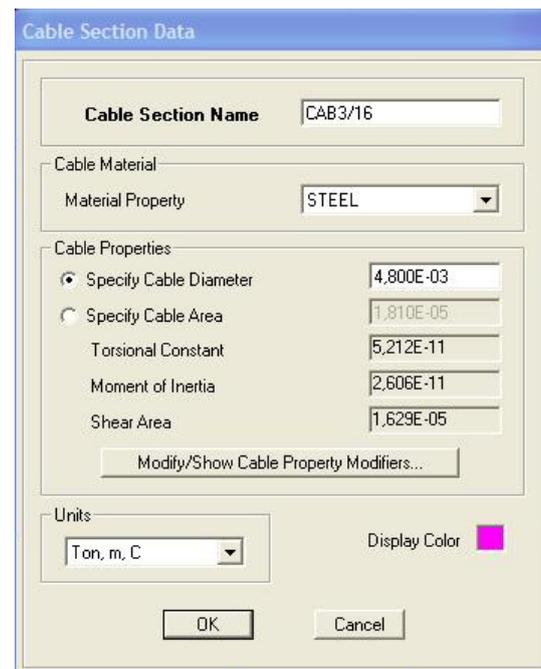


Figura 5.21: Colocación de las membranas al hangar.

Crearemos un cable con las características siguientes:



Cable Section Data	
Cable Section Name	CAB3/16
Cable Material	
Material Property	STEEL
Cable Properties	
<input checked="" type="radio"/> Specify Cable Diameter	4.800E-03
<input type="radio"/> Specify Cable Area	1.810E-05
Torsional Constant	5.212E-11
Moment of Inertia	2.606E-11
Shear Area	1.629E-05
Modify/Show Cable Property Modifiers...	
Units	
Units	Ton, m, C
Display Color	■
OK Cancel	

Figura 5.22: Características del cable.

Y colocaremos los cables de acero como se muestra a continuación en los dos lados laterales:

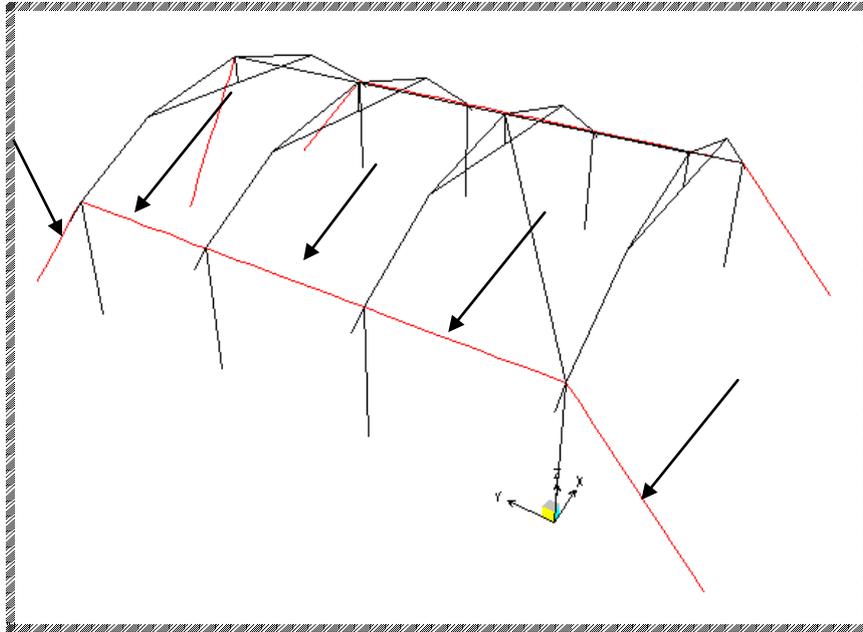


Figura 5.23: Ubicación de los cables de acero.

5.2.1 Aplicación de cargas a la estructura

Se procede a definir las cargas que intervendrán:

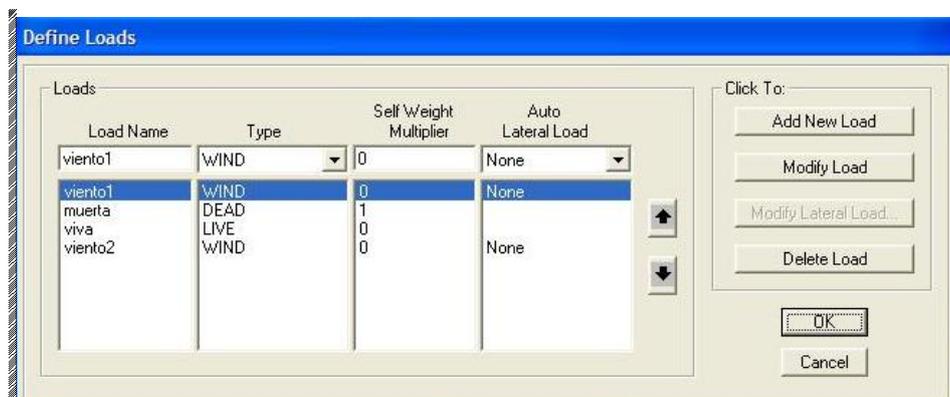


Figura 5.24: Definición de cargas del hangar.

5.2.1.1 Carga viva

A este hangar por cuestiones de seguridad se le colocará una malla mimética que servirá de camuflaje la cual tiene un peso aproximado de 2 kg/m^2 y será colocada como carga viva a todo el polietileno:

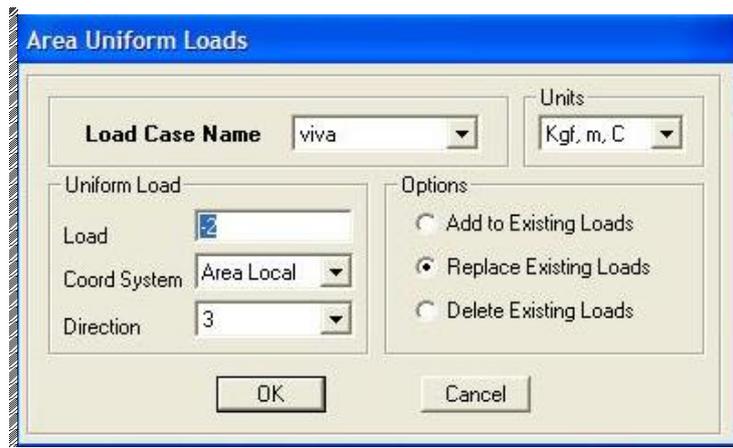


Figura 5.25: Asignación de la carga viva.

5.2.1.2 Carga viento

Procederemos a calcular el viento como lo expuesto en el capítulo 3.2, con una velocidad de viento de 65 km/h, que es una de las velocidades máximas registradas en el sector del Oriente ecuatoriano y cuyos resultados se presentan a continuación:

Tabla 5.5: Cálculos obtenidos para carga de viento método ASCE 7-98.

	GCpi +	GCpi -	
<i>p cuarto barlovento</i> =	-7,080	7,294	kg/m^2
<i>p mitad central</i> =	-22,653	-8,279	kg/m^2
<i>p cuarto sotavento</i> =	-15,739	-1,366	kg/m^2

Estos valores se los colocarán a las membranas de polietileno como se muestra:

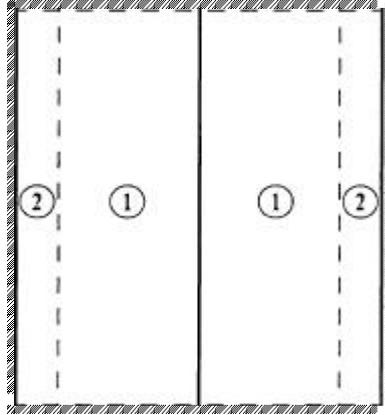


Figura 5.26: Vista en planta del hangar.

El número 2 corresponde al barlovento y sotavento, y el 1 al viento calculado para la mitad central correspondiente a sotavento y barlovento.

Una vez colocadas todas las cargas en los polietilenos se procede con a correr la estructura para obtener resultados.

5.2.2 Chequeo de secciones del hangar

Este método se explicó en el capítulo 4.3 y gracias a un programa desarrollado en Excel se procede a obtener los siguientes resultados:



Resultados obtenidos del chequeo de una Columna del hangar:

Steel Stress Check Data AISC-LRFD93							
Frame	: 22	Design Sect:	TC-3X1.5	Units: <input type="text" value="Kgf. cm. C"/>			
X Mid	: 0,000	Design Type:	Column				
Y Mid	: 0,000	Frame Type:	Moment Resisting Frame				
Z Mid	: 175,000	Sect Class:	Slender				
Length	: 350,000	Major Axis:	0,000 degrees counterclockwise from local 3				
Loc	: 0,000	RLLF	: 1,000				
Area	: 4,410	SMajor	: 10,593	rMajor	: 3,001	AUMajor	:
IMajor	: 39,723	SMinor	: 10,593	rMinor	: 3,001	AUMinor	:
IMinor	: 39,723	ZMajor	: 12,157	E	: 2038901,900		
Ixy	: 0,000	ZMinor	: 12,157	Fy	: 2531,054		
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS							
Location		Pu	Mu33	Mu22	Uu2	Uu3	Tu
0,000		55,118	-8475,664	-301,787	-45,762	-0,799	-396,560
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO							
Governing Equation (H1-1b)	Total Ratio	P Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check	
	0,506	= 0,003	+ 0,486	+ 0,017	0,950	OK	
AXIAL FORCE DESIGN							
	Pu Force	phi*Pnc Capacity	phi*Pnt Capacity				
Axial	55,118	4636,863	10045,752				
MOMENT DESIGN							
	Mu Moment	phi*Mn Capacity	Cm Factor	B1 Factor	B2 Factor	K Factor	L Factor
Major Moment	-8475,664	17427,156	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Minor Moment	-301,787	17427,156	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
							Cb Factor
							2,250
SHEAR DESIGN							
	Uu Force	phi*Un Capacity	Stress Ratio	Status Check	Tu Torsion		
Major Shear	45,762	3075,230	0,015	OK	0,000		
Minor Shear	0,799	3075,230	0,000	OK	0,000		

COMPACIDAD DE LAS SECCIONES ACERO A36

Lado = 7,5 cm
 Espesor (t) = 0,15 cm
 Fy = 2531,0507 Kg/cm² 36 ksi

$$\frac{D}{t} \leq \frac{2070}{Fy}$$

50,000 <= 58

LA SECCION ES COMPACTA

Pu = 55,118 Kg = 0,121 kip
 M = 8475,664 Kgxcn = 7,341 kip-in
 L = 350 cm = 137,795 in
 r = 3,001 cm = 1,181 in
 K = 1
 E = 2038901,9 Kg/cm² = 28939 ksi
 A = 4,41 cm² = 0,684 in²
 S = 10,593 cm³ = 0,646 in³



ESFUERZO PERMISIBLE A LA COMPRESION AXIAL

$$\lambda_c = 1,308$$

$$P_n = A_g F_{cr}$$

$$P_n = 12,000 \text{ kip} > 0,121 \text{ kip} \text{ SI RESISTE LA COMPRESION AXIAL}$$

$$P_n = 4636,309 \text{ Kg} > 55,118 \text{ Kg} \text{ SI RESISTE LA COMPRESION AXIAL}$$

Y resultados obtenidos de uno de los elementos de la cercha del hangar:

Steel Stress Check Data AISC-LRFD93								
File								
Frame : 66	Design Sect: T-3X1.5		Units: Kgf, cm, C					
X Mid : 1075,000	Design Type: Brace							
Y Mid : 0,000	Frame Type: Moment Resisting Frame							
Z Mid : 430,000	Sect Class: Compact							
Length : 296,816	Major Axis : 0,000 degrees counterclockwise from local 3							
Loc : 296,816	RLLF : 1,000							
Area : 3,520	SMajor : 6,447	rMajor : 2,642	AUMajor:					
IMajor : 24,563	SMinor : 6,447	rMinor : 2,642	AUMinor:					
IMinor : 24,563	ZMajor : 8,371	E : 2038901,900						
Ixy : 0,000	ZMinor : 8,371	Fy : 2531,054						
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS								
Location	Pu	Mu33	Mu22	Uu2	Uu3	Tu		
296,816	-522,777	-11670,303	925,597	72,378	-3,846	158,032		
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO								
Governing Equation	Total Ratio	P Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check		
(H1-1b)	0,681	= 0,067	+ 0,612	+ 0,049	0,950	OK		
AXIAL FORCE DESIGN								
	Pu Force	phi*Pnc Capacity	phi*Pnt Capacity					
Axial	-522,777	3896,026	8018,730					
MOMENT DESIGN								
	Mu Moment	phi*Mn Capacity	Cm Factor	B1 Factor	B2 Factor	K Factor	L Factor	Cb Factor
Major Moment	-11670,303	19069,298	0,850	1,000	1,000	1,000	1,000	2,262
Minor Moment	925,597	19069,298	0,507	1,000	1,000	1,000	1,000	
SHEAR DESIGN								
	Uu Force	phi*Un Capacity	Stress Ratio	Status Check	Tu Torsion			
Major Shear	72,378	2406,266	0,030	OK	0,000			
Minor Shear	3,846	2406,266	0,002	OK	0,000			

COMPACIDAD DE LAS SECCIONES ACERO A36

Diametro

$$(D) = 7,62 \text{ cm}$$

$$\text{Espesor (t)} = 0,15 \text{ cm}$$

$$F_y = 2531,0507 \text{ Kg/cm}^2 \quad 36 \text{ ksi}$$

$$\frac{D}{t} \leq \frac{2070}{F_y}$$



50,800 <= 58 **LA SECCION ES COMPACTA**

Pu =	522,777 Kg	=	1,150 kip
M =	11670,303 Kgxcn	=	10,108 kip-in
L =	296,816 cm	=	116,857 in
r =	2,642 cm	=	1,040 in
K =	1		
E =	2038901,9 Kg/cm ²		28939 ksi
A =	3,52 cm ²	=	0,546 in ²
S =	6,447 cm ³	=	0,393 in ³
G =	11200 ksi		
J =	6,03 in ⁴		
I =	1,53 in ⁴		

ESFUERZO PERMISIBLE A LA COMPRESION AXIAL

$$\lambda c = 1,260$$

$$P_n = A_g F_{cr}$$

$$P_n = 10,086 \text{ kip} > 1,150 \text{ kip} \text{ SI RESISTE LA COMPRESION AXIAL}$$

$$P_n = 3896,691 \text{ Kg} > 522,777 \text{ Kg} \text{ SI RESISTE LA COMPRESION AXIAL}$$

CHEQUEO POR FLEXION

$$M_u \leq \phi_b * M_n$$

CONTROL PANDEO LATERAL-TORSIONAL PLÁSTICO

$$L_p = 1,76 * r_y * \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$L_p = 120,959 \text{ in} > 116,857 \text{ in} \text{ NO FALLA}$$

CONTROL PANDEO LATERAL-TORSIONAL ELÁSTICO

$$L_r = \frac{r_y * X_1}{F_y - F_r} \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 (F_y - F_r)^2}}$$

$$X_1 = 184385,54 \text{ ksi}$$

$$X_2 = 8,8718E-11 \text{ (1/ksi)^2}$$

$$L_r = 10462,374 \text{ in} > 116,857 \text{ in} \text{ NO FALLA}$$



$$M_n = M_p \leq 1,5 M_y$$

$$M_p = Z_x \cdot F_y$$

$$Z_x = 0,336 \text{ in}^3$$

$$M_p = 12,071 \text{ kip-in}$$

$$M_u \leq 10,864 \text{ kip-in}$$

CORRECTO

5.2.3 Chequeo de dos cerchas del hangar

Para terminar con nuestro diseño vamos a verificar la deformada de la cercha exterior y una cercha central del hangar ubicados en la figura 5.27. y sus correspondientes juntas ubicadas en la figura 5.28.

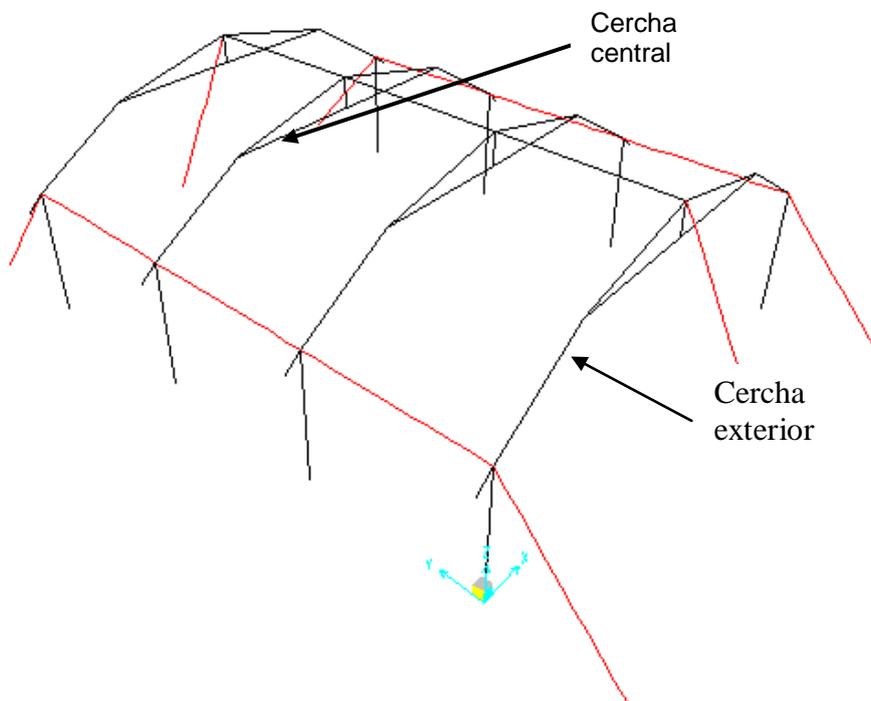


Figura 5.27: Ubicación de las cerchas para su análisis.

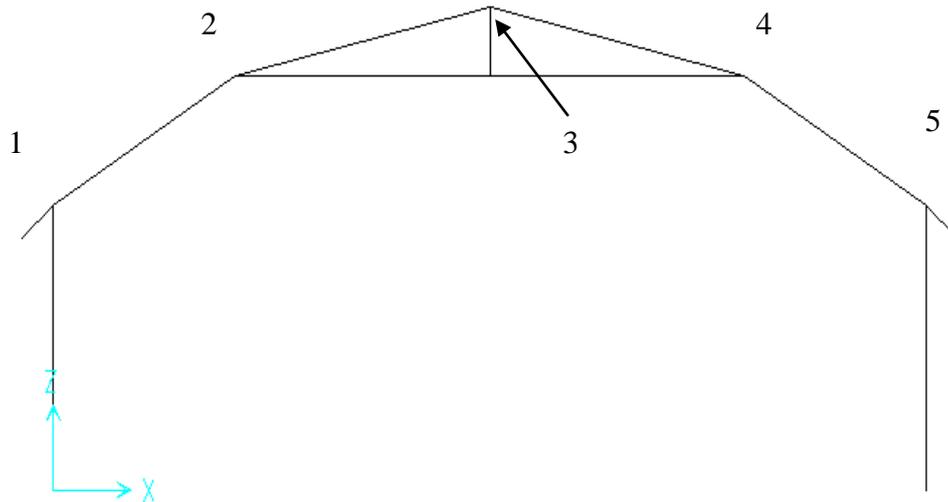


Figura 5.28: Ubicación de las juntas de la Cercha para su análisis.

Los resultados de la deformada de la cercha exterior son los siguientes:

Tabla 5.6: Deformada de la cercha exterior.

PUNTO	CARGAS	U3
		m
1	viento1	-0,00001
1	muerta	0,00000
1	viento2	-0,00003
2	viento1	0,00360
2	muerta	-0,00143
2	viento2	-0,00399
3	viento1	0,01058
3	muerta	-0,00139
3	viento2	0,00351
4	viento1	0,01863
4	muerta	-0,00143
4	viento2	0,01105
5	viento1	0,00004
5	muerta	0,00000
5	viento2	0,00001

Los casilleros marcados de rojo son las deformadas que pasan de 1 cm, lo cual nos indica que cuando el hangar soporte velocidades de viento de 65 km/h estos puntos se deformarán aproximadamente 1 cm, debajo de la δ_{max} .



$$\delta \max perm = \frac{L}{360}$$
$$\delta \max perm = \frac{1200cm}{360} = 3,33cm$$
$$\delta \max permisible = 3,33cm$$

Los resultados de la deformada de la cercha central son los siguientes:

Tabla 5.7: Deformada de la cercha central.

PUNTO	CARGAS	U3
		m
1	viento1	0,00001
1	muerta	0,00000
1	viento2	-0,00005
2	viento1	-0,00747
2	muerta	-0,00033
2	viento2	-0,01095
3	viento1	0,00064
3	muerta	-0,00005
3	viento2	0,00021
4	viento1	0,01698
4	muerta	-0,00033
4	viento2	0,01350
5	viento1	0,00009
5	muerta	0,00000
5	viento2	0,00002

$$\delta \max perm = \frac{L}{360}$$
$$\delta \max perm = \frac{1200cm}{360} = 3,33cm$$
$$\delta \max permisible = 3,33cm$$

5.2.4 Fotografías

Gracias a la empresa Bioacero, a cargo del Ing. Endara, se ha podido construir el prototipo de hangar que se diseñó en el capítulo 5.2. y cuyas fotografías presentamos a continuación:



Figura 5.29: Cercha del hangar siendo ensamblada.



Figura 5.30: Bocines de los componentes de la cercha.



Figura 5.31: Unión del tubo troquelado a la cubierta.



Figura 5.32: Columna del hangar.



Figura 5.33: Unión de la columna a la cubierta.



Figura 5.34: Pernos de 3/8" x 3 1/2" utilizados en la cubierta.



Figura 5.35: Tacle para tensar los cables con 300 kg.



Figura 5.36: Holladora para realizar huecos en la superficie y colocar las estacas.



Figura 5.37: Ganchos "J" $\frac{1}{4} \times 3$ ".



Figura 5.38: Grillete para sujeción del cable de acero.



5.2.5 Planos del hangar para helicóptero “LAMA”

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

RESUMEN

En consideración del tema de esta investigación que es la determinación de las directrices de diseño de cubiertas en polietileno y pvc film, expongo en el presente capítulo las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron.

6.1 CONCLUSIONES

- ✚ Alrededor del mundo el material más utilizado para estructuras ligeras es el polietileno, por su costo y facilidad de colocación.



Figura 6.1: Polietileno.

- ✚ El polietileno que utilizamos en estructuras ligeras es de baja densidad menos de 930 kg/cm^3 , los más utilizados son los film tricapa de 200 micrones, al cual se le incorpora absorbentes de la radiación UV y aditivos que mitigan los efectos causados por los elementos físico químicos del ambiente interno y externo, como es la evapotranspiración, pesticidas, polvo, etc., y tienen un promedio de duración de dos años.



- ✚ Existen en el mercado diversas formas de sujetar la película de plástico a la estructura, lo importante de estas es que no deben tener bordes afilados y que puedan sujetar 2 o más películas al mismo tiempo.
- ✚ El polietileno y el pvc film durarán más si se sujetan a elementos estructurales flexibles, como es el caso de los cables tensores de 7x7.
- ✚ El viento es la sobrecarga más importante a considerar para el diseño de estructuras ligeras, es por eso, que se ha dado a conocer dos procedimientos para obtener este tipo de cargas; el primer método es el tradicional, utilizado hasta el momento para todo tipo de estructuras, el segundo dado en el código ASCE 7-98 considera varios factores que afectan a la estructura, siendo este un proceso más largo, pero sus resultados son muy satisfactorios y por mi parte recomendado.
- ✚ En la prueba de tracción aplicada al cable de acero A-36 7x7 se obtuvo que puede resistir hasta una fuerza promedio de 1962,7 kg, lo cual es suficiente para poder ser empleado en estructuras ligeras como el invernadero y el hangar de helicóptero.



Figura 6.2: Cable de acero en la maquina Universal.

- ✚ Al aplicar la prueba de tracción al polietileno nuevo, se obtiene que las probetas ensayadas son muy dúctiles, puesto que con una fuerza aplicada entre 1,00 a 1,55 kg estas se alargan, pero antes de romperse alcanzan un alargamiento promedio del 500%.



Figura 6.3: Alargamiento de la probeta de polietileno.

- ✚ El estiramiento de los polímeros de secciones comprendidas entre 3 y 5 metros de ancho, con espesores típicos de 10 milésimas de pulgada es de 1,2 % aproximadamente, luego de esto la membrana se deforma permanentemente.

- ✚ El módulo de Young obtenido en el laboratorio de cada tipo de polietileno se encuentra entre $8666,67 \text{ Tn/m}^2$ y $4363,63 \text{ Tn/m}^2$. Para el PVC film es de $3320,84 \text{ Tn/m}^2$. Por lo cual se debe utilizar en lo posible para la cubierta de invernaderos polietilenos tricapa de 200 micras UV.



Figura 6.4: Muestra de Polietileno.

- ✚ Se determinó que la resistencia del polietileno cambia con el paso del tiempo, disminuyendo su módulo de elasticidad de $8666,67 \text{ Tn/m}^2$ a $6742,31 \text{ Tn/m}^2$ en un año.
- ✚ El SAP 2000, no considera la deformación real del plástico ante factores ambientales que afectan a estructuras ligeras, es decir, lo mantiene como un film de membrana que actúa de forma homogénea.



- ✚ Dentro de una estructura ligera es más peligroso el utilizar plástico nuevo, debido a que este reacciona oponiéndose a las presiones de viento, distribuyéndolas a la estructura y ocasionando mayores momentos.

- ✚ La determinación de una pendiente adecuada para el material de cubierta y su buena colocación sin arrugas, permiten de mejor forma la distribución de las cargas.

- ✚ Al analizar los resultados obtenidos entre los dos métodos (aplicar cargas en la estructura directamente y cargas aplicadas en el polietileno) y comparar las fuerzas axiales, cortante y momento obtenemos un promedio de diferencia de 17,94%, concluyendo así, que al aplicar fuerzas vivas y de viento sobre la cubierta, estas se distribuyen de mejor forma sobre su estructura, que al aplicar las fuerzas directamente a la estructura.

- ✚ Las secciones adoptadas para el invernadero y para el hangar de helicóptero han cumplido con los chequeos de diseño como: comprobación de compacidad, compresión, diseño a flexión y deformación.

- ✚ El hangar diseñado para el helicóptero podrá ser utilizado también como bodega de combustible, abastecimientos, motores, vehículos a rueda y oruga, baterías antiaéreas; es decir, puede ser utilizado para muchos fines, tanto en campaña como en



operaciones tácticas militares. Gracias a sus piezas de dimensiones relativamente pequeñas, puede ser transportado en camioneta, facilitándose en gran medida su transporte.

6.2 RECOMENDACIONES

- ✚ Para el cálculo de estructuras ligeras a más de considerar las cargas de viento será necesario aplicar sobrecargas debido al clima, siendo normalmente cerca de los 25 a 50 kg/m².
- ✚ Se recomienda para modelar la estructura utilizar el programa de AutoCAD, el cual brinda mejores herramientas para detalles, para luego importar este archivo desde el SAP2000 y continuar con el diseño.
- ✚ Utilizar para el diseño en SAP2000 el código AISC-LRFD 93 el cual ya ha sido verificado por expertos.
- ✚ Considerar al polietileno con módulo de Young $E = 8666,67 \text{ Tn/m}^2$, ya que el polietileno nuevo presenta más complicaciones para el diseño, que un material que ya ha perdido sus propiedades mecánicas.



- ✚ Las películas a utilizarse deberán poseer cualidades que limiten la acción de la radiación UV, consiguiendo aumentar la vida útil del plástico, siendo este el PE de larga duración.

- ✚ Para que la estructura metálica, utilizada para el hangar de helicóptero evite su corrosión, se recomienda que las piezas sean niqueladas; debido al clima húmedo que existe en el Oriente Ecuatoriano.



BIBLIOGRAFIA

- "ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS", JUN 2006, section eight plastics, USA, Volumen 08.01, Plastics (I): D882-02. Pag 167-176.

- Robert H. Perry Cecil Chilton, "Manual Ingeniero Químico", Volumen II, , Pág.: 23-65, 23-66.

- Ferdinand L.Singer/ Andrew Pytel, "Resistencia de Materiales", España 1980, Tercera Edición, Pág.: 27-59.

- Fitzgerald, "Mecánica de Materiales", Edición revisada Alfaomega, México 1990, Pág.: 5-38.

- ERAN, E.J. "Resistencia de Materiales", México 1985, Pág.: 23-36.

- AGUIAR FALCÓN, Roberto "Análisis Matricial de Estructuras", Editorial ESPE, Ecuador 1995.

- RUSSELL C. Hibbeler; "Análisis Estructural"; 3ra. Edición. Prentice-Hall Hispanoamericana, S. A., Naucalpan de Juárez, México; 1997.

- Computers and Structures, Inc., "SAP2000 Steel Design Manual", University Avenue Berkeley, California USA, 1995.

- MCCORMAC, Jack C. "Diseño de Estructuras de Acero", 2da. Edición, Clemson University, México 2002.

- MANUAL OF STEEL CONSTRUCTION, "LOAD & RESISTANCE FACTOR DESIGN" Volume I Structural Members, Specifications, &

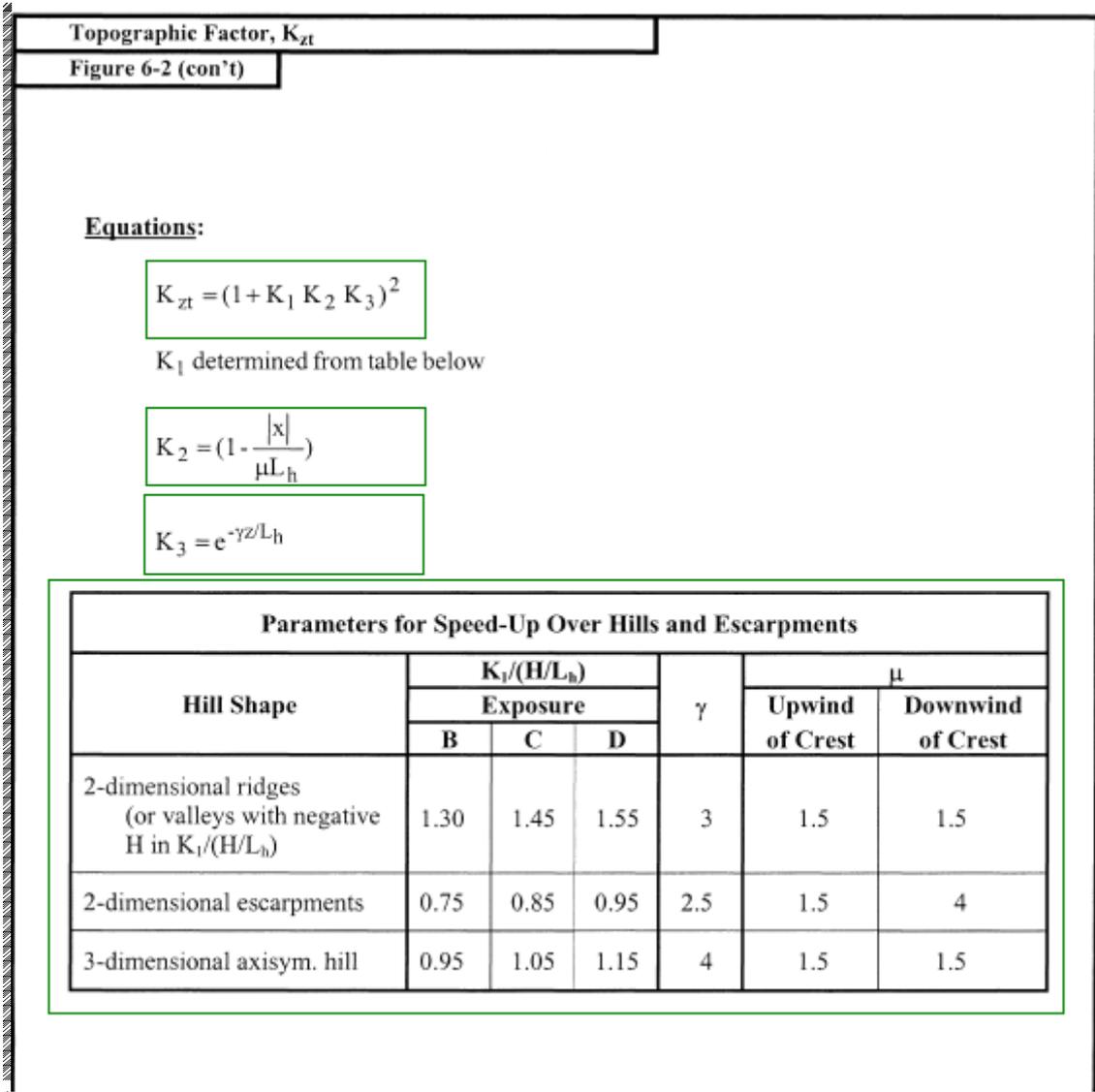


Codes American Institute of Steel Construction, Inc. Second Edition,
USA 1994.

ANEXOS



Anexo 1: Figura 6-2 del ASCE 7-98





Anexo 2: Figura 6-3 del ASCE 7-98

Main Wind Force Resisting System		All h											
Figure 6-3 (con't)		External Pressure Coefficients, C_p									Walls & Roofs		
Enclosed, Partially Enclosed Buildings													
Wall Pressure Coefficients, C_p													
Surface	L/B	C_p								Use With			
Windward Wall	All values	0.8								q_z			
Leeward Wall	0-1	-0.5								q_h			
	2	-0.3											
	≥ 4	-0.2											
Side Wall	All values	-0.7								q_h			
Roof Pressure Coefficients, C_p, for use with q_h													
Wind Direction	Windward									Leeward			
	Angle, θ (degrees)												
	h/L	10	15	20	25	30	35	45	$\geq 60^\circ$	10	15	≥ 20	
Normal to ridge for $\theta \geq 10^\circ$	≤ 0.25	-0.7	-0.5	-0.3	-0.2	-0.2	0.0*	0.4	0.01 θ	-0.3	-0.5	-0.6	
	0.5	-0.9	-0.7	0.4	-0.3	-0.2	-0.2	0.0*	0.01 θ	-0.5	-0.5	-0.6	
	≥ 1.0	-1.3**	-1.0	-0.7	-0.5	-0.3	-0.2	0.0*	0.01 θ	-0.7	-0.6	-0.6	
Normal to ridge for $\theta < 10^\circ$ and Parallel to ridge for all θ	≤ 0.5	Horiz distance from windward edge			C_p		*Value is provided for interpolation purposes. **Value can be reduced linearly with area over which it is applicable as follows						
		0 to h/2			-0.9								
		h/2 to h			-0.9								
		h to 2 h			-0.5								
≥ 1.0	0 to h/2			-1.3**		Area (sq ft)		Reduction Factor					
	> h/2			-0.7		≤ 100 (9.29 sq m)		1.0					
						200 (23.23 sq m)		0.9					
					≥ 1000 (92.9 sq m)		0.8						



Anexo 3: Tabla 6-1 del ASCE 7-98

Importance Factor, I (Wind Loads)		
Table 6-1		
Category	Non-Hurricane Prone Regions and Hurricane Prone Regions with V = 85-100 mph and Alaska	Hurricane Prone Regions with V > 100 mph
I	0.87	0.77
II	1.00	1.00
III	1.15	1.15
IV	1.15	1.15

Note:

1. The building and structure classification categories are listed in Table 1-1.



Anexo 4: Tabla 6-4 del ASCE 7-98

Terrain Exposure Constants										
Table 6-4										
Exposure	α	z_g (ft)	\hat{a}	\hat{b}	$\bar{\alpha}$	\bar{b}	c	ℓ (ft)	$\bar{\epsilon}$	z_{min} (ft)*
A	5.0	1500	1/5	0.64	1/3.0	0.30	0.45	180	1/2.0	60
B	7.0	1200	1/7	0.84	1/4.0	0.45	0.30	320	1/3.0	30
C	9.5	900	1/9.5	1.00	1/6.5	0.65	0.20	500	1/5.0	15
D	11.5	700	1/11.5	1.07	1/9.0	0.80	0.15	650	1/8.0	7

* z_{min} = minimum height used to ensure that the equivalent height \bar{z} is greater of $0.6h$ or z_{min} .
 For buildings with $h \leq z_{min}$, \bar{z} shall be taken as z_{min} .



Anexo 5: Tabla 6-5 del ASCE 7-98



Velocity Pressure Exposure Coefficients, K_h and K_z							
Table 6-5							
Height above ground level, z		Exposure (Note 1)					
		A		B		C	D
ft	(m)	Case 1	Case 2	Case 1	Case 2	Cases 1 & 2	Cases 1 & 2
0-15	(0-4.6)	0.68	0.32	0.70	0.57	0.85	1.03
20	(6.1)	0.68	0.36	0.70	0.62	0.90	1.08
25	(7.6)	0.68	0.39	0.70	0.66	0.94	1.12
30	(9.1)	0.68	0.42	0.70	0.70	0.98	1.16
40	(12.2)	0.68	0.47	0.76	0.76	1.04	1.22
50	(15.2)	0.68	0.52	0.81	0.81	1.09	1.27
60	(18)	0.68	0.55	0.85	0.85	1.13	1.31
70	(21.3)	0.68	0.59	0.89	0.89	1.17	1.34
80	(24.4)	0.68	0.62	0.93	0.93	1.21	1.38
90	(27.4)	0.68	0.65	0.96	0.96	1.24	1.40
100	(30.5)	0.68	0.68	0.99	0.99	1.26	1.43
120	(36.6)	0.73	0.73	1.04	1.04	1.31	1.48
140	(42.7)	0.78	0.78	1.09	1.09	1.36	1.52
160	(48.8)	0.82	0.82	1.13	1.13	1.39	1.55
180	(54.9)	0.86	0.86	1.17	1.17	1.43	1.58
200	(61.0)	0.90	0.90	1.20	1.20	1.46	1.61
250	(76.2)	0.98	0.98	1.28	1.28	1.53	1.68
300	(91.4)	1.05	1.05	1.35	1.35	1.59	1.73
350	(106.7)	1.12	1.12	1.41	1.41	1.64	1.78
400	(121.9)	1.18	1.18	1.47	1.47	1.69	1.82
450	(137.2)	1.24	1.24	1.52	1.52	1.73	1.86
500	(152.4)	1.29	1.29	1.56	1.56	1.77	1.89

Notes:

- Case 1:** a. All components and cladding.
 b. Main wind force resisting system in low-rise buildings designed using Figure 6-4.

Case 2: a. All main wind force resisting systems in buildings except those in low-rise buildings designed using Figure 6-4.
 b. All main wind force resisting systems in other structures.
- The velocity pressure exposure coefficient K_z may be determined from the following formula:

For $15 \text{ ft.} \leq z \leq z_g$	For $z < 15 \text{ ft.}$
$K_z = 2.01 (z/z_g)^{2/\alpha}$	$K_z = 2.01 (15/z_g)^{2/\alpha}$

Note: z shall not be taken less than 100 feet for Case 1 in exposure A or less than 30 feet for Case 1 in exposure B.
- α and z_g are tabulated in Table 6-4.
- Linear interpolation for intermediate values of height z is acceptable.
- Exposure categories are defined in 6.5.6.

Anexo 6: Tabla 6-6 del ASCE 7-98



Wind Directionality Factor, K_d

Table 6-6

Structure Type	Directionality Factor K_d^*
Buildings	
Main Wind Force Resisting System	0.85
Components and Cladding	0.85
Arched Roofs	0.85
Chimneys, Tanks, and Similar Structures	
Square	0.90
Hexagonal	0.95
Round	0.95
Solid Signs	0.85
Open Signs and Lattice Framework	0.85
Trussed Towers	
Triangular, square, rectangular	0.85
All other cross sections	0.95

*Directionality Factor K_d has been calibrated with combinations of loads specified in Section 2. This factor shall only be applied when used in conjunction with load combinations specified in 2.3 and 2.4.

Anexo 7: Tabla 6-7 del ASCE 7-98



Internal Pressure Coefficients for Buildings, GC_{pi}

Table 6-7

Enclosure Classification	GC_{pi}
Open Buildings	0.00
Partially Enclosed Buildings	+0.55 -0.55
Enclosed Buildings	+0.18 -0.18

Notes:

1. Plus and minus signs signify pressures acting toward and away from the internal surfaces.
2. Values of GC_{pi} shall be used with q_z or q_h as specified in 6.5.12.
3. Two cases shall be considered to determine the critical load requirements for the appropriate condition:
 - (i) a positive value of GC_{pi} applied to all internal surfaces
 - (ii) a negative value of GC_{pi} applied to all internal surfaces

Anexo 8: Tabla 6-8 del ASCE 7-98



Main Wind Force Resist. Sys. / Components & Cladding		All h		
Table 6-8	External Pressure Coefficients, C_p	Arched Roofs		
Enclosed, Partially Enclosed Buildings				
Conditions	Rise-to-span ratio, r	C_p		
		Windward quarter	Center half	Leeward quarter
Roof on elevated structure	$0 < r < 0.2$	-0.9	$-0.7 - r$	-0.5
	$0.2 \leq r < 0.3^*$	$1.5r - 0.3$	$-0.7 - r$	-0.5
	$0.3 \leq r \leq 0.6$	$2.75r - 0.7$	$-0.7 - r$	-0.5
Roof springing from ground level	$0 < r \leq 0.6$	$1.4r$	$-0.7 - r$	-0.5

*When the rise-to-span ratio is $0.2 \leq r \leq 0.3$, alternate coefficients given by $6r - 2.1$ shall also be used for the windward quarter.

Notes:

1. Values listed are for the determination of average loads on main windforce resisting systems.
2. Plus and minus signs signify pressures acting toward and away from the surfaces, respectively.
3. For wind directed parallel to the axis of the arch, use pressure coefficients from Fig. 6-3 with wind directed parallel to ridge.
4. For components and cladding: (1) At roof perimeter, use the external pressure coefficients in Fig. 6-5B with θ based on spring-line slope and (2) for remaining roof areas, use external pressure coefficients of this table multiplied by 0.87.



1 HOJA DE LEGALIZACION DE FIRMAS

2 ELABORADO POR

Tnte. de E. Rugel Pardo Abel Alejandro

COORDINADORA DE LA CARRERA DE ING. CIVIL

Ing. Ana Gabriela Haro Baez

Lugar y fecha: Sangolquí, Febrero 2007