

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**Análisis aerodinámico mediante el método de elementos finitos, para la
construcción de nave industrial de 1800 m²**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO**

AUTOR:

Bach. Quezada Miranda, Billy Erik

ASESOR:

Ing. M.Sc. Escalante Espinoza, Nelver Javier

Nuevo Chimbote-Perú

2024

HOJA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

El presente informe de tesis titulado:

“ANÁLISIS AERODINÁMICO MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS, PARA LA CONSTRUCCIÓN DE NAVE INDUSTRIAL DE 1800 m²”, elaborado por el bachiller **QUEZADA MIRANDA BILLY ERIK**, para optar por el Título Profesional de Ingeniero Mecánico.

Ha contado con el asesoramiento de quien deja constancia de su aprobación. Por tal motivo, firmo el presente trabajo en calidad de asesor.



Msc. Escalante Espinoza, Nelter Javier
COD. ORCID. 000-0001-8586-3021
DNI: 32763819
ASESOR

HOJA DE CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR

El presente informe de tesis titulado:

“ANÁLISIS AERODINÁMICO MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS, PARA LA CONSTRUCCIÓN DE NAVE INDUSTRIAL DE 1800 m²”, elaborado por el bachiller **QUEZADA MIRANDA BILLY ERIK**, para optar por el Título Profesional de Ingeniero Mecánico.

Fue revisado y aprobado por el siguiente Jurado Evaluador.



Msc. Riscó Ojeda, Rusber Alberto
COD. ORCID. 0000-0003-0194-169X
DNI: 32903454
PRESIDENTE



Msc. Iparraguirre Lozano, Arquimedes
COD. ORCID. 0000-0002-1132-7688
DNI: 32766219
SECRETARIO



Msc. Escalante Espinoza, Nelver Javier
COD. ORCID. 000-0001-8586-3021
DNI: 32763819
INTEGRANTE



ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

A los dos días del mes de julio del año dos mil veinticuatro, siendo las 10:30 a.m., En el Laboratorio de Uso Múltiple de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica-FI-UNS, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante Resolución N° 073-2024-UNS- CFI, y de expedito según Resolución Decanal N° 369-2024-UNS-FI integrado por los docentes: **Msc. Rusber Alberto Risco Ojeda (presidente)**, **Msc. Arquimedes Iparraguirre Lozano (secretario)** y el **Msc. Nelver Javier Escalante Espinoza (Integrante)**, para dar inicio a la sustentación de la Tesis titulada: **"ANÁLISIS AERODINAMICO MEDIANTE EL METODO DE ELEMENTOS FINITOS, PARA LA CONSTRUCCION DE NAVE INDUSTRIAL DE 1800 m²"**, perteneciente al bachiller **QUEZADA MIRANDA BILLY ERIK**, código de matrícula N°0201016019, quien fue asesorado por el Msc. Nelver Javier Escalante Espinoza, según Resolución Decanal N.º 619-2021-UNS-FI.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General de Grados y Títulos, vigente, declaran aprobar:

| BACHILLER | PROMEDIO VIGESIMAL | PONDERACIÓN |
|----------------------------|--------------------|-------------|
| QUEZADA MIRANDA BILLY ERIK | 18 | BUENO |

Siendo las 11:00 a.m del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, julio 02 de 2024


Msc. Rusber Alberto Risco Ojeda
PRESIDENTE


Msc. Arquimedes Iparraguirre Lozano
SECRETARIO


Msc. Nelver Javier Escalante Espinoza
INTEGRANTE



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

| | |
|------------------------------|--|
| Autor de la entrega: | Billy Erick Quezada Miranda |
| Título del ejercicio: | Informe Final de Tesis |
| Título de la entrega: | ANÁLISIS AERODINÁMICO MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEME... |
| Nombre del archivo: | TESIS_FINAL.pdf |
| Tamaño del archivo: | 12.78M |
| Total páginas: | 209 |
| Total de palabras: | 35,540 |
| Total de caracteres: | 181,971 |
| Fecha de entrega: | 05-sept.-2024 08:03p. m. (UTC-0500) |
| Identificador de la entre... | 2446131160 |

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



"ANÁLISIS AERODINÁMICO MEDIANTE EL MÉTODO DE
ELEMENTOS FINITOS, PARA LA CONSTRUCCIÓN DE BARRIO
INDUSTRIAL DE 100 m²"
TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO

AUTOR:
BILLY ERICK QUEZADA MIRANDA BILLY ERICK
ASESOR:
ING. MSc. MELVIN JIMMY ESCALANTE ESPINOZA

Santa Cruz de Yumburaqui
2024

ANÁLISIS AERODINÁMICO MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS, PARA LA CONSTRUCCIÓN DE NAVE INDUSTRIAL DE 1800 m²

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | fdocuments.es Fuente de Internet | 3% |
| 2 | www.ptolomeo.unam.mx:8080 Fuente de Internet | 2% |
| 3 | Submitted to Universidad de Málaga - Tii Trabajo del estudiante | 2% |
| 4 | repositorio.utp.edu.co Fuente de Internet | 2% |
| 5 | www.dlubal.com Fuente de Internet | 1% |
| 6 | docplayer.es Fuente de Internet | 1% |
| 7 | hdl.handle.net Fuente de Internet | 1% |
| 8 | vsip.info Fuente de Internet | 1% |
| 9 | es.slideshare.net Fuente de Internet | 1% |

Dedicatoria

A mis padres, por su gran amor, afecto, apoyo y comprensión, en cada paso que doy en mi vida.

A mis hermanos y hermanas, por su afecto incansable y la complicidad compartida en cada vivencia desde la niñez, hasta nuestros días.

Agradecimiento

A dos de los tantos maestros que formaron parte de mi formación como profesional; el ingeniero Nelver Escalante, por su guía y desinteresado apoyo, los cuales fueron puntos claves para el desarrollo de esta investigación; al ingeniero Ruber Risco, por su constancia y vocación en la enseñanza de esta hermosa profesión.

A mi alma mater, la Universidad Nacional del Santa (UNS), por formar parte de este crecimiento profesional y por brindarme las instalaciones y facilidades para mejorar día a día.

De igual forma, a todos los docentes que formaron parte de este crecimiento profesional, los cuales, con su gran aporte crearon en mí el deseo de mejorar día con día profesionalmente y me brindaron las herramientas necesarias para afrontar los retos que se presentan en este tan cambiante mundo tecnológico industrial.

INDICE

| | |
|---|------------|
| Dedicatoria..... | ii |
| Agradecimiento..... | iii |
| Resumen..... | 16 |
| Abstract..... | 17 |
| | |
| I. Introducción | |
| 1.1. Antecedentes | 19 |
| 1.2. Problemática..... | 20 |
| 1.3. Enunciado del problema..... | 21 |
| 1.4. Hipótesis..... | 21 |
| 1.5. Variables..... | 21 |
| 1.5.1. Variable dependiente | 21 |
| 1.5.2. Variable independiente | 21 |
| 1.5.3. Operacionalización de las variables..... | 22 |
| 1.6. Matriz de consistencia..... | 24 |
| 1.7. Objetivos | 25 |
| 1.7.1. Objetivo general..... | 25 |
| 1.7.2. Objetivos específicos | 25 |
| 1.8. Justificación..... | 25 |
| 1.9. Limitaciones | 27 |
| | |
| II. Marco teórico | |
| 2.1. El viento | 28 |
| 2.2. Cargas de viento..... | 29 |
| 2.2.1. Determinación de las fuerzas de viento | 31 |
| 2.2.2. Flujo típico del viento alrededor de edificios | 32 |
| 2.2.3. Velocidad del viento | 33 |
| 2.2.4. Cargas de diseño por viento..... | 34 |
| 2.3. Efecto del viento sobre las estructuras | 35 |
| 2.3.1. Diseño ante acciones de viento..... | 36 |
| 2.3.2. Coeficiente de ráfaga | 37 |

| | | |
|---|--|-----|
| 2.3.3. | Vibraciones causadas por el viento..... | 38 |
| 2.3.4. | Daños generados por el viento..... | 38 |
| 2.4. | Aerodinámica..... | 40 |
| 2.4.1. | Coefficiente de arrastre (Cd)..... | 40 |
| 2.4.2. | Fuerza de arrastre (D)..... | 41 |
| 2.4.3. | Fuerza de sustentación (L)..... | 41 |
| 2.4.4. | Fluidos..... | 42 |
| 2.4.5. | Capa límite aerodinámica..... | 44 |
| 2.5. | Análisis de la normativa peruana RNE E.020 y la norma ASCE 7-16..... | 47 |
| 2.5.1. | Análisis de la norma peruana RNE E.020..... | 47 |
| 2.5.2. | Análisis de la norma ASCE 7-10..... | 52 |
| 2.6. | Túnel de viento..... | 63 |
| 2.6.1. | Tipos de túnel de viento..... | 64 |
| 2.7. | Dinámica de fluidos computacional..... | 66 |
| 2.7.1. | Dlubal RFEM software..... | 66 |
| 2.7.2. | RWIND software..... | 68 |
| III. Materiales y métodos | | |
| 3.1. | Metodología utilizada..... | 71 |
| 3.2. | Diseño de la investigación..... | 72 |
| 3.3. | Medios y materiales..... | 72 |
| IV. Cálculos | | |
| 4.1. | Velocidad del viento..... | 74 |
| 4.2. | Evaluación de modelos de nave industrial..... | 77 |
| 4.2.1. | Naves industriales..... | 78 |
| 4.3. | Análisis aerodinámico a distintos ángulos de ataque..... | 89 |
| 4.3.1. | Techo a dos aguas altura de cumbrera de 8, 5 y 2m..... | 89 |
| 4.3.2. | Techo curvo con altura de cumbrera de 8, 5 y 2m..... | 137 |
| V. Resultados y discusión | | |
| 5.1. | Resultados..... | 188 |
| 5.2. | Discusión..... | 192 |
| VI. Conclusiones y recomendaciones | | |
| 6.1. | Conclusiones..... | 196 |

| | |
|---------------------------|-----|
| 6.2. Recomendaciones..... | 197 |
|---------------------------|-----|

VII. Referencias bibliográficas

VIII. Anexos

| | |
|--|-----|
| 8.1. Anexo A: Figuras complementarias..... | 200 |
| 8.2. Anexo B: Planos..... | 203 |

Índice de figuras

| | | |
|------------------|---|----|
| Figura 1 | <i>Desviación de los Efectos del Viento por Efecto de la Rotación de la Tierra.</i> | 29 |
| Figura 2 | <i>Acción del Viento Sobre una Construcción con Techo a dos Aguas.</i> | 33 |
| Figura 3 | <i>Flujo de Aire sobre Estructuras Fijas</i> | 35 |
| Figura 4 | <i>Efectos Dinámicos del Viento</i> | 37 |
| Figura 5 | <i>Coefficientes de Arrastre para Geometrías Generales</i> | 40 |
| Figura 6 | <i>Resultantes de Fuerzas de Sustentación y Arrastre.</i> | 42 |
| Figura 7 | <i>Flujo Laminar y Turbulento</i> | 43 |
| Figura 8 | <i>Perfil de Velocidad en la Capa Límite.</i> | 44 |
| Figura 9 | <i>Tipos de Flujo en la Capa Límite.</i> | 45 |
| Figura 10 | <i>Distintos Números de Mach a una misma Velocidad.</i> | 47 |
| Figura 11 | <i>Túnel de Viento Abierto.</i> | 65 |
| Figura 12 | <i>Túnel de Viento Cerrado.</i> | 65 |
| Figura 13 | <i>Ingreso de Datos en Túnel de Viento Computacional.</i> | 67 |
| Figura 14 | <i>Túnel de Viento Computacional.</i> | 69 |
| Figura 15 | <i>Naves Industriales con Techo a dos Aguas y Techo Curvo.</i> | 73 |
| Figura 16 | <i>Mapa de Viento.</i> | 77 |
| Figura 17 | <i>Modelo de Nave Industrial con Techo a dos Aguas.</i> | 78 |
| Figura 18 | <i>Simulador y Generador de Cargas de Viento.</i> | 79 |
| Figura 19 | <i>Ángulos de Incidencia en Nave Industrial.</i> | 79 |
| Figura 20 | <i>Casos de Carga a Distintos Ángulos de Ataque.</i> | 80 |
| Figura 21 | <i>Dimensiones de Túnel de Viento virtual.</i> | 81 |
| Figura 22 | <i>Modelo de Mallado de Estructura.</i> | 81 |

| | |
|---|-----|
| Figura 23 <i>Categoría de Exposición.</i> | 82 |
| Figura 24 <i>Coefficiente Topográfico.</i> | 84 |
| Figura 25 <i>Perfil de Viento</i> | 88 |
| Figura 26 <i>Techo a dos Aguas con diferentes Alturas de Cumbre</i> | 89 |
| Figura 27 <i>Dirección del Viento a 0° en diferentes Alturas de Cumbre, de izquierda a derecha, 8m, 5m y 2m.</i> | 90 |
| Figura 28 <i>Presiones del Viento en Cara a Barlovento</i> | 91 |
| Figura 29 <i>Velocidades del Viento en Cara a Barlovento, con altura de Cumbre de 8m</i> | 92 |
| Figura 30 <i>Velocidades del Viento en Cara a Barlovento, con altura de Cumbre de 5m</i> | 92 |
| Figura 31 <i>Velocidades del Viento en Cara a Barlovento, con Altura de Cumbre de 2m</i> | 93 |
| Figura 32 <i>Coefficientes de Presión del Viento en Cara a Barlovento</i> | 93 |
| Figura 33 <i>Incidencia del Viento en Cara a Barlovento</i> | 94 |
| Figura 34 <i>Fuerza de Arrastre del Viento en Techo a dos Aguas</i> | 95 |
| Figura 35 <i>Dirección del Viento a 30° en Diferentes alturas de Cumbre, de izquierda a derecha, 8m, 5m y 2m</i> | 99 |
| Figura 36 <i>Presiones del Viento en cara a Barlovento</i> | 100 |
| Figura 37 <i>Velocidades del Viento en cara a Barlovento, con altura de Cumbre de 8m</i> | 101 |
| Figura 38 <i>Velocidades del Viento en cara a Barlovento, con altura de Cumbre de 5m</i> | 101 |
| Figura 39 <i>Velocidades del Viento en cara a Barlovento, con altura de Cumbre de 2m</i> | 102 |
| Figura 40 <i>Coefficientes de Presión del Viento en cara a Barlovento</i> | 102 |
| Figura 41 <i>Incidencia del Viento en cara a Barlovento</i> | 103 |
| Figura 42 <i>Fuerza de Arrastre del Viento en Techo a dos Aguas</i> | 104 |

| | |
|---|-----|
| Figura 43 <i>Dirección del Viento a 45° en diferentes Alturas de Cumbre, de izquierda a derecha, 8m, 5m y 2m</i> | 108 |
| Figura 44 <i>Presiones del Viento en cara a Barlovento</i> | 109 |
| Figura 45 <i>Velocidad del Viento en cara a Barlovento, con ángulo de ataque de 45° y altura de cumbre de 8m</i> | 110 |
| Figura 46 <i>Velocidad del Viento en cara a Barlovento, con ángulo de ataque de 45° y altura de cumbre de 5m</i> | 110 |
| Figura 47 <i>Velocidad del Viento en cara a Barlovento, con ángulo de ataque de 45° y altura de cumbre de 2m</i> | 111 |
| Figura 48 <i>Coeficientes de Presión del Viento en cara a Barlovento</i> | 112 |
| Figura 49 <i>Incidencia del Viento en cara a Barlovento</i> | 113 |
| Figura 50 <i>Fuerza de arrastre del Viento en Techo a dos Aguas</i> | 114 |
| Figura 51 <i>Dirección del Viento a 60° en diferentes alturas de cumbre, de izquierda a derecha, 8m, 5m y 2m</i> | 117 |
| Figura 52 <i>Presiones del Viento en cara a Barlovento</i> | 118 |
| Figura 53 <i>Velocidad del Viento en cara a Barlovento, con ángulo de ataque de 60° y altura de cumbre de 8m</i> | 119 |
| Figura 54 <i>Velocidad del Viento en cara a Barlovento, con ángulo de ataque de 60° y altura de cumbre de 5m</i> | 120 |
| Figura 55 <i>Velocidad del Viento en cara a Barlovento, con ángulo de ataque de 60° y altura de cumbre de 2m</i> | 120 |
| Figura 56 <i>Coeficientes de Presión del Viento en cara a Barlovento</i> | 122 |
| Figura 57 <i>Incidencia del Viento en cara a Barlovento</i> | 123 |

| | |
|---|-----|
| Figura 58 <i>Fuerza de Arrastre del Viento en techo a dos Aguas.....</i> | 124 |
| Figura 59 <i>Dirección del viento a 90° en diferentes alturas de cumbrera, de izquierda a derecha, 8m, 5m y 2m</i> | 127 |
| Figura 60 <i>Presiones del Viento en cara a Barlovento</i> | 129 |
| Figura 61 <i>Velocidad del Viento en cara a Barlovento, con ángulo de ataque de 90° y altura de cumbrera de 8m</i> | 130 |
| Figura 62 <i>Velocidad del Viento en cara a Barlovento, con ángulo de ataque de 90° y altura de cumbrera de 5m</i> | 130 |
| Figura 63 <i>Velocidad del Viento en cara a Barlovento, con ángulo de ataque de 90° y altura de cumbrera de 2m</i> | 131 |
| Figura 64 <i>Coeficientes de Presión del Viento en cara a Barlovento</i> | 132 |
| Figura 65 <i>Incidencia del Viento en cara a Barlovento</i> | 133 |
| Figura 66 <i>Fuerza de Arrastre del Viento en techo a dos Agua.</i> | 134 |
| Figura 67 <i>Techo Curvo con Diferentes Alturas de Cumbrera.....</i> | 138 |
| Figura 68 <i>Dirección del Viento a 0° en diferentes alturas de Cumbrera, de izquierda a derecha, 8m, 5m y 2m</i> | 139 |
| Figura 69 <i>Presiones del Viento en cara a Barlovento</i> | 140 |
| Figura 70 <i>Velocidades del Viento en cara a Barlovento, con Altura de Cumbrera de 8m</i> | 141 |
| Figura 71 <i>Velocidades del Viento en cara a Barlovento, con Altura de Cumbrera de 5m</i> | 141 |
| Figura 72 <i>Velocidades del Viento en cara a Barlovento, con Altura de Cumbrera de 2m</i> | 142 |
| Figura 73 <i>Coeficientes de Presión del Viento en cara a Barlovento</i> | 143 |
| Figura 74 <i>Incidencia del Viento en cara a Barlovento</i> | 144 |
| Figura 75 <i>Fuerza de Arrastre del Viento en Techo a dos Aguas.....</i> | 145 |

| | |
|---|-----|
| Figura 76 <i>Dirección del Viento a 30° en diferentes alturas de Cumbre, de izquierda a derecha, 8m, 5m y 2m</i> | 149 |
| Figura 77 <i>Presiones del Viento en cara a Barlovento</i> | 150 |
| Figura 78 <i>Velocidades del Viento en cara a Barlovento, con Altura de Cumbre de 8m</i> | 151 |
| Figura 79 <i>Velocidades del Viento en cara a Barlovento, con altura de Cumbre de 5m</i> | 151 |
| Figura 80 <i>Velocidades del Viento en cara a Barlovento, con altura de Cumbre de 2m</i> | 152 |
| Figura 81 <i>Coeficientes de Presión del Viento en cara a Barlovento</i> | 153 |
| Figura 82 <i>Incidencia del Viento en cara a Barlovento</i> | 154 |
| Figura 83 <i>Fuerza de Arrastre del Viento en techo Curvo</i> | 155 |
| Figura 84 <i>Dirección del Viento a 45° en diferentes alturas de Cumbre, de izquierda a derecha, 8m, 5m y 2m</i> | 158 |
| Figura 85 <i>Presiones del Viento en cara a Barlovento</i> | 160 |
| Figura 86 <i>Velocidad del Viento en cara a Barlovento, con ángulo de ataque de 45° y altura de cumbre de 8m</i> | 161 |
| Figura 87 <i>Velocidad del Viento en cara a Barlovento, con ángulo de ataque de 45° y altura de cumbre de 5m</i> | 161 |
| Figura 88 <i>Velocidad del Viento en cara a Barlovento, con ángulo de ataque de 45° y altura de cumbre de 2m</i> | 162 |
| Figura 89 <i>Coeficientes de Presión del Viento en cara a Barlovento</i> | 163 |
| Figura 90 <i>Incidencia del Viento en cara a Barlovento</i> | 164 |
| Figura 91 <i>Fuerza de arrastre del Viento en Techo curvo</i> | 165 |
| Figura 92 <i>Dirección del Viento a 60° en diferentes alturas de cumbre, de izquierda a derecha, 8m, 5m y 2m</i> | 169 |

| | |
|--|-----|
| Figura 93 <i>Presiones del Viento en cara a Barlovento</i> | 170 |
| Figura 94 <i>Velocidad del Viento en cara a Barlovento, con ángulo de ataque de 60° y altura de cumbrera de 8m</i> | 171 |
| Figura 95 <i>Velocidad del Viento en cara a Barlovento, con ángulo de ataque de 60° y altura de cumbrera de 5m</i> | 171 |
| Figura 96 <i>Velocidad del Viento en cara a Barlovento, con ángulo de ataque de 60° y altura de cumbrera de 2m</i> | 171 |
| Figura 97 <i>Coeficientes de Presión del Viento en cara a Barlovento</i> | 173 |
| Figura 98 <i>Incidencia del Viento en cara a Barlovento</i> | 174 |
| Figura 99 <i>Fuerza de arrastre del Viento en Techo a dos Aguas</i> | 175 |
| Figura 100 <i>Dirección del Viento a 90° en diferentes alturas de cumbrera, de izquierda a derecha, 8m, 5m y 2m</i> | 178 |
| Figura 101 <i>Presiones del Viento en cara a Barlovento</i> | 179 |
| Figura 102 <i>Velocidad del Viento en cara a Barlovento, con ángulo de ataque de 90° y altura de cumbrera de 8m</i> | 180 |
| Figura 103 <i>Velocidad del Viento en cara a Barlovento, con ángulo de ataque de 90° y altura de cumbrera de 5m</i> | 180 |
| Figura 104 <i>Velocidad del Viento en cara a Barlovento, con ángulo de ataque de 90° y altura de cumbrera de 2m</i> | 181 |
| Figura 105 <i>Coeficientes de Presión del Viento en cara a Barlovento</i> | 182 |
| Figura 106 <i>Incidencia del Viento en cara a Barlovento</i> | 183 |
| Figura 107 <i>Fuerza de Arrastre del Viento en Techo Curvo</i> | 183 |
| Figura 108 <i>Mapa de isótacas</i> | 200 |

| | |
|--|-----|
| Figura 109 <i>Coeficientes de presión en cubiertas simétricas a dos aguas</i> | 201 |
| Figura 110 <i>Coeficientes de presión para cubiertas en forma de arco</i> | 202 |

Índice de tablas

| | |
|---|-----|
| Tabla 1 <i>Variable dependiente</i> | 22 |
| Tabla 2 <i>Variable independiente</i> | 23 |
| Tabla 3 <i>Coefficientes de Presión para Cubierta de Barlovento</i> | 50 |
| Tabla 4 <i>Factor de Direccionalidad Kd</i> | 59 |
| Tabla 5 <i>Categoría de Riesgo en las Edificaciones y Estructuras</i> | 60 |
| Tabla 6 <i>Coefficiente de Presión Interna</i> | 62 |
| Tabla 7 <i>Velocidades Extremas de Viento en Km/h a 10m. sobre el nivel del Suelo para periodos de recurrencia de 33, 50 y 100 años.</i> | 76 |
| Tabla 8 <i>Parámetros de Aceleración.</i> | 85 |
| Tabla 9 <i>Factor de Direccionalidad Kd</i> | 86 |
| Tabla 10 <i>Factor de Altura Ke</i> | 87 |
| Tabla 11 <i>Resumen de Fuerza y Coeficiente de Arrastre para Ángulo de Ataque de 0°, a dos aguas</i> | 98 |
| Tabla 12 <i>Resumen de Fuerza y Coeficiente de Arrastre para ángulo de ataque de 30°, a dos aguas.</i> | 107 |
| Tabla 13 <i>Resumen de Fuerza y Coeficiente de Arrastre para ángulo de ataque de 45°, a dos aguas.</i> | 117 |
| Tabla 14 <i>Resumen de Fuerza y Coeficiente de arrastre para ángulo de ataque de 60°, a dos aguas.</i> | 127 |
| Tabla 15 <i>Resumen de fuerza y coeficiente de arrastre para ángulo de ataque de 90°, a dos aguas.</i> | 137 |
| Tabla 16 <i>Resumen de fuerza y coeficiente de arrastre para ángulo de ataque de 0°, curvo. ...</i> | 148 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 17 <i>Resumen de Fuerza y Coeficiente de Arrastre para ángulo de Ataque de 30°, curvo.</i> | |
| | 158 |
| Tabla 18 <i>Resumen de Fuerza y Coeficiente de Arrastre para ángulo de ataque de 45°, curvo.</i> | |
| | 168 |
| Tabla 19 <i>Resumen de Fuerza y Coeficiente de Arrastre para ángulo de ataque de 60°, curvo.</i> | 178 |
| Tabla 20 <i>Resumen de Fuerza y Coeficiente de arrastre para ángulo de ataque de 90°, curvo.</i> | 187 |
| Tabla 21 <i>Presión máxima de Viento a diferentes alturas de cumbrera, Techo a dos Aguas</i> | 188 |
| Tabla 22 <i>Presión máxima de Viento a diferentes alturas de Cumbrera, Techo curvo</i> | 189 |
| Tabla 23 <i>Velocidad máxima del Viento a diferentes alturas de Cumbrera, Techo a dos aguas.</i> | 189 |
| Tabla 24 <i>Velocidad máxima del Viento a diferentes alturas de Cumbrera, Techo curvo</i> | 190 |
| Tabla 25 <i>Coeficiente de arrastre máximo del Viento a diferentes alturas de Cumbrera, Techo a dos Aguas</i> | 190 |
| Tabla 26 <i>Coeficiente de arrastre máximo del Viento a diferentes alturas de Cumbrera, Techo curvo</i> | 191 |
| Tabla 27 <i>Coeficiente de presión del Viento a diferentes alturas de cumbrera, Techo a dos Aguas</i> | 191 |
| Tabla 28 <i>Coeficiente de presión del Viento a diferentes alturas de Cumbrera, Techo curvo ...</i> | 192 |

Resumen

En el presente trabajo de investigación se determinó la configuración aerodinámica para el techo de una nave industrial de $1800m^2$ a través del método de elementos finitos, analizando dos formas de techo (techo curvo y techo a dos aguas). Para este caso, la muestra estuvo constituida por la nave industrial de $1800 m^2$ de área, en la planta Caratavio Rum Company SA. El instrumento que se usó para la recolección de datos del trabajo de investigación fue el software de análisis aerodinámico RWIND 1.24. Se obtuvo el valor de la velocidad del viento ($v = 95 \text{ km/h}$) a la que está sometida la nave industrial, utilizando las tablas de velocidad de viento establecidas por el SENAMHI. Luego, se aplicó la normativa ASCE 7/16 apartado 26.7.3, con la cual se obtuvo los valores de categoría de exposición (B), coeficiente topográfico ($K_{zt} = 1.00$), el factor de direccionalidad de viento ($K_d = 0.85$), la velocidad básica del viento ($v = 95 \text{ km/h}$), el factor de altura ($K_e = 0.99$), el factor de efecto de ráfaga ($G = 0.85$) y la densidad ($\rho = 1.214 \text{ kg/m}^3$). Posteriormente, se ingresaron todos los valores anteriormente mencionados al software RWIND 1.24, con el cual se procedió a aplicar el análisis aerodinámico para los dos modelos de techo. Con ello, se obtuvo la presión máxima ($P_{max} = 223 \text{ Kpa}$), velocidad máxima de viento ($V_{max} = 31.9 \text{ m/s}$), el coeficiente de presión ($C_p = 0.878$) y el coeficiente de arrastre ($C_d = 1.18$) con el cual se obtuvo el diseño de un techo curvo, concluyendo así con la forma de techo aerodinámica más adecuada para soportar dichas fuerzas de viento.

Palabras clave: aerodinámica, coeficiente de arrastre, techo a dos aguas, techo curvo.

Abstract

Because the attacks of nature are increasingly harsh and drastic, it was necessary to reduce the material losses and, above all, the human losses that are generated when the forces of nature, in this case those of the environment, are not taken into consideration. wind, which has proven to be very devastating in some circumstances.

The general objective of this research work was the most appropriate aerodynamic shape for the roof of an industrial warehouse of 1800 m^2 through the finite element method, analyzing two different roof shapes (curved roof and gable roof). For this case, the sample consisted of the industrial warehouse with a curved roof of 1800 m^2 area, at the Cartavio Rum Company SA plant. The instrument that will be used to collect data for the research work was the aerodynamic analysis software RWIND 1.24. The value of the wind speed ($v = 95 \text{ kph}$) to which the industrial warehouse is subjected was obtained, using the wind speed tables established by SENAMHI. Then, ASCE 7/16 section 26.7.3 was applied, with which the values of exposure category (B), topographic coefficient ($K_{zt} = 1.00$), wind directionality factor ($K_d = 0.85$), and basic wind speed ($v = 95 \text{ kph}$), the height factor ($K_e = 0.99$), the gust effect factor ($G = 0.85$) and density ($\rho = 1.214 \text{ Kg/m}^3$). Subsequently, all the aforementioned values were entered into the RWIND 1.24 software, with which the aerodynamic analysis was applied to the two roof models. With this, the maximum pressure ($P_{max} = 223 \text{ Kpa}$), maximum wind speed ($V_{max} = 31.9 \text{ m/s}$), pressure coefficient ($C_p = 0.878$) and the drag coefficient ($C_d = 1.18$). Finally, the design was obtained a curved roof with the highest drag coefficient ($C_d = q.18$) to which an industrial warehouse may be subjected due to the force of the wind was obtained, thus concluding with the most appropriate aerodynamic roof shape to support said wind forces.

Keywords: aerodynamics, drag coefficient, gable roof, curved roof.

I. Introducción

Hace ya unos años que la mecánica de fluidos viene obteniendo gran protagonismo en el análisis dinámico de distintos medios de transporte, desde las naves más sofisticadas como aviones, helicópteros, barcos, submarinos, etc., hasta los más modernos vehículos. Pero esta demanda por querer entender el comportamiento de una determinada estructura dentro de un fluido, se ha trasladado desde la aerodinámica de coches y naves, hasta las estructuras de edificios, puentes y naves industriales, las cuales diariamente, están demandando un mayor énfasis en el estudio aerodinámico de las mismas.

Esta creciente demanda es debió al afán del ser humano por querer expandirse en distintas direcciones, alcanzando grandes alturas y llegando a lugares casi inimaginados. Debido a ello los embates de la naturaleza son cada vez más duros y drásticos, demostrándolo a diario en los encabezados de los noticieros. Como consecuencia de ello, se vio necesario poder reducir las pérdidas materiales y sobre todo las humanas, que se generan cuando no se tiene en consideración las fuerzas de la naturaleza, en este caso las del viento, la cual ha demostrado ser muy devastadora en algunas circunstancias.

Por eso se hará un análisis exhaustivo de la aerodinámica de las estructuras para así reducir y controlar todos los deterioros materiales que genere un mal manejo de las fuerzas dinámicas, teniendo en cuenta la normativa internacional y aplicando cierto método de análisis computacional (método de elementos finitos), que permitirá un mejor manejo de los datos y un buen análisis de los resultados obtenidos a través del cálculo computacional, para la construcción de una nave industrial.

1.1.Antecedentes

Natalini, Mario B. (2005), en la tesis titulada “Acción del viento sobre cubiertas curvas aisladas” donde plantea brindar el análisis de los valores obtenidos por un túnel de viento y por programas de modelación computacional, con la finalidad de otorgar una mayor visibilidad de la aerodinámica de las estructuras de las naves industriales con techo curvo.

Ossandón Tapia, Rodrigo Andrés (2008), en la tesis titulada “Determinación de la acción del viento sobre las estructuras en Chile” donde plantea el cálculo de las cargas de viento en las estructuras en Chile, aplicando la normativa internacional ASCE 7 - 05 y los criterios de la normativa nacional que rige el país del sur, con lo cual se realizó una comparación para la obtención de las presiones, las cargas y la obtención de un método simplificado entre ambas normas.

Balbastro, Gustavo Carlos (2009), en la tesis titulada “Coeficiente de presión en cubiertas abovedadas aisladas sometidas a la acción del viento” donde plantea determinar los valores de los coeficientes de presión a los que están sometidas las naves industriales, haciendo el análisis con un software computacional que simula las condiciones de viento necesarias para el estudio, y utilizando un túnel de viento real, para obtener valores de la acción del viento real, para finalmente contrastar ambos valores y obtener unos datos más concisos y acordes a la realidad.

Amaya Gallardo, Edmundo (2015), en la tesis titulada “Estudio de los efectos del viento en naves industriales con cubierta de dos aguas con mecánica de fluidos computacional” donde plantea calcular las presiones máximas fluctuantes inducidas por el viento sobre una nave industrial en distintas zonas específicas, además realizó el análisis para dos ángulos distintos de incidencia de viento en la nave industrial, para tener una data más variada con respecto a las presiones de viento en las naves industriales.

1.2.Problemática

El viento es un fenómeno natural que como sabemos posee energía cinética debido a la masa del aire en movimiento. Si se interpone un obstáculo en la dirección del viento, este cambiará su energía cinética en energía potencial de empuje, la cual aplicará toda su fuerza sobre la cara de la superficie en donde incida (cara a barlovento). Ya que mientras mayor sea la velocidad del viento sobre dicha estructura, mayor será la acción de la presión sobre la misma.

El ingeniero encargado del diseño de la estructura deberá conocer la máxima velocidad del viento en la zona de trabajo, el período de recurrencia del viento y las presiones a las que estará sometida la estructura

Estos efectos del viento deben ser manejados por el ingeniero de forma adecuada, puesto que su obtención beneficiará al correcto diseño de la estructura.

Estas mismas acciones del viento en las estructuras han ido ocasionando un sinnúmero de deterioros en las construcciones, generando grandes costes en pérdidas material, pero no solo grandes pérdidas materiales de importancia, sino también irreparables pérdidas humanas, las cuales hacen pensar en poder replantearnos nuestros lugares como profesionales, sin dejar pasar ningún punto a ser estudiado y analizado, para poder evitar futuras lamentables pérdidas humanas y grandes gastos económicos.

Es por ello que, haciendo uso de los progresivos avances ingenieriles en las áreas de la aerodinámica y los sistemas computacionales avanzados, se puede aplicar dicho conocimiento al diseño de futuras naves industriales, teniendo en consideración las acciones del viento en dichas estructuras y poder así prevenir e incluso hasta evitar posibles desgracias humanas y grandes pérdidas materiales económicas.

1.3. Enunciado del problema

¿Cómo el análisis aerodinámico mediante el método de elementos finitos, contribuye a la construcción de una nave industrial de 1800 m^2 ?

1.4. Hipótesis

El análisis aerodinámico mediante el método de elementos finitos, contribuirá a la construcción de una nave industrial de 1800 m^2 .

1.5. Variables

1.5.1. Variable dependiente

- Análisis aerodinámico realizado mediante el método de elementos finitos.

1.5.2. Variable independiente

- Área de la nave industrial de 1800 m^2 .

1.5.3. Operacionalización de las variables

Tabla 1

Variable dependiente

| Variable dependiente | Definición | Dimensiones | Indicadores | Escala | Instrumentos |
|---|---|---|---|----------------|-----------------------------|
| Análisis aerodinámico realizado mediante el método de elementos finitos | Evaluación detallada de las características de forma que tiene un cuerpo, para disminuir la resistencia al medio en el que se desplaza. | <u>Análisis CFD:</u> Herramienta computacional, que emplea los conocimientos de la aerodinámica, para evaluar el comportamiento de los elementos dentro de los fluidos. | <u>Coefficiente de Presión:</u> Es un valor adimensional, que se define como la relación entre la diferencia de presiones en un punto considerado, P, y la presión estática de la corriente, Po, y entre la presión dinámica de la misma corriente. | Razón discreta | Investigación bibliográfica |
| | | | <u>Coefficiente de arrastre:</u> Valor adimensional, que muestra una medida relativa de cuanta resistencia al avance puede generar un cuerpo. | | Modelación |
| | | | | | Simulación |

Tabla 2*Variable independiente*

| Variable independiente | Definición | Dimensiones | Indicadores | Escala | Instrumentos |
|---|---|---------------|-------------------|---------|--------------|
| Área de la nave industrial de 1800 m ² | Espacio, lugar, infraestructura o edificación, que tiene la finalidad de albergar procesos industriales o productos terminados. | Tipo de techo | Techo curvo | Nominal | Modelación |
| | | | Techo a dos aguas | | Simulación |

1.6. Matriz de consistencia

| IDEA | PROBLEMA | OBJETIVO | VARIABLES | HIPÓTESIS |
|--|--|--|---|--|
| Análisis aerodinámico mediante el método de elementos finitos, para la construcción de nave industrial de 1800 m^2 | Interrogante general | Objetivo general | Variable Dependiente | Dado que, se lleve a cabo un análisis aerodinámico mediante el método de elementos finitos; es probable que, se realice la construcción de una nave industrial de 1800 m^2 |
| | ¿De qué manera va contribuir el análisis aerodinámico mediante el método de elementos finitos, para la construcción de nave industrial de 1800 m^2 ? | Determinar la forma de techo más adecuada para una nave industrial de 1800 m^2 , a través del análisis aerodinámico mediante el método de elementos finitos. | Análisis aerodinámico realizado mediante el método de elementos finitos | |
| | Interrogante específica | Objetivo específico | Variable Independiente | |
| | ¿Cuáles son las presiones máximas para los cinco ángulos de ataque del viento y las distintas alturas de techo? | Determinar las presiones máximas para los cinco ángulos de ataque del viento y las distintas alturas de techo. | Área de la nave industrial de 1800 m^2 | |
| | ¿Cuáles son las velocidades máximas para los cinco ángulos de ataque del viento y las distintas alturas de techo? | Determinar las velocidades máximas para los cinco ángulos de ataque del viento y las distintas alturas de techo. | | |
| | ¿Cuál es el mayor coeficiente de arrastre para los cinco ángulos de ataque del viento y las distintas alturas de techo? | Determinar el mayor coeficiente de arrastre para los cinco ángulos de ataque del viento y las distintas alturas de techo. | | |
| ¿Cuál es el coeficiente de presión para los cinco ángulos de ataque del viento y las distintas alturas de techo? | Determinar el coeficiente de presión para los cinco ángulos de ataque del viento y las distintas alturas de techo. | | | |

1.7.Objetivos

1.7.1. *Objetivo general*

Determinar la forma de techo más adecuada para una nave industrial de $1800m^2$, a través del análisis aerodinámico mediante el método de elementos finitos.

1.7.2. *Objetivos específicos*

- a. Determinar las presiones máximas (P_{max}) para los cinco ángulos de ataque del viento (0° , 30° , 45° , 60° y 90°) y las distintas alturas de techo ($2m.$, $5m.$ y $8m$).
- b. Determinar las velocidades máximas (v_{max}) para los cinco ángulos de ataque del viento (0° , 30° , 45° , 60° y 90°) y las distintas alturas de techo ($2m.$, $5m.$ y $8m$).
- c. Determinar el mayor coeficiente de arrastre (C_d) para los cinco ángulos de ataque del viento (0° , 30° , 45° , 60° y 90°) y las distintas alturas de techo ($2m.$, $5m.$ y $8m$).
- d. Determinar el coeficiente de presión (C_p) para los cinco ángulos de ataque del viento (0° , 30° , 45° , 60° y 90°) y las distintas alturas de techo ($2m.$, $5m.$ y $8m$).

1.8.Justificación

Ante la problemática expuesta, se vio necesario poder aplicar de una manera práctica y eficaz los criterios de la aerodinámica, a través de los métodos de elementos finitos, para la construcción de una nave industrial de $1800 m^2$.

Con lo cual se busca una aplicación más efectiva y simplificada en el diseño por cargas de viento, ya que la normativa vigente presentada por la ASCE 7/16, brinda los valores de coeficientes de presión y presiones de viento para los distintos tipos de estructuras para nave industrial. Estos valores están ya calculados en estudios con túneles de viento real, en escalas dimensionales. Para el caso de las formas más comunes para techo de nave industrial, techo a dos aguas y techo curvo, estos valores ya están tabulados en

tablas generales, el meollo de la situación es que estos valores, son datos generales y se toman para cualquier tipo de techo, sin diferenciar las dimensiones como área techada, altura de techo o luz de cobertura, etc., datos que tienen mucha variación entre techo y techo.

Entonces ante estos detalles, se vio necesario obtener unos datos más reales, apoyándose de los Métodos de elementos finitos, a través del programa RWIND de DLUBAL SOFTWARE, el cual brinda un túnel de viento virtual que simula el comportamiento del fluido (viento), a través de la estructura deseada a estudiar, obteniéndose los valores cercanos a un análisis real en túnel de viento, utilizando el método de Mecánica de Fluidos Computacional (CFD) por sus siglas en inglés, a través de un mallado volumétrico de la superficie, la cual reduce significativamente el método de cálculo que llevaría de forma manual y sobre todo los beneficios de viabilidad del proyecto ya que realizar el análisis en un túnel de viento real es muy costoso, y preparar los modelos a escala de las estructuras también conlleva un costo adicional. Por esto llevar a cabo este estudio con un software tan potente, de fácil manejo y de bajo costo, hace el desarrollo del proyecto más factible.

Esta investigación es de conveniencia, ya que servirá para poder saber cuál sería la forma aerodinámica más adecuada para soportar con mayor fluides, las fuerzas del viento incidente en una nave industrial.

A la par, esta investigación tiene un trasfondo de beneficio para la industria, puesto que con la determinación de los valores más reales de los coeficientes de presión (C_p), las presiones (P), las velocidades de viento (V), y la fuerza de arrastre (F_D), se podrá tener un cálculo más exacto de las acciones a las que se encuentran sometidas las naves industriales.

Este beneficio se consigue, de la obtención de la fuerza de arrastre (F_D) a la que está sometida la nave industrial, ya que a menor fuerza de arrastre mayor tiempo de vida útil del techo de la nave industrial, y con esto se consigue un mayor ahorro en gastos de mantenimiento para las estructuras y la prevención de posibles accidentes fatales por desprendimiento o derrumbe de estructuras de techo.

En general, este beneficio no solo contribuye a la industria y al desarrollo ingenieril, sino también al bienestar y salud del capital humano tan valioso e importante.

1.9.Limitaciones

Debido a la gran variedad de techos estructurales para naves industriales, el trabajo de investigación se realizó solo para una nave industrial de $1800 m^2$ construida en la planta de ron Cartavio Rum Company SAC., teniendo en cuenta las dimensiones específicas del terreno y las alturas de la misma. También se debe considerar que el análisis aerodinámico se realizó en un túnel de viento computacional, el cual es proporcionado por el software RWIND de DLUBAL SOFTWARE, y no en un túnel de viento de escala real, debido a su alto costo y complejo acceso.

II. Marco teórico

2.1.El viento

Los movimientos atmosféricos son generados en largos períodos por la influencia de la gravedad sobre masas de aire de diferentes densidades. El principio de esta energía potencial está en el cambio de calor por radiación entre la atmósfera, la tierra, el sol y el espacio exterior.

El viento, considerado a escala planetaria, tiene su origen en las diferencias de presión creadas por la falta de homogeneidad del calentamiento por radiación solar. Adicional a esto, la traslación del planeta da lugar a variaciones estacionales en la distribución de radiación.

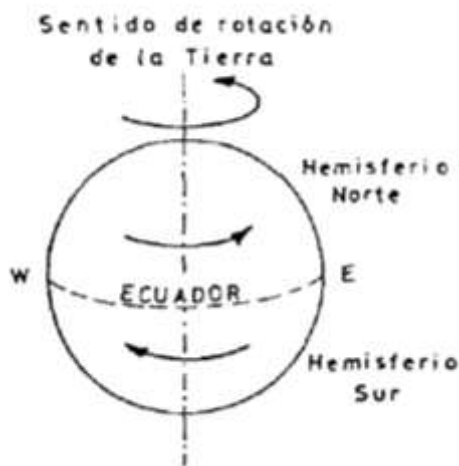
El cambio en la transferencia de calor a la atmósfera crea una diferencia de presiones que hace que el aire se mueva desde las altas presiones hasta las bajas presiones.

El viento sopla generalmente en el plano horizontal, debido a que normalmente la gradiente de presión vertical se cancela con la fuerza gravitatoria.

Una vez el movimiento se ha iniciado, aparecen otras fuerzas que condicionan la circulación atmosférica a escala planetaria. La primera de ellas es la fuerza de Coriolis, que aparece por el hecho de encontrarnos en un sistema manifiestamente no inercial como es la Tierra en rotación sobre su eje. El equilibrio entre las fuerzas bérica (o del gradiente de presión) y la fuerza de Coriolis, genera una circulación idealizada a la que llamamos viento geostrófico. Es una buena aproximación al viento real en niveles altos de la atmósfera.

Figura 1

Desviación de los Efectos del Viento por Efecto de la Rotación de la Tierra.



Nota. Adaptado de la tesis *Efectos del viento sobre las estructuras* (p. 48), por Escalante Sánchez, J., 1986, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.

2.2.Cargas de viento

Las magnitudes de las cargas de viento van a depender mucho de algunos factores como la localidad geográfica donde se encuentra, la altura del terreno donde se ubica, los edificios que rodean a las estructuras y la forma del terreno alrededor de las estructuras. Estas variantes harán que las cargas de viento varíen dependiendo de cada una de las situaciones especificadas anteriormente.

Las succiones y presiones generadas por el viento a las que se encuentran sometidos los edificios o estructuras, son debido a la acción accidental natural transitoria del viento. Pero este tipo de acciones, succión y presión, son suma consideración cuando se trata de estructuras muy altas y esbeltas, o de muy poco peso. Caso contrario pasa con las estructuras de baja altura donde las acciones del viento no son tan perjudiciales, pero que afectan mucho, debido al poco peso que poseen, el levantamiento de la cobertura y el techo que puedan tener.

La acción del viento viene dependiendo de la zona donde el viento incide, la ubicación de la estructura en el terreno, la altura donde queda ubicado. Estas acciones vienen determinadas como fuerzas de viento por cada superficie de incidencia.

Al serle impedido el libre tránsito de la energía cinética del viento por alguna superficie, este genera una fuerza de presión sobre el mismo.

El sentido del viento es horizontal en cualquier dirección. La presión dinámica del viento depende de su velocidad y de su densidad. Esta presión dinámica actúa como fuerza de viento sobre las superficies actuantes, la misma que es afectada por un coeficiente eólico, el cual depende de la forma, superficie y posición del elemento con respecto al viento.

Para el caso de estructuras de acero, las cuales se encuentran más expuestas al viento debido a su gran área y su poco peso, suelen afectar más las cargas de viento que las cargas sísmicas. Es más adecuado tratar al viento como una carga estática, aunque su naturaleza sea una carga dinámica.

A continuación, se detallará la ecuación que representa la presión estática equivalente.

$$p = C_p \cdot C_r \cdot q \quad (1)$$

Donde:

p = Intensidad de la presión estática equivalente;

C_p = Coeficiente que depende de la forma de la estructura;

C_r = Coeficiente que depende de la magnitud de las velocidades de las ráfagas del viento y de la flexibilidad vertical.

q = Intensidad de la acción dinámica del viento, donde $q = 0.5 \cdot \rho \cdot v^2$ y

ρ = densidad del aire;

v^2 = velocidad del viento de diseño a la altura H sobre el suelo en la cual p se calcula, o una altura característica de la estructura.

El flujo del viento alrededor de los edificios es un proceso extremadamente complejo y no puede ser descrito por reglas simples. La amplia variedad en tamaño y forma de los mismos, tipo de exposición al viento, topografía local, así como la naturaleza fortuita del viento tiende a complicar el problema.

2.2.1. Determinación de las fuerzas de viento

Las fuerzas del viento afectan a las estructuras expuestas. Es una cuestión más sencilla mantener un adecuado suministro de resistencia al viento en la mayoría de edificios bajos. Los efectos del viento pueden gobernar una gran parte del diseño y demandar una investigación intensa para el caso de los edificios altos como; torres, puentes colgantes, etc. Se debe tratar al viento como una carga estática para la mayoría de las estructuras, ya que esto es una forma más satisfactoria de estudiarlas.

Los factores que determinan presión estática están dados por la siguiente ecuación de la forma:

$$p = C_p \cdot C_a \cdot C_r \cdot q \quad (2)$$

p: Intensidad de la presión estática equivalente.

C_p : Coeficiente que depende de la forma de la estructura.

C_a : Coeficiente dependiente del aspecto topográfico cercano.

C_r : Coeficiente de ráfaga que depende de la magnitud de las velocidades de ráfaga y del tamaño de la estructura.

q: Intensidad de la presión dinámica.

$$q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_H^2 \quad (3)$$

ρ : Densidad del aire.

v_H : Densidad del viento de diseño a la altura H, la altura sobre el suelo a la cual p es calculada, o una altura característica de la estructura

2.2.2. Flujo típico del viento alrededor de edificios

El análisis no puede darse de forma sencilla o simple. Estas características, solo pueden ser dadas mediante la observación directa en casos de tamaño real o en experimentos con túneles de viento real o a escala.

La presión positiva dada en la cara a barlovento viene dándose por la lentitud o desaceleración del viento a medida que se acerca al edificio.

El flujo de viento que se encuentra con este obstáculo, vuelca toda su velocidad a los extremos de las caras del edificio y del techo. Este flujo llega a separarse del cuerpo del edificio, debido a las bajas presiones, generando succión en los extremos y en el techo.

No hay uniformidad ni estabilidad en estas zonas, debido a la turbulencia y las formas distintas de la zona. Pero se establece que los modelos y flujos de viento alrededor de los edificios no se alteran apreciablemente con un cambio en la velocidad del viento.

La presión es máxima cuando está cerca al centro de la cara donde incide y decae cerca de las esquinas. Las presiones en los costados o muros extremos no son también uniformes; la succión más intensa ocurre justamente aguas debajo de las esquinas de barlovento.

2.2.2.1.Barlovento

Es la presión positiva que ejerce el viento en sentido horizontal sobre las superficies verticales de una estructura que recibe la energía cinética del viento y en sentido normal a

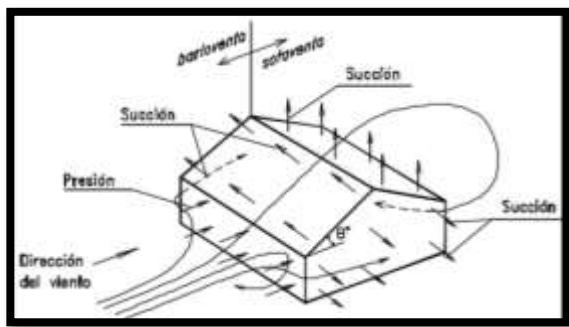
las superficies de los techos que reciben la acción del viento directamente y que tengan una inclinación mayor que los 30 grados.

2.2.2.2.Sotavento

Es la presión negativa o succión que se genera en los lados y las superficies que se encuentran detrás de las superficies que reciben directamente la acción del viento y en dirección normal a las superficies del techo que reciben la acción del viento directamente que tengan una inclinación menor que 30 grados.

Figura 2

Acción del Viento Sobre una Construcción con Techo a dos Aguas.



Nota. Adaptado de *Diseño Estructural en Acero* (p. 9), por Zapata Baglietto, 2013, UNI.

Las presiones que actúan en un techo dependen de su inclinación; serán por lo general positivas en la zona de barlovento para inclinaciones mayores a $\theta = 30^\circ$, pero para inclinaciones que alcanzan un máximo de inclinación de $\theta = 10^\circ$.

2.2.3. Velocidad del viento

Es importante tener bien en cuenta la selección de la velocidad del viento, para esto se debe incluir el clima de la geografía, la rugosidad del área, la topografía local, la altura del edificio y el nivel aceptable del riesgo de exceder la carga de diseño.

2.2.4. Cargas de diseño por viento

En las superficies sobre las que actúan las fuerzas de presiones o succiones “P”, respecto al viento, serán dadas en forma vertical, horizontal o inclinada, pero en forma simultánea. Dicha sobrecarga “P” sobre la unidad de superficie es un múltiplo de la presión dinámica “q” y se expresa así:

$$P = C_p \cdot C_r \cdot q \text{ (kg/m}^2\text{)} \quad (4)$$

Donde:

C_p = Coeficiente de presión (adimensional)

C_r = Coeficiente de ráfaga (adimensional)

$$q = 0.005 \cdot v^2 \text{ (kg/m}^2\text{)} \quad (5)$$

v = Velocidad básica del viento, donde “ v ” está en kilómetros por hora, la que se obtendrá de los Mapas de Eólicas.

No se deben tomar presiones dinámicas menores de $q = 15 \text{ kg/m}^2$.

2.2.4.1. Presión de diseño

Los cambios de velocidades alrededor de un cuerpo sumergido en una corriente de viento, generan las fuerzas de viento sobre el mismo.

Para el caso de objetos planos, se genera arrastre debido a la separación del flujo en los bordes, la formación de estela y la diferencia de presiones que se genera como consecuencia en la cara de sotavento y barlovento. Resultan otras fuerzas adicionales, generalmente menores, como la fricción entre el aire y el cuerpo.

Para propósitos de diseño estructural, es bastante exacto considerar la fuerza del viento como una presión estática equivalente, sin embargo, se debe considerar el tiempo de

variación de la fuerza; esto puede deberse a velocidades no constantes o a fuerzas alternantes que resultan de la formación de torbellinos periódicos.

2.2.4.1.1. Coeficiente de presión

Es un valor adimensional, que se define como la relación entre la diferencia de presiones en un punto considerado, P , y la presión estática de la corriente, P_0 , y la presión dinámica de la misma corriente:

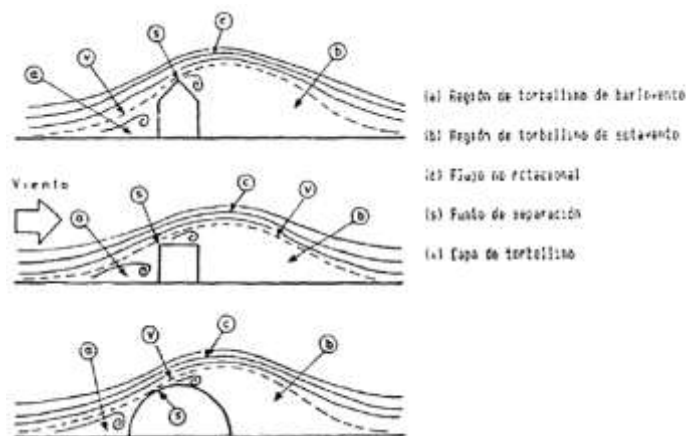
$$C_p = \frac{\Delta P}{\frac{1}{2} \rho_{\text{aire}} U^2} = \frac{P - P_0}{\frac{1}{2} \rho_{\text{aire}} U^2} \quad (6)$$

2.3. Efecto del viento sobre las estructuras

Como sucede con todos los fluidos al entrar en contacto con un cuerpo que se atraviese en su dirección de flujo, este se desvía para rodearlo, generando así fuerzas y presiones sobre el mismo, tal como se puede ver en la imagen.

Figura 3

Flujo de Aire sobre Estructuras Fijas



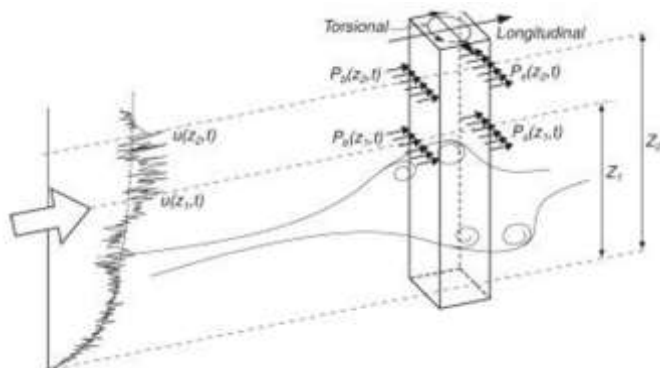
Nota. Adaptado de la tesis *Efectos del viento sobre las estructuras* (p. 86), por Escalante Sánchez, J., 1986, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.

La fuerza del viento se hace notar, al golpear de forma directa la superficie que se opone a su libre circulación, esta cara, llamada a barlovento, recibirá toda la fuerza de empuje que genera el viento; para la cara opuesta, a sotavento, las estelas del flujo se irán separando del cuerpo, lo que generará una fuerza contraria de succión sobre la cara expuesta. La suma de estas dos fuerzas dará como resultante una fuerza de arrastre sobre el cuerpo. Para las caras laterales, la presión se distribuirá de empuje a succión, dependiendo de la forma de la superficie expuesta.

2.3.1. Diseño ante acciones de viento

Para el diseño es favorable investigar cual es la dirección que ofrece los efectos más críticos en el sistema de estructuras. Indicado en la imagen 4. Para estructuras con geometría regular, es suficiente revisar en forma independiente la acción del viento en dos direcciones ortogonales, que pueden coincidir con el sistema de referencia de la planta de la estructura.

Algunas variables para tener en cuenta en la modelación experimental y analítica son: el periodo de recurrencia y la vida útil de la estructura, así como el tipo de interacción de la acción con la estructura o resonancia.

Figura 4*Efectos Dinámicos del Viento*

Nota. Adaptado de “Una metodología de cálculo para la determinación de la respuesta dinámica longitudinal de estructuras altas bajo la acción del viento” (p. 235-245), por Castro H., De Bortoli M., Paz R., Marighetti J., 2015, *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 4(31)

2.3.2. Coeficiente de ráfaga

Para estructuras cuya esbeltez las hace sensibles a las ráfagas de corta duración, y cuyos períodos naturales largos favorecen la ocurrencia de oscilaciones importantes, como por ejemplo los edificios para habitación de oficina con esbeltez, definida como la relación entre la altura y la mínima dimensión en planta, mayor de 5 o con período fundamental mayor de 2 segundos, o con altura mayor de 60 metros. Se incluyen también las torres atirantadas o en voladizo para líneas de transmisión, antenas, tanques elevados, anuncios y, en general, las estructuras que presentan una dimensión muy corta paralela a la dirección del viento.

Se tomará un factor de ráfaga $C_r = 1.7$ en la ecuación siguiente, para considerar el efecto que producen las ráfagas sobre dichas estructuras.

$$P = C_p \cdot C_r \cdot q \quad ; \quad kg/m^2 \quad (7)$$

Donde:

C_p : Coeficiente de presión que depende de la configuración de la construcción, adimensional.

C_r : Coeficiente de ráfaga, adimensional.

q : Presión dinámica, kg/m^2

2.3.3. Vibraciones causadas por el viento

Los cambios que se puedan hacer a la estructura para poder liberarla del peligro de las oscilaciones producidas por el viento son:

1. Reducciones de las oscilaciones aerodinámicas.
2. Incremento de la frecuencia natural, con la finalidad de colocar la velocidad crítica del viento sobre la que se puede prever en el lugar.
3. Colocar amortiguadores en edificación.
4. Cambiar la forma aerodinámica de la edificación para que el resultado dinámico a la acción del viento sea despreciable y así la respuesta única sea la estática.

Esta último equivale a convertir la estructura en un amortiguador aerodinámico y se considerará como la solución más lógica para las estructuras cilíndricas.

2.3.4. Daños generados por el viento

Al someterse a la fuerte acción del viento las estructuras pueden sufrir daños totales o parciales. En estos casos las zonas más sensibles a la acción del viento son las coberturas del techo, ya que pueden llegar a ser levantadas e incluso arrancadas por la fuerza del viento. Los revestimientos de las fachadas y muros cortina de los edificios pueden ser afectados por el empuje del viento. En general las grandes ventanas, pues

son más vulnerables a romperse y permitir la entrada del viento y la lluvia. Con ello también se ven afectadas las conexiones e instalaciones eléctricas.

Esta fuerza generada por el viento puede levantar, desprender o romper vidrios o coberturas. Las estructuras también pueden ser dañadas por el impacto de objetos colapsados como árboles, letreros, piedras, etc. También las líneas de transmisión eléctrica pueden sufrir con la fuerza del viento. Estas se componen de torres de transmisión, antenas y postes que pueden ser arrancados o volteados provocando así el colapso del suministro eléctrico. Si bien las normas fijan procedimientos de cálculo adecuados para proteger las estructuras siempre existen daños por errores de proyecto o fallas constructivas. Existe la costumbre de utilizar coeficientes que aparecen en las normas que son para estructuras parecidas a las del proyecto, pero no iguales lo que trae finalmente consecuencias importantes en el comportamiento frente a las cargas de viento.

Algunos de los efectos más comunes del viento sobre las construcciones son:

- Deformidad excesiva
- Pérdida de la estabilidad
- Fatiga
- Rotura de elementos estructurales
- Rotura de elementos no estructurales
- Voladuras de techo
- Vibraciones que afectan a la comodidad de los ocupantes
- Efectos sobre los peatones

2.4. Aerodinámica

Parte de la mecánica de fluidos que estudia el comportamiento de los gases y de su interacción con los cuerpos a su alrededor. Se encuentra fundamentada en el principio de Bernoulli, el cual establece que la energía de un flujo uniforme es constante en su trayectoria, por lo tanto, el incremento de velocidad conlleva a una compensación o disminución de la Presión.

$$P_{\text{presión}} + V_{\text{velocidad}} = C_{\text{constante}}$$

P: presión

V: velocidad


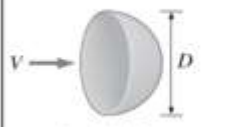
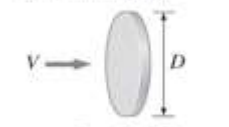
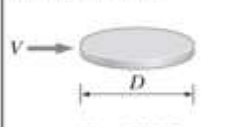
C: constante

2.4.1. Coeficiente de arrastre (C_D)

Se refiere a una medida relativa de cuanta resistencia al avance puede generar un cuerpo. El coeficiente de arrastre, C_D , depende de la forma, de la rugosidad de la superficie y del número de Reynolds. La Tabla siguiente muestra los coeficientes de arrastre para algunos tipos de cuerpos bidimensionales.

Figura 5

Coeficientes de Arrastre para Geometrías Generales

| | |
|--|--|
| <p>Esfera</p>  <p>$C_D = 24/Re$</p> | <p>Hemisferio</p>  <p>$C_D = 22.2/Re$</p> |
| <p>Disco circular (normal al flujo)</p>  <p>$C_D = 20.4/Re$</p> | <p>Disco circular (paralelo al flujo)</p>  <p>$C_D = 13.6/Re$</p> |

Nota. Adaptado de *Mecánica de fluidos* (p. 572), por Y. Cengel y J. Cimbala, 2006, McGraw - Hill/Interamericana Editores.

2.4.2. Fuerza de arrastre (*D*)

Considerado como la fuerza de presión que puede ejercer un fluido sobre un cuerpo que se encuentre en su flujo de desplazamiento. Esta fuerza de arrastre será mayor dependiendo de la cantidad de espacio que pueda dejar el fluido, luego de separarse del cuerpo en contacto. Usualmente, el arrastre es un efecto indeseable, como la fricción, y siempre se hace el mejor esfuerzo por eliminarlo. El arrastre es generado por la fricción y la presión. Es causada por los efectos viscosos del aire y la diferencia de presión presente en diversas zonas de la superficie del cuerpo en movimiento. Su dirección es opuesta y paralela al movimiento del cuerpo. Va depender mucho de la forma del cuerpo que recibe el flujo del fluido. Este arrastre es también conocido como la fuerza que ejerce un fluido en la misma dirección del movimiento.

$$D = \frac{1}{2} C_d \rho V^2 A \quad (8)$$

Donde:

C_d : coeficiente de arrastre, adimensional.

A : área frontal, m^2 .

$\frac{1}{2} \rho V^2$: presión dinámica, Mpa.

2.4.3. Fuerza de sustentación (*L*)

Es la causada por la diferencia de presión entre la zona superior e inferior del cuerpo. Su dirección es perpendicular a la velocidad del fluido incidente. Cuando esta fuerza va en sentido descendente es llamada Downforce, y es la responsable de mantener el vehículo en el suelo, evitando que pierda estabilidad. Es también como la componente de la fuerza neta, debido a las fuerzas viscosas y de presión, que es perpendicular a la dirección del flujo.

$$L = \frac{1}{2} C_l \rho V^2 A \quad (9)$$

Donde:

C_l : coeficiente de sustentación, adimensional.

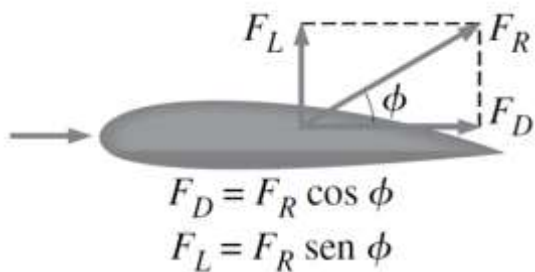
A : área frontal, m^2 .

$\frac{1}{2} \rho V^2$: presión dinámica, Mpa.

El coeficiente de sustentación C_l relaciona la fuerza de sustentación con el producto de la presión dinámica del aire por el área característica.

Figura 6

Resultantes de Fuerzas de Sustentación y Arrastre.



Nota. Adaptado de *Mecánica de fluidos* (p. 564), por Y. Cengel y J. Cimbala, 2006, McGraw - Hill/Interamericana Editores.

2.4.4. Fluidos

Un fluido es una sustancia que tiene la propiedad de fluir, la cual cambia su forma continuamente siempre que se encuentre sometida a esfuerzo cortante, independientemente del tamaño del esfuerzo. Se encuentra en constante deformación y cede ante cualquier fuerza.

2.4.4.1. Flujo laminar

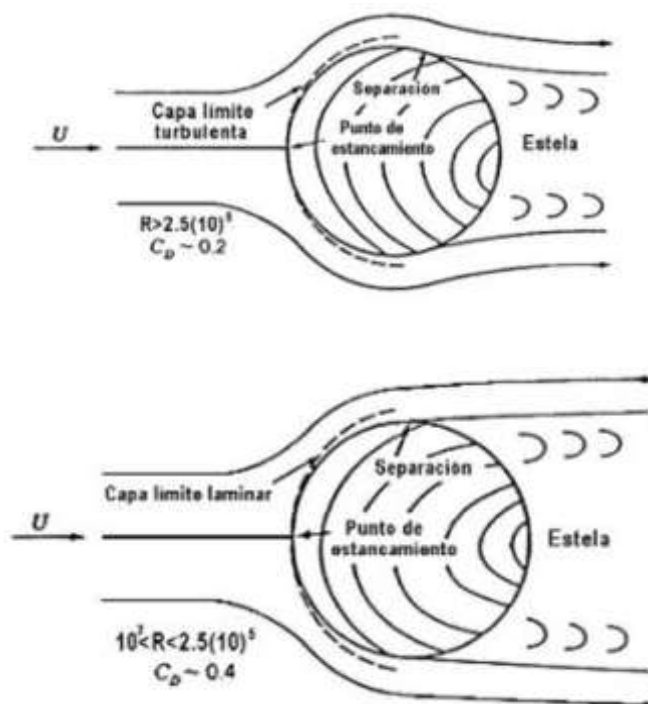
Bajos números de Reynolds indican predominación de las fuerzas viscosas sobre las fuerzas inerciales. Las partículas del flujo se desplazan formando capas paralelas, sin que se lleguen a mezclar de forma significativa. Suele presentarse para números de Reynolds menores o iguales a 2000 ($R_e \leq 2000$).

2.4.4.2. Flujo turbulento

Para este tipo de flujo, las partículas se desplazan de forma desordenada y en trayectorias irregulares, chocando entre sí, formando vórtices. Se suele presentar para números de Reynolds mayores o iguales a 4400 ($R_e \geq 4400$). De carácter caótico, este flujo es intrínseco de números de Reynolds altos, indicando predominancia de las fuerzas de inercia sobre las fuerzas viscosas.

Figura 7

Flujo Laminar y Turbulento



Nota. Adaptado de *Mecánica de Fluidos*, por Becerra A., 2007, Teoría y medición de datos

<http://ich1102g13.blogspot.com/>

2.4.4.3. Flujo transicional

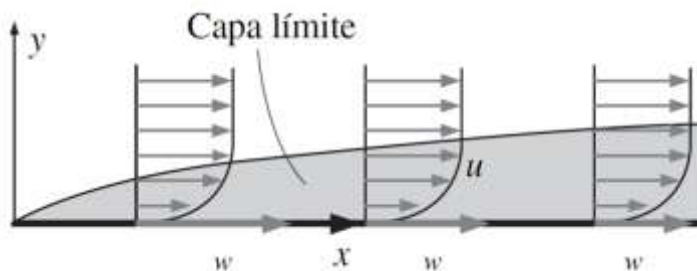
Está representado por la transición del fluido al pasar de flujo laminar a turbulento, también conocido como flujo crítico. Seda cuando el caudal se incrementa después de estar en flujo laminar hasta que las laminas empiezan a ondularse y romperse en forma difusa. Este flujo se puede denotar con facilidad a través del número de Reynolds, ya que su valor oscila entre 2000 y 4000.

2.4.5. *Capa límite aerodinámica*

Es la zona en la que el movimiento del fluido se verá perturbado por la presencia de un cuerpo. Una velocidad nula en la superficie del cuerpo implica la viscosidad. La capa inmediatamente superior tiene una velocidad relativa al anterior, y de esta forma cada capa superior tiene una velocidad cada vez mayor, deslizándose unas sobre las otras, hasta casi alcanzar la velocidad total del fluido. Cuando se acaba la relación entre el fluido y el sólido, se acaba el movimiento relativo entre las capas del fluido, por esto la velocidad de flujo vuelve a ser libre totalmente para todo el fluido.

Figura 8

Perfil de Velocidad en la Capa Límite.



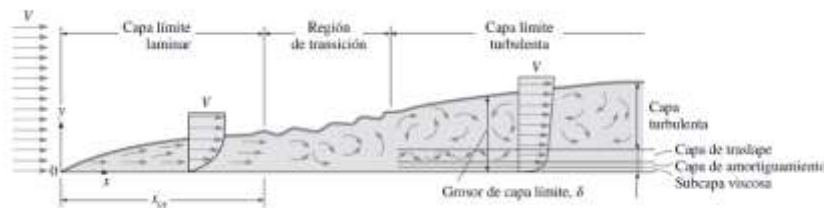
Nota. Adaptado de *Mecánica de fluidos* (p. 565), por Y. Cengel y J. Cimbala, 2006, McGraw - Hill/Interamericana Editores.

Para la capa límite su espesor aumenta en el transcurso de su recorrido sobre la superficie del cuerpo, dependiendo de factores como la forma y el ángulo de incidencia. El aumento de presión genera que el espesor de la capa límite aumente, lo que genera el impedimento al avance del aire.

La presión ira aumentando cuando la corriente siga avanzando, lo que va generar que las partículas del fluido tengan más dificultad de movimiento hasta que ya no puedan continuar con su trayectoria y retrocedan para encontrar zonas de menor presión. Este fenómeno genera torbellinos característicos de la capa límite turbulenta, que dan lugar al desprendimiento de la misma.

Figura 9

Tipos de Flujo en la Capa Límite.



Nota. Adaptado de *Mecánica de fluidos* (p. 579), por Y. Cengel y J. Cimbala, 2006, McGraw - Hill/Interamericana Editores.

2.4.5.1. Número de Reynolds

Parámetro adimensional que relaciona las fuerzas inerciales con las fuerzas viscosas.

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot L_c}{\mu} \quad (10)$$

Donde:

ρ : Densidad del fluido, kg/m^3

V : Velocidad del fluido, m/seg.

L_c : Longitud característica, m.

A partir del número de Reynolds es posible determinar la naturaleza del flujo y su tendencia a la turbulencia. El flujo puede tener características laminares, turbulentas o transicionales.

$$R_e \leq 2300 \quad \text{Flujo laminar}$$

$$2300 \leq R_e \leq 4000 \quad \text{Flujo transicional}$$

$$R_e \geq 4000 \quad \text{Flujo turbulento}$$

2.4.5.2. Número de Mach

Permite expresar la velocidad de un objeto respecto a la velocidad del sonido. El número de Mach va depender de la velocidad del sonido, y esta misma dependerá del estado del fluido. Se define como:

$$M = \frac{V}{C} \quad (11)$$

Donde:

V : Velocidad del fluido.

C : Velocidad del sonido en el medio en el que se desplaza.

Los regímenes de flujo por lo general se van a definir por el número de Mach:

$$M_a = 1 \quad \text{Flujo sónico}$$

$$M_a < 1 \quad \text{Flujo subsónico}$$

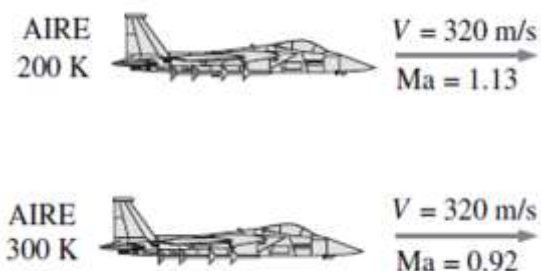
$$M_a > 1 \quad \text{Flujo supersónico}$$

$$M_a \gg 1 \quad \text{Flujo hipersónico}$$

$$M_a \cong 1 \quad \text{Flujo transónico}$$

Figura 10

Distintos Números de Mach a una misma Velocidad.



Nota. Adaptado de *Mecánica de fluidos* (p. 617), por Y. Cengel y J. Cimbala, 2006, McGraw - Hill/Interamericana Editores.

2.5. Análisis de la normativa peruana RNE E.020 y la norma ASCE 7-16

2.5.1. Análisis de la norma peruana RNE E.020

En el siguiente capítulo se muestran los aspectos más relevantes de la norma peruana RNE E.020 y de la norma americana ASCE 7-16 para el cálculo de la acción del viento sobre las estructuras, con la finalidad de establecer una comparación entre los factores más importantes que definen la presión del viento en cada una de estas normas.

El objetivo es presentar de manera general el método utilizado para determinar las presiones sobre las estructuras en ambas normas, resaltando la aplicación de las normas para el caso específico de naves con techos curvos, evitando abarcar otros detalles sobre la determinación de las cargas para la amplia gama de casos aplicables.

2.5.1.1. Definición y consideraciones

Las estructuras y todos sus elementos deberán ser capaces de resistir las cargas que se les imponga como consecuencia de su uso previsto.

Esta norma se complementa con las Normas propias de diseño de los diversos materiales estructurales. Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE, 2021), pp.1

Se considera una clasificación para las estructuras de acuerdo a su nivel de cerramiento, distinguiendo las construcciones abiertas, las cuales tienen a lo menos un tercio de aberturas en alguno de sus lados, de aquellas construcciones cerradas, en las cuales no puede entrar el viento a su interior bajo ninguna circunstancia.

2.5.1.2. Clasificación de las edificaciones

En la normativa se da una breve clasificación de los tipos de estructuras a estudiar, con lo cual se dispondrá de un mejor análisis de las cargas de viento para determinadas estructuras.

Tipo 1. Edificaciones poco sensibles a las ráfagas y a los efectos dinámicos del viento, tales como edificios de poca altura o esbeltez y edificaciones cerradas con cobertura capaz de soportar las cargas sin variar su geometría.

Tipo 2. Edificaciones cuya esbeltez las hace sensibles a las ráfagas, tales como tanques elevados y anuncios y en general estructuras con una dimensión corta en la dirección del viento.

Tipo 3. Edificaciones que representan problemas aerodinámicos especiales tales como domos, arcos, antenas, chimeneas esbeltas y cubiertas colgantes. Para este tipo de edificaciones las presiones de diseño se determinarán a partir de procedimientos de análisis reconocidos en ingeniería, pero no serán menores que las especificadas para el Tipo 1. Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE, 2021), pp.11-12.

2.5.1.3. Velocidad de diseño

Las estructuras se encuentran sometidas a la acción del viento y sobre todo las que sobrepasan los 2 pisos de altura, las que se encuentran en zonas donde el viento es muy fuerte y las que tienen formas muy vulnerables a la acción del viento.

Para el caso de las estructuras metálicas, debido a su relativo bajo peso y grandes superficies expuestas, las fuerzas del viento son muy considerables.

La velocidad de diseño del viento hasta 10 m de altura será la velocidad máxima adecuada a la zona de ubicación de la edificación, pero no menos de 75 Km/h. La velocidad de diseño del viento en cada altura de la edificación se obtendrá de la siguiente expresión. Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE, 2021), pp.12.

$$V_h = V(h/10)^{0,22} \quad (12)$$

Donde:

V_h = es la velocidad de diseño en la altura h, en Km/h

V = es la velocidad de diseño hasta 10 m de altura, en Km/h

h = es la altura sobre el terreno, en m.

2.5.1.4. Coeficiente de presión

Las presiones de succión y presión " P ", negativas y positivas, halladas por " C ", un factor de presión positivo o negativo, serán consideradas con respecto a la presión atmosférica normal, como presiones diferenciales.

La presión del viento se considerará estática y perpendicular sobre el mismo. Esto se calculará con la siguiente expresión:

$$P_h = 0.005 \cdot C \cdot V_h^2 \quad (13)$$

Donde:

P_h = presión o succión del viento a una altura h en Kg/m²

C = factor de forma adimensional

V_h = velocidad de diseño a la altura h, en Km/h

Para calcular las cargas de viento sobre las estructuras, se considerará los siguientes coeficientes de presión:

Cuando el viento actúe normalmente a la superficie expuesta, se tomará:

$C = 0.9$ del lado de barlovento

$C = -0.5$ del lado de sotavento

En esta oportunidad analizaremos los casos de naves con techo a dos aguas y con techo parabólico:

a. Para cubierta simétrica de dos aguas

Para viento con dirección a la inclinación del techo en grados sexagesimales se usarán:

- Para la cubierta de sotavento

$$C = -0.7$$

- Para la cubierta de barlovento:

$$C = 0.04(\theta) - 1.2 \quad \text{si: } 0 \leq \theta \leq 40$$

$$\text{siendo } C_{p \text{ min}} = -1.0$$

$$C = 0.01(\theta) \quad \text{si: } 40 \leq \theta \leq 90$$

Para los muros se consideran los mismos coeficientes de presión indicados en la siguiente tabla:

Tabla 3

Coefficientes de Presión para Cubierta de Barlovento.

| Coef. Presión C_{pe} para la cubierta de barlovento (E) | | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|----|------|------|------|------|------|------|
| θ | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
| C_{pe} | -1.0 | -0.8 | -0.4 | 0 | +0.4 | +0.5 | +0.6 | +0.7 | +0.8 | +0.9 |

Nota. Adaptado de *Diseño Estructural en Acero* (p. 12), por L. Zapata Baglietto, 2013, UNI.

b. Para cubierta de arco

Para viento que actúe normalmente al eje del arco de la cubierta, los coeficientes de presión serán dados para tres segmentos de arco circular: zona de barlovento (25%), zona central (50%) y la zona de sotavento (25%). La distribución de la presión del viento para este caso, será dependiendo desde donde inicie la cubierta, entonces se tendrá los siguientes casos:

- Si la cubierta inicia desde el nivel del suelo, o si la relación flecha de la cubierta a la altura máxima de la construcción incluyendo la cubierta es igual a $f/H= 1.0$

➤ Zona de barlovento

$$C = 1.4(r)$$

➤ Zona central

$$C = -r - 0.7$$

➤ Zona de sotavento

$$C = -0.5$$

- Si la cubierta está apoyada sobre una estructura levantada, o si la relación flecha de la cubierta a la altura máxima de la construcción incluyendo la cubierta es menor de $f/H= 0.3$

➤ Zona de barlovento:

$$C = -0.9 \quad \text{para } 0 < r < 0.2$$

$$C = 2.8r - 0.7 \quad \text{para } r \geq 0.25$$

Alternativas:

$$\text{para } r = 0.25$$

$$C = -0.6$$

para $r = 0.30$

$$C = -0.3$$

➤ Zona central:

$$C = -r - 0.7$$

➤ Zona de sotavento:

$$C = -0.5$$

Para relaciones flecha de la cubierta a altura máxima de la construcción incluyendo la cubierta, comprendidas entre 0.3 y 1.0 se interpolará linealmente.

Para estos fines: f = flecha de la cubierta; L = claro de la cubierta; H = altura máxima de la construcción incluyendo la cubierta; $r = f/L$. cuando el viento actúe paralelamente aleje del arco, se considerarán las presiones establecidas para las cubiertas horizontales.

2.5.1.5. Coeficiente de ráfaga

Se recomienda tomar un coeficiente de Ráfaga $C_r = 1.7$, para considerar el efecto que produce las ráfagas sobre las estructuras afectadas. Este coeficiente será tomado para el caso de estructuras de esbeltez y dimensiones reducidas, las cuales tienen secciones sensibles a las ráfagas de corta duración y las que favorecen con sus periodos naturales a oscilaciones serias.

2.5.2. Análisis de la norma ASCE 7-10

En esta sección se presentará un resumen de las principales características de la norma ASCE 7-10, que permiten evaluar las cargas de viento solicitadas sobre una nave estructural.

2.5.2.1. Definición y consideraciones

En el caso de las naves industriales, se considerarán conformadas por dos elementos bien marcados, uno que es la parte estructural, y la otra la cobertura que es la parte protectora

contra la intemperie. Para cada uno de estos elementos, se tienen las cargas bien definidas, y la acción del viento se considera que actúan en toda dirección vertical.

La normativa considera clasificar a las estructuras, según su tipo de cerramiento, distinguiendo tres tipos como son: construcciones abiertas, construcciones cerradas y construcciones parcialmente cerradas.

Construcciones abiertas; son aquellas que tienen un porcentaje de abertura mayor o igual al 80% en cada muro expuesto al viento. También son aquellas que cumplen simultáneamente con las clasificaciones de construcciones abiertas y construcciones parcialmente cerradas.

Construcciones parcialmente cerradas; son aquellas que cumplen con las siguientes condiciones:

- El área total de aberturas en una pared que recibe una presión externa positiva, excede la suma de las áreas de aberturas en el resto de la envolvente del edificio en más de un 10%.
- El área total de aberturas en una pared que recibe presión externa positiva excede el menor valor entre 0.37 m² o el 1% del área de dicha pared, y el porcentaje de aberturas en el resto de la envolvente del edificio no excede el 20%.

Construcciones cerradas; son aquellas que no se pueden clasificar dentro de los dos grupos anteriormente definidos.

Si un edificio, ya sea parcial o totalmente cerrado cumple con las siguientes condiciones, se puede clasificar como un edificio de baja altura:

- a. La altura media de la cubierta del techo es igual o menor a 18 m.
- b. La altura media del techo no excede su menor dimensión horizontal.

2.5.2.2. Categorías de exposición

Se consideran tres categorías de exposición para el entorno donde se ubica la estructura, de manera que se pueda reflejar las irregularidades del terreno.

Para obtener la condición de exposición se considera dos regiones ubicadas a 45° de cada dirección considerada para el análisis, en el lado donde sopla el viento.

Se escoge la categoría que obtenga los valores más altos para la velocidad del viento en las regiones indicadas.

Las categorías de exposición y sus condiciones de determinación corresponden a:

Exposición B; para áreas urbanas y suburbanas, áreas forestales u otros terrenos con numerosas obstrucciones cercanas entre si con el tamaño de una vivienda unifamiliar o más grandes.

Para edificios con una altura igual o menor que 9.1m, se aplicará la exposición B.

Se aplicará la exposición B, para edificios con una altura igual o menor que 9.1m.

Donde prevalezca la rugosidad superficial B, en una dirección contra el viento en una distancia mayor a 457m. para edificaciones donde su altura sea mayor a 9.1m.

Exposición C; para terrenos abiertos con obstrucciones dispersadas generalmente con menos de 9 m. de altura, con campos planos abiertos y pastizales. La exposición C aplicara para todos los casos donde no apliquen la exposición B y D.

Exposición D; para planicies, áreas no obstruidas y superficies de agua, planicies lisas de barro o fangos, salinas y hielo si romper.

La exposición D aplicara donde prevalezca una rugosidad superficial D, en una dirección contra el viento a distancia mayores de 1524m. o 20 la altura de la edificación, cualquiera sea mayor.

2.5.2.3. Métodos de análisis

La normativa internacional propone una serie de procesos para el cálculo de cargas de viento para el diseño de naves industriales. Estos procesos serán los descritos a continuación:

- a. Método 1- Procedimiento Simplificado. Para edificios de baja altura con diafragmas de piso.
- b. Método 2- Procedimiento Analítico. Para estructuras de formas regulares.
- c. Método 3- Túnel de Viento. Para estructuras geoméricamente complejas y altamente sensibles a la acción del viento.

1. Procedimiento Simplificado:

Este procedimiento es aplicado a todos los elementos que conforman la nave industrial, tanto las estructuras, así como la cobertura.

Aplica para edificios rígidos, cerrados y de baja altura, con aperturas de piso para la transmisión de las cargas de viento a los elementos resistentes verticales.

Las presiones simplificadas, P_s para el sistema principal resistente a las fuerzas del viento, están determinadas por la siguiente ecuación:

$$P_s = \lambda \cdot K_{ZT} \cdot I \cdot P_{s30} \quad (14)$$

Dónde:

λ = Factor de ajuste de altura y exposición para presión P_{s30} o P_{net30} .

K_{ZT} = Factor Topográfico evaluado a la altura media del techo.

I = Factor de Importancia.

P_{s30} = presión simplificada de diseño para el sistema principal resistente a las fuerzas del viento, a una exposición a campo abierto y una altura de 10 m sobre el nivel del terreno.

Las presiones para los componentes y revestimientos P_{net} están definidos por la misma ecuación que para P_s , con la diferencia que se ocupa el factor P_{net30} en vez de P_{s30} :

$$P_{net} = \lambda \cdot K_{ZT} \cdot I \cdot P_{net30} \quad (15)$$

donde:

P_{net30} = presión simplificada de diseño, para la envolvente de una estructura, a una exposición a campo abierto y una altura de 10 m sobre el nivel del terreno.

Las presiones netas aplicadas sobre las proyecciones verticales y horizontales de las superficies de las estructuras, son determinadas por los valores de P_{s30} y P_{net30} , procedimiento se debe considerar la categoría de exposición en la cual se obtengan las mayores cargas de viento, dentro de todas las direcciones de análisis posibles.

2. Procedimiento analítico:

Se utilizará el procedimiento analítico, en todas aquellas estructuras que no cumplan con las especificaciones del procedimiento simplificado.

Es necesario que las estructuras analizadas sean de forma regular y que no presenten efecto de amplificación causado por ráfagas en resonancia con la dirección del viento.

Para este caso se tendrá la ecuación principal de la presión del viento q_z , evaluada a una altura z :

$$q_z = 0.613 K_z \cdot K_{ZT} \cdot K_d V^2 I \quad (N/m^2) \quad (16)$$

K_z = Factor de Altura y Exposición que considera la variación de la velocidad con la altura z sobre el nivel del terreno

K_{ZT} = Factor Topográfico

K_d = Factor de Direccionalidad del Viento

V = Velocidad básica en (m/s)

I = Factor de importancia

Las presiones o cargas de diseño por viento, se calcularán teniendo en cuenta las acciones del viento por ambas caras de la superficie expuesta. La norma ASCE 7-10 presenta distintas ecuaciones para determinar las presiones, dependiendo de la clasificación de cerramiento y rigidez de la estructura.

3. Túnel de viento:

Se aplicará el túnel de viento para obtener cálculos más precisos de las cargas, ante las solicitudes de análisis de cargas por viento, caso 1 y 2.

Para aceptar la aplicación de este método, se debe tener en cuenta algunos de los requerimientos de modelado, antes de poder ser evaluado por este método. Entre los requerimientos principales, tenemos:

a. Se modelará la capa límite atmosférica natural. Para tener en cuenta la variación de la velocidad del viento con la altura.

b. La estructura principal y todos los elementos que la conforman son similares en tamaño y forma a sus contrapartes en escala real.

c. El modelo estructural más su análisis correspondiente, deben considerar la distribución de masa, rigidez y amortiguamiento, para determinar la respuesta dinámica de la estructura.

2.5.2.4. Factor de altura y exposición

Las categorías de altura y exposición corresponden a:

- a. Exposición B;** para edificios con una altura igual o menor que 9.1m, se aplicara la exposición B, donde prevalezca la rugosidad superficial B, en una dirección contra el viento en una distancia mayor a 457m. para edificaciones donde su altura sea mayor a 9.1m.

- b. Exposición C;** la exposición C aplicara para todos los casos donde no apliquen la exposición B y D.
- c. Exposición D;** la exposición D aplicara donde prevalezca una rugosidad superficial D, en una dirección contra el viento a distancia mayores de 1524m. o 20 veces la altura de la edificación, cualquiera sea mayor.

2.5.2.5.Factor topográfico

El aumento de la velocidad del viento respecto a la ubicación de la estructura en el terreno, está dado por este factor topográfico.

El factor topográfico K_{ZT} se obtiene de la siguiente ecuación:

$$K_{ZT} = (1 + K_1 \cdot K_2 \cdot K_3)^2 \quad (17)$$

donde:

K_1 = Considera la forma de la característica topográfica a evaluar (loma, colina o barranco) a partir del valor de su pendiente.

K_2 = Considera la variación del incremento en la velocidad, como función de la distancia a la cima de la loma, colina o barranco.

K_3 = Considera el incremento del valor de la velocidad con respecto a la altura de la estructura a diseñar.

2.5.2.6.Factor de direccionalidad

Se puede usar solo este factor de direccionalidad K_d , en conjunto con las combinaciones de carga de diseño de la estructura.

Este factor de direccionalidad toma en cuenta dos efectos:

El primero efecto se trata de tener la probabilidad de reducir un máximo viento proveniente de cualquier dirección.

El segundo efecto se trata de reducir la probabilidad de coeficientes de presión máximos que puedan ocurrir en cualquier dirección.

Los coeficientes de direccionalidad, de acuerdo a diferentes tipos de estructuras se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 4

Factor de Direccionalidad K_d

| Structure Type | Directionality Factor, K_d |
|---------------------------------------|------------------------------|
| Buildings | |
| Main Wind Force Resisting System | 0.85 |
| Components and Cladding | 0.85 |
| Arched Roofs | 0.85 |
| Circular Domes | 1.0 ^a |
| Chimneys, Tanks, and Similar | |
| Structures | |
| Square | 0.90 |
| Hexagonal | 0.95 |
| Octagonal | 1.0 ^a |
| Round | 1.0 ^a |
| Solid Freestanding Walls, Roof Top | 0.85 |
| Equipment, and Solid Freestanding and | |
| Attached Signs | |
| Open Signs and Single-Plane Open | 0.85 |
| Frames Trussed Towers | |
| Triangular, square, or rectangular | 0.85 |
| All other cross sections | 0.95 |

Directionality factor $K_d = 0.95$ shall be permitted for round or octagonal structures with nonaxisymmetric structural systems.

Nota. Adaptado de *American Society of Civil Engineers* (p. 266), por ASCE 7/17, 2017, Virginia,

22.

2.5.2.7. Factor de importancia

Este factor es utilizado para tener un mayor grado de confiabilidad en temas estructurales de edificios.

Se encuentra dividido en cuatro categorías, esta división va depender de la categoría que se le asigne a la estructura y del grado de peligro en la que se pueda hallar las personas.

La importancia de esta división es la de poder diferenciar las categorías de diseño a las que se le puede designar a las estructuras, ya sea para diferenciar entre las instituciones de salud, las educacionales, de vivienda o centros de comercio.

Las estructuras para su análisis serán clasificadas en cuatro categorías de riesgo, las cuales demarcan el grado de riesgo a la que estarán sometidas dichas estructuras. Estas de detallan en el siguiente cuadro:

Tabla 5

Categoría de Riesgo en las Edificaciones y Estructuras

| Risk Category from Table 1.5-1 | Snow Importance Factor, I_S | Ice Importance Factor-Thickness, I_L | Ice Importance Factor-Wind, I_w | Seismic Importance Factor, I_e |
|---------------------------------------|---|--|---|--|
| I | 0.80 | 0.80 | 1.00 | 1.00 |
| II | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| III | 1.10 | 1.15 | 1.00 | 1.25 |
| IV | 1.20 | 1.25 | 1.00 | 1.50 |

Nota. Adaptado de *American Society of Civil Engineers* (p. 5), por ASCE 7/17, 2017, Virginia, 22.

Para cada categoría le corresponde un valor determinado de importancia, como para las estructuras de la categoría I le corresponde 0.87, para las estructuras de la categoría II 1.00 y para las estructuras de las categorías III y IV, le corresponde 1.15.

Estos valores modifican el valor de la velocidad básica utilizada en el diseño, asociándole un distinto período de retorno a las estructuras clasificadas dentro de cada categoría.

2.5.2.8. Factor de ráfaga

Este factor se considera, ya que tiene un gran énfasis en las variaciones bruscas de velocidad del viento con respecto a la superficie de las estructuras y el tiempo.

Este factor afecta la presión externa, denominando G para edificaciones rígidas y G_f para edificaciones flexibles.

También considera otros efectos como la inestabilidad por succión, a los efectos torsionales y los efectos de vórtices debido al viento que atraviesa la edificación.

El cálculo del factor de Ráfaga va depender de si la estructura se puede calificar como flexible (G_f) o rígida (G).

Estructuras rígidas; son aquellas cuya frecuencia fundamental sea mayor o igual a 1 Hz, en otras palabras, periodos menores o iguales que 1 segundo. Habrá una reducción de las presiones externas debido a un fenómeno llamado imperfección espacial coherente, el cual explica que las velocidades entre 2 puntos aumentan con el aumento de la distancia.

Estructuras flexibles; corresponde a los que poseen una frecuencia fundamental menor o igual a 1 Hz, o periodos mayores o iguales a 1 segundo. Estas estructuras abarcan efectos dinámicos agrupados con el fenómeno de resonancia, donde el periodo fundamental del viento se acerca al de la estructura, generando amplificaciones de la respuesta dinámica.

2.5.2.9. Coeficiente de presión

En esta sección se presentará un resumen de los elementos que contribuyen al cálculo de los coeficientes de presión interna y externa del viento. Estos coeficientes son presentados en conjunto con las presiones de viento que actúan sobre las caras de la estructura.

1. Coeficiente de Presión Interna; se obtiene este coeficiente del siguiente

cuadro, su valor va depender del tipo de cerramiento que tiene la estructura. Se va reducir el valor del coeficiente cuando se tenga grandes volúmenes en edificios parcialmente cerrados de un solo cuerpo.

Tabla 6

Coefficiente de Presión Interna

| Enclosure Classification | Criteria for Enclosure Classification | Internal Pressure | Internal Pressure Coefficient, (GC_{PI}) |
|-------------------------------------|---|-------------------|--|
| Enclosed Buildings | A_0 is less than the smaller of $0.01A_g$ or 4 sq ft (0.37m) and $A_{oi}/A_{gi} \leq 0.2$ | Moderate | +0.18 -0.18 |
| Partially enclosed Buildings | $A_0 > 1.1A_{oi}$ and $A_0 >$ the lesser of $0.01A_g$ or 4 sq ft (0.37m) and $A_{oi}/A_{gi} \leq 0.2$ | High | +0.55 -0.55 |
| Partially open Buildings | A building that does not comply with Enclosed, Partially Enclosed, or Open classifications | Moderate | +0.18 -0.18 |
| Open buildings | Each wall is at least 80% open | Negligible | 0.00 |

Nota. Adaptado de *American Society of Civil Engineers* (p. 271), por ASCE 7/17, 2017, Virginia, 22.

2. **Coefficiente de Presión Externa;** para el caso de las estructuras cerradas y parcialmente cerradas la normativa, determina los coeficientes de presión externa de forma separada para cada uno de los componentes de la estructura. Se obtienen a partir de las figuras y tablas que incluyen numerosos casos comunes en la práctica. Para el caso de edificios de baja altura, la norma ASCE 7-10 permite obtener un valor del coeficiente de presión externa que incluye el efecto de ráfaga. En el caso en que los coeficientes de presión, tanto externa como interna, tengan incluido el efecto de ráfaga, el Factor de Ráfaga no se debe determinar separadamente.
3. **Coefficiente de Presión Neta;** este coeficiente se va considerar para estructuras abiertas, las cuales actúan sobre las superficies de la estructura, incluyendo los efectos de los coeficientes de presión externa e interna simultáneamente.

Se diferencia su determinación para el sistema principal resistente a las fuerzas de viento y sus componentes y revestimientos. Por otra parte, este factor no incluye los efectos de ráfaga.

2.6. Túnel de viento

Las cargas por viento son una de las principales acciones que se toman en cuenta para el diseño de estructuras debido a que su acción supone un incremento significativo en los esfuerzos de los elementos que la integran. Por lo mismo, con el paso del tiempo se han desarrollado herramientas analíticas para la estimación de las fuerzas inducidas por el viento, las cuales se representan en códigos de diseño.

Existen escenarios en los que no es posible aplicar estas herramientas analíticas debido a que no describen con exactitud el fenómeno en la estructura. En estos escenarios están presentes dos factores principales: 1) el desconocimiento de las propiedades aerodinámicas de la estructura y, 2) perturbaciones locales significantes en el flujo del viento, como lo es el efecto de bloqueo por estructuras cercanas.

Para hacer frente a esta problemática, se recurre a análisis experimentales en un túnel de viento.

El túnel de viento se define como una herramienta tecnológica que permite simular el flujo del viento en modelos a escala. Es una herramienta de uso experimental para casos de aerodinámica, que busca generar los efectos del flujo del viento sobre un sólido, la cual no solo se centra en el diseño de los vehículos, sino también en estructuras tan variadas como una casa, una torre, un puente, y un sinfín de elementos y estructuras que están sometidos a la fuerza del viento.

El funcionamiento general del túnel de viento se basa en recrear un flujo de aire a escala por medio de un ventilador; este flujo deberá de tener características similares al viento que se desea reproducir, por lo que en un túnel de capa límite atmosférica se introducen superficies rugosas para simular distintas categorías de terreno; al llegar a la zona de pruebas el viento incide sobre el modelo, el cual está instrumentado con sensores que registran las variables que se desean medir. En la zona de pruebas es posible modelar elementos que se encuentran en las cercanías de la estructura de análisis que provocan perturbaciones locales en el flujo.

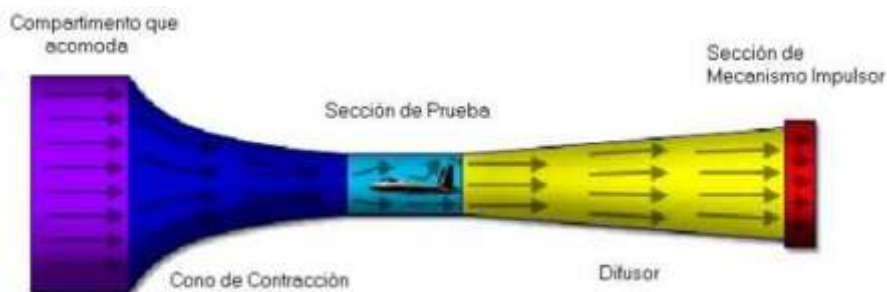
2.6.1. Tipos de túnel de viento

Los túneles de viento se pueden clasificar de forma general por su funcionamiento en dos clases:

- Túnel de viento de circuito abierto.
- Túnel de viento de circuito cerrado.

Los cuales a su vez pueden tener una sección de prueba abierta o cerrada, teniendo de esta forma cuatro configuraciones posibles.

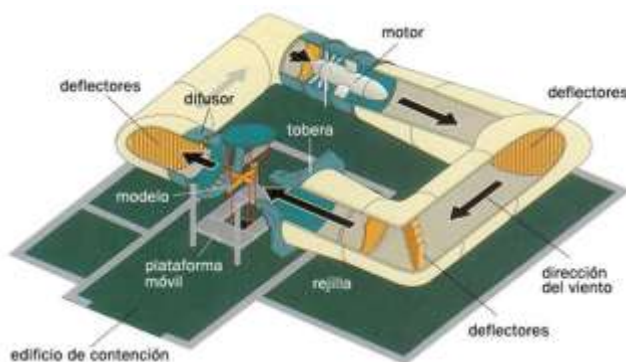
Los túneles de viento de circuito abierto son de menor tamaño y son más económicos en su construcción; sin embargo, el ventilador debe de proporcionar constantemente energía al aire atmosférico para mantener la velocidad de análisis, lo cual supone un alto costo de operación. Una ventaja es que debido a que el aire se obtiene directamente de la atmósfera no se presentan problemas por la variación de la densidad.

Figura 11*Túnel de Viento Abierto.*

Nota. Adaptado de *Túnel de viento*, por Rodríguez D., 2013, Partes del túnel de viento

(<https://sites.google.com/site/tunelgv/calendar>)

Los túneles de viento de circuito cerrado son de mayor tamaño debido a que la infraestructura forma un ciclo donde el aire es continuamente recirculado, de esta forma el ventilador no debe de impulsar continuamente el aire, solo debe de aportar la energía necesaria para vencer la fricción en las paredes teniendo un menor costo de operación. Este tipo de túnel es más costoso en su construcción debido a que la infraestructura es más compleja. Para evitar el sobrecalentamiento del aire por uso prolongado, se instala un sistema regulador de temperatura para que la densidad del aire permanezca constante.

Figura 12*Túnel de Viento Cerrado.*

Nota. Adaptado de *Túnel de viento*, por Reflexiones Prohibidas, s.f., El gran desconocido (<http://reflexionesprohibidas.blogspot.com/>)

2.7. Dinámica de fluidos computacional

La Dinámica de Fluidos Computacional también conocida como CFD por sus siglas en inglés, Computational Fluid Dynamics, es una herramienta empleada para modelar el comportamiento de los fluidos con los cuerpos sólidos. Es una rama de la Mecánica de Fluidos que expresa el comportamiento por medio de las ecuaciones de Navier-Stokes, las cuales se resuelven por medio del uso de métodos numéricos y algoritmos en software especializados.

Debido a su gran alcance la herramienta del CFD, es empleada en diferentes ramas de las ciencias e ingeniería, y particularmente en ingeniería de viento, ya que se emplea para modelar la acción del viento en diferentes estructuras. Asimismo, permite la modelación de estructuras y condiciones que son complejas de replicar a escala en un túnel de viento. Además, tiene la ventaja de no requerir una infraestructura compleja para su realización; sin embargo, se requiere de un equipo de computación de alto rendimiento para así obtener una mayor precisión en los datos.

2.7.1. *Dlubal RFEM software*

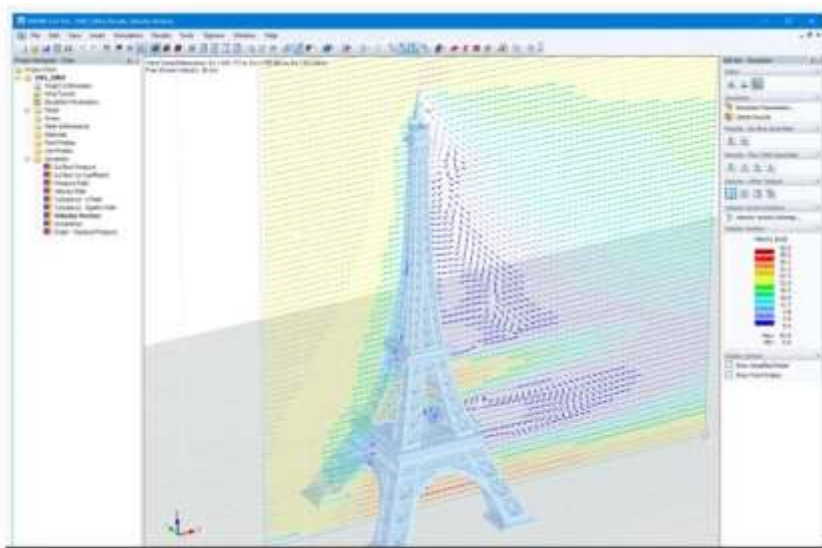
Este software de análisis de estructuras de RFEM proporciona a los ingenieros y consultores de estructuras un programa de análisis por elementos finitos en 3D que cumple con todos los requisitos de la ingeniería de la construcción moderna. Además, con la entrada de datos eficiente y el manejo intuitivo se consigue el modelado de estructuras simples y complejas.

Se usa este programa RFEM para definir estructuras, materiales y cargas para sistemas estructurales planos y espaciales compuestos de placas, muros, láminas y barras. También este programa permite al usuario crear de manera fácil y efectiva el modelado estructuras mixtas, el cálculo estático y dinámico, así como modelar elementos compuestos de barras, placas, muros, chapas plegadas, láminas y sólidos.

RFEM calcula deformaciones, esfuerzos internos, tensiones, esfuerzos en los apoyos y tensiones de contacto con el suelo. Los módulos adicionales facilitan la entrada de datos mediante la creación automática de estructuras y uniones, o se pueden usar para realizar análisis y diseños adicionales según varias normas.

Figura 13

Ingreso de Datos en Túnel de Viento Computacional.



Nota. Adaptado de Simulación del viento, por Dlubal Software, 2021, Cálculo,

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

2.7.2. *RWIND software*

El software RFEM tiene una interfaz especial para exportar modelos (es decir, estructuras definidas por barras y superficies) a RWIND. En esta interfaz de RWIND, las direcciones del viento a analizar se definen por medio de posiciones angulares relacionadas sobre el eje vertical del modelo, y el perfil de intensidad del viento y la turbulencia dependientes de la altura se definen basándose en una norma de viento.

Este programa, RWIND, es un programa para la simulación numérica de flujos de viento, en pocas palabras, es un túnel de viento digital, la cual busca determinar las cargas de viento en una superficie de determinada geometría.

RWIND, utiliza un túnel de viento digital a través de un modelo numérico de CFD (dinámica de fluidos computacional) para simular flujos de viento alrededor de objetos.

Este proceso de simulación determina cargas de viento específicas en las superficies del modelo a partir del resultado del flujo alrededor de ese modelo.

Para la simulación se usa una malla de volumen en 3D, realizando un mallado automático sobre la base de los parámetros de control definibles libremente. Para el cálculo de flujos de viento, RWIND proporciona un solucionador transitorio para flujos turbulentos incompresibles. Las presiones superficiales resultantes de los resultados de los flujos se extrapolan al modelo para cada paso de tiempo.

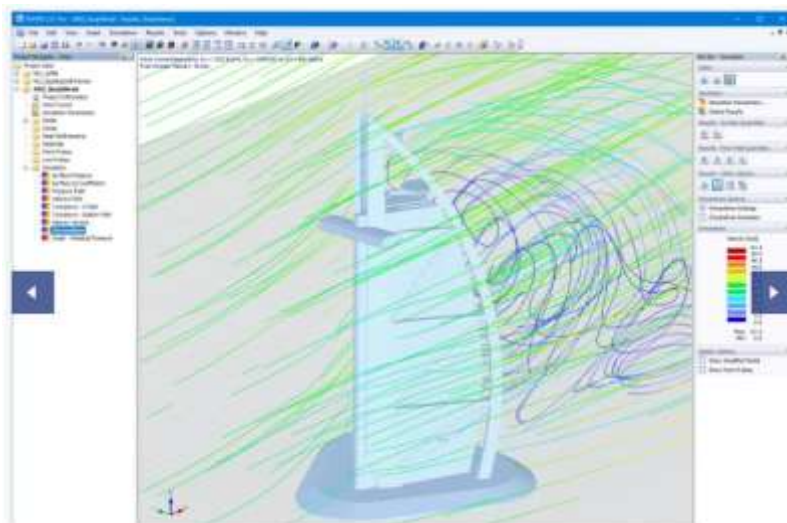
Los resultados conseguidos por el software de flujo mecánico numérico son:

- Presión en la superficie de la estructura.
- Coeficiente C_p de distribución en las superficies de la estructura.
- Campo de presiones alrededor de la geometría de la estructura.

- Campo de velocidades alrededor de la geometría de la estructura.
- Campo de turbulencia $k-\omega$ alrededor de la geometría de la estructura.
- Campo de turbulencia $k-\varepsilon$ alrededor de la geometría de la estructura.
- Vectores de velocidad alrededor de la geometría de la estructura.
- Líneas de corriente alrededor de la geometría de la estructura.
- Dirección y magnitud de la resistencia aerodinámica de las estructuras definidas.

Figura 14

Túnel de Viento Computacional.



Nota. Adaptado de Simulación del viento, por Dlubal Software, 2021, Transferencia de cargas de viento (<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

Estos resultados se muestran en el entorno RWIND y se evalúan gráficamente para las zonas definibles libremente. Dado que en muchos casos los resultados de los flujos visualizados de forma voluminosa sobre la geometría de la estructura son confusos, RWIND proporciona planos de sección que se pueden mover libremente para la visualización por separado de los "resultados sólidos" en un plano. Con lo cual se busca

una mayor visualización del flujo del viento en cada sección de la estructura a analizar. Para el resultado de las líneas de corriente ramificadas en 3D, además de una visualización estática, también hay una visualización animada en forma de segmentos de línea o partículas en movimiento. Esta opción ayuda a representar el flujo de viento como un efecto dinámico.

III. Materiales y métodos

3.1. Metodología utilizada

Para la construcción de una nave industrial de $1800 m^2$, a través del análisis aerodinámico mediante el método de elementos finitos, se utilizará la siguiente metodología:

- Identificar la velocidad del viento de la zona donde se ubicará la nave industrial, puesto que este dato es de suma importancia para el análisis de viento.
- Elaborar dos diseños de nave industrial, techo tipo curvo y techo a dos aguas, para ser evaluados a diferentes direcciones de viento.
- Analizar a distintos ángulos de ataque de viento (0° , 30° , 45° , 60° y 90°) a los dos diseños de nave industrial mediante el método de elementos finitos, a través del software RWIND 1.24, para evaluar la forma aerodinámica más adecuada.
- Recolectar y evaluar los datos de presión máxima, P_{max} , en los dos diseños de nave industrial.
- Recolectar y evaluar los datos de velocidad máxima de viento, V_{max} , en los dos diseños de nave industrial.
- Recolectar y evaluar los datos de coeficiente de presión máxima, C_{pmax} , en los dos diseños de nave industrial.
- Calcular el mayor coeficiente de arrastre, C_d , a la que están sometidos los dos diseños de nave industrial.
- Obtener cual es el diseño con la forma aerodinámica más adecuada para el techo de una nave industrial de $1800m^2$ (techo curvo y techo a dos aguas), analizando los valores anteriormente mencionados.

3.2.Diseño de la investigación

Para el presente trabajo de investigación se utilizó el método aplicativo, debido a que hace uso de los conceptos y bases teóricas para la aplicación directa a la solución del problema que se presenta, teniendo en cuenta las normativas vigentes, como la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE 7/16) y el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE, E.020), así también como la bibliografía especializada en aerodinámica y mecánica de fluidos y el análisis aerodinámico a través del software RWIND 1.24, con la cual se busca realizar la construcción de una nave industrial de forma segura y eficaz.

3.3.Medios y materiales

- Laptop TOSHIBA Satellite
- Hardware Intel(R) Core (TM) i5 3337U @ 1.80GHz - 1.80 GHz / 2.00 GB RAM
- Software
- Autodesk Autocad 2021
- Dlubal Software RFEM 5.25
- Dlubal Software RWIND 1.24
- Microsoft Office Word 2016
- Disco duro externo WD – 1TB
- Impresora EDSON L375
- Papel bond A4, 200 hojas
- Norma internacional ASCE 7/16
- Norma peruana RNE
- Tesis y bibliografías relacionadas

IV. Cálculos

Para el diseño de la nave industrial se debe tener presente la finalidad para la cual se construirá. En este caso se busca construir una nave industrial que sirva como almacén de productos terminados, para la empresa Cartavio Rum Company SA., la cual debido a su gran demanda en el mercado duplicó su producción, viéndose en la necesidad de crear almacenes que le sirvieran para albergar su nueva gran producción.

En consideración a esta nueva demanda por parte del cliente, se pensó en plantear el nuevo almacén teniendo en consideración los temas climáticos. Poniéndole más énfasis a la fuerza del viento, debido a sus acciones sobre los almacenes existentes que, a causa de esta, muestran notorio deterioro en sus estructuras.

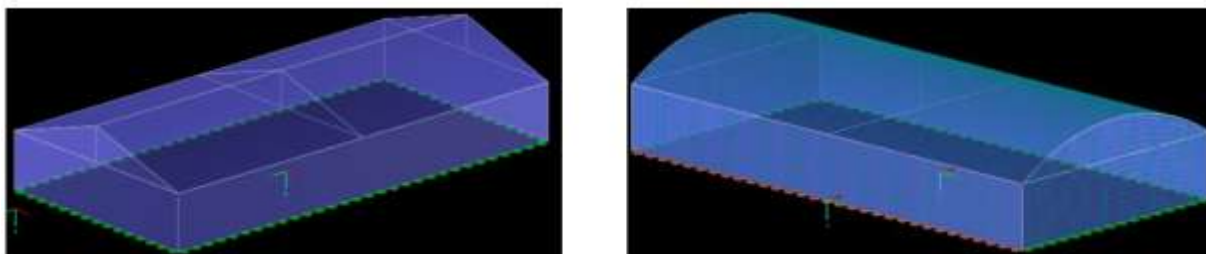
De acuerdo al terreno asignado para el nuevo almacén, un área de $1800 m^2$, se tomó en consideración la forma más aerodinámica que nos pueda proporcionar una nave industrial de esas dimensiones.

Por ende, se consideró realizar un análisis a las dos formas más comunes de almacenes, como son las naves industriales con techo a dos aguas y las de techo curvo.

Para determinar cuál es la forma de techo más aerodinámica para las dos formas anteriormente mencionadas, se procedió a realizar un análisis aerodinámico, buscando la mayor fuerza de arrastre (F_d) que se pueda presentar en estas dos formas.

Figura 15

Naves Industriales con Techo a dos Aguas y Techo Curvo.



Nota. Adaptado de Simulación del viento, por Dlubal Rfem 5.25, 2021, Análisis estructural (<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

Para los cálculos respectivos, se procederá a seguir los siguientes pasos:

1. Identificar la velocidad del viento de la zona donde se ubicará la nave industrial.
2. Evaluar dos diseños de nave industrial, techo tipo curvo y techo a dos aguas, a diferentes direcciones de viento.
3. Analizar a distintos ángulos de ataque de viento (0° , 30° , 45° , 60° y 90°) a los dos diseños de nave industrial a través del software RWIND 1.24.
4. Recolectar y evaluar los datos de presión máxima (P_{max}), velocidad máxima de viento (V_{max}), los coeficientes de presión máxima (C_{pmax}), coeficiente de presión (F_d) y el coeficiente de arrastre (C_d).
5. Obtener cual es el diseño (techo a dos aguas o techo curvo) con mayor coeficiente de arrastre, C_d , a la que puede estar sometida una nave industrial por la fuerza del viento.

4.1. Velocidad del viento

En el diseño estructural para resistencia por viento de alguna estructura, es un problema fundamental la estimación de la velocidad de viento esperada. Se debe tener en cuenta, que de una interpretación de registros meteorológicos es posible determinar la velocidad, dirección y frecuencia del viento.

De la figura 16, en la cual se grafica las curvas de velocidad en el Perú (isótacas), a una altura de 10m, para un período de retorno de 50 años, se puede observar que para el departamento de La Libertad se obtiene una velocidad de 95 km/h.

En otro caso, en la tabla 5, se puede notar el valor de la velocidad del viento en la región de Cartavio de 92.5 km/h. Región en donde se va realizar la construcción de la nave industrial.

Para el uso del software RWIND 1.24, la empresa responsable de su desarrollo, brinda un mapa eólico específico para la determinada ciudad en donde se va a realizar el análisis. Este mapa se basa en estudios eólicos internacionales, con periodos de recurrencia de 50 años y a una altura de 54m. Para el caso de la ciudad de Cartavio, da un valor de velocidad de viento de 95 km/h., el cual se puede ver en la figura 16.

Todos estos casos están basados en los estudios realizados por el SENAMHI, la UNI (Universidad Nacional de Ingeniería) y la empresa alemana Dlubal Software, todas instituciones serias dedicadas a la investigación. Donde se puede notar una leve variación en los datos, la cual se puede realizar una interpolación para obtener un valor medio entre estos casos, el cual sirva para poder realizar el análisis aerodinámico de las naves industriales.

Al realizar la interpolación, se obtiene un valor de 92.4 km/h, valor que esta más próximo al valor dado, 95 km/h. Con lo cual se optó por redondear el valor al próximo superior. Por tanto, se asumirá una velocidad de viento en todo el desarrollo de los cálculos de $v = 95$ km/h.

Tabla 7

Velocidades Extremas de Viento en Km/h a 10m. sobre el nivel del Suelo para periodos de recurrencia de 33, 50 y 100 años.

| CLAVE | ESTACION | LATITUD "G" | LONGITUD "A" | VELOCIDADES BASICAS | | |
|-------|--------------------------|----------------|-----------------|---------------------|---------|----------|
| | | | | V 33 | V 50 | V 100 |
| 3070 | Col. Kil. Feo. Bolognesi | 16 24 | 71 13' | 45.7 | 45.7 | 60.8 |
| 3080 | Punta Atico | 16 14' | 73 42' | 77.7 | 77.7 | 106.0 |
| 3090 | Punta Islay | 17 1' | 72 7' | 44.3 | 44.3 | 56.2 |
| 3100 | Arequipa | 16 22' | 71 34' | 39.5 | 39.5 | 52.5 |
| 3110 | Jaen | 5 33' | 78 47' | 19.4 | 19.4 | 36.0 |
| 3120 | Tingo María | 9 9' | 75 53' | 43.5 | 43.5 | 79.7 |
| 3130 | Punta San Juan | 15 20' | 75 9' | 49.2 | 49.2 | 60.4 |
| 3140 | La puntilla | 13 45' | 76 15' | 55.4 | 55.4 | 73.4 |
| 3150 | Chincha Norte | 13 27' | 76 25' | 85.5 | 85.5 | 118.5 |
| 3160 | Hacienda San Javier | 14 40' | 75 11' | 41.3 | 41.3 | 57.0 |
| 3170 | Hda. Cnyar | 13 26' | 76 18' | 10.4 | 10.4 | 11.9 |
| 3180 | Hda. Bernales | 13 44' | 75 58' | 36.8 | 40.9 | 49.2 |
| 3190 | Hda. Caucato | 13 40' | 76 11' | 37.5 | 41.6 | 49.6 |
| 3200 | Pachachaca | 11 40' | 75 55' | 89.4 | 102.0 | 124.1 |
| 3210 | Guanape Norte | 8 32' | 78 58' | 38.5 | 41.0 | 45.7 |
| 3220 | Casagrande | 7 45' | 79 12' | 60.6 | 70.4 | 90.6 |
| 3230 | Univ. Trujillo | 8 7' | 79 2' | 55.0 | 63.9 | 82.1 |
| 3240 | Pto. Chicama | 7 42' | 79 26' | 34.2 | 64.9 | 42.0 |
| 3250 | Hda. Cartavio | 7 54' | 79 13' | 80.0 | 92.5 | 118.0 |
| 3260 | Lobos de Afuera | 6 59' | 80 42' | 34.3 | 36.4 | 39.8 |

Nota. Adaptado de *Efectos del viento sobre las estructuras (Tesis)* (Capítulo III. Tabla A-4), por Escalante Sánchez, J., 1986, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.

Figura 16*Mapa de Viento.*

Nota. Adaptado de *Velocidad del viento*, por Dlubal Software, 2021, Mapa de viento

(<https://www.dlubal.com/es/soluciones/servicios-en-linea/zonas-de-cargas-para-nieve-viento-y-sismos>)

4.2.Evaluación de modelos de nave industrial

Para este apartado, se tomó en consideración el análisis solo de dos formas de nave industrial, las dos más comunes en el rubro industrial, que son las naves con techo curvo y techo a dos aguas. Para este caso se tomó en consideración una nave industrial cerrada, con un área de 1800 m^2 , de 60 m. de largo por 30 m. de ancho, tal como se puede apreciar en la figura 17.

En ambos casos, se consideró realizar el análisis de las naves a distintos ángulos de ataque, $\alpha = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ y 90° , siendo estos los más críticos. Además, se consideró evaluar el análisis a tres distintas alturas de cumbrera, $h = 2, 5$ y 8 m , tal como se detalla en el siguiente capítulo.

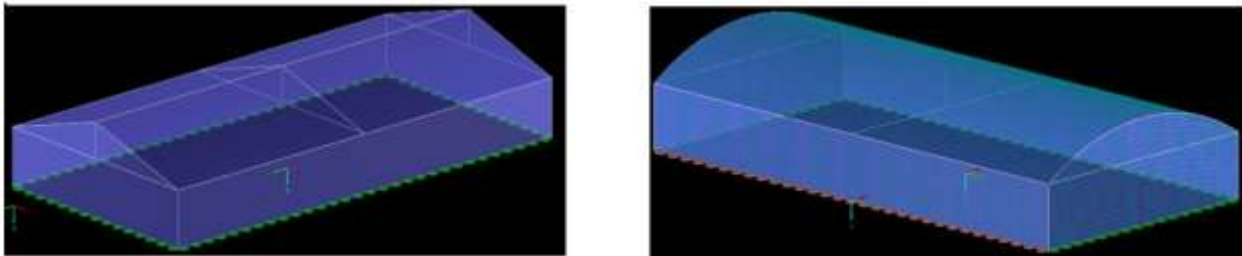
4.2.1. Naves industriales

4.2.1.1. Techo a dos aguas y techo curvo

En primera instancia procedemos a realizar el modelado del techo en 3d, con sus respectivas dimensiones a trabajar tal como se indica en la figura 17, considerando como primer paso modelar las formas e ingresar los datos.

Figura 17

Modelo de Nave Industrial con Techo a dos Aguas.



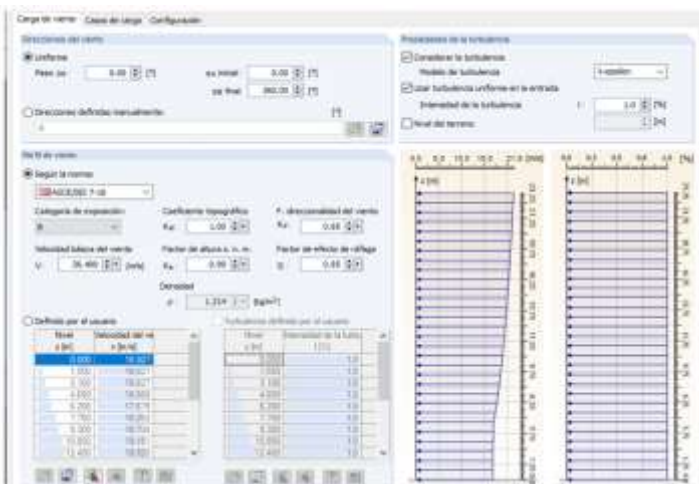
Nota. Adaptado de Simulación del viento, por Dlubal Rfem 5.25, 2021, Análisis estructural (<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

4.2.1.2. Simular y generar las cargas de viento

Se ingresa los datos solicitados por el software RWIND 1.24 para generar los casos de carga para la simulación.

Figura 18

Simulador y Generador de Cargas de Viento.



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

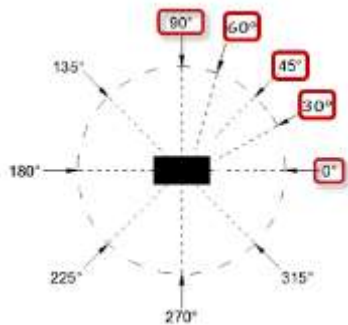
(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

4.2.1.3. Casos de carga

Para el análisis aerodinámico se vio necesario aplicar los casos de carga de viento en distintos ángulos de incidencia, de los cuales solo se tomó cinco, tal y como se ve en la siguiente figura 19. Siendo estos ángulos de incidencia los más críticos en el análisis de viento para naves industriales.

Figura 19

Ángulos de Incidencia en Nave Industrial.



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

Luego se procede a ingresar los datos para los distintos ángulos de ataque,

$\alpha = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ y 90° , respectivamente.

Figura 20

Casos de Carga a Distintos Ángulos de Ataque.

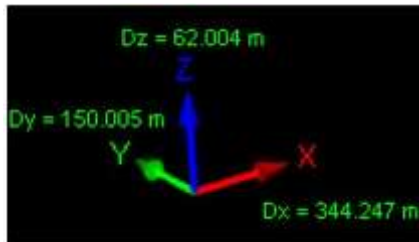
| Carga de viento | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------|------------|
| Casos de carga | | Configuración | |
| Caso de c núm. | Descripción del caso de carga | Calculado | Comentario |
| CC3 | Viento 0 ° | <input type="checkbox"/> | |
| CC4 | Viento 30 ° | <input type="checkbox"/> | |
| CC5 | Viento 45 ° | <input type="checkbox"/> | |
| CC6 | Viento 60 ° | <input type="checkbox"/> | |
| CC7 | Viento 90 ° | <input type="checkbox"/> | |

Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

Al determinar los ángulos de incidencia con los que se va a trabajar en el análisis aerodinámico, se procede a ingresar los valores de la nave industrial, los cuales fueron hallados en el capítulo 4.2.1.d para perfil de viento.

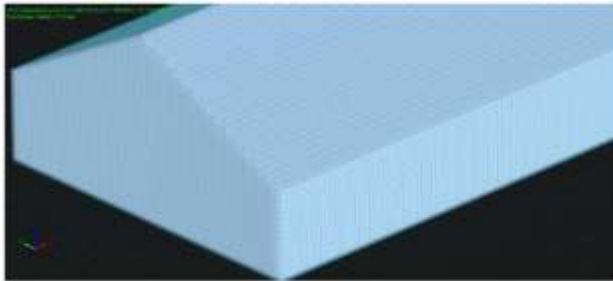
Con estos valores se empieza a correr el software RWIND 1.24, donde se detalla el tamaño de túnel de viento virtual con el que se va a trabajar, siendo de 150m. en el eje Y, de 344.247m. en el eje X y 62m. para el eje Z, tal como se muestra en la figura 21.

Figura 21*Dimensiones de Túnel de Viento*

Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

Para este estudio se considera la nave industrial como un objeto rígido y los efectos del viento sobre la misma. La siguiente figura muestra el mallado de la nave industrial en la que se va a trabajar.

Figura 22*Modelo de Mallado de Estructura.*

Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

4.2.1.4. Perfil de viento

Se ingresa los datos de acuerdo a la normativa escogida, en nuestro caso la norma ASCE/SEI 7-16, la cual detalla una serie de datos a llenar tal como lo indica la figura 23.

- a. **Categoría de exposición**, la cual se obtiene del apartado 26.7.3 de la normativa ASCE 7/16 y detalla lo siguiente:

Exposición B: Para edificaciones con altura igual o menor que 30 ft. (9.1m), se utilizará la exposición B donde prevalezca la rugosidad superficial B, en una dirección contra el viento en una distancia mayor a 1500 ft. (457m). Para edificaciones donde su altura sea mayor a 30 ft. (9.1m), la exposición B será aplicada donde prevalezca una rugosidad superficial B en dirección contra el viento para distancias mayores a 2600 ft. (792 m) o 20 veces la altura de la edificación, cualquiera que sea mayor.

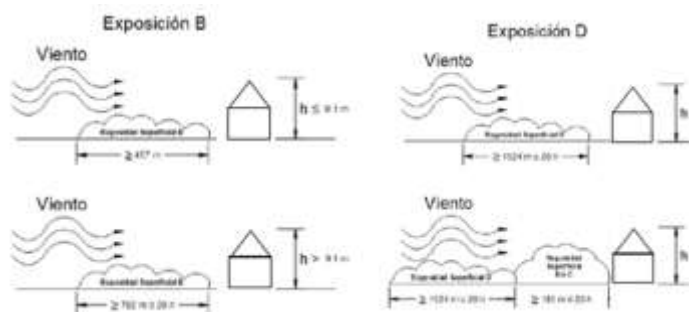
Exposición C: La exposición C aplicara para todos los casos donde no apliquen la exposición tipo B y D.

Exposición D: La exposición D aplicara donde prevalezca una rugosidad superficial D, en una dirección contra el viento a distancia mayores de 5000 ft. (1524m) o 20 la altura de la edificación, cualquiera sea mayor. La exposición D deberá también ser aplicada donde la rugosidad superficial del terreno inmediato al sitio a la dirección contra el viento sea B o C, y se encuentre dentro de una distancia de 600 ft. (183 m) o 20 veces la altura de la edificación, cualquiera sea mayor.

Donde se puede extraer que pertenece a la categoría de **Exposición B**.

Figura 23

Categoría de Exposición.



Nota. Adaptado de *American Society of Civil Engineers* (p. 267), por ASCE 7/17, 2017, Virginia, 22.

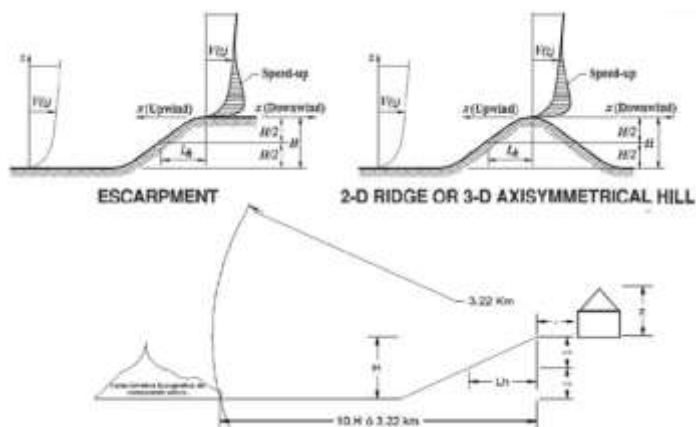
b. Coeficiente topográfico, K_{zt} , el cual se obtiene de la imagen 26.8-1 (figura 24) de la normativa ASCE 7/16, donde:

Los efectos de aceleración del viento en las colinas aisladas, crestas y talud que constituyan cambios abruptos en la topología general, ubicados en cualquier categoría de exposición, se incluirán en el diseño cuando los edificios y otras condiciones del sitio y ubicación de las estructuras cumplan con las siguientes condiciones:

1. La colina, cresta o talud aislada y sin obstrucción contra el viento por otras características topográficas similares de alturas comparables por 100 veces la altura de la topografía característica ($100H$) o 2 millas (3.22 km), cualquiera sea menor. La distancia deberá ser medida horizontalmente desde el punto el cual la altura de la colina, cresta o escarpa es determinada.
2. La colina, cresta o talud sobre sale por encima de la altura del terreno característico contra el viento dentro de un radio de 2 millas (3.22 km) en cualquier cuadrante por un factor de 2 o más.
3. La estructura es localizada tal como se muestra en la figura 26.8-1 en la mitad superior de la colina o cresta, o cerca de la cresta de un talud.
4. $\frac{H}{L_h} \geq 0.2$
5. H es mayor o igual a 15 ft. (4.5 m) para exposición C y D, y 60 ft. (18 m) para exposición B.

Figura 24

Coeficiente Topográfico.



Nota. Adaptado de *American Society of Civil Engineers* (p. 267), por ASCE 7/17, 2017, Virginia, 22.

$H = 0$ m. Altura de la cresta relativa al terreno contra el viento.

$L_h = 10$ m. Distancia en dirección contra el viento de la cresta hasta donde la

diferencia en la elevación del terreno es la mitad de la mitad de la altura de la cresta.

$x = 10$ m. Distancia desde la cresta hasta la ubicación de la estructura.

$Z = 15$ m. Altura de la estructura por encima de la superficie del terreno.

Forma de la característica topográfica:

Forma = 2

1. Crestas de 2 dimensiones.
2. Acantilados de 2 dimensiones.
3. Colinas de 3 dimensiones.

Ubicación de la estructura:

Ubicación = 2

1. Sobre la cresta contra el viento.

2. Detrás de la cresta viento abajo.

Tabla 8*Parámetros de Aceleración.*

| Parámetros de aceleración sobre colinas y acantilados | | | | | | |
|---|---------------|-----|-----|----------|-------------------------|----------------------------|
| Forma de la característica topográfica | $K_1/(H/L_h)$ | | | γ | μ | |
| | Exposición | | | | Viento contra la cresta | Viento detrás de la cresta |
| Crestas de 2 dimensiones (o valles con H negativa en $K_1/(H/L_h)$). | .3 | .45 | .55 | | 1.5 | 1.5 |
| Acantilados de 2 dimensiones. | .75 | .85 | .95 | .5 | 1.5 | 4 |
| Colinas de 3 dimensiones. | .95 | .05 | .15 | | 1.5 | 1.5 |

Nota. Adaptado de *American Society of Civil Engineers* (p. 267), por ASCE 7/17, 2017, Virginia, 22.

$\gamma = 2.5$ Factor de atenuación por altura.

$\mu = 4$ Factor de atenuación horizontal.

$K_1 = 0$ Factor que toma en cuenta la forma de las características topográficas y el máximo efecto de aceleración.

$K_2 = \left(1 - \frac{|x|}{\mu \cdot L_h}\right)$ Factor que toma en cuenta la reducción de la aceleración con la distancia contraviento o viento debajo de la cresta.

$K_3 = e^{-\gamma \cdot \frac{z}{L_h}}$ Factor que toma en cuenta la reducción de la aceleración con la altura sobre el terreno local.

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

Reemplazando los valores de K_1 , K_2 y K_3 se obtiene:

$$K_1 = 0$$

$$K_2 = \left(1 - \frac{|x|}{\mu \cdot L_h}\right) = 0.75$$

$$K_3 = e^{-\gamma \cdot \frac{z}{L_h}} = 0.020$$

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

$$K_{zt} = 1$$

- c. **El factor de direccionalidad de viento, K_d** , se obtiene de la tabla 7 de la normativa ASCE 7/16 tal como sigue:

El factor de direccionalidad del viento, deberá ser determinado mediante la tabla 7. Este factor de direccionalidad deberá ser solo incluido en la determinación de las fuerzas de viento cuando las combinaciones de viento especificados en la sección 2.3 y 2.4 sean usadas.

De la tabla siguiente se puede observar que para sistemas resistentes al viento se tiene un valor de $K_d = 0.85$

Tabla 9

Factor de Direccionalidad K_d

| Structure Type | Directionality Factor K_d |
|--|-----------------------------|
| Buildings | |
| Main Wind force Resisting System | 0.85 |
| Components and Cladding | 0.85 |
| Arched Roofs | 0.85 |
| Circular Domes | |
| Chimneys, Tanks, and Similar Structures | 1.0 ^a |
| Square | 0.90 |
| Hexagonal | 0.95 |
| Octogonal | 1.0 ^a |
| Round | 1.0 ^a |

| | |
|---|------|
| Solid Freestanding Walls, Roof top Equipment, and Solid Freestanding and Attached signs. | 0.85 |
| Open Signs and Single-Plane open Frames Trussed Towers | 0.85 |
| Triangular, square, or rectangular | 0.85 |
| All other cross sections | 0.95 |

Nota. Adaptado de American Society of Civil Engineers (p. 266), por ASCE 7/17, 2017, Virginia, 22.

- d. **La velocidad básica del viento, V** , que se obtuvo del capítulo 4.1 de la presente tesis, donde se determinó un valor de: $V = 95 \text{ km/h} = 26.4 \text{ m/s}$
- e. **Factor de altura, K_e** , que se obtiene de la tabla 8 de la normativa ASCE 7/16. Este factor se obtiene de la ubicación de la ciudad con respecto al nivel del mar. Para nuestro caso, la ciudad de Cartavio se encuentra ubicada en la provincia de Ascope, región La Libertad, la misma que se encuentra ubicada a 116 m.s.n.m. Este valor será ubicado en la siguiente tabla 8, donde se constata que el valor no se encuentra en tablas pero que se puede interpolar, obteniendo un valor de $K_e = 0.99$.

Tabla 10

Factor de Altura K_e

| Ground Elevation above Sea Level | | Ground Elevation Factor K_e |
|---|------------------|---|
| Ft | m | |
| < 0 | < 0 | See note 2 |
| 0 | 0 | 1.00 |
| 1,000 | 305 | 0.96 |
| 2,000 | 610 | 0.93 |
| 3,000 | 914 | 0.90 |
| 4,000 | 1,219 | 0.86 |
| 5,000 | 1,524 | 0.83 |
| 6,000 | 1,829 | 0.80 |
| >6,000 | >1,829 | See note 2 |

Notes

1. The conservative approximation $K_e = 1.00$ is permitted in all cases.
2. The factor K_e shall be determined from the above table using interpolation or from the following formula for all elevations:
 $K_e = e^{-0.0000362z_g}$ (z_g = ground elevation above sea level in ft).
 $K_e = e^{-0.000119z_g}$ (z_g = ground elevation above sea level in m).
3. K_e is permitted to be take as 1.00 in all cases.

Nota. Adaptado de American Society of Civil Engineers (p. 268), por ASCE 7/17, 2017, Virginia, 22.

- f. **Factor de efecto de ráfaga, G** , que se obtiene del apartado 26.11.1 de la normativa ASCE 7/16, es un factor que se considera para edificaciones rígidas u otras estructuras con un valor de **$G = 0.85$**
- g. **La densidad, ρ** es un valor que ya viene predeterminado por el software, siendo considerado como **$\rho = 1.214 \text{ kg/m}^3$**

Luego de obtener todos los valores anteriores mencionados, se procede a ingresarlos al software, como se puede ver en la siguiente figura:

Figura 25

Perfil de Viento

Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

4.3. Análisis aerodinámico a distintos ángulos de ataque

En este apartado se busca realizar el análisis aerodinámico para los dos modelos de techo, teniendo en cuenta los distintos ángulos de ataque del viento

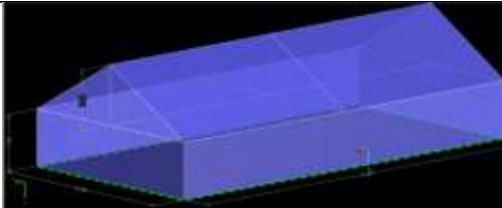
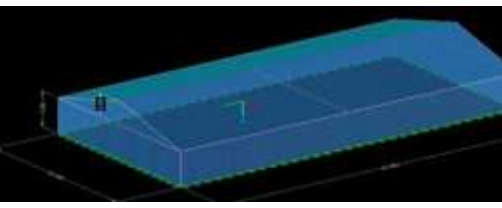
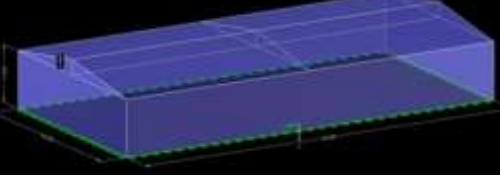
($\alpha = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ y 90°) y las distintas alturas ($h = 8, 5$ y 2 m) a las que se someterá ambos modelos de techo.

4.3.1. Techo a dos aguas altura de cumbrera de 8, 5 y 2m.

En este capítulo se describe el análisis aerodinámico de una nave industrial con techo a dos aguas de 8, 5 y 2m. de cumbrera, sometida a las fuerzas del viento. Se detalla las dimensiones de la nave industrial en la siguiente figura 26, donde se procede a evaluar la acción del viento en la nave industrial.

Figura 26

Techo a dos Aguas con diferentes Alturas de Cumbrera

| | |
|---|---|
|  | <p>Techo a dos aguas con cumbrera de techo de 8m.</p> |
|  | <p>Techo a dos aguas con cumbrera de techo de 5m.</p> |
|  | <p>Techo a dos aguas con cumbrera de techo de 2m.</p> |

Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rfem 1.24, 2021, Análisis de viento

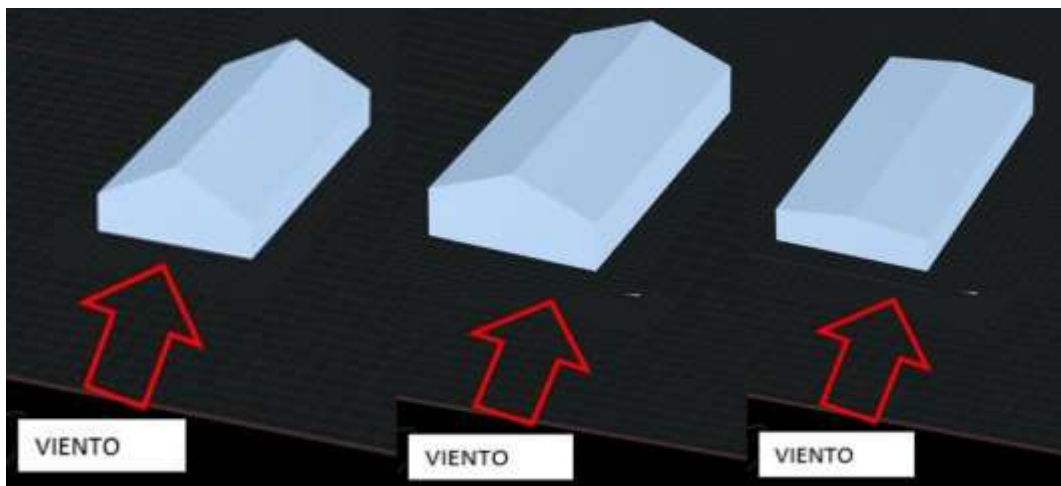
(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/Rfem>)

4.3.1.1. Techo a dos aguas con acción del viento a 0°

En la siguiente figura se puede ver la acción del viento en la dirección 0°, a diferentes alturas de cumbrera (8, 5 y 2m), en la cara a barlovento, (cara donde incide el viento) donde se detallan los puntos de prueba de las presiones a las que se encuentra sometida la cara a barlovento.

Figura 27

Dirección del Viento a 0° en diferentes Alturas de Cumbrera, de izquierda a derecha, 8m, 5m y 2m.



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

4.3.1.1.1. Presión del viento en cara a barlovento a 0°

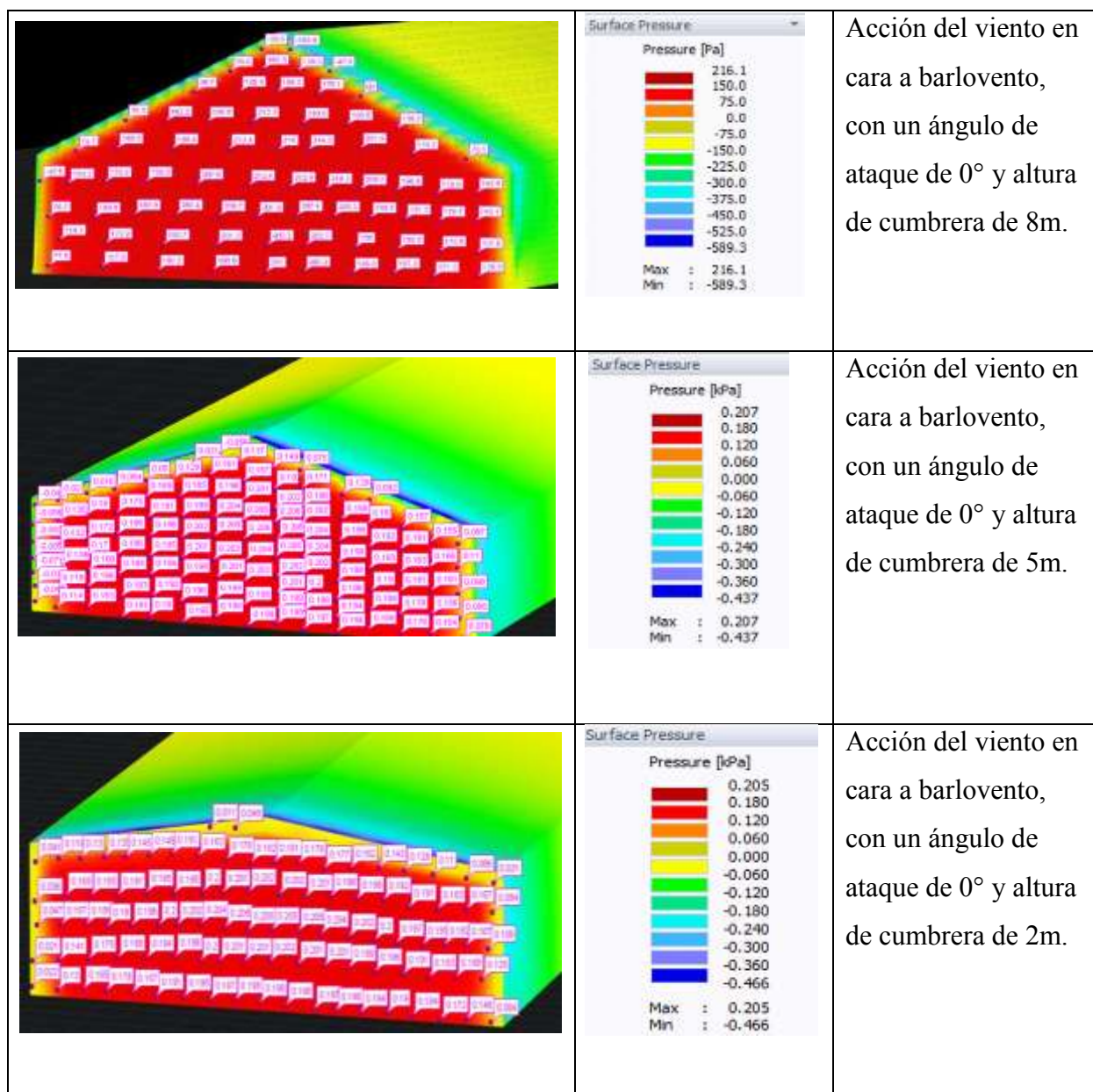
Se iniciará los cálculos con la incidencia del viento en cara a barlovento, con un ángulo de ataque del viento a 0°. Se generaron 70 puntos de prueba para el estudio de las presiones, en donde se puede observar los puntos máximos y mínimos de presión por

empuje (presión positiva) y succión (presión negativa) generadas por la fuerza del viento en la cara a barlovento.

En la figura 28 se puede ver los valores las presiones máximas y mínimas a las que está sometida la estructura.

Figura 28

Presiones del Viento en Cara a Barlovento



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

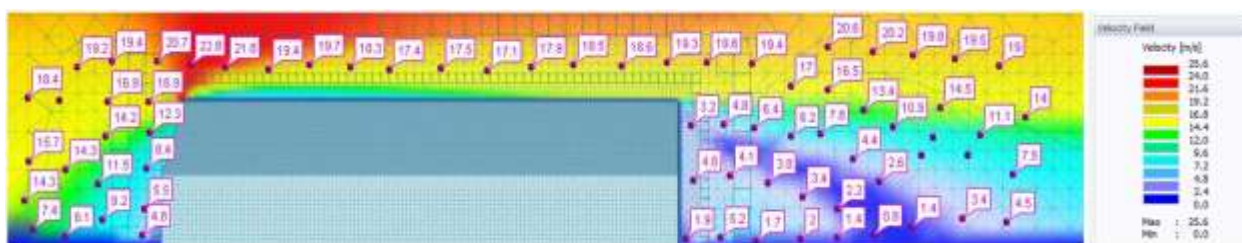
(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

4.3.1.1.2. Velocidad del viento en cara a barlovento a 0°

La incidencia de la velocidad del viento en la cara a barlovento, se colocan los setenta puntos de estudio. En las figuras 29, 30 y 31 se puede ver los puntos de estudio para las distintas alturas de cumbrera de 8, 5 y 2m.

Figura 29

Velocidades del Viento en Cara a Barlovento, con altura de Cumbre de 8m



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

Figura 30

Velocidades del Viento en Cara a Barlovento, con altura de Cumbre de 5m

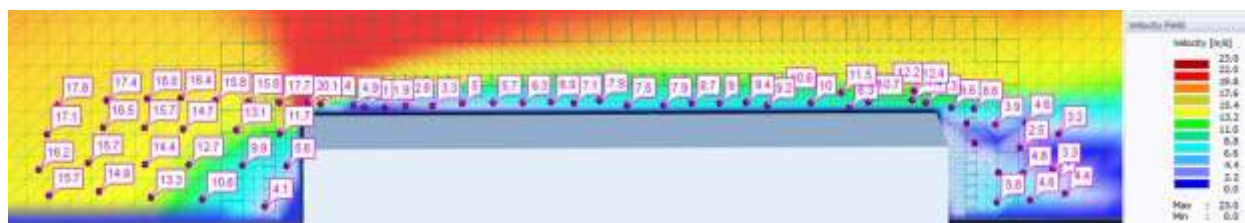


Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

Figura 31

Velocidades del Viento en Cara a Barlovento, con Altura de Cumbre de 2m



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

4.3.1.1.3. *Coefficiente de presión del viento en cara a barlovento a 0°*

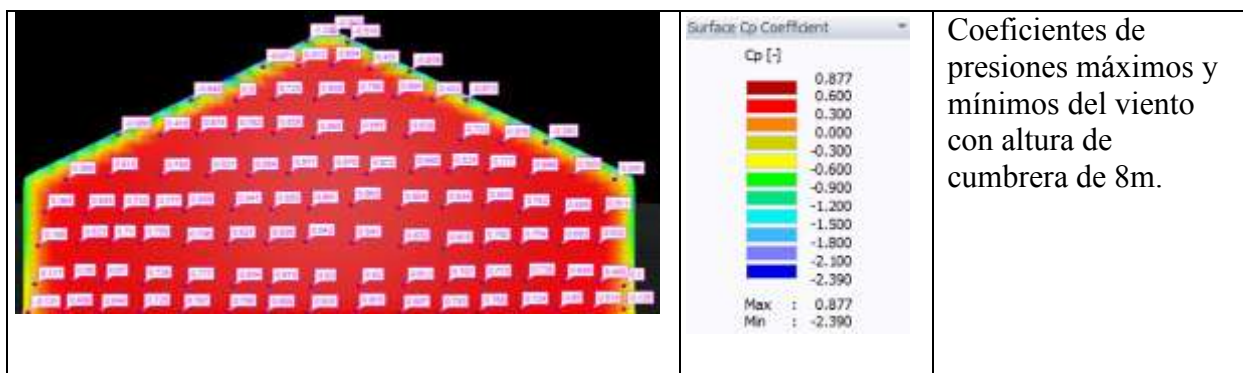
En la figura 32 se puede apreciar los coeficientes de presiones máximos y mínimos del viento a los que está sometido la estructura en sus diferentes alturas de cumbre (8, 5 y 2m.), los cuales inciden en la cara a barlovento.

En la figura 33 se puede ver la incidencia del viento en la cara a barlovento, con un ángulo de ataque de 0° con respecto al eje de la estructura en las diferentes alturas de cumbre (8, 5 y 2m.)

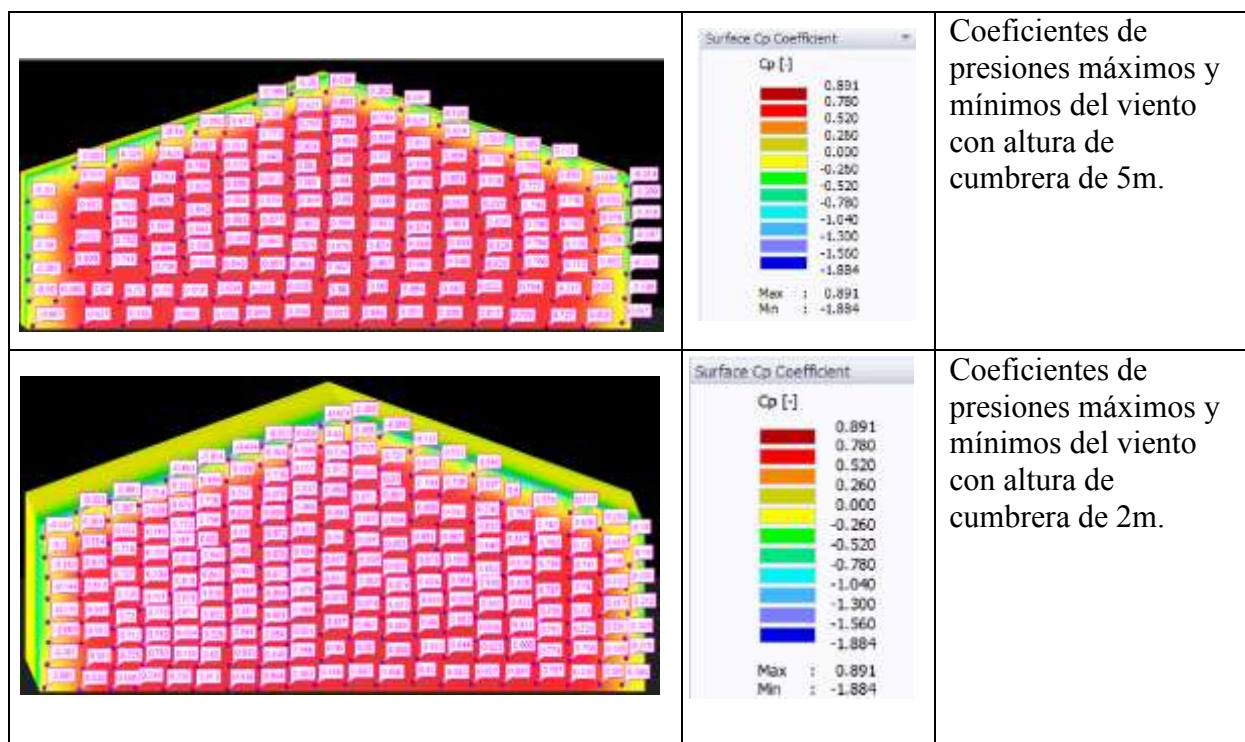
En la figura 34 se presenta la fuerza de arrastre a la que está sometida la estructura según la incidencia del viento en la cara a barlovento.

Figura 32

Coefficientes de Presión del Viento en Cara a Barlovento



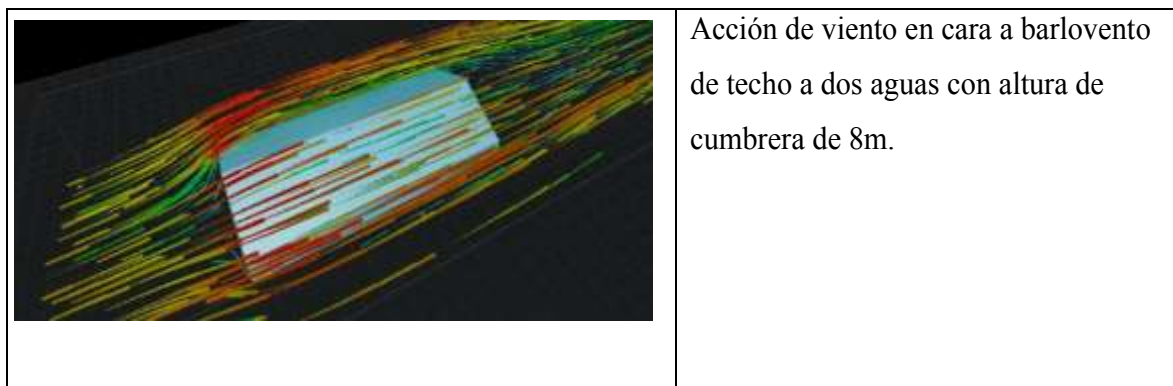
Coefficientes de presiones máximos y mínimos del viento con altura de cumbre de 8m.



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento (<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

Figura 33

Incidencia del Viento en Cara a Barlovento



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento (<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

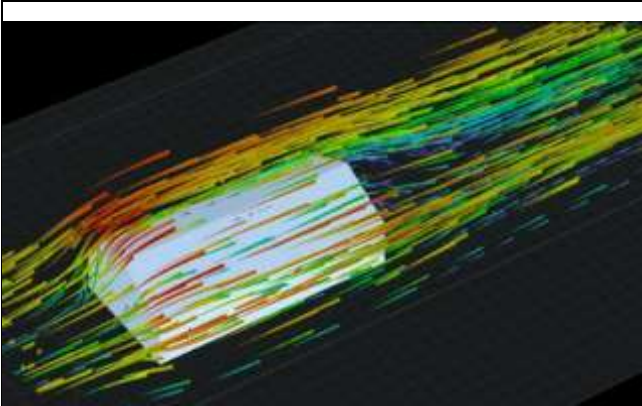
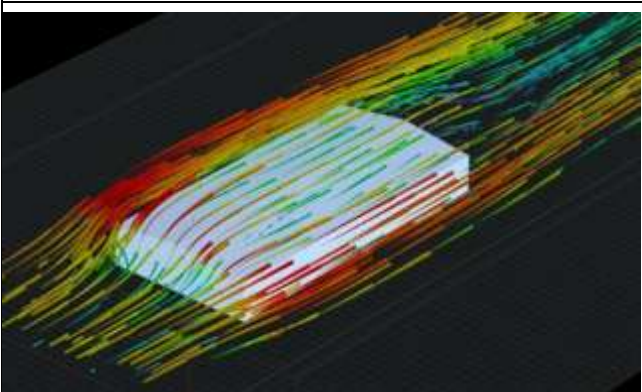
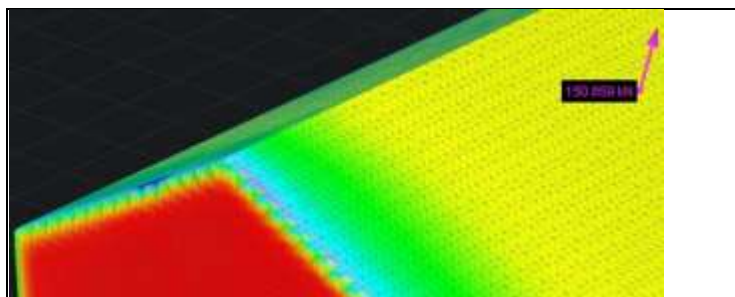
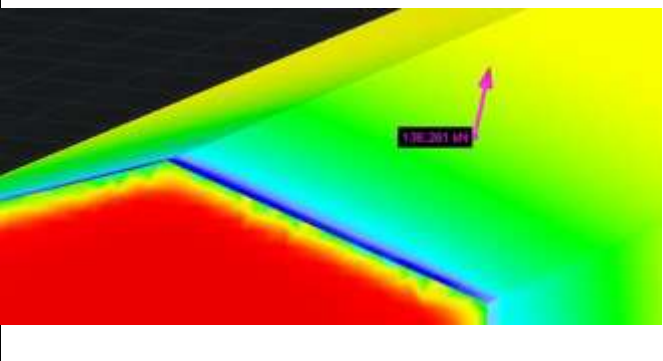
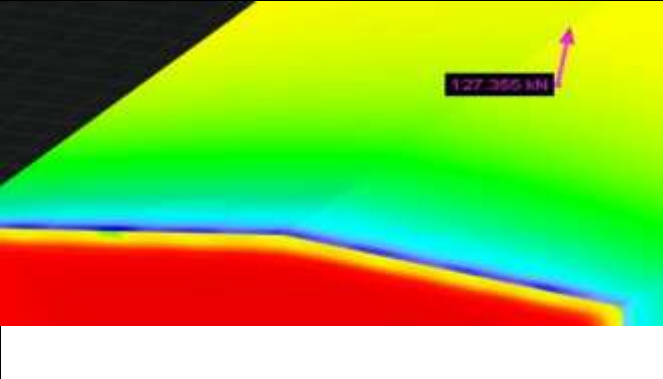
| | |
|--|---|
|  | <p>Acción de viento en cara a barlovento de techo a dos aguas con altura de cumbrera de 5m.</p> |
|  | <p>Acción de viento en cara a barlovento de techo a dos aguas con altura de cumbrera de 2m.</p> |

Figura 34

Fuerza de Arrastre del Viento en Techo a dos Aguas

| | |
|---|---|
|  | <p>Fuerza de arrastre del viento de 150.859 Kn en cara a barlovento con ángulo de ataque de 0°, con altura de cumbrera de 8m.</p> |
|---|---|

| | |
|---|---|
|  | <p>Fuerza de arrastre del viento de 136.261 Kn en cara a barlovento con ángulo de ataque de 0°, con altura de cumbrera de 5m.</p> |
|  | <p>Fuerza de arrastre del viento de 127.355 Kn en cara a barlovento con ángulo de ataque de 0°, con altura de cumbrera de 2m.</p> |

Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

4.3.1.1.4. Coeficiente de arrastre del viento a 0°

Con la fuerza de arrastre (F_d) hallado por el software, se procederá a calcular el coeficiente de arrastre (C_d) a la que está sometida la estructura para las distintas alturas de cumbrera de 8m., 5m. y 2m., de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$F_d = \frac{1}{2} (C_d)(\rho)(A)(v)^2 \quad (18)$$

Donde:

C_d = Coeficiente de arrastre

ρ = densidad del fluido; kg/m^3

A = área de referencia; m^2

v = velocidad del flujo relativo al objeto; m/s

Reordenando la formula anterior se tiene lo siguiente:

$$C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2} \quad (19)$$

A.1. Altura de cumbrera de 8m. con ángulo de ataque de 0°

Los valores para el cálculo del coeficiente de arrastre son los siguientes:

La fuerza de arrastre se obtuvo del software, donde $F_d = 150.859 \text{ KN} = 150859 \text{ N}$

Para la densidad del viento se tiene $\rho = 1.214 \text{ kg}/\text{m}^3$

Para la velocidad del viento se tiene $v = 26.4 \text{ m/s}$

El área de referencia con respecto a la cara en barlovento se considera como la suma de las áreas de un triángulo y un rectángulo, donde se tiene $A = \frac{(b)(h)}{2} + (b)(h)$

$$A = \frac{(30)(8)}{2} + (30)(7.5)$$

$$A = 345 \text{ m}^2$$

Con los valores anteriormente hallados reemplazamos en la ecuación, obteniéndose el coeficiente de arrastre para ese perfil:

$$C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2}$$

$$C_d = \frac{(150859)(2)}{(1.214)(345)(26.4)^2}$$

$$C_d = \frac{301718}{291907.7568}$$

$$C_d = 1.034$$

A.2. Altura de cumbrera de 5m. con ángulo de ataque de 0°

Los valores para el cálculo del coeficiente de arrastre son los siguientes:

La fuerza de arrastre se obtuvo del software, donde $F_d = 136.261 \text{ KN} = 136261 \text{ N}$

Para la densidad del viento se tiene $\rho = 1.214 \text{ kg}/\text{m}^3$

Para la velocidad del viento se tiene $v = 26.4 \text{ m/s}$

El área de referencia con respecto a la cara en barlovento se considera como la suma de las áreas de un triángulo y un rectángulo, donde se tiene $A = \frac{(b)(h)}{2} + (b)(h)$

$$A = \frac{(30)(5)}{2} + (30)(7.5)$$

$$A = 300 \text{ m}^2$$

Con los valores anteriormente hallados reemplazamos en la ecuación, obteniéndose el coeficiente de arrastre para ese perfil:

$$C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2}$$

$$C_d = \frac{(136261)(2)}{(1.214)(300)(26.4)^2}$$

$$C_d = \frac{2732522}{253832.832}$$

$$C_d = 1.073$$

A.3. Altura de cumbrera de 2m. con ángulo de ataque de 0°

Los valores para el cálculo del coeficiente de arrastre son los siguientes:

La fuerza de arrastre se obtuvo del software, donde $F_d = 127.355 \text{ KN} = 127355 \text{ N}$

Para la densidad del viento se tiene $\rho = 1.214 \text{ kg/m}^3$

Para la velocidad del viento se tiene $v = 26.4 \text{ m/s}$

El área de referencia con respecto a la cara en barlovento se considera como la suma de las áreas de un triángulo y un rectángulo, donde se tiene $A = \frac{(b)(h)}{2} + (b)(h)$

$$A = \frac{(30)(2)}{2} + (30)(7.5)$$

$$A = 255 \text{ m}^2$$

Con los valores anteriormente hallados reemplazamos en la ecuación, obteniéndose el coeficiente de arrastre para ese perfil:

$$C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2}$$

$$C_d = \frac{(127355)(2)}{(1.214)(255)(26.4)^2}$$

$$C_d = \frac{254710}{215757.9072}$$

$$C_d = 1.180$$

Tabla 11

Resumen de Fuerza y Coeficiente de Arrastre para Ángulo de Ataque de 0°, a dos aguas

| Altura de cumbrera | Densidad (ρ); kg/m ³ | Velocidad del viento (v); m/s | Área (A); m ² | Fuerza de arrastre $F_d = \frac{1}{2}(C_d)(\rho)(A)(v)^2$; Kn | Coeficiente de arrastre $C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2}$ |
|--------------------|---|--------------------------------------|---------------------------------|---|---|
| 8 m. | 1.214 | 26.4 | 345 | 150.859 | 1.034 |
| 5 m. | | | 300 | 136.261 | 1.073 |
| 2 m. | | | 255 | 127.355 | 1.180 |

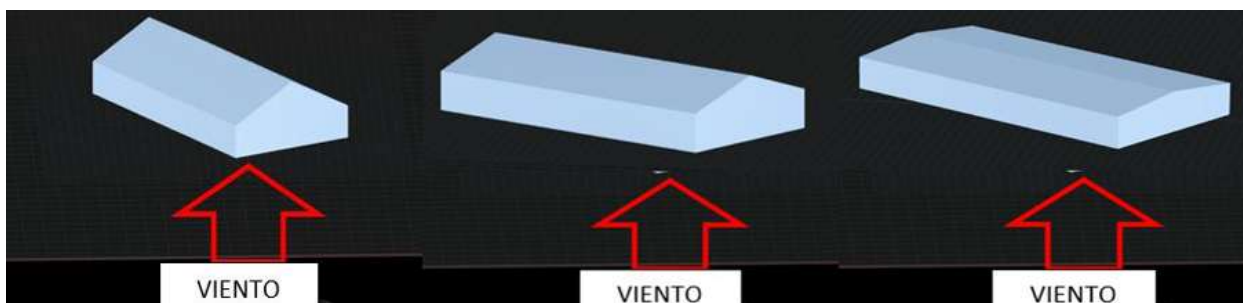
Nota. Autoría propia.

4.3.2.1. Techo a dos aguas con acción del viento a 30°

En la siguiente figura se puede ver la cara donde incide la acción del viento con ángulo de ataque de 30° a diferentes alturas de cumbrera (8, 5 y 2m), donde se detallan los puntos de prueba de las presiones a las que se encuentra sometida la estructura.

Figura 35

Dirección del Viento a 30° en Diferentes alturas de Cumbrera, de izquierda a derecha, 8m, 5m y 2m



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlupal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

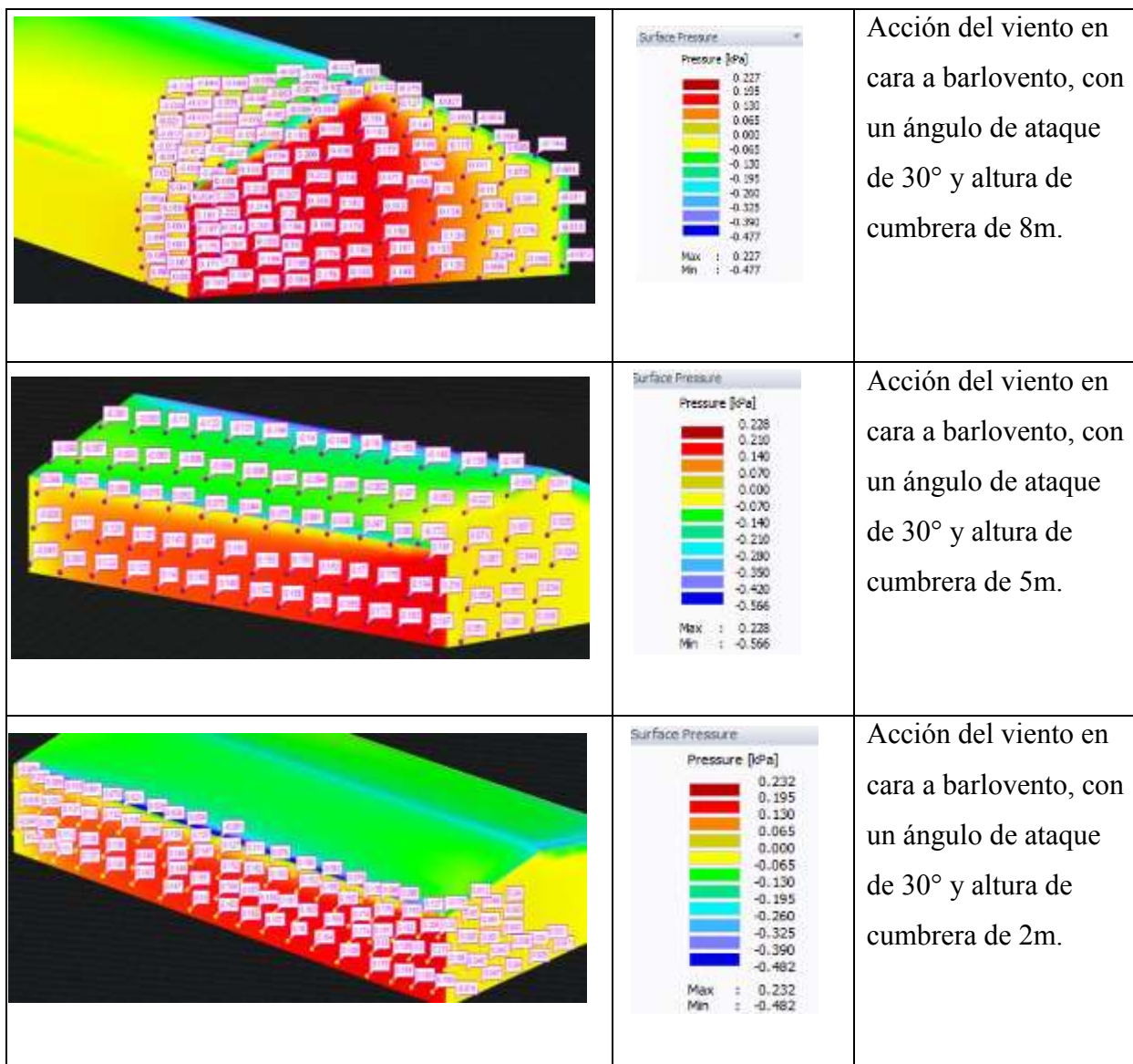
4.3.2.1.1. Presión del viento en cara a barlovento a 30°

Se harán los cálculos con la incidencia del viento en cara a barlovento, con un ángulo de ataque del viento de 30°. Se generaron 70 puntos de prueba para el estudio de las presiones, en donde se puede observar los puntos máximos y mínimos de presión por empuje (presión positiva) y succión (presión negativa) generadas por la fuerza del viento en la cara a barlovento.

En la figura 36 se puede ver los valores las presiones máximas y mínimas a las que está sometida la estructura.

Figura 36

Presiones del Viento en cara a Barlovento



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

4.3.2.1.2. Velocidad del viento en cara a barlovento a 30°

La incidencia de la velocidad del viento en la cara a barlovento, se colocan los setenta puntos de estudio. En las figuras 37, 38 y 39 se puede ver los puntos de estudio para las distintas alturas de cumbrera de 8, 5 y 2m.

Figura 37

Velocidades del Viento en cara a Barlovento, con altura de Cumbrera de 8m



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

Figura 38

Velocidades del Viento en cara a Barlovento, con altura de Cumbrera de 5m

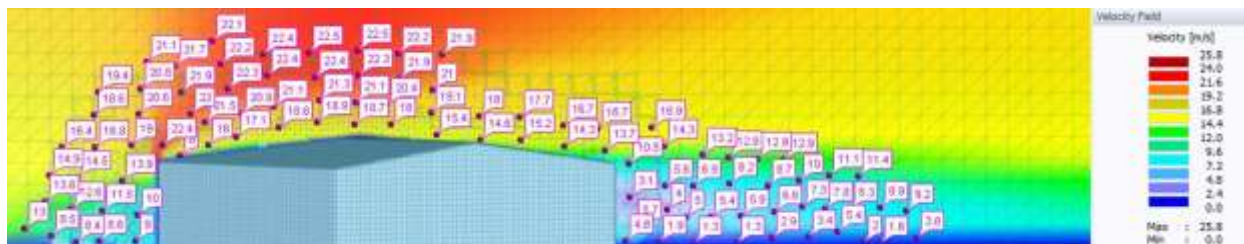


Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

Figura 39

Velocidades del Viento en cara a Barlovento, con altura de Cumbre de 2m



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

4.3.2.1.3. *Coefficiente de presión del viento en cara a barlovento a 30°*

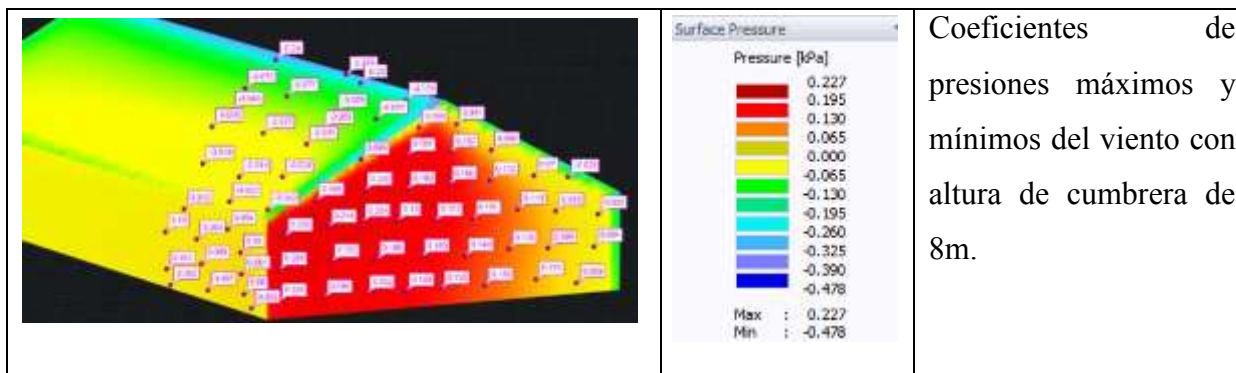
En la figura 40 se puede apreciar los coeficientes de presiones máximos y mínimos del viento a los que está sometido la estructura en sus diferentes alturas de cumbre (8, 5 y 2m.), los cuales inciden en la cara a barlovento.

En la figura 41 se puede ver la incidencia del viento en la cara a barlovento, con un ángulo de ataque de 30° con respecto al eje de la estructura en las diferentes alturas de cumbre (8, 5 y 2m.)

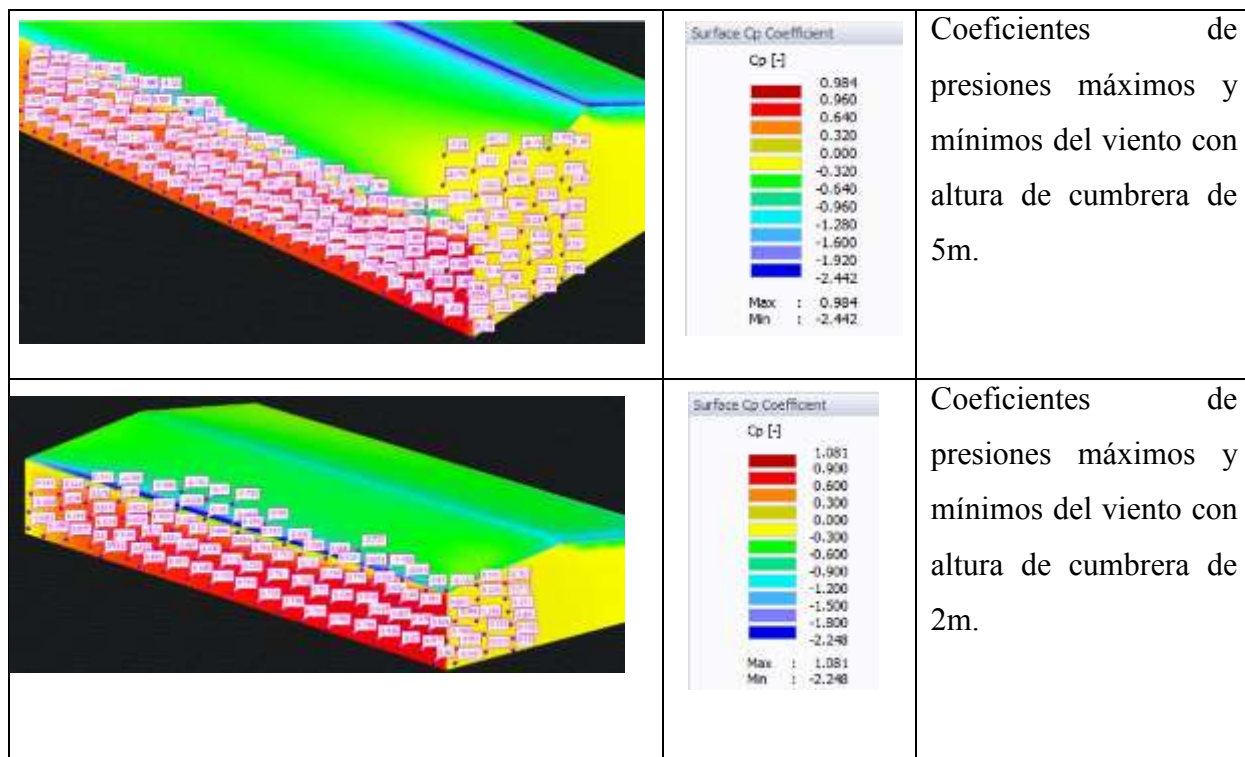
En la figura 42 se presenta la fuerza de arrastre a la que está sometida la estructura según la incidencia del viento en la cara a barlovento.

Figura 40

Coefficientes de Presión del Viento en cara a Barlovento



Coefficientes de presiones máximos y mínimos del viento con altura de cumbre de 8m.

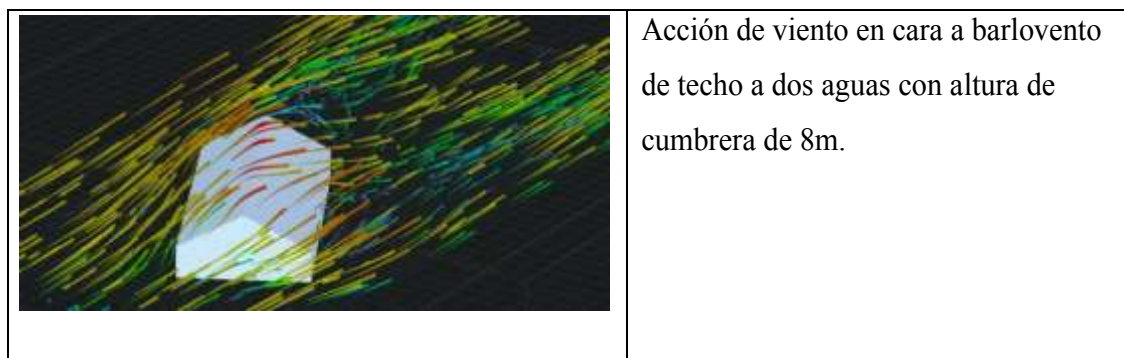


Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlupal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

Figura 41

Incidencia del Viento en cara a Barlovento



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlupal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

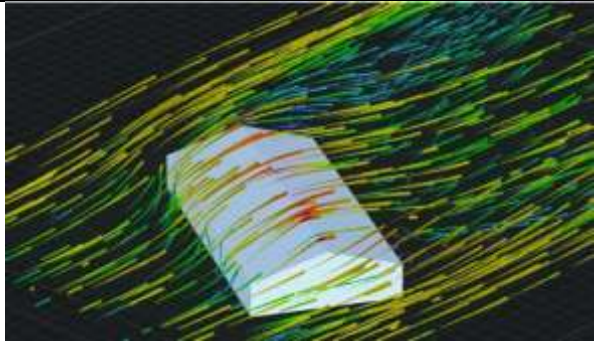
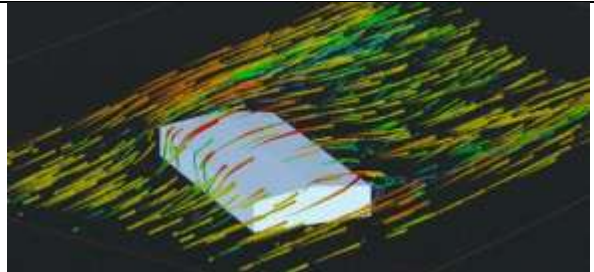
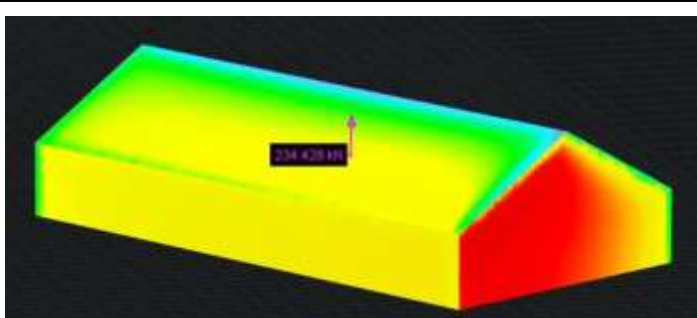
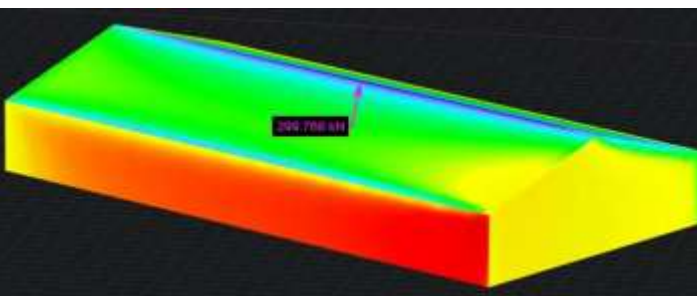
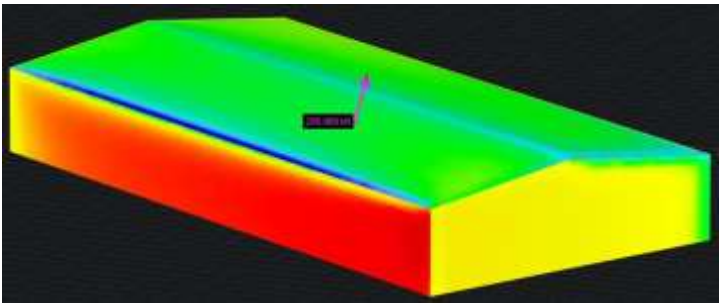
| | |
|---|---|
|  | <p>Acción de viento en cara a barlovento de techo a dos aguas con altura de cumbrera de 5m.</p> |
|  | <p>Acción de viento en cara a barlovento de techo a dos aguas con altura de cumbrera de 2m.</p> |

Figura 42

Fuerza de Arrastre del Viento en Techo a dos Aguas

| | |
|---|--|
|  | <p>Fuerza de arrastre del viento de 234.428 Kn en cara a barlovento con ángulo de ataque de 30°, con altura de cumbrera de 8m.</p> |
|  | <p>Fuerza de arrastre del viento de 299.766 Kn en cara a barlovento con ángulo de ataque de 30°, con altura de cumbrera de 5m.</p> |

| | |
|---|--|
|  | <p>Fuerza de arrastre del viento de 256.969 Kn en cara a barlovento con ángulo de ataque de 30°, con altura de cumbrera de 2m.</p> |
|---|--|

Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

4.3.2.1.4. Coeficiente de arrastre del viento a 30°

Con la fuerza de arrastre (F_d) hallado por el software, se procederá a calcular el coeficiente de arrastre (C_d) a la que está sometida la estructura para las distintas alturas de cumbrera de 8m., 5m. y 2m., de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$F_d = \frac{1}{2} (C_d)(\rho)(A)(v)^2 \quad (20)$$

Donde:

C_d = Coeficiente de arrastre

ρ = densidad del fluido; kg/m^3

A = área de referencia; m^2

v = velocidad del flujo relativo al objeto; m/s

Reordenando la formula anterior se tiene lo siguiente:

$$C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2} \quad (21)$$

A.1. Altura de cumbrera de 8m. con ángulo de ataque de 30°

Los valores para el cálculo del coeficiente de arrastre son los siguientes:

La fuerza de arrastre se obtuvo del software, donde $F_d = 234.428 KN = 234428N$

Para la densidad del viento se tiene $\rho = 1.214 kg/m^3$

Para la velocidad del viento se tiene $v = 26.4 m/s$

El área de referencia con respecto a la cara en barlovento se considera como la suma de las áreas de un triángulo y los rectángulos, donde se tiene

$$A = \frac{(b)(h)}{2} + (b)(h) + (b1)(h1)$$

$$A = \frac{(30)(8)}{2} + (30)(7.5) + (60)(7.5)$$

$$A = 795m^2$$

Con los valores anteriormente hallados reemplazamos en la ecuación, obteniéndose el coeficiente de arrastre para ese perfil:

$$C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2}$$

$$C_d = \frac{(234428)(2)}{(1.214)(795)(26.4)^2}$$

$$C_d = \frac{468856}{672657.0048}$$

$$C_d = 0.697$$

A.2. Altura de cumbrera de 5m. con ángulo de ataque de 30°

Los valores para el cálculo del coeficiente de arrastre son los siguientes:

La fuerza de arrastre se obtuvo del software, donde $F_d = 299.766 \text{ KN} = 299766 \text{ N}$

Para la densidad del viento se tiene $\rho = 1.214 \text{ kg}/m^3$

Para la velocidad del viento se tiene $v = 26.4 \text{ m/s}$

El área de referencia con respecto a la cara en barlovento se considera como la suma de las áreas de un triángulo y los rectángulos, donde se tiene

$$A = \frac{(b)(h)}{2} + (b)(h) + (b1)(h1)$$

$$A = \frac{(30)(5)}{2} + (30)(7.5) + (60)(7.5)$$

$$A = 750m^2$$

Con los valores anteriormente hallados reemplazamos en la ecuación, obteniéndose el coeficiente de arrastre para ese perfil:

$$C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2}$$

$$C_d = \frac{(136261)(2)}{(1.214)(750)(26.4)^2}$$

$$C_d = \frac{272522}{634582.08}$$

$$C_d = 0.429$$

A.3. Altura de cumbrera de 2m. con ángulo de ataque de 30°

Los valores para el cálculo del coeficiente de arrastre son los siguientes:

La fuerza de arrastre se obtuvo del software, donde $F_d = 256.969 \text{ KN} = 256969 \text{ N}$

Para la densidad del viento se tiene $\rho = 1.214 \text{ kg}/\text{m}^3$

Para la velocidad del viento se tiene $v = 26.4 \text{ m/s}$

El área de referencia con respecto a la cara en barlovento se considera como la suma de las áreas de un triángulo y los rectángulos, donde se tiene

$$A = \frac{(b)(h)}{2} + (b)(h) + (b_1)(h_1)$$

$$A = \frac{(30)(2)}{2} + (30)(7.5) + (60)(7.5)$$

$$A = 705 \text{ m}^2$$

Con los valores anteriormente hallados reemplazamos en la ecuación, obteniéndose el coeficiente de arrastre para ese perfil:

$$C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2}$$

$$C_d = \frac{(256969)(2)}{(1.214)(705)(26.4)^2}$$

$$C_d = \frac{513938}{596507.155}$$

$$C_d = 0.861$$

Tabla 12

Resumen de Fuerza y Coeficiente de Arrastre para ángulo de ataque de 30°, a dos aguas.

| Altura de cumbrera | Densidad (ρ); kg/m^3 | Velocidad del viento (v); m/s | Área (A); m^2 | Fuerza de arrastre $F_d = \frac{1}{2}(C_d)(\rho)(A)(v)^2$; Kn | Coeficiente de arrastre $C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2}$; Kn |
|--------------------|---|--|----------------------------|---|--|
| 8 m. | 1.214 | 26.4 | 795 | 234.423 | 0.697 |
| 5 m. | | | 750 | 299.766 | 0.429 |
| 2 m. | | | 705 | 256.969 | 0.861 |

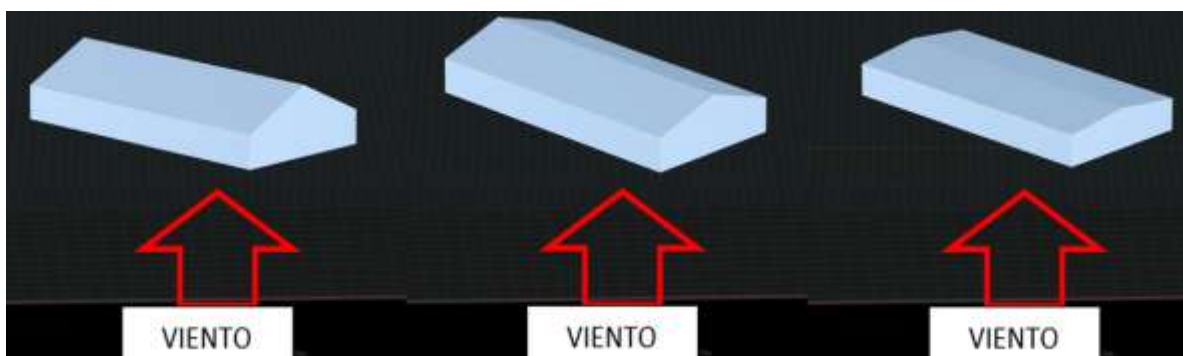
Nota. Autoría propia.

4.3.3.1. Techo a dos aguas con acción del viento a 45°

En la siguiente figura se puede ver la cara donde incide la acción del viento con ángulo de ataque de 45° a diferentes alturas de cumbrera (8, 5 y 2m), donde se detallan los puntos de prueba de las presiones a las que se encuentra sometida la estructura.

Figura 43

Dirección del Viento a 45° en diferentes Alturas de Cumbrera, de izquierda a derecha, 8m, 5m y 2m



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlupal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

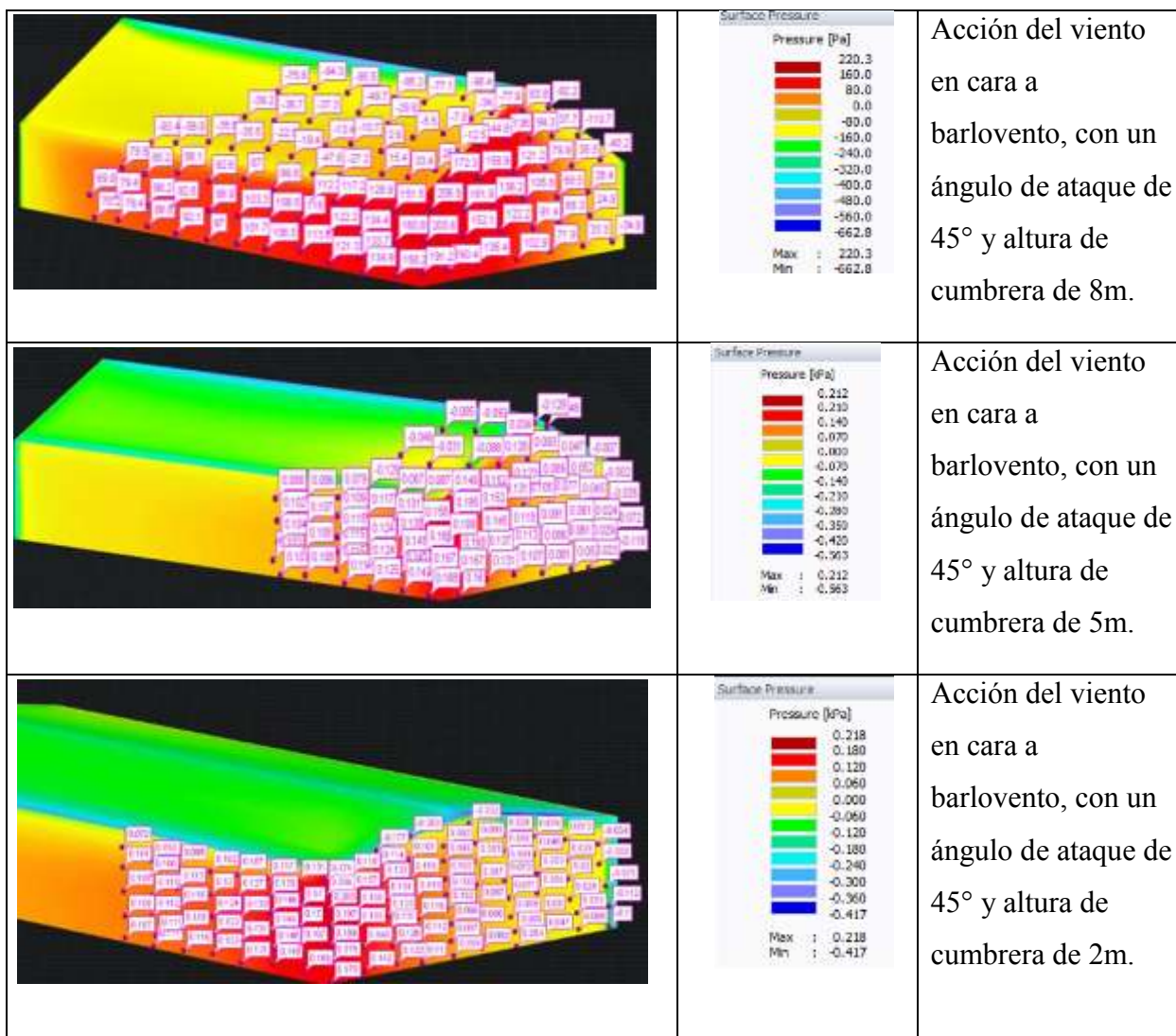
4.3.3.1.1. Presión del viento en cara a barlovento a 45°

Se harán los cálculos con la incidencia del viento en cara a barlovento, con un ángulo de ataque del viento de 45°. Se generaron 70 puntos de prueba para el estudio de las presiones, en donde se puede observar los puntos máximos y mínimos de presión por empuje (presión positiva) y succión (presión negativa) generadas por la fuerza del viento en la cara a barlovento.

En la figura 44 se puede ver los valores las presiones máximas y mínimas a las que está sometida la estructura.

Figura 44

Presiones del Viento en cara a Barlovento



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlupal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

4.3.3.1.2. Velocidad del viento en cara a barlovento a 45°

La incidencia de la velocidad del viento en la cara a barlovento, se colocan los setenta puntos de estudio. En las figuras 45, 46 y 47 se puede ver los puntos de estudio para las distintas alturas de cumbrera de 8, 5 y 2m.

Figura 45

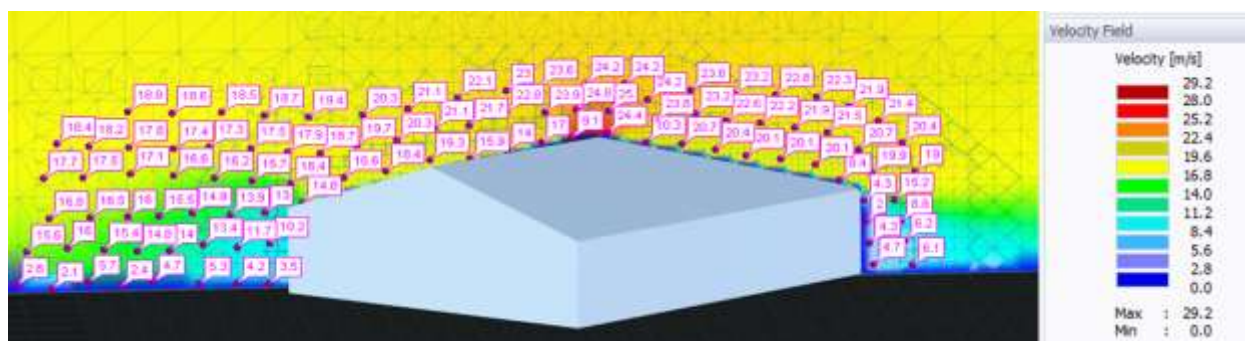
Velocidad del Viento en cara a Barlovento, con ángulo de ataque de 45° y altura de cumbrera de 8m



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento (<https://www.dlupal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

Figura 46

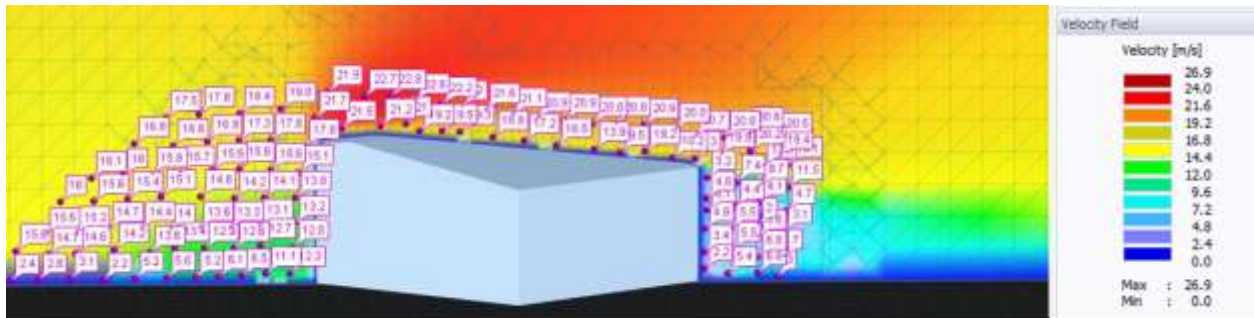
Velocidad del Viento en cara a Barlovento, con ángulo de ataque de 45° y altura de cumbrera de 5m



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento (<https://www.dlupal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

Figura 47

Velocidad del Viento en cara a Barlovento, con ángulo de ataque de 45° y altura de cumbrera de 2m



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlupal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

4.3.3.1.3. Coeficiente de presión del viento en cara a barlovento a 45°

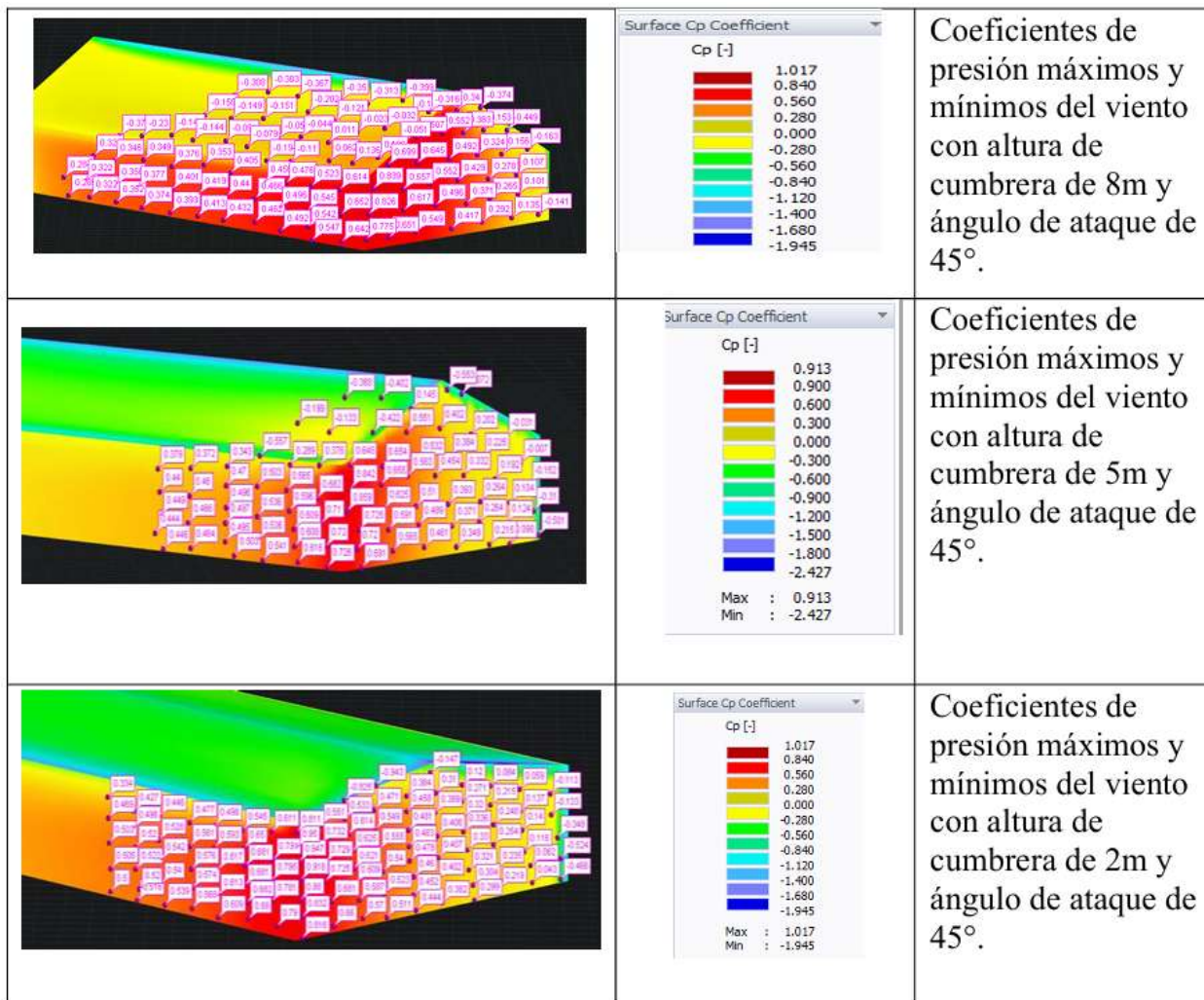
En la figura 48 se puede apreciar los coeficientes de presiones máximos y mínimos del viento a los que está sometido la estructura en sus diferentes alturas de cumbrera (8, 5 y 2m.), los cuales inciden en la cara a barlovento.

En la figura 49 se puede ver la incidencia del viento en la cara a barlovento, con un ángulo de ataque de 45° con respecto al eje de la estructura en las diferentes alturas de cumbrera (8, 5 y 2m.)

En la figura 50 se presenta la fuerza de arrastre a la que está sometida la estructura según la incidencia del viento en la cara a barlovento.

Figura 48

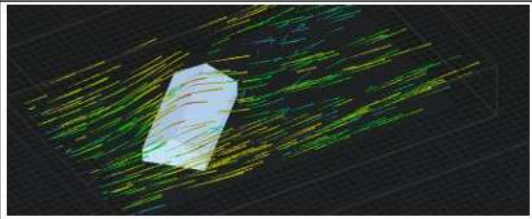
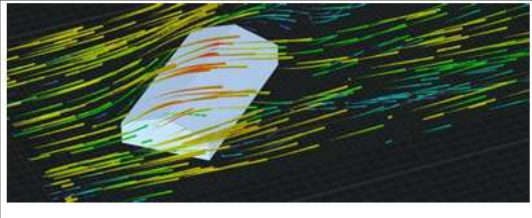

Coefficientes de Presión del Viento en cara a Barlovento



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

Figura 49*Incidencia del Viento en cara a Barlovento*

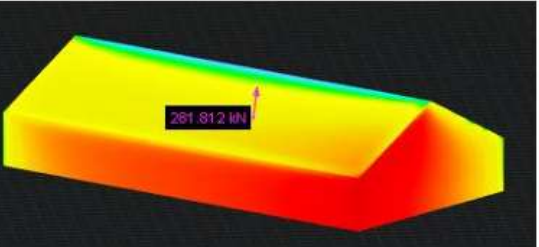
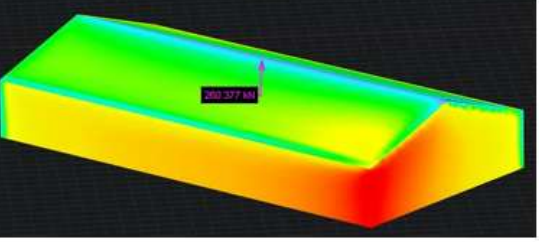
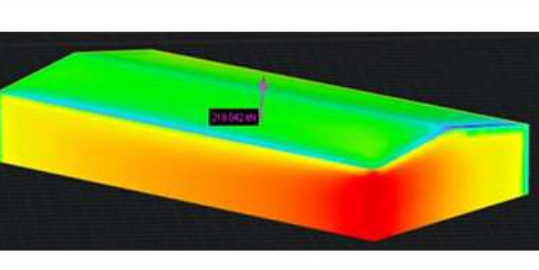
| | |
|--|---|
|  | <p>Acción de viento en cara a barlovento, con techo a dos aguas con altura de cumbrera de 8m.</p> |
|  | <p>Acción de viento en cara a barlovento, con techo a dos aguas con altura de cumbrera de 5m.</p> |
|  | <p>Acción de viento en cara a barlovento, con techo a dos aguas con altura de cumbrera de 2m.</p> |

Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlupal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

Figura 50

Fuerza de arrastre del Viento en Techo a dos Aguas

| | |
|--|--|
|  | <p>Fuerza de arrastre del viento de 281.812 Kn en cara a barlovento con ángulo de ataque de 45°, con altura de cumbrera de 8m.</p> |
|  | <p>Fuerza de arrastre del viento de 260.377 Kn en cara a barlovento con ángulo de ataque de 45°, con altura de cumbrera de 5m.</p> |
|  | <p>Fuerza de arrastre del viento de 219.042 Kn en cara a barlovento con ángulo de ataque de 45°, con altura de cumbrera de 2m.</p> |

Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

4.3.3.1.4. *Coefficiente de arrastre del viento a 45°*

Con la fuerza de arrastre (F_d) hallado por el software, se procederá a calcular el coeficiente de arrastre (C_d) a la que está sometida la estructura para las distintas alturas de cumbrera de 8m., 5m. y 2m., de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$F_d = \frac{1}{2} (C_d)(\rho)(A)(v)^2 \quad (22)$$

Donde:

C_d = Coeficiente de arrastre

ρ = densidad del fluido; kg/m^3

$A = \text{área de referencia; } m^2$

$v = \text{velocidad del flujo relativo al objeto; } m/s$

Reordenando la formula anterior se tiene lo siguiente:

$$C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2} \quad (23)$$

A.1. Altura de cumbrera de 8m. con ángulo de ataque de 45°

Los valores para el cálculo del coeficiente de arrastre son los siguientes:

La fuerza de arrastre se obtuvo del software, donde $F_d = 281.812 \text{ KN} = 281812 \text{ N}$

Para la densidad del viento se tiene $\rho = 1.214 \text{ kg}/m^3$

Para la velocidad del viento se tiene $v = 26.4 \text{ m/s}$

El área de referencia con respecto a la cara en barlovento se considera como la suma de las áreas de un triángulo y los rectángulos, donde se tiene

$$A = \frac{(b)(h)}{2} + (b)(h) + (b_1)(h_1)$$

$$A = \frac{(30)(8)}{2} + (30)(7.5) + (60)(7.5)$$

$$A = 795 \text{ m}^2$$

Con los valores anteriormente hallados reemplazamos en la ecuación, obteniéndose el coeficiente de arrastre para ese perfil:

$$C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2}$$

$$C_d = \frac{(281812)(2)}{(1.214)(795)(26.4)^2}$$

$$C_d = \frac{563624}{672657.0048}$$

$$C_d = 0.838$$

A.2. Altura de cumbrera de 5m. con ángulo de ataque de 45°

Los valores para el cálculo del coeficiente de arrastre son los siguientes:

La fuerza de arrastre se obtuvo del software, donde $F_d = 260.377 \text{ KN} = 260377 \text{ N}$

Para la densidad del viento se tiene $\rho = 1.214 \text{ kg}/m^3$

Para la velocidad del viento se tiene $v = 26.4 \text{ m/s}$

El área de referencia con respecto a la cara en barlovento se considera como la suma de las áreas de un triángulo y los rectángulos, donde se tiene

$$A = \frac{(b)(h)}{2} + (b)(h) + (b1)(h1)$$

$$A = \frac{(30)(5)}{2} + (30)(7.5) + (60)(7.5)$$

$$A = 750m^2$$

Con los valores anteriormente hallados reemplazamos en la ecuación, obteniéndose el coeficiente de arrastre para ese perfil:

$$C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2}$$

$$C_d = \frac{(260377)(2)}{(1.214)(750)(26.4)^2}$$

$$C_d = \frac{520754}{634582.08}$$

$$C_d = 0.820$$

A.3. Altura de cumbrera de 2m. con ángulo de ataque de 45°

Los valores para el cálculo del coeficiente de arrastre son los siguientes:

La fuerza de arrastre se obtuvo del software, donde $F_d = 219.042 \text{ KN} = 219042 \text{ N}$

Para la densidad del viento se tiene $\rho = 1.214 \text{ kg}/m^3$

Para la velocidad del viento se tiene $v = 26.4 \text{ m/s}$

El área de referencia con respecto a la cara en barlovento se considera como la suma de las áreas de un triángulo y los rectángulos, donde se tiene

$$A = \frac{(b)(h)}{2} + (b)(h) + (b1)(h1)$$

$$A = \frac{(30)(2)}{2} + (30)(7.5) + (60)(7.5)$$

$$A = 705m^2$$

Con los valores anteriormente hallados reemplazamos en la ecuación, obteniéndose el coeficiente de arrastre para ese perfil:

$$C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2}$$

$$C_d = \frac{(219042)(2)}{(1.214)(705)(26.4)^2}$$

$$C_d = \frac{438084}{596507.155}$$

$$C_d = 0.734$$

Tabla 13

Resumen de Fuerza y Coeficiente de Arrastre para ángulo de ataque de 45°, a dos aguas.

| Altura de cubriera | Densidad (ρ); kg/m ³ | Velocidad del viento (v); m/s | Área (A); m ² | Fuerza de arrastre $F_d = \frac{1}{2}(C_d)(\rho)(A)(v)^2$; Kn | Coeficiente de arrastre $C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2}$ |
|-----------------------|---|--------------------------------------|---------------------------------|---|---|
| 8 m. | 1.214 | 26.4 | 795 | 281.812 | 0.838 |
| 5 m. | | | 750 | 260.377 | 0.820 |
| 2 m. | | | 705 | 219.042 | 0.734 |

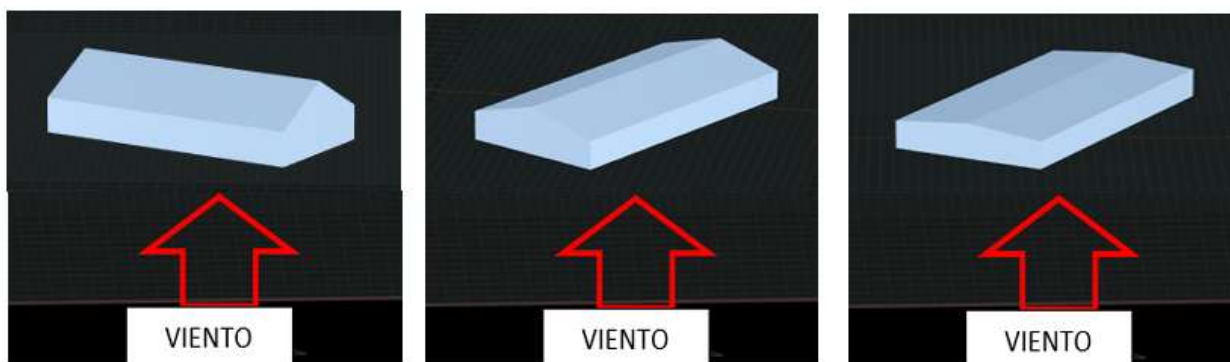
Nota. Autoría propia.

4.3.4.1. Techo a dos aguas con acción del viento a 60°

En la siguiente figura se puede ver la cara donde incide la acción del viento con ángulo de ataque de 60° a diferentes alturas de cubriera (8, 5 y 2m), donde se detallan los puntos de prueba de las presiones a las que se encuentra sometida la estructura.

Figura 51

Dirección del Viento a 60° en diferentes alturas de cubriera, de izquierda a derecha, 8m, 5m y 2m



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlupal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

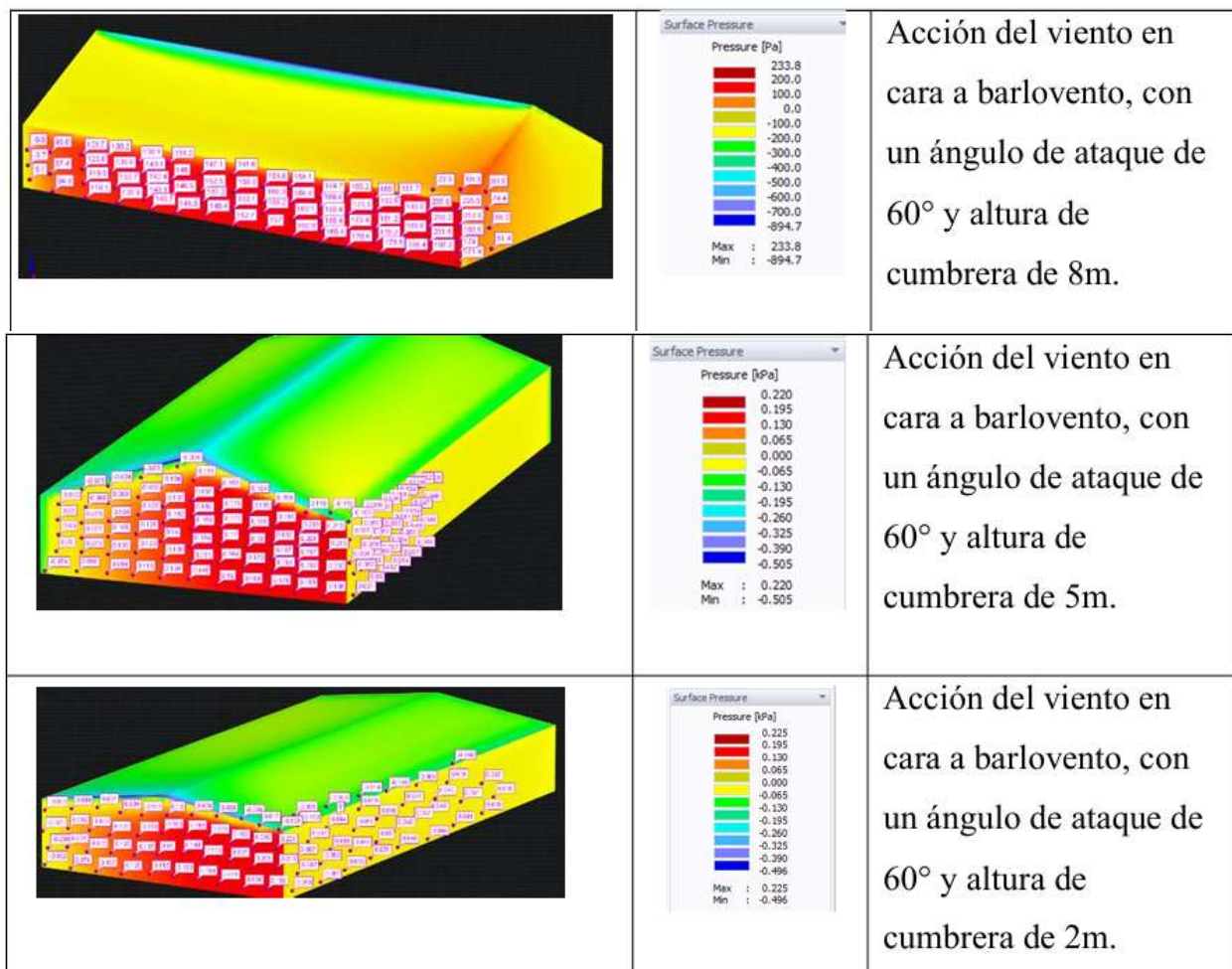
4.3.4.1.1. Presión del viento en cara a barlovento a 60°

Se harán los cálculos con la incidencia del viento en cara a barlovento, con un ángulo de ataque del viento de 60°. Se generaron 70 puntos de prueba para el estudio de las presiones, en donde se puede observar los puntos máximos y mínimos de presión por empuje (presión positiva) y succión (presión negativa) generadas por la fuerza del viento en la cara a barlovento.

En la figura 52 se puede ver los valores las presiones máximas y mínimas a las que está sometida la estructura.

Figura 52

Presiones del Viento en cara a Barlovento



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

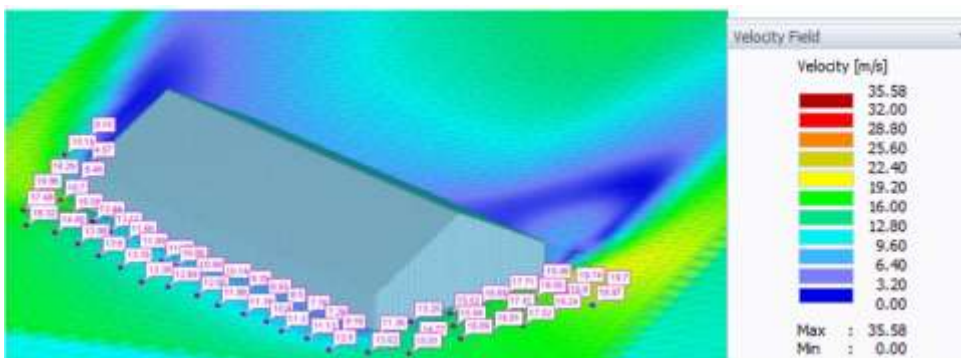
(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

4.3.4.1.2. *Velocidad del viento en cara a barlovento a 60°*

La incidencia de la velocidad del viento en la cara a barlovento, se colocan los setenta puntos de estudio. En las figuras 53, 54 y 55 se puede ver los puntos de estudio para las distintas alturas de cumbrera de 8, 5 y 2m.

Figura 53

Velocidad del Viento en cara a Barlovento, con ángulo de ataque de 60° y altura de cumbrera de 8m

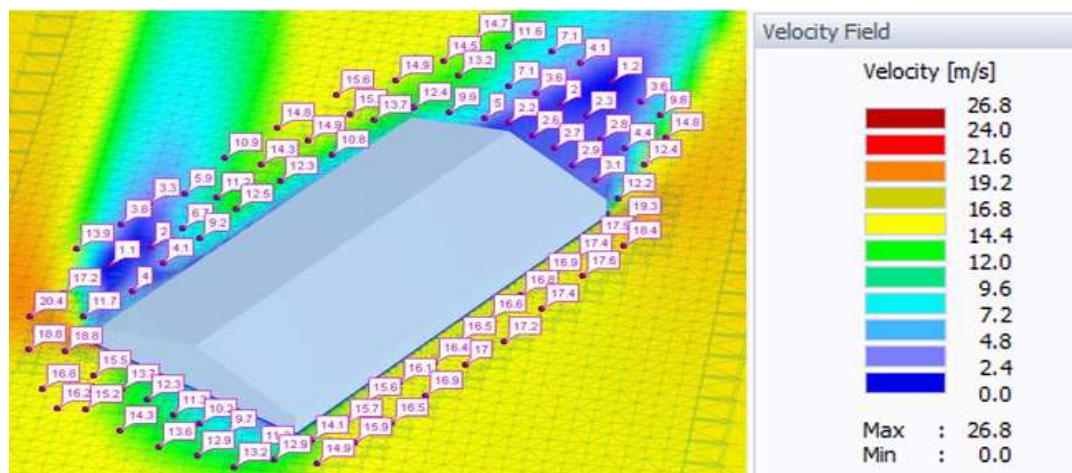


Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

Figura 54

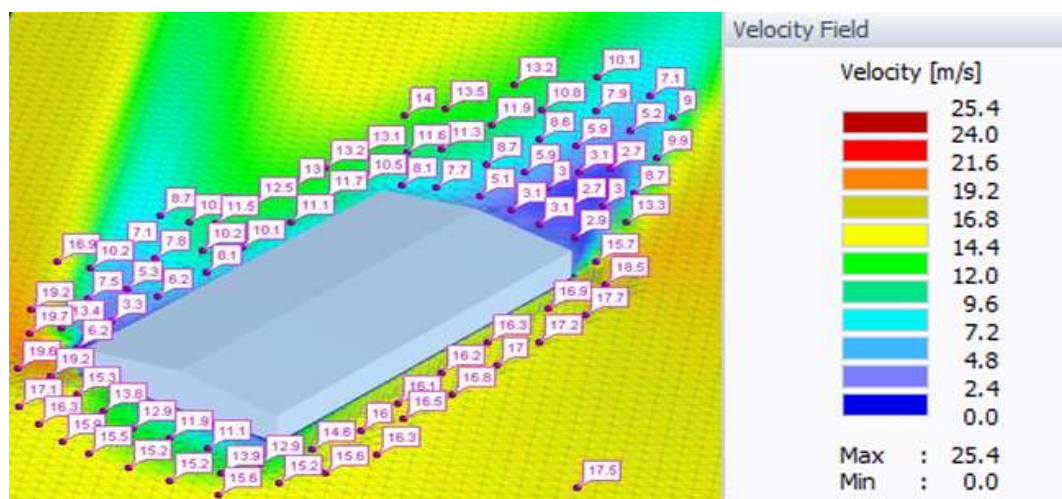
Velocidad del Viento en cara a Barlovento, con ángulo de ataque de 60° y altura de cumbrera de 5m



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento (<https://www.dlupal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

Figura 55

Velocidad del Viento en cara a Barlovento, con ángulo de ataque de 60° y altura de cumbrera de 2m



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlupal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

4.3.4.1.3. Coeficiente de presión del viento en cara a barlovento a 60°

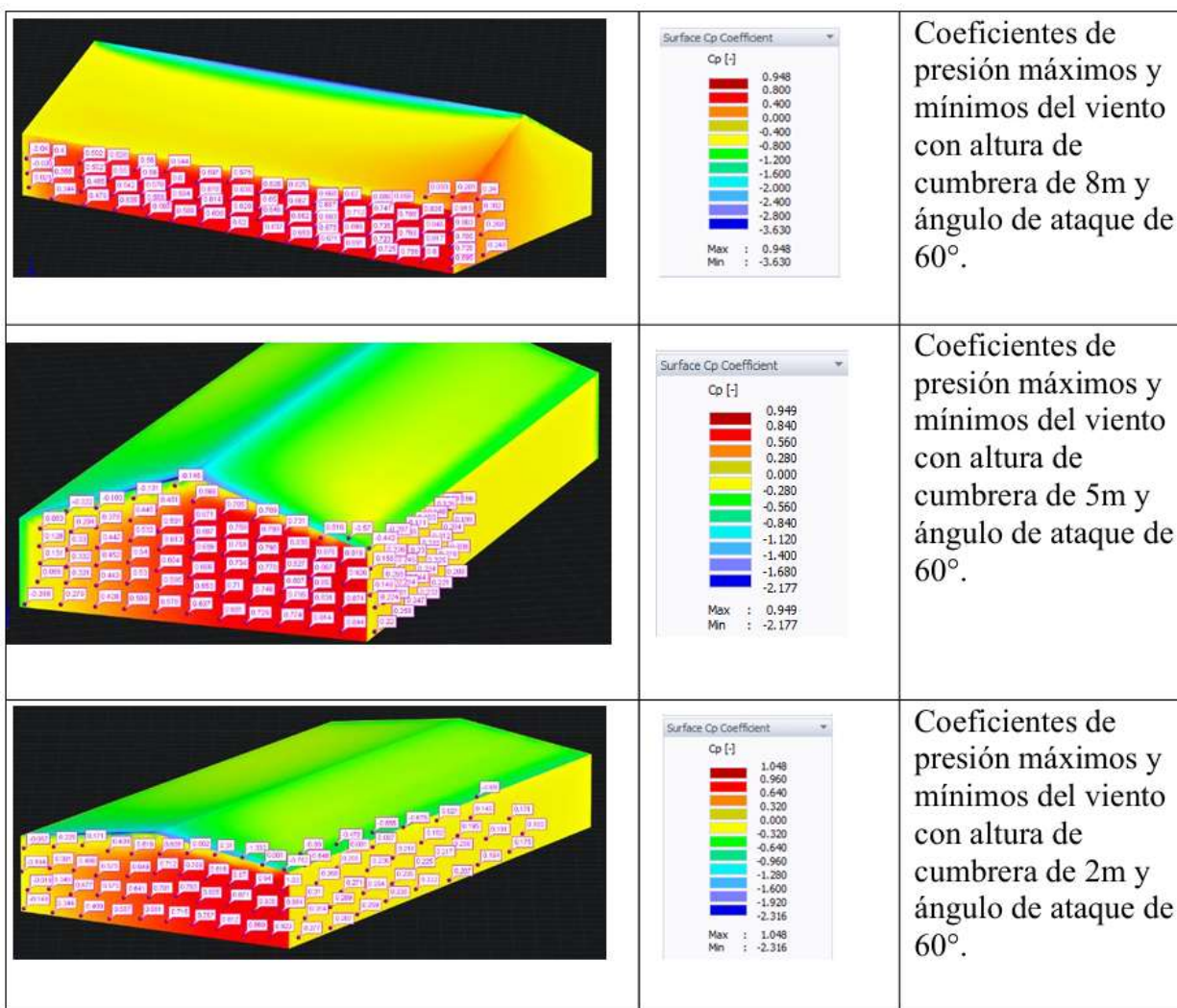
En la figura 56 se puede apreciar los coeficientes de presiones máximos y mínimos del viento a los que está sometido la estructura en sus diferentes alturas de cumbrera (8, 5 y 2m.), los cuales inciden en la cara a barlovento.

En la figura 57 se puede ver la incidencia del viento en la cara a barlovento, con un ángulo de ataque de 60° con respecto al eje de la estructura en las diferentes alturas de cumbrera (8, 5 y 2m.)

En la figura 58 se presenta la fuerza de arrastre a la que está sometida la estructura según la incidencia del viento en la cara a barlovento.

Figura 56

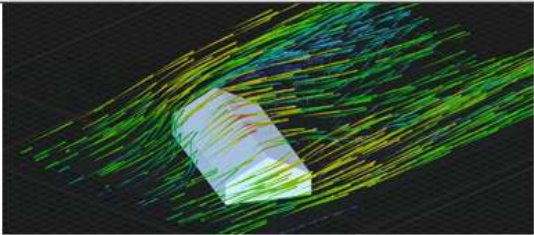
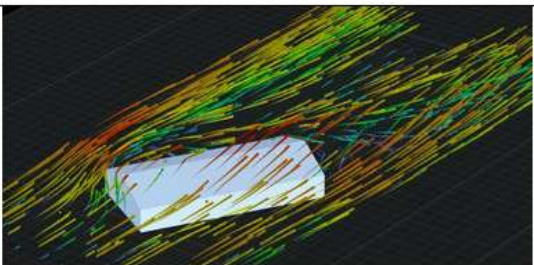
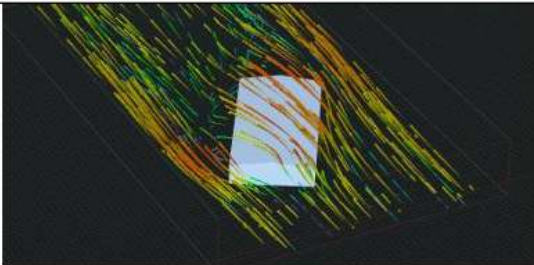
Coefficientes de Presión del Viento en cara a Barlovento



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

Figura 57*Incidencia del Viento en cara a Barlovento*

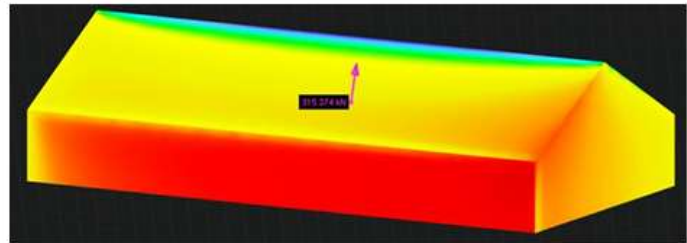
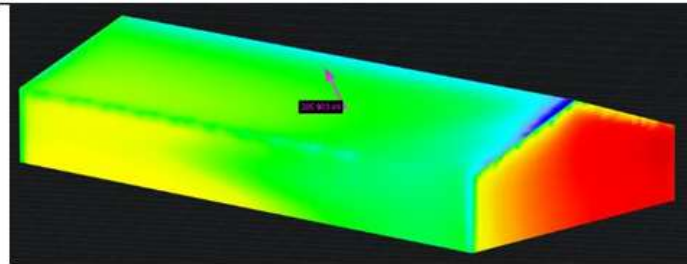
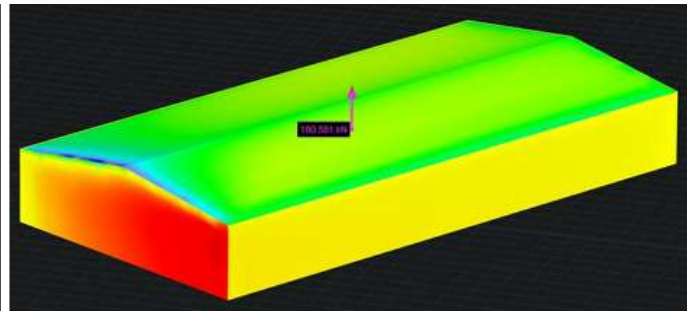
| | |
|--|---|
|  | <p>Acción de viento en cara a barlovento, con techo a dos aguas con altura de cumbrera de 8m.</p> |
|  | <p>Acción de viento en cara a barlovento, con techo a dos aguas con altura de cumbrera de 5m.</p> |
|  | <p>Acción de viento en cara a barlovento, con techo a dos aguas con altura de cumbrera de 2m.</p> |

Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlupal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

Figura 58

Fuerza de Arrastre del Viento en techo a dos Aguas

| | |
|--|--|
|  | <p>Fuerza de arrastre del viento de 315.274 Kn en cara a barlovento con ángulo de ataque de 60°, con altura de cumbrera de 8m.</p> |
|  | <p>Fuerza de arrastre del viento de 205.983 Kn en cara a barlovento con ángulo de ataque de 60°, con altura de cumbrera de 5m.</p> |
|  | <p>Fuerza de arrastre del viento de 180.581 Kn en cara a barlovento con ángulo de ataque de 60°, con altura de cumbrera de 2m.</p> |

Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

4.3.4.1.4. Coeficiente de arrastre del viento a 60°

Con la fuerza de arrastre (F_d) hallado por el software, se procederá a calcular el coeficiente de arrastre (C_d) a la que está sometida la estructura para las distintas alturas de cumbrera de 8m., 5m. y 2m., de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$F_d = \frac{1}{2} (C_d)(\rho)(A)(v)^2 \quad (24)$$

Donde:

$C_d =$ Coeficiente de arrastre

$\rho =$ densidad del fluido; kg/m^3

$A =$ área de referencia; m^2

$v =$ velocidad del flujo relativo al objeto; m/s

Reordenando la formula anterior se tiene lo siguiente:

$$C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2} \quad (25)$$

A.1. Altura de cumbrera de 8m. con ángulo de ataque de 60°

Los valores para el cálculo del coeficiente de arrastre son los siguientes:

La fuerza de arrastre se obtuvo del software, donde $F_d = 315.274 \text{ KN} = 315274 \text{ N}$

Para la densidad del viento se tiene $\rho = 1.214 \text{ kg}/m^3$

Para la velocidad del viento se tiene $v = 26.4 \text{ m}/s$

El área de referencia con respecto a la cara en barlovento se considera como la suma de las áreas de un triángulo y los rectángulos, donde se tiene

$$A = \frac{(b)(h)}{2} + (b)(h) + (b1)(h1)$$

$$A = \frac{(30)(8)}{2} + (30)(7.5) + (60)(7.5)$$

$$A = 795m^2$$

Con los valores anteriormente hallados reemplazamos en la ecuación, obteniéndose el coeficiente de arrastre para ese perfil:

$$C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2}$$

$$C_d = \frac{(315274)(2)}{(1.214)(795)(26.4)^2}$$

$$C_d = \frac{630548}{672657.0048}$$

$$C_d = 0.937$$

A.2. Altura de cumbrera de 5m. con ángulo de ataque de 60°

Los valores para el cálculo del coeficiente de arrastre son los siguientes:

La fuerza de arrastre se obtuvo del software, donde $F_d = 205.983 \text{ KN} = 205983 \text{ N}$

Para la densidad del viento se tiene $\rho = 1.214 \text{ kg/m}^3$

Para la velocidad del viento se tiene $v = 26.4 \text{ m/s}$

El área de referencia con respecto a la cara en barlovento se considera como la suma de las áreas de un triángulo y los rectángulos, donde se tiene

$$A = \frac{(b)(h)}{2} + (b)(h) + (b_1)(h_1)$$

$$A = \frac{(30)(5)}{2} + (30)(7.5) + (60)(7.5)$$

$$A = 750 \text{ m}^2$$

Con los valores anteriormente hallados reemplazamos en la ecuación, obteniéndose el coeficiente de arrastre para ese perfil:

$$C_d = \frac{F_d \cdot 2}{(\rho)(A)(v)^2}$$

$$C_d = \frac{(205983)(2)}{(1.214)(750)(26.4)^2}$$

$$C_d = \frac{411966}{634582.08}$$

$$C_d = 0.649$$

A.3. Altura de cumbrera de 2m. con ángulo de ataque de 60°

Los valores para el cálculo del coeficiente de arrastre son los siguientes:

La fuerza de arrastre se obtuvo del software, donde $F_d = 180.581 \text{ KN} = 180581 \text{ N}$

Para la densidad del viento se tiene $\rho = 1.214 \text{ kg/m}^3$

Para la velocidad del viento se tiene $v = 26.4 \text{ m/s}$

El área de referencia con respecto a la cara en barlovento se considera como la suma de las áreas de un triángulo y los rectángulos, donde se tiene

$$A = \frac{(b)(h)}{2} + (b)(h) + (b_1)(h_1)$$

$$A = \frac{(30)(2)}{2} + (30)(7.5) + (60)(7.5)$$

$$A = 705m^2$$

Con los valores anteriormente hallados reemplazamos en la ecuación, obteniéndose el coeficiente de arrastre para ese perfil:

$$C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2}$$

$$C_d = \frac{(180581)(2)}{(1.214)(705)(26.4)^2}$$

$$C_d = \frac{361162}{596507.155}$$

$$C_d = 0.605$$

Tabla 14

Resumen de Fuerza y Coeficiente de arrastre para ángulo de ataque de 60°, a dos aguas.

| Altura de cubriera | Densidad (ρ); kg/m ³ | Velocidad del viento (v); m/s | Área (A); m ² | Fuerza de arrastre $F_d = \frac{1}{2}(C_d)(\rho)(A)(v)^2$; Kn | Coeficiente de arrastre $C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2}$ |
|-----------------------|---|--------------------------------------|---------------------------------|---|---|
| 8 m. | 1.214 | 26.4 | 795 | 315.274 | 0.937 |
| 5 m. | | | 750 | 205.983 | 0.649 |
| 2 m. | | | 705 | 180.581 | 0.605 |

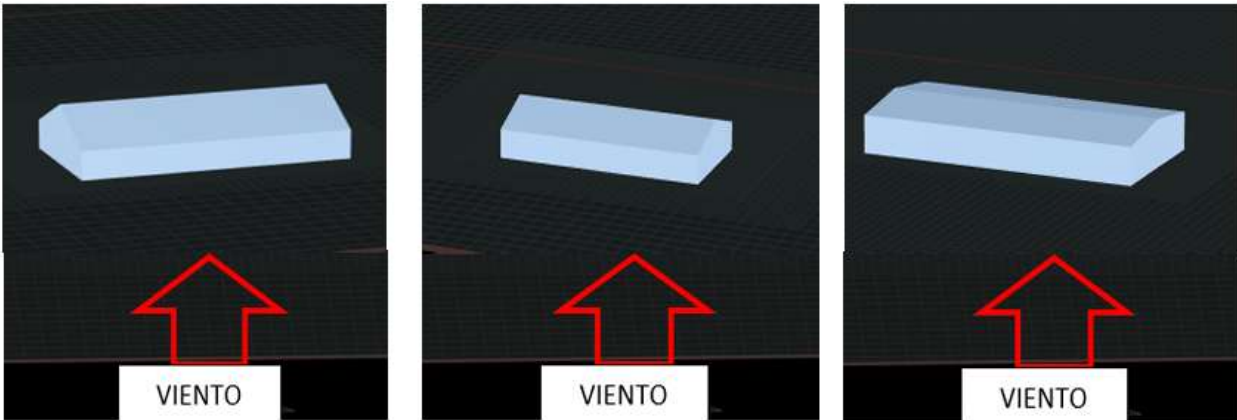
Nota. Autoría propia.

4.3.5.1. Techo a dos aguas con acción del viento a 90°

En la siguiente imagen se puede ver la cara donde incide la acción del viento con ángulo de ataque de 90° a diferentes alturas de cubriera (8, 5 y 2m), donde se detallan los puntos de prueba de las presiones a las que se encuentra sometida la estructura.

Figura 59

Dirección del viento a 90° en diferentes alturas de cubriera, de izquierda a derecha, 8m, 5m y 2m



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

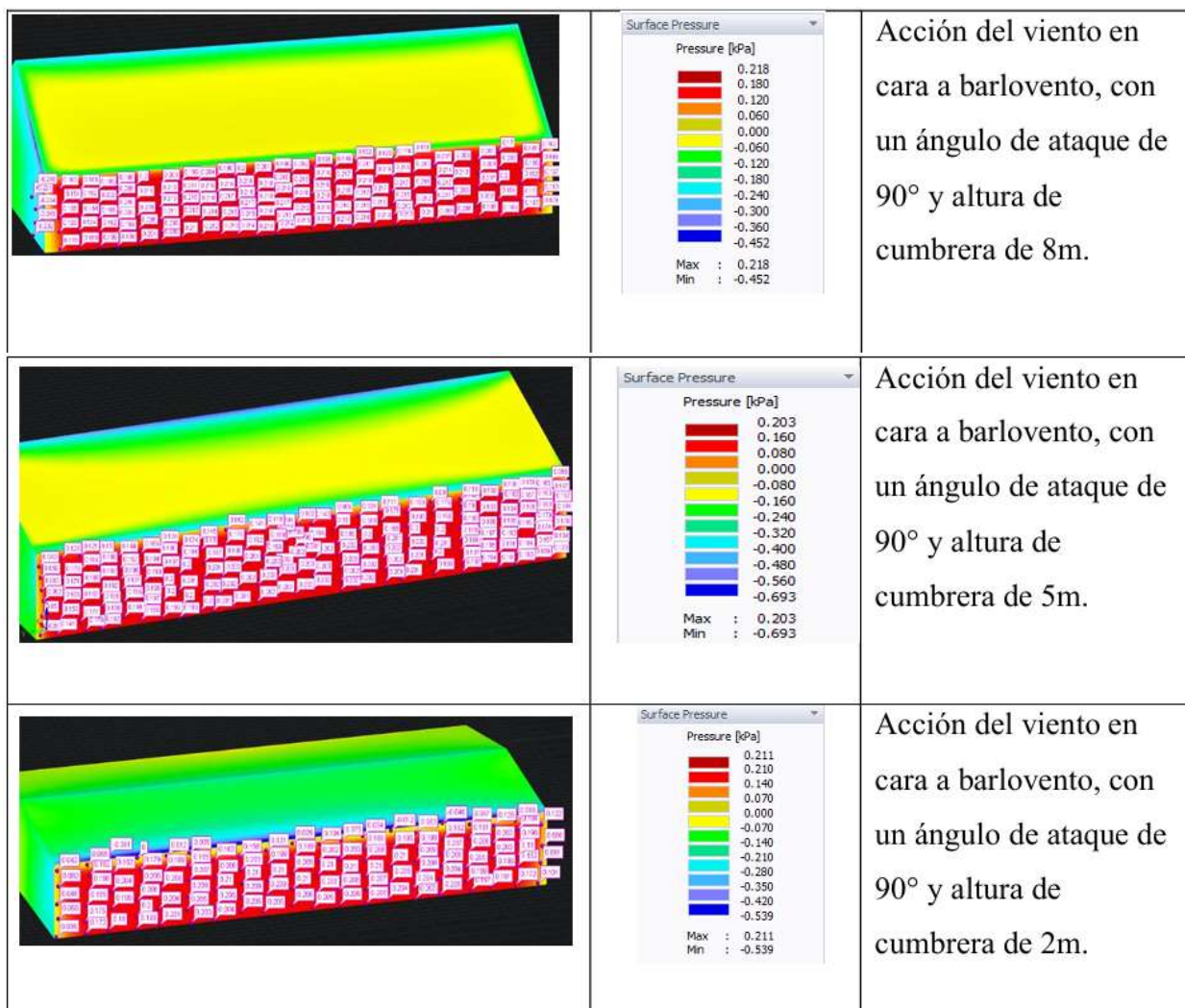
4.3.5.1.1. Presión del viento en cara a barlovento a 90°

Se harán los cálculos con la incidencia del viento en cara a barlovento, con un ángulo de ataque del viento de 90°. Se generaron 70 puntos de prueba para el estudio de las presiones, en donde se puede observar los puntos máximos y mínimos de presión por empuje (presión positiva) y succión (presión negativa) generadas por la fuerza del viento en la cara a barlovento.

En la figura 60 se puede ver los valores las presiones máximas y mínimas a las que está sometida la estructura.

Figura 60

Presiones del Viento en cara a Barlovento



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

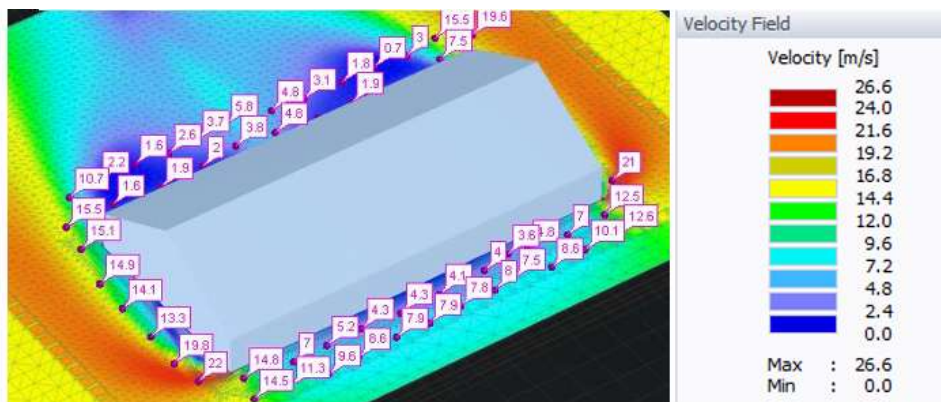
(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

4.3.5.1.2. Velocidad del viento en cara a barlovento a 90°

La incidencia de la velocidad del viento en la cara a barlovento, se colocan los setenta puntos de estudio. En las figuras 61, 62 y 63 se puede ver los puntos de estudio para las distintas alturas de cumbrera de 8, 5 y 2m.

Figura 61

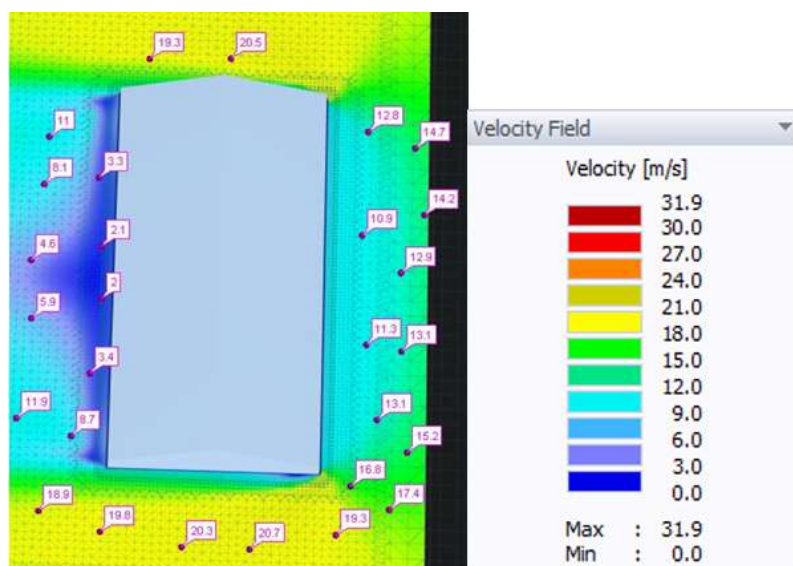
Velocidad del Viento en cara a Barlovento, con ángulo de ataque de 90° y altura de cumbrera de 8m



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento (<https://www.dlupal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

Figura 62

Velocidad del Viento en cara a Barlovento, con ángulo de ataque de 90° y altura de cumbrera de 5m

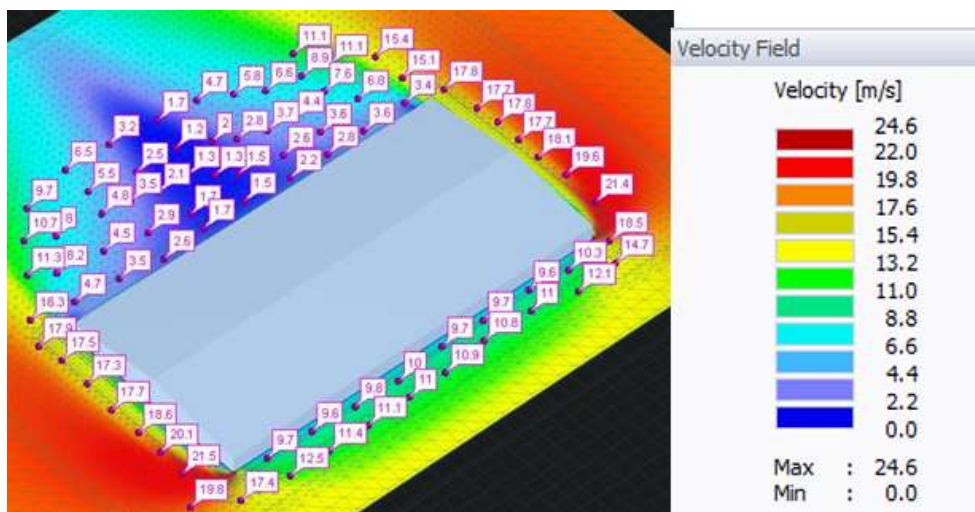


Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

Figura 63

Velocidad del Viento en cara a Barlovento, con ángulo de ataque de 90° y altura de cumbrera de 2m



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

4.3.5.1.3. *Coefficiente de presión del viento en cara a barlovento a 90°*

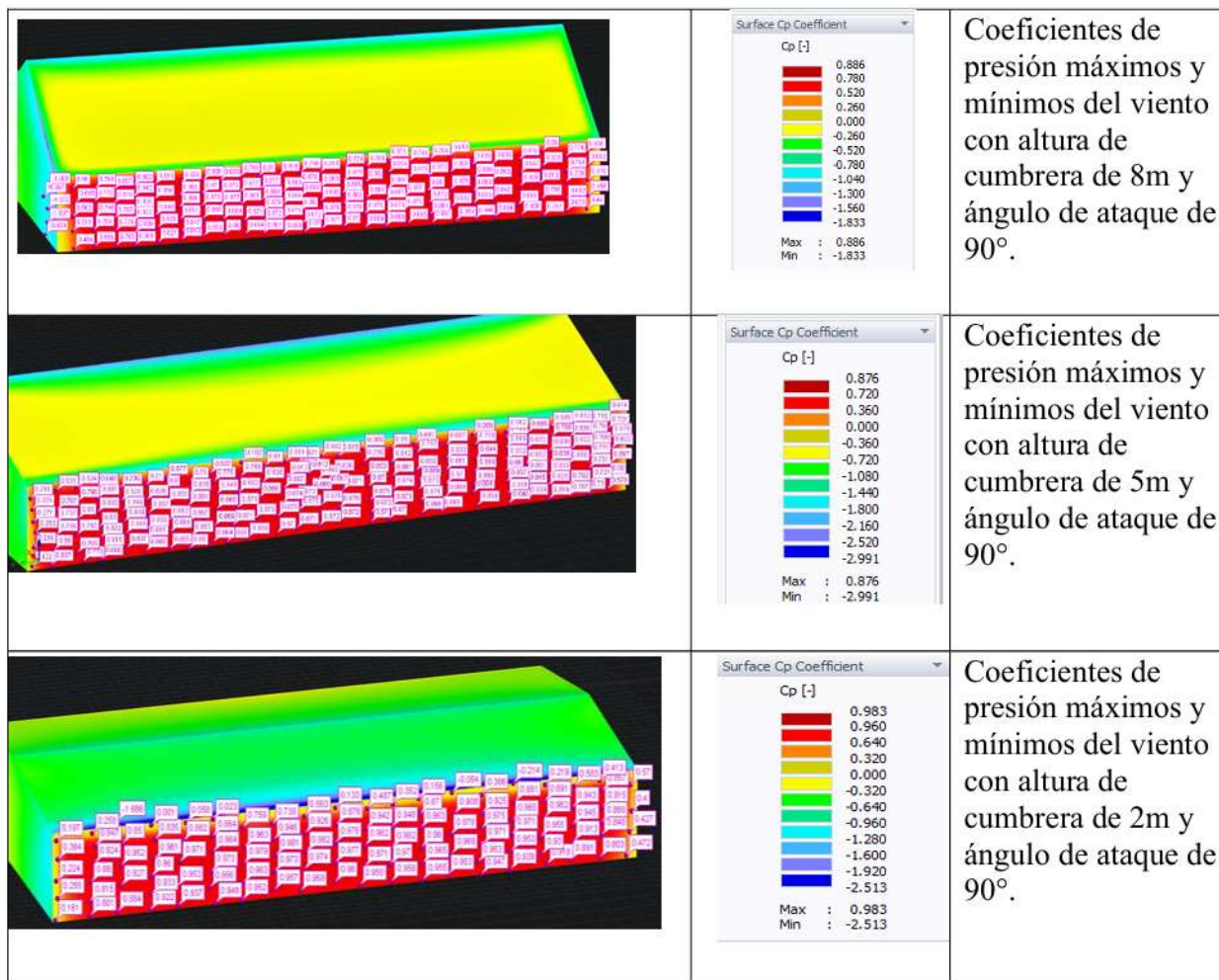
En la figura 64 se puede apreciar los coeficientes de presiones máximos y mínimos del viento a los que está sometido la estructura en sus diferentes alturas de cumbrera (8, 5 y 2m.), los cuales inciden en la cara a barlovento.

En la figura 65 se puede ver la incidencia del viento en la cara a barlovento, con un ángulo de ataque de 90° con respecto al eje de la estructura en las diferentes alturas de cumbrera (8, 5 y 2m.)

En la figura 66 se presenta la fuerza de arrastre a la que está sometida la estructura según la incidencia del viento en la cara a barlovento.

Figura 64

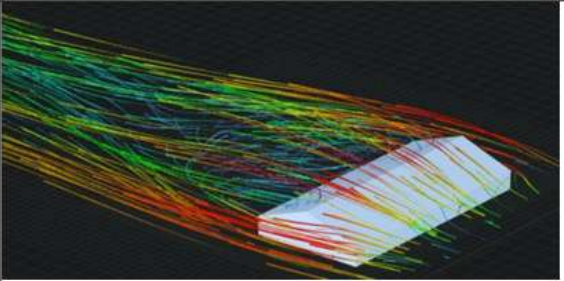
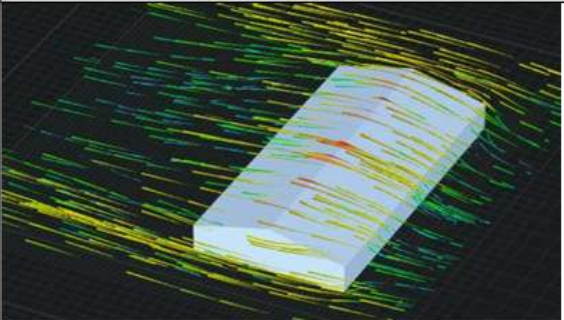

Coefficientes de Presión del Viento en cara a Barlovento



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

Figura 65*Incidencia del Viento en cara a Barlovento*

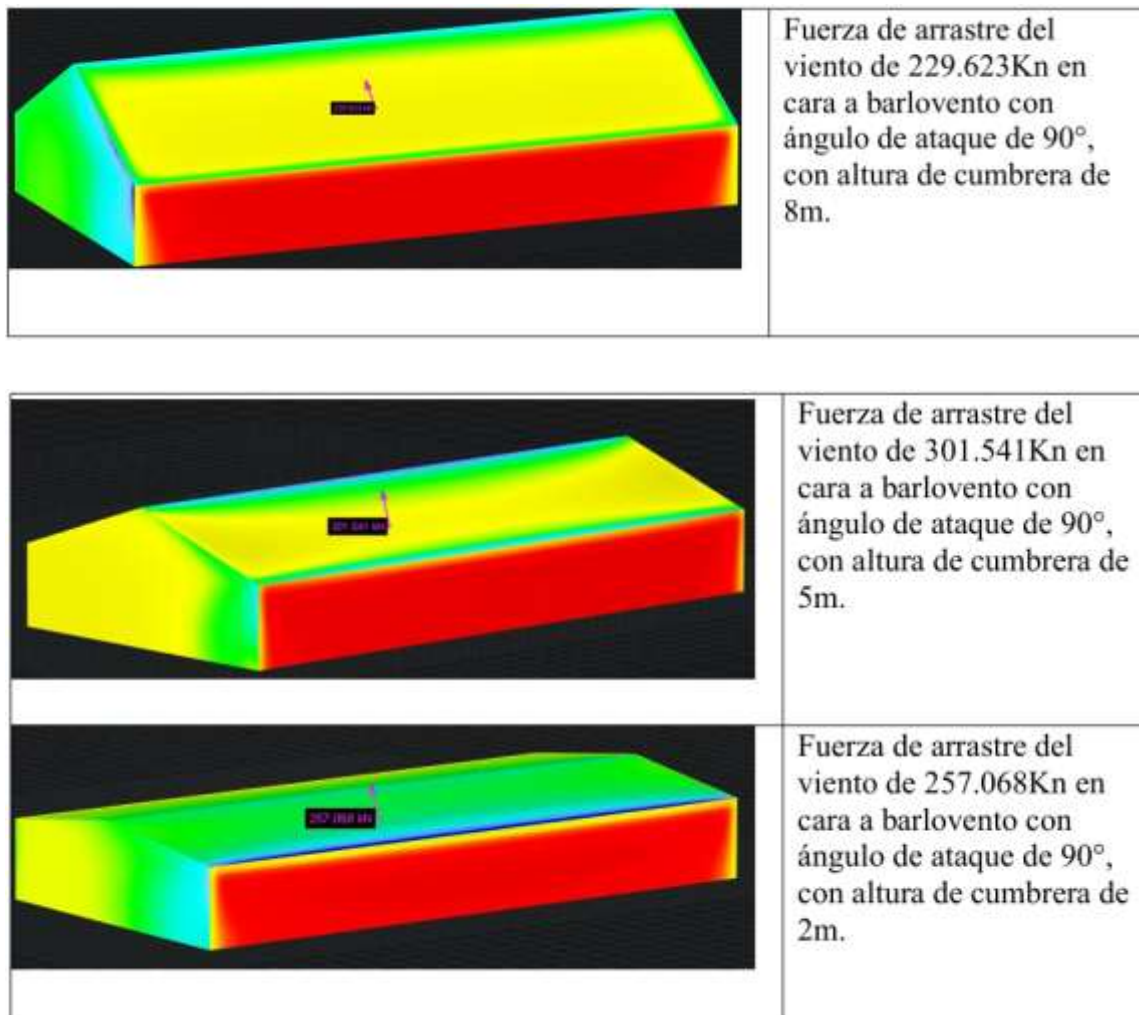
| | |
|---|--|
|  | <p>Acción de viento en cara a barlovento, con techo a dos aguas con altura de cumbrera de 8m. y ángulo de ataque de 90°.</p> |
|  | <p>Acción de viento en cara a barlovento, con techo a dos aguas con altura de cumbrera de 5m. y ángulo de ataque de 90°.</p> |
|  | <p>Acción de viento en cara a barlovento, con techo a dos aguas con altura de cumbrera de 2m. y ángulo de ataque de 90°.</p> |

Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

Figura 66

Fuerza de Arrastre del Viento en techo a dos Agua.



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

4.3.5.1.4. Coeficiente de arrastre del viento a 90°

Con la fuerza de arrastre (F_d) hallado por el software, se procederá a calcular el coeficiente de arrastre (C_d) a la que está sometida la estructura para las distintas alturas de cumbrera de 8m., 5m. y 2m., de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$F_d = \frac{1}{2} (C_d)(\rho)(A)(v)^2 \quad (26)$$

Donde:

C_d = Coeficiente de arrastre

ρ = densidad del fluido; kg/m^3

A = área de referencia; m^2

v = velocidad del flujo relativo al objeto; m/s

Reordenando la formula anterior se tiene lo siguiente:

$$C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2} \quad (27)$$

A.1. Altura de cumbrera de 8m. con ángulo de ataque de 90°

Los valores para el cálculo del coeficiente de arrastre son los siguientes:

La fuerza de arrastre se obtuvo del software, donde $F_d = 229.623 \text{ KN} = 229623 \text{ N}$

Para la densidad del viento se tiene $\rho = 1.214 \text{ kg}/m^3$

Para la velocidad del viento se tiene $v = 26.4 \text{ m/s}$

El área de referencia con respecto a la cara en barlovento se considera como la suma de las áreas de los rectángulos, donde se tiene

$$A = (b)(h) + (b1)(h1)$$

$$A = (60)(7.5) + (60)(8)$$

$$A = 930m^2$$

Con los valores anteriormente hallados reemplazamos en la ecuación, obteniéndose el coeficiente de arrastre para ese perfil:

$$C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2}$$

$$C_d = \frac{(229623)(2)}{(1.214)(930)(26.4)^2}$$

$$C_d = \frac{459246}{786881.779}$$

$$C_d = 0.583$$

A.2. Altura de cumbrera de 5m. con ángulo de ataque de 90°

Los valores para el cálculo del coeficiente de arrastre son los siguientes:

La fuerza de arrastre se obtuvo del software, donde $F_d = 301.541KN = 301541 N$

Para la densidad del viento se tiene $\rho = 1.214 \text{ kg}/\text{m}^3$

Para la velocidad del viento se tiene $v = 26.4 \text{ m/s}$

El área de referencia con respecto a la cara en barlovento se considera como la suma de las áreas de los rectángulos, donde se tiene

$$A = (b)(h) + (b1)(h1)$$

$$A = (60)(7.5) + (60)(5)$$

$$A = 750\text{m}^2$$

Con los valores anteriormente hallados reemplazamos en la ecuación, obteniéndose el coeficiente de arrastre para ese perfil:

$$C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2}$$

$$C_d = \frac{(301541)(2)}{(1.214)(750)(26.4)^2}$$

$$C_d = \frac{603082}{634582.08}$$

$$C_d = 0.950$$

A.3. Altura de cumbrera de 2m. con ángulo de ataque de 90°

Los valores para el cálculo del coeficiente de arrastre son los siguientes:

La fuerza de arrastre se obtuvo del software, donde $F_d = 257.068KN = 257068N$

Para la densidad del viento se tiene $\rho = 1.214 \text{ kg}/\text{m}^3$

Para la velocidad del viento se tiene $v = 26.4 \text{ m/s}$

El área de referencia con respecto a la cara en barlovento se considera como la suma de las áreas de un triángulo y los rectángulos, donde se tiene

$$A = (b)(h) + (b1)(h1)$$

$$A = (60)(7.5) + (60)(2)$$

$$A = 570\text{m}^2$$

Con los valores anteriormente hallados reemplazamos en la ecuación, obteniéndose el coeficiente de arrastre para ese perfil:

$$C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2}$$

$$C_d = \frac{(257068)(2)}{(1.214)(570)(26.4)^2}$$

$$C_d = \frac{514136}{482282.3808}$$

$$C_d = 1.066$$

Tabla 15

Resumen de fuerza y coeficiente de arrastre para ángulo de ataque de 90°, a dos aguas.

| Altura de cubrerera | Densidad (ρ); kg/m ³ | Velocidad del viento (v); m/s | Área (A); m ² | Fuerza de arrastre $F_d = \frac{1}{2}(C_d)(\rho)(A)(v)^2$; Kn | Coeficiente de arrastre $C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2}$ |
|------------------------|---|--------------------------------------|---------------------------------|---|---|
| 8 m. | 1.214 | 26.4 | 930 | 229.623 | 0.583 |
| 5 m. | | | 750 | 301.541 | 0.950 |
| 2 m. | | | 570 | 257.068 | 1.066 |

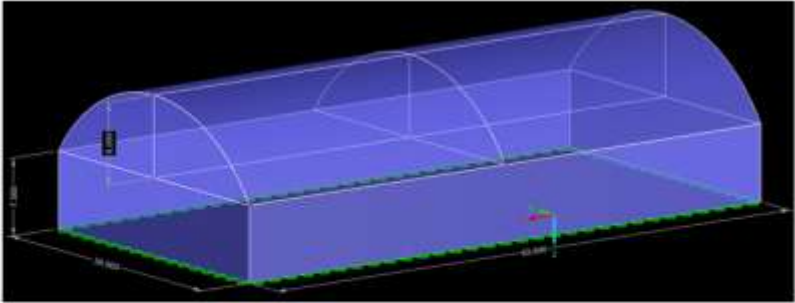
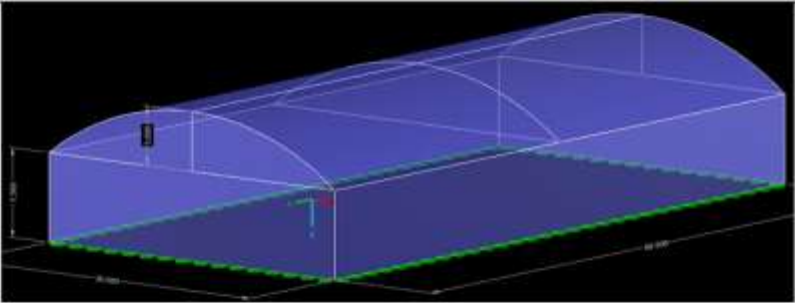
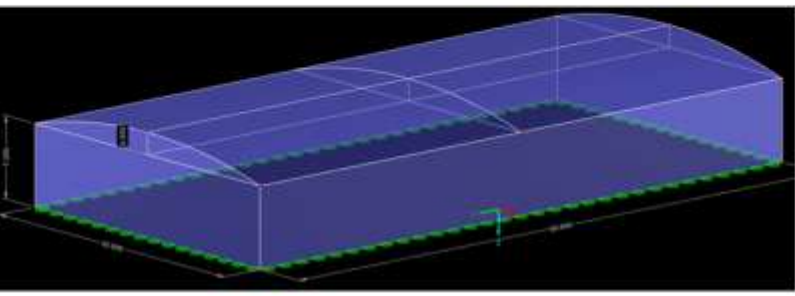
Nota. Autoría propia.

4.3.2. Techo curvo con altura de cubrerera de 8, 5 y 2m.

En este capítulo se describe el análisis aerodinámico de una nave industrial con techo curvo con altura de 8, 5 y 2m. de cubrerera, sometida a las fuerzas del viento. Se detalla las dimensiones de la nave industrial en la siguiente figura 67, donde se procede a evaluar la acción del viento en la nave industrial.

Figura 67

Techo Curvo con Diferentes Alturas de Cumbre

| | |
|---|--|
|  | Techo curvo con cumbre de techo de 8m. |
|  | Techo curvo con cumbre de techo de 5m. |
|  | Techo curvo con cumbre de techo de 2m. |

Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

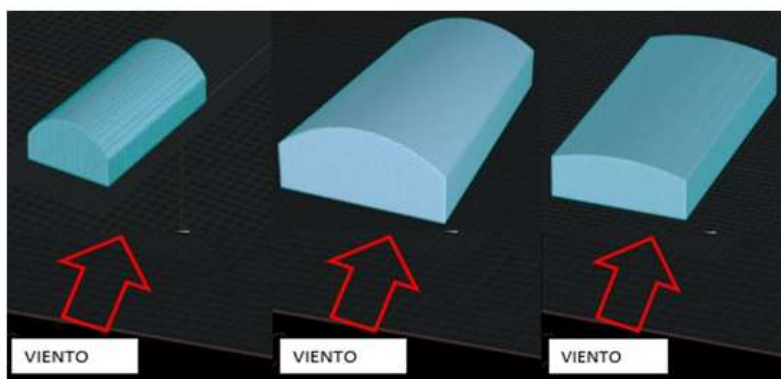
(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

4.3.2.1. Techo curvo con acción del viento a 0°

En la siguiente figura se puede ver la acción del viento en la dirección 0° , a diferentes alturas de cumbrera (8, 5 y 2m), en la cara a barlovento, (cara donde incide el viento) donde se detallan los puntos de prueba de las presiones a las que se encuentra sometida la cara a barlovento.

Figura 68

Dirección del Viento a 0° en diferentes alturas de Cumbre, de izquierda a derecha, 8m, 5m y 2m



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

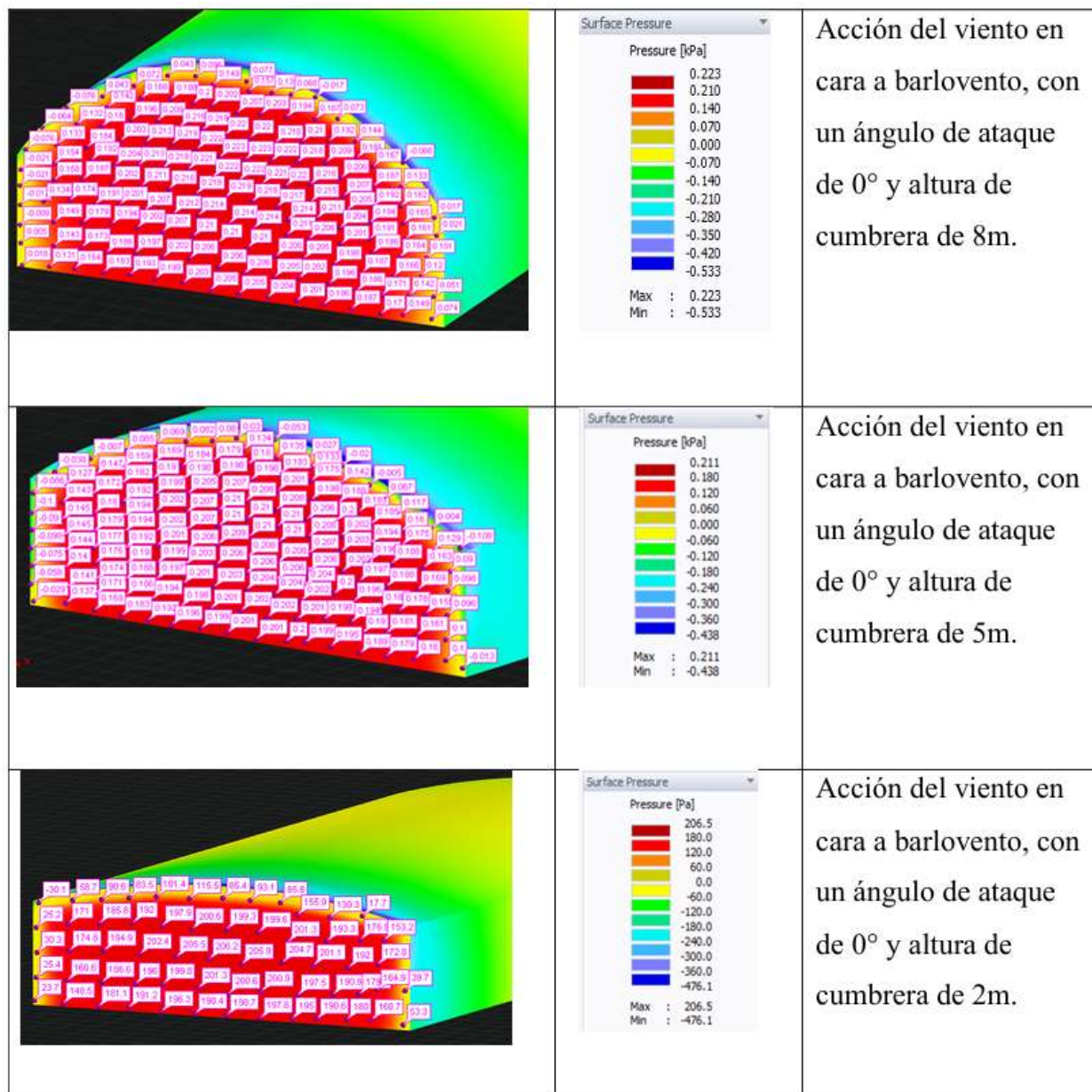
4.3.2.1.1. Presión del viento en cara a barlovento a 0°

Se iniciará los cálculos con la incidencia del viento en cara a barlovento, con un ángulo de ataque del viento a 0° . Se generaron 70 puntos de prueba para el estudio de las presiones, en donde se puede observar los puntos máximos y mínimos de presión por empuje (presión positiva) y succión (presión negativa) generadas por la fuerza del viento en la cara a barlovento.

En la figura 69 se puede ver los valores las presiones máximas y mínimas a las que está sometida la estructura.

Figura 69

Presiones del Viento en cara a Barlovento



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

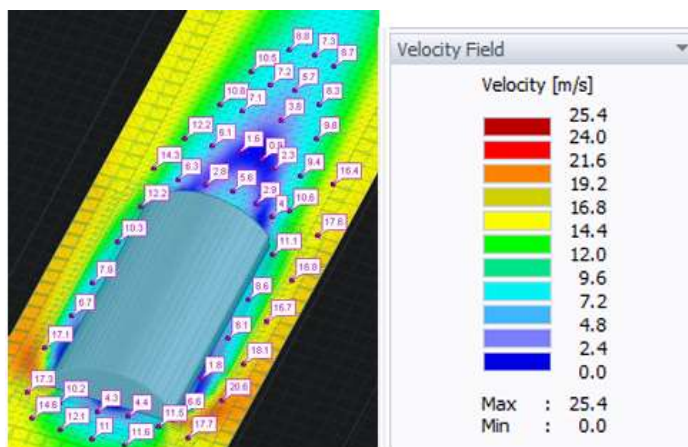
(<https://www.dlupal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

4.3.2.1.2. Velocidad del viento en cara a barlovento a 0°

La incidencia de la velocidad del viento en la cara a barlovento, se colocan los setenta puntos de estudio. En las figuras 70, 71 y 72 se puede ver los puntos de estudio para las distintas alturas de cumbrera de 8, 5 y 2m.

Figura 70

Velocidades del Viento en cara a Barlovento, con Altura de Cumbrera de 8m

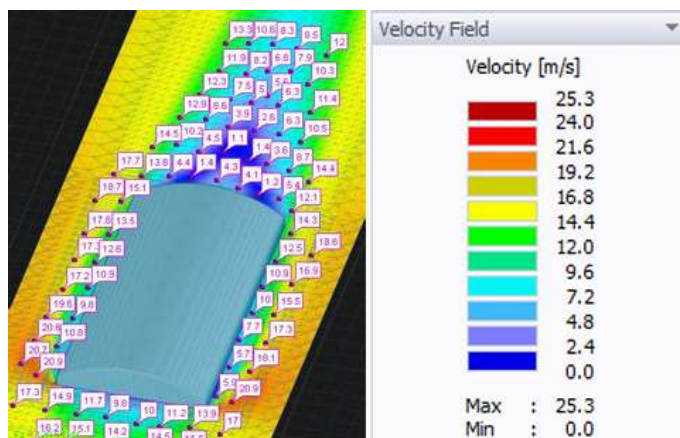


Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlupal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

Figura 71

Velocidades del Viento en cara a Barlovento, con Altura de Cumbrera de 5m

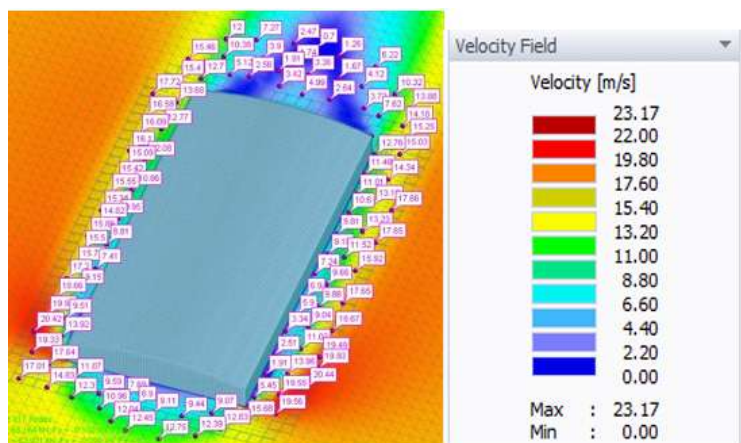


Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

Figura 72

Velocidades del Viento en cara a Barlovento, con Altura de Cumbre de 2m



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

4.3.2.1.3. *Coefficiente de presión del viento en cara a barlovento a 0°*

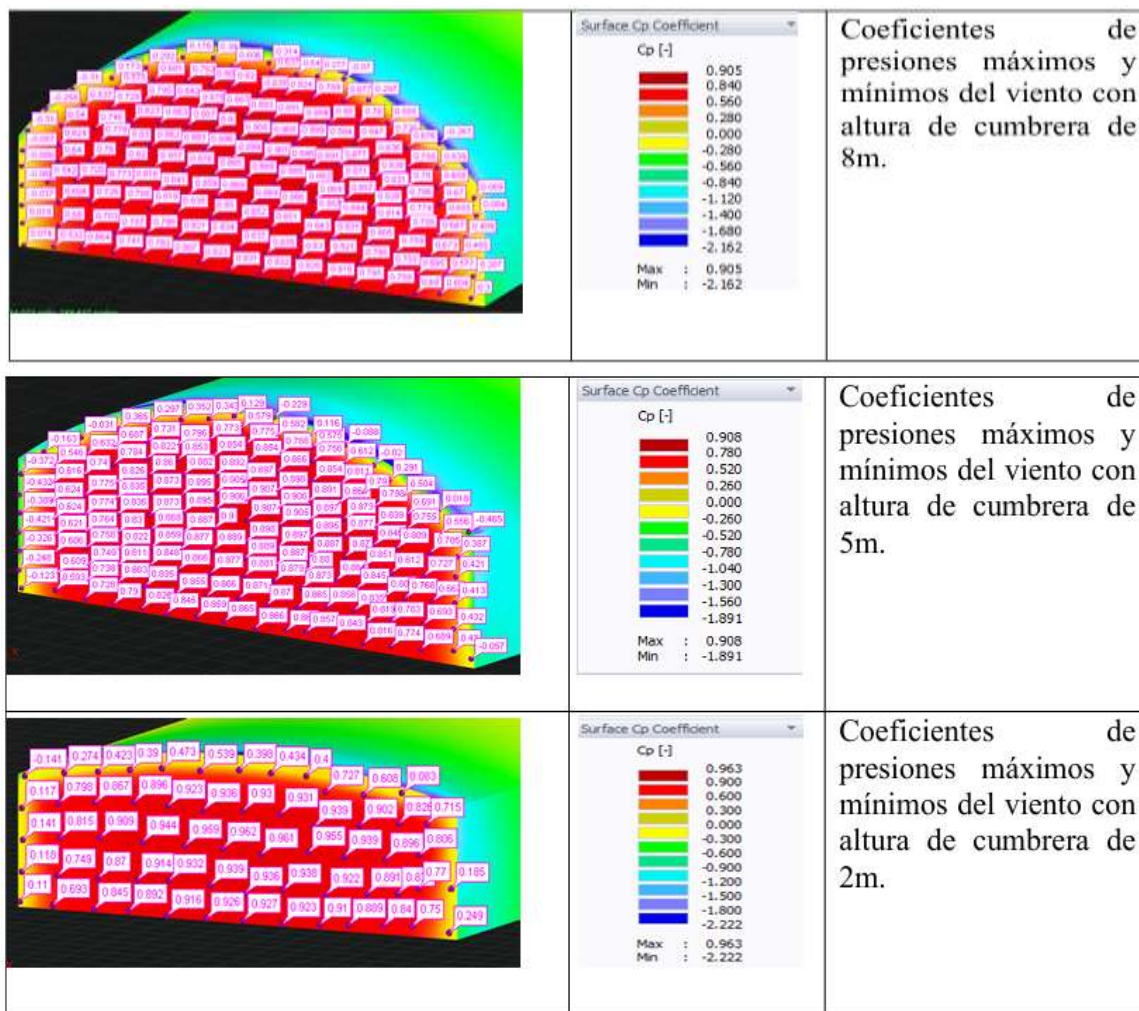
En la figura 73 se puede apreciar los coeficientes de presiones máximos y mínimos del viento a los que está sometido la estructura en sus diferentes alturas de cumbre (8, 5 y 2m.), los cuales inciden en la cara a barlovento.

En la figura 74 se puede ver la incidencia del viento en la cara a barlovento, con un ángulo de ataque de 0° con respecto al eje de la estructura en las diferentes alturas de cumbre (8, 5 y 2m.)

En la figura 75 se presenta la fuerza de arrastre a la que está sometida la estructura según la incidencia del viento en la cara a barlovento.

Figura 73

Coefficientes de Presión del Viento en cara a Barlovento

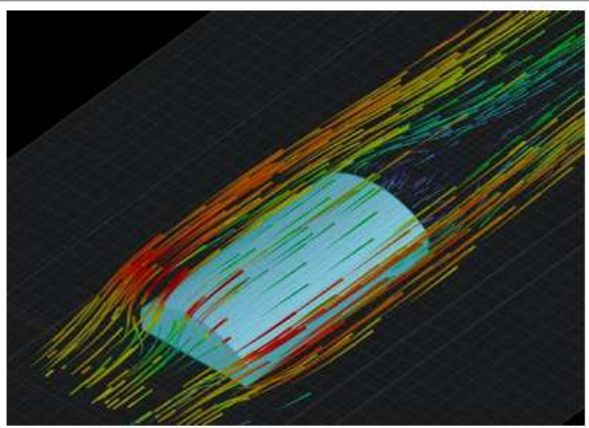
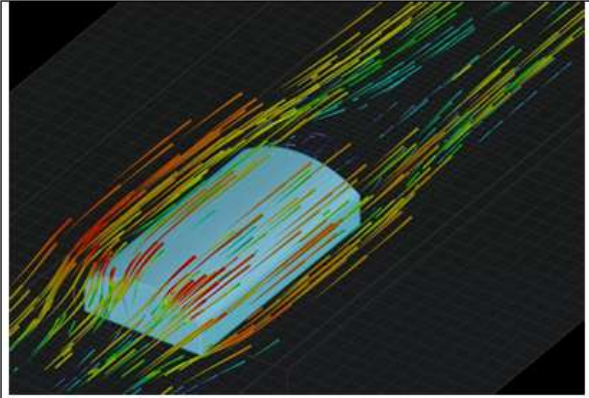
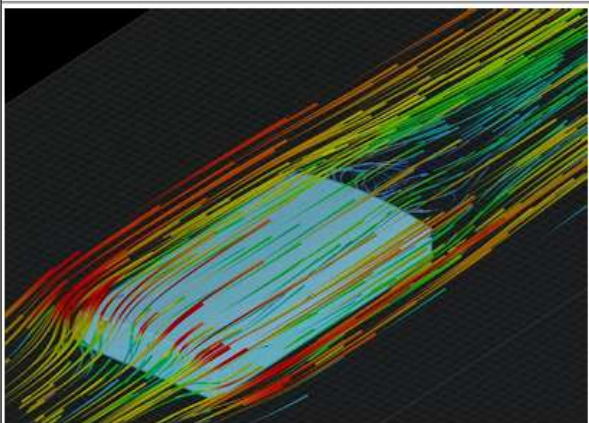


Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

Figura 74

Incidencia del Viento en cara a Barlovento

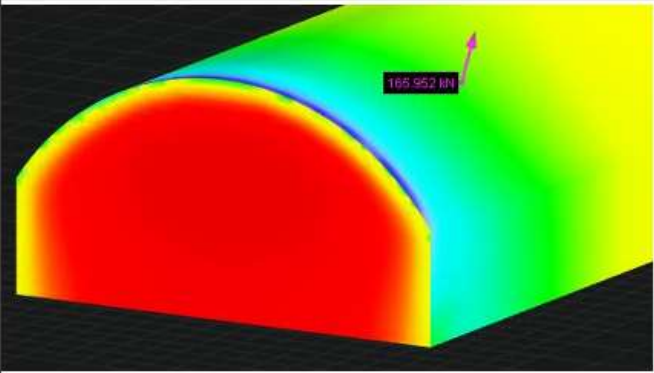
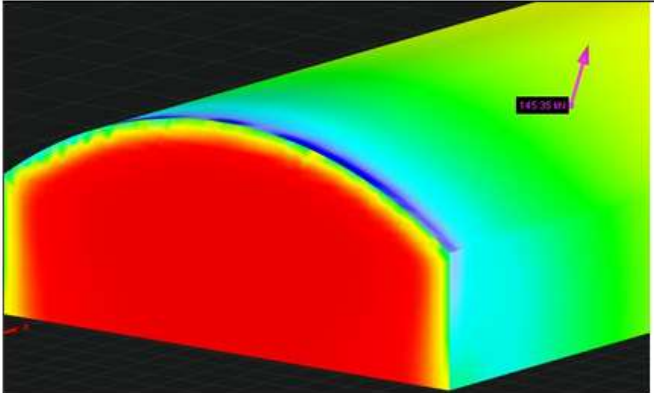
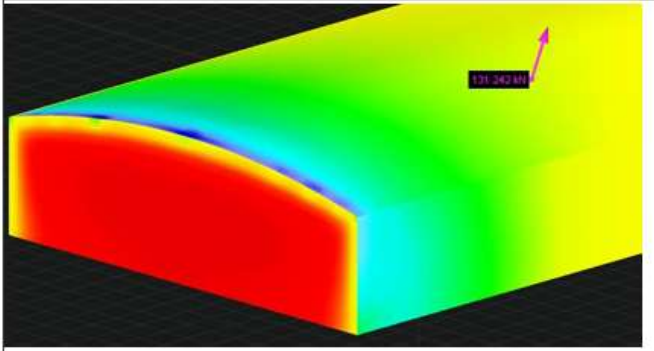
| | |
|---|---|
|  | <p>Acción de viento en cara a barlovento de techo curvo con altura de cumbrera de 8m.</p> |
|  | <p>Acción de viento en cara a barlovento de techo curvo con altura de cumbrera de 5m.</p> |
|  | <p>Acción de viento en cara a barlovento de techo curvo con altura de cumbrera de 2m.</p> |

Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

Figura 75

Fuerza de Arrastre del Viento en Techo a dos Aguas

| | |
|---|---|
|  | Fuerza de arrastre del viento de 165.95 Kn en cara a barlovento con ángulo de ataque de 0°, con altura de cumbrera de 8m. |
|  | Fuerza de arrastre del viento de 145.35 Kn en cara a barlovento con ángulo de ataque de 0°, con altura de cumbrera de 5m. |
|  | Fuerza de arrastre del viento de 131.24 Kn en cara a barlovento con ángulo de ataque de 0°, con altura de cumbrera de 2m. |

Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

4.3.2.1.4. Coeficiente de arrastre del viento a 0°

Con la fuerza de arrastre (F_d) hallado por el software, se procederá a calcular el coeficiente de arrastre (C_d) a la que está sometida la estructura para las distintas alturas de cumbrera de 8m., 5m. y 2m., de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$F_d = \frac{1}{2}(C_d)(\rho)(A)(v)^2 \quad (28)$$

Donde:

C_d = Coeficiente de arrastre

ρ = densidad del fluido; kg/m^3

A = área de referencia; m^2

v = velocidad del flujo relativo al objeto; m/s

Reordenando la fórmula anterior se tiene lo siguiente:

$$C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2} \quad (29)$$

A.1. Altura de cumbrera de 8m. con ángulo de ataque de 0°

Los valores para el cálculo del coeficiente de arrastre son los siguientes:

La fuerza de arrastre se obtuvo del software, donde $F_d = 165.952 \text{ KN} = 165952 \text{ N}$

Para la densidad del viento se tiene $\rho = 1.214 \text{ kg}/m^3$

Para la velocidad del viento se tiene $v = 26.4 \text{ m/s}$

El área de referencia con respecto a la cara en barlovento se considera como la suma de las áreas de un rectángulo y la parábola, donde se tiene

$$A = \frac{2(b)(h)}{3} + (b)(h)$$

$$A = \frac{2(30)(8)}{3} + (30)(7.5)$$

$$A = 385m^2$$

Con los valores anteriormente hallados reemplazamos en la ecuación, obteniéndose el coeficiente de arrastre para ese perfil:

$$C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2}$$

$$C_d = \frac{(165952)(2)}{(1.214)(385)(26.4)^2}$$

$$C_d = \frac{331904}{325752.134}$$

$$C_d = 1.019$$

A.2. Altura de cumbrera de 5m. con ángulo de ataque de 0°

Los valores para el cálculo del coeficiente de arrastre son los siguientes:

La fuerza de arrastre se obtuvo del software, donde $F_d = 145.35KN = 145350N$

Para la densidad del viento se tiene $\rho = 1.214 \text{ kg}/\text{m}^3$

Para la velocidad del viento se tiene $v = 26.4 \text{ m/s}$

El área de referencia con respecto a la cara en barlovento se considera como la suma de las áreas de un rectángulo y la parábola, donde se tiene

$$A = \frac{2(b)(h)}{3} + (b)(h)$$

$$A = \frac{2(30)(5)}{3} + (30)(7.5)$$

$$A = 325\text{m}^2$$

Con los valores anteriormente hallados reemplazamos en la ecuación, obteniéndose el coeficiente de arrastre para ese perfil:

$$C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2}$$

$$C_d = \frac{(145350)(2)}{(1.214)(325)(26.4)^2}$$

$$C_d = \frac{290700}{274985.568}$$

$$C_d = 1.057$$

A.3. Altura de cumbrera de 2m. con ángulo de ataque de 0°

Los valores para el cálculo del coeficiente de arrastre son los siguientes:

La fuerza de arrastre se obtuvo del software, donde $F_d = 131.242KN = 131242N$

Para la densidad del viento se tiene $\rho = 1.214 \text{ kg}/\text{m}^3$

Para la velocidad del viento se tiene $v = 26.4 \text{ m/s}$

El área de referencia con respecto a la cara en barlovento se considera como la suma de las áreas de un rectángulo y la parábola, donde se tiene

$$A = \frac{2(b)(h)}{3} + (b)(h)$$

$$A = \frac{2(30)(2)}{3} + (30)(7.5)$$

$$A = 265m^2$$

Con los valores anteriormente hallados reemplazamos en la ecuación, obteniéndose el coeficiente de arrastre para ese perfil:

$$C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2}$$

$$C_d = \frac{(131242)(2)}{(1.214)(265)(26.4)^2}$$

$$C_d = 1.170$$

Tabla 16

Resumen de fuerza y coeficiente de arrastre para ángulo de ataque de 0°, curvo.

| Altura de cubierta | Densidad (ρ); kg/m ³ | Velocidad del viento (v); m/s | Área (A); m ² | Fuerza de arrastre $F_d = \frac{1}{2}(C_d)(\rho)(A)(v)^2$; Kn | Coefficiente de arrastre $C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2}$ |
|-----------------------|---|--------------------------------------|---------------------------------|---|--|
| 8 m. | 1.214 | 26.4 | 385 | 165.952 | 1.019 |
| 5 m. | | | 325 | 145.350 | 1.057 |
| 2 m. | | | 265 | 131.242 | 1.170 |

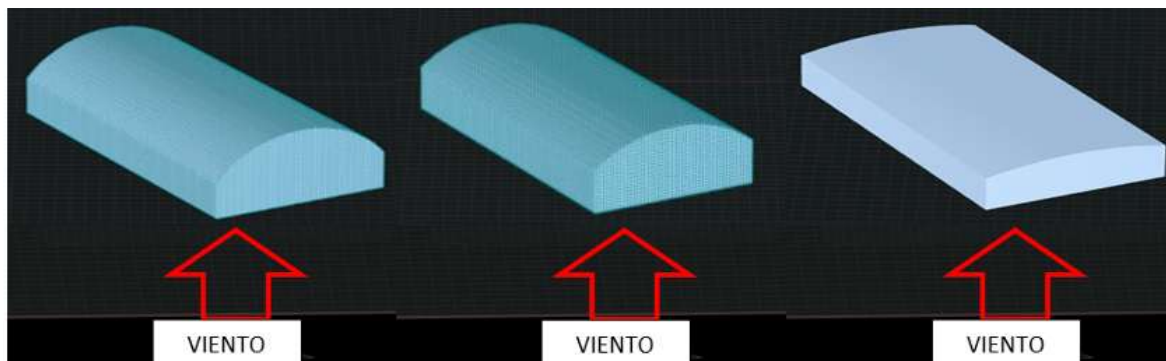
Nota. Autoría propia.

4.3.3.1. Techo curvo con acción del viento a 30°

En la siguiente figura 76 se puede ver la cara donde incide la acción del viento con ángulo de ataque de 30° a diferentes alturas de cubierta (8, 5 y 2m), donde se detallan los puntos de prueba de las presiones a las que se encuentra sometida la estructura.

Figura 76

Dirección del Viento a 30° en diferentes alturas de Cumbre, de izquierda a derecha, 8m, 5m y 2m



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

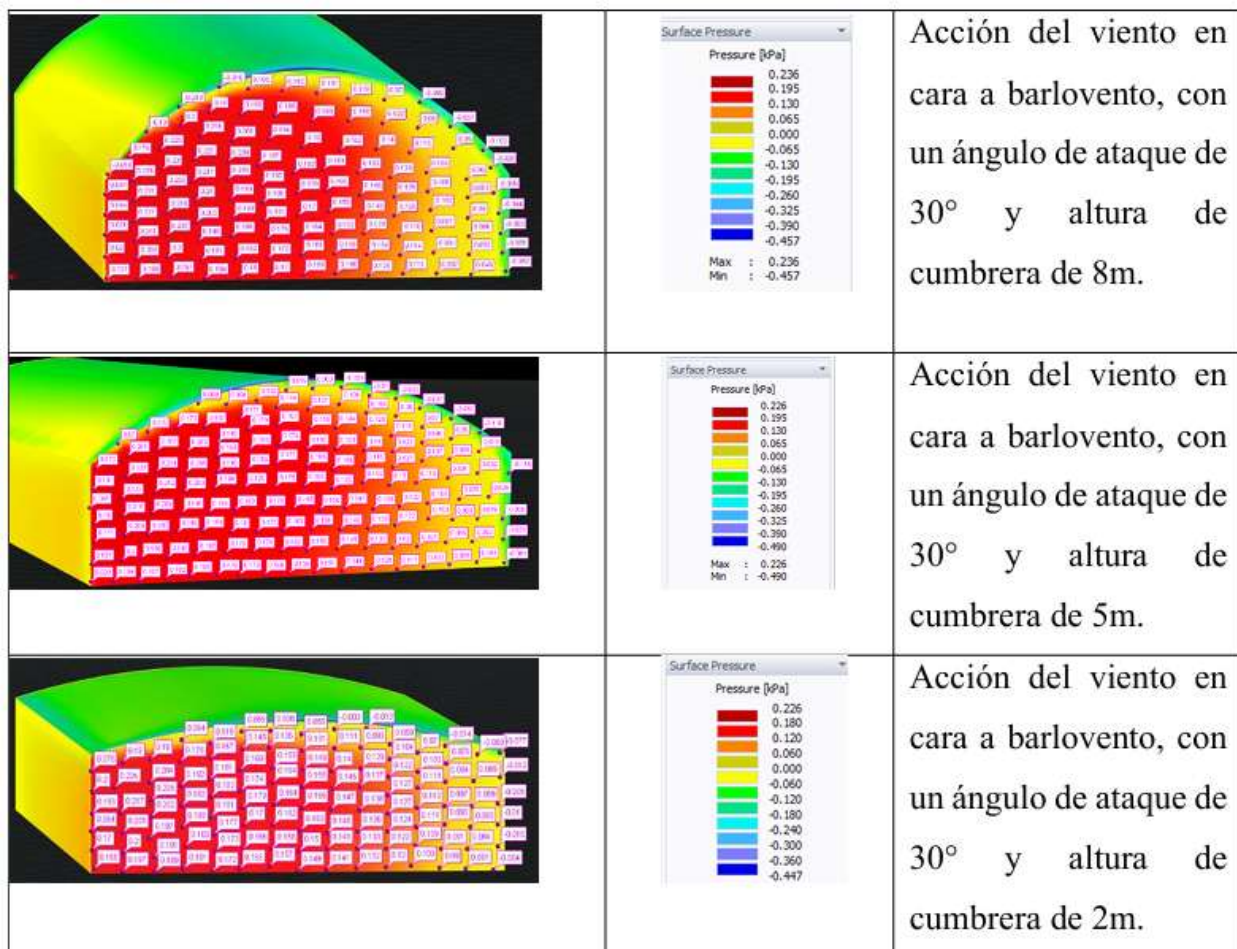
4.3.3.1.1. Presión del viento en cara a barlovento a 30°

Se harán los cálculos con la incidencia del viento en cara a barlovento, con un ángulo de ataque del viento de 30°. Se generaron 70 puntos de prueba para el estudio de las presiones, en donde se puede observar los puntos máximos y mínimos de presión por empuje (presión positiva) y succión (presión negativa) generadas por la fuerza del viento en la cara a barlovento.

En la figura 77 se puede ver los valores de las presiones máximas y mínimas a las que está sometida la estructura.

Figura 77

Presiones del Viento en cara a Barlovento



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

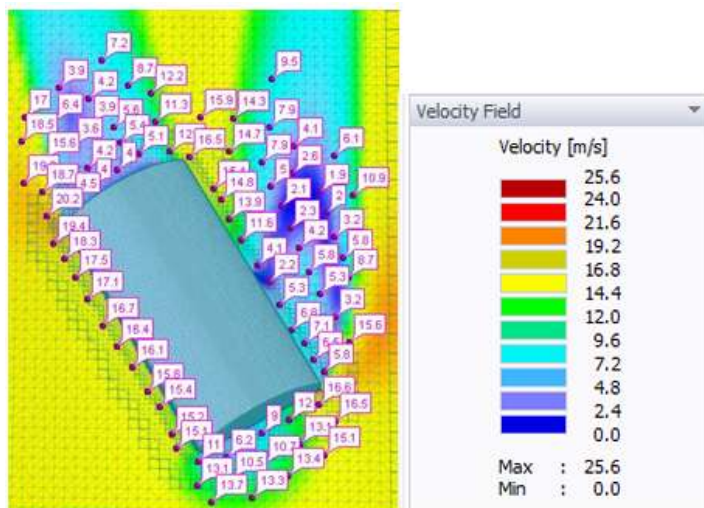
(<https://www.dlupal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

4.3.3.1.2. Velocidad del viento en cara a barlovento a 30°

La incidencia de la velocidad del viento en la cara a barlovento, se colocan los setenta puntos de estudio. En las figuras 78, 79 y 80 se puede ver los puntos de estudio para las distintas alturas de cumbrera de 8, 5 y 2m.

Figura 78

Velocidades del Viento en cara a Barlovento, con Altura de Cumbre de 8m

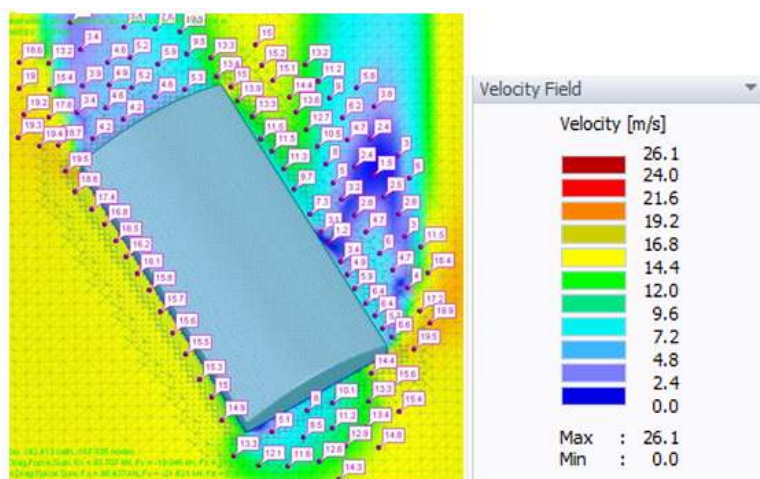


Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

Figura 79

Velocidades del Viento en cara a Barlovento, con altura de Cumbre de 5m

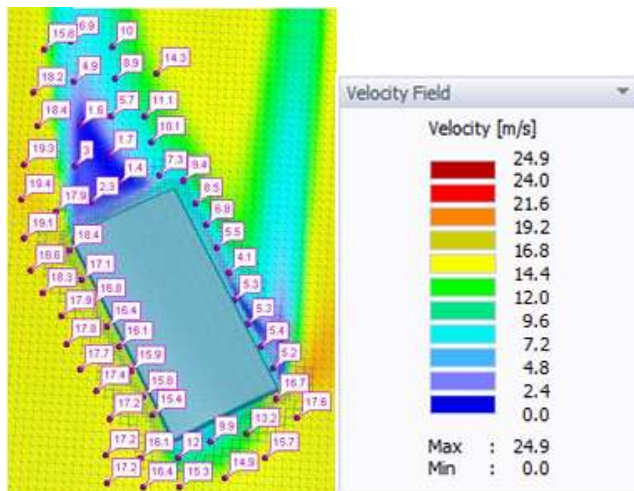


Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

Figura 80

Velocidades del Viento en cara a Barlovento, con altura de Cumbre de 2m



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlupal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

4.3.3.1.3. Coeficiente de presión del viento en cara a barlovento a 30°

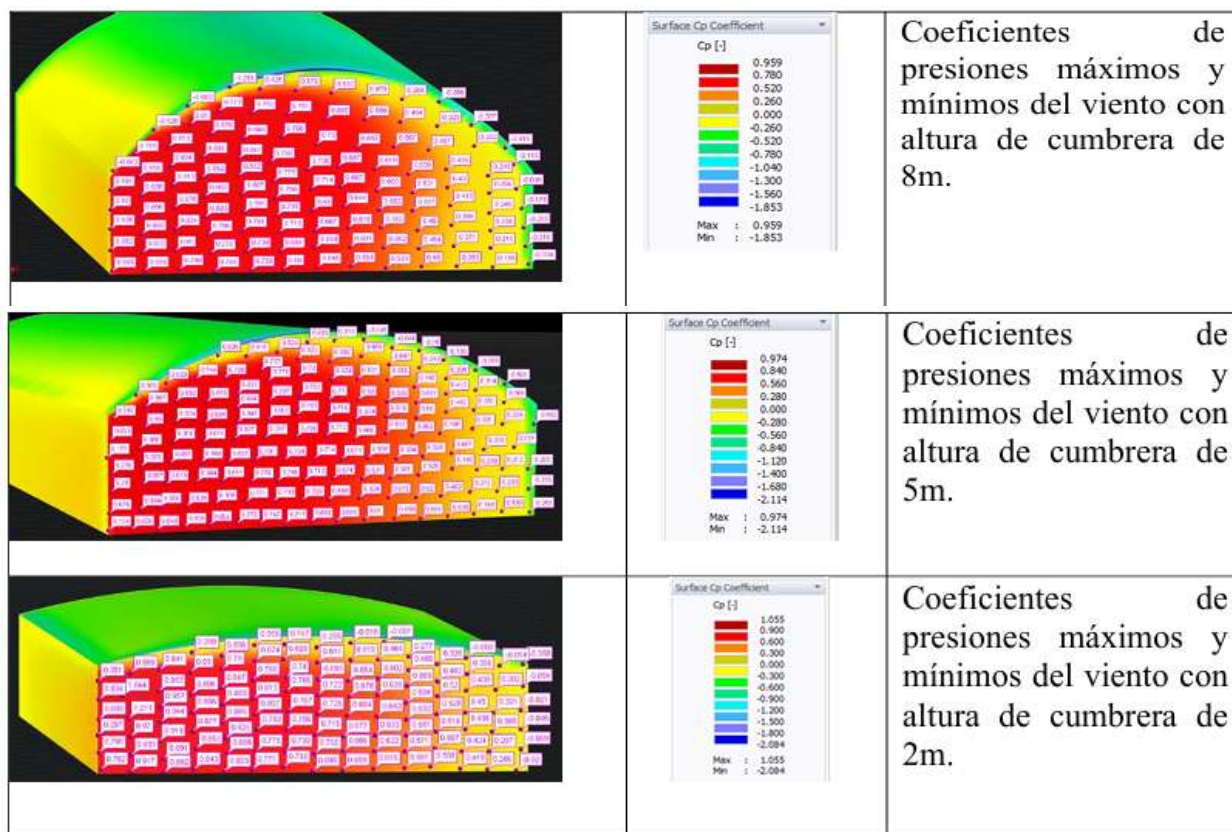
En la figura 81 se puede apreciar los coeficientes de presiones máximos y mínimos del viento a los que está sometido la estructura en sus diferentes alturas de cumbre (8, 5 y 2m.), los cuales inciden en la cara a barlovento.

En la figura 82 se puede ver la incidencia del viento en la cara a barlovento, con un ángulo de ataque de 30° con respecto al eje de la estructura en las diferentes alturas de cumbre (8, 5 y 2m.)

En la figura 83 se presenta la fuerza de arrastre a la que está sometida la estructura según la incidencia del viento en la cara a barlovento.

Figura 81

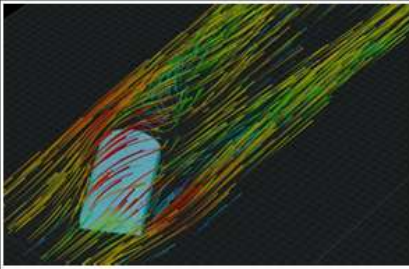
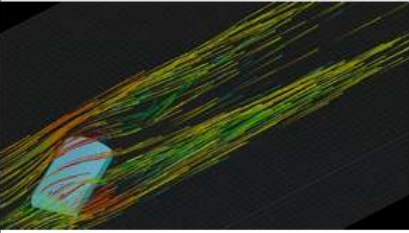
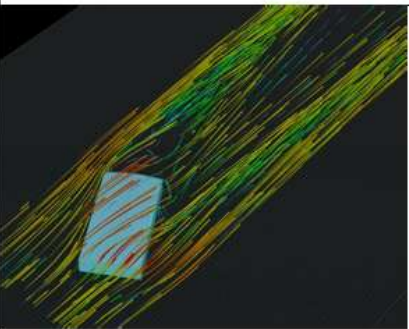
Coefficientes de Presión del Viento en cara a Barlovento



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

Figura 82*Incidencia del Viento en cara a Barlovento*

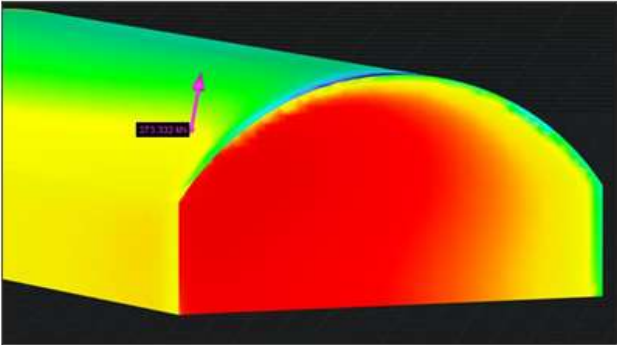
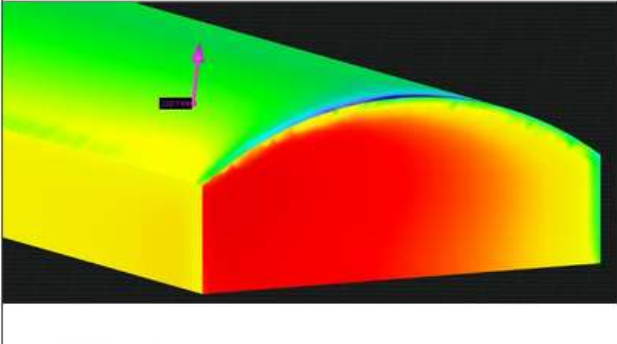
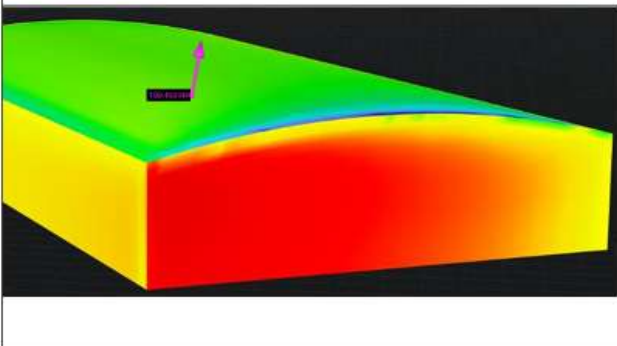
| | |
|--|---|
|  | <p>Acción de viento en cara a barlovento de techo curvo con altura de cumbrera de 8m.</p> |
|  | <p>Acción de viento en cara a barlovento de techo curvo con altura de cumbrera de 5m.</p> |
|  | <p>Acción de viento en cara a barlovento de techo curvo con altura de cumbrera de 2m.</p> |

Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

Figura 83

Fuerza de Arrastre del Viento en techo Curvo

| | |
|---|---|
|  | <p>Fuerza de arrastre del viento de 273.332Kn en cara a barlovento con ángulo de ataque de 30°, con altura de cumbrera de 8m.</p> |
|  | <p>Fuerza de arrastre del viento de 232.7Kn en cara a barlovento con ángulo de ataque de 30°, con altura de cumbrera de 5m.</p> |
|  | <p>Fuerza de arrastre del viento de 190.493Kn en cara a barlovento con ángulo de ataque de 30°, con altura de cumbrera de 2m.</p> |

Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

4.3.3.1.4. Coeficiente de arrastre del viento a 30°

Con la fuerza de arrastre (F_d) hallado por el software, se procederá a calcular el coeficiente de arrastre (C_d) a la que está sometida la estructura para las distintas alturas de cumbrera de 8m., 5m. y 2m., de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$F_d = \frac{1}{2} (C_d)(\rho)(A)(v)^2 \quad (30)$$

Donde:

$C_d =$ Coeficiente de arrastre

$\rho =$ densidad del fluido; kg/m^3

$A =$ área de referencia; m^2

$v =$ velocidad del flujo relativo al objeto; m/s

Reordenando la formula anterior se tiene lo siguiente:

$$C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2} \quad (31)$$

A.1. Altura de cumbrera de 8m. con ángulo de ataque de 30°

Los valores para el cálculo del coeficiente de arrastre son los siguientes:

La fuerza de arrastre se obtuvo del software, donde $F_d = 273.332KN = 273332N$

Para la densidad del viento se tiene $\rho = 1.214 \text{ kg}/m^3$

Para la velocidad del viento se tiene $v = 26.4 \text{ m/s}$

El área de referencia con respecto a la cara en barlovento se considera como la suma de las áreas de una parábola y los rectángulos, donde se tiene

$$A = \frac{2(b)(h)}{3} + (b)(h) + (b1)(h1)$$

$$A = \frac{2(30)(8)}{3} + (30)(7.5) + (60)(7.5)$$

$$A = 835m^2$$

Con los valores anteriormente hallados reemplazamos en la ecuación, obteniéndose el coeficiente de arrastre para ese perfil:

$$C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2}$$

$$C_d = \frac{(273332)(2)}{(1.214)(835)(26.4)^2}$$

$$C_d = \frac{546664}{706501.38}$$

$$C_d = 0.773$$

A.2. Altura de cumbrera de 5m. con ángulo de ataque de 30°

Los valores para el cálculo del coeficiente de arrastre son los siguientes:

La fuerza de arrastre se obtuvo del software, donde $F_d = 232.70KN = 23270N$

Para la densidad del viento se tiene $\rho = 1.214 \text{ kg/m}^3$

Para la velocidad del viento se tiene $v = 26.4 \text{ m/s}$

El área de referencia con respecto a la cara en barlovento se considera como la suma de las áreas de una parábola y los rectángulos, donde se tiene

$$A = \frac{2(b)(h)}{3} + (b)(h) + (b1)(h1)$$

$$A = \frac{2(30)(5)}{3} + (30)(7.5) + (60)(7.5)$$

$$A = 775m^2$$

Con los valores anteriormente hallados reemplazamos en la ecuación, obteniéndose el coeficiente de arrastre para ese perfil:

$$C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2}$$

$$C_d = \frac{(232700)(2)}{(1.214)(775)(26.4)^2}$$

$$C_d = \frac{465400}{655734.816}$$

$$C_d = 0.709$$

A.3. Altura de cumbrera de 2m. con ángulo de ataque de 30°

Los valores para el cálculo del coeficiente de arrastre son los siguientes:

La fuerza de arrastre se obtuvo del software, donde $F_d = 190.493KN = 190493N$

Para la densidad del viento se tiene $\rho = 1.214 \text{ kg/m}^3$

Para la velocidad del viento se tiene $v = 26.4 \text{ m/s}$

El área de referencia con respecto a la cara en barlovento se considera como la suma de las áreas de una parábola y los rectángulos, donde se tiene

$$A = \frac{2(b)(h)}{3} + (b)(h) + (b1)(h1)$$

$$A = \frac{2(30)(2)}{3} + (30)(7.5) + (60)(7.5)$$

$$A = 715m^2$$

Con los valores anteriormente hallados reemplazamos en la ecuación, obteniéndose el coeficiente de arrastre para ese perfil:

$$C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2}$$

$$C_d = \frac{(190493)(2)}{(1.214)(715)(26.4)^2}$$

$$C_d = \frac{380986}{604968.249}$$

$$C_d = 0.629$$

Tabla 17

Resumen de Fuerza y Coeficiente de Arrastre para ángulo de Ataque de 30°, curvo.

| Altura de cubriera | Densidad (ρ); kg/m ³ | Velocidad del viento (v); m/s | Área (A); m ² | Fuerza de arrastre $F_d =$ $\frac{1}{2}(C_d)(\rho)(A)(v)^2$; Kn | Coeficiente de arrastre $C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2}$; Kn |
|-----------------------|---|--------------------------------------|---------------------------------|--|--|
| 8 m. | 1.214 | 26.4 | 835 | 273.332 | 0.773 |
| 5 m. | | | 775 | 232.700 | 0.709 |
| 2 m. | | | 715 | 190.493 | 0.629 |

Nota. Autoría propia.

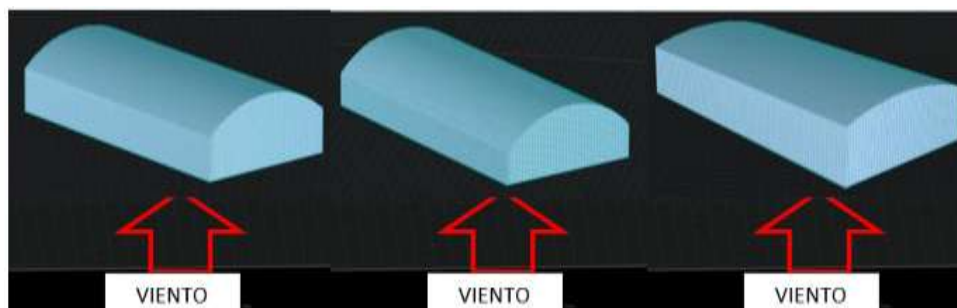
4.3.4.1. Techo curvo con acción del viento a 45°

En la siguiente figura se puede ver la cara donde incide la acción del viento con ángulo de ataque de 45° a diferentes alturas de cubriera (8, 5 y 2m), donde se detallan los puntos de prueba de las presiones a las que se encuentra sometida la estructura.

Figura 84

Dirección del Viento a 45° en diferentes alturas de Cubriera, de izquierda a derecha,

8m, 5m y 2m



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlupal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

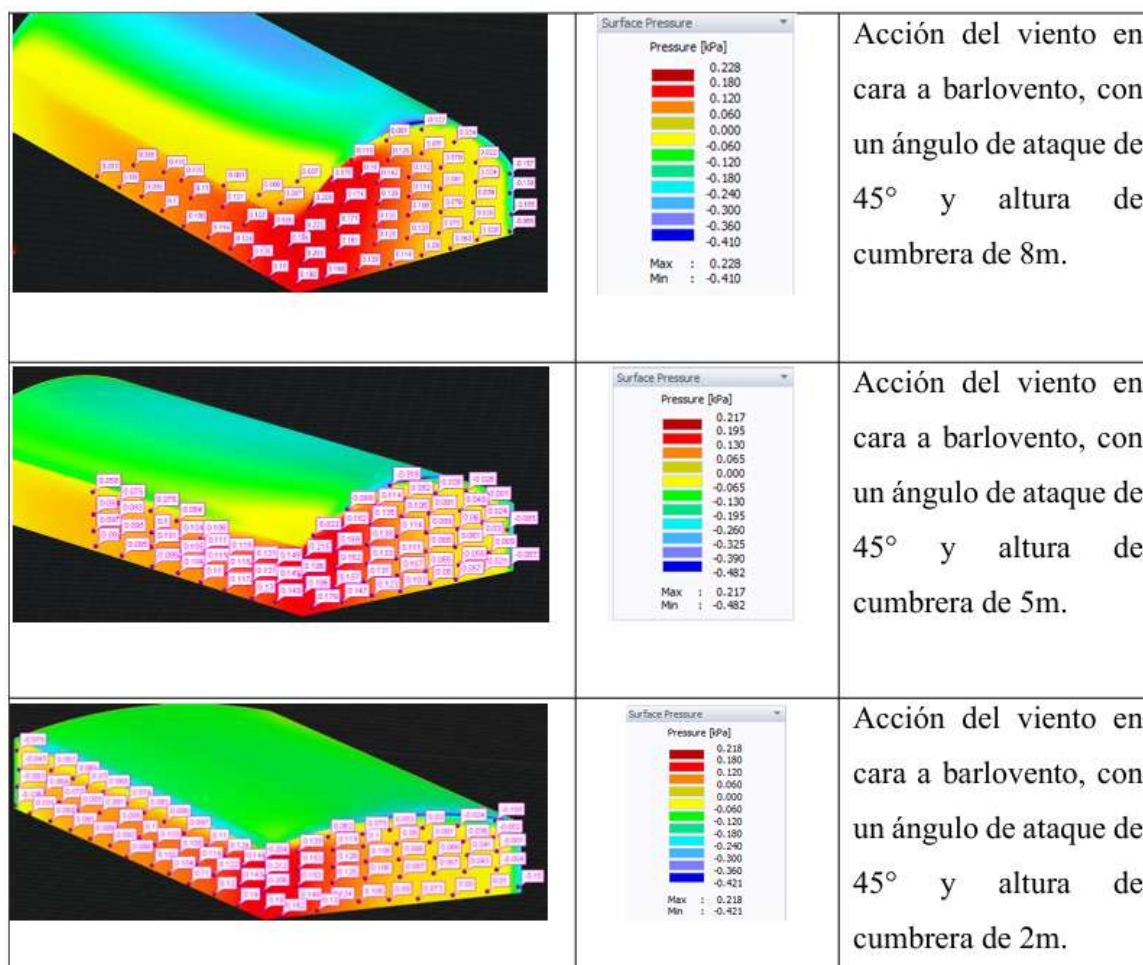
4.3.4.1.1. Presión del viento en cara a barlovento

Se harán los cálculos con la incidencia del viento en cara a barlovento, con un ángulo de ataque del viento de 45° . Se generaron 70 puntos de prueba para el estudio de las presiones, en donde se puede observar los puntos máximos y mínimos de presión por empuje (presión positiva) y succión (presión negativa) generadas por la fuerza del viento en la cara a barlovento.

En la figura 85 se puede ver los valores las presiones máximas y mínimas a las que está sometida la estructura.

Figura 85

Presiones del Viento en cara a Barlovento



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

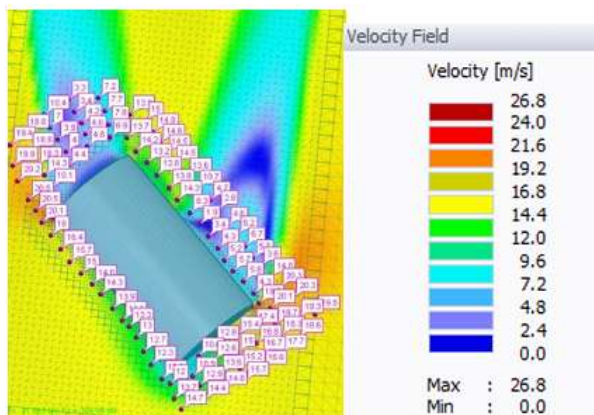
(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

4.3.4.1.2. Velocidad del viento en cara a barlovento a 45°

La incidencia de la velocidad del viento en la cara a barlovento, se colocan los setenta puntos de estudio. En las figuras 86, 87 y 88 se puede ver los puntos de estudio para las distintas alturas de cumbrera de 8, 5 y 2m.

Figura 86

Velocidad del Viento en cara a Barlovento, con ángulo de ataque de 45° y altura de cumbrera de 8m

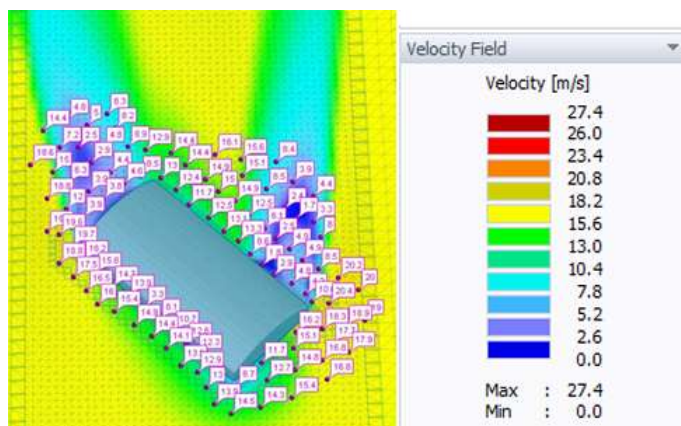


Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

Figura 87

Velocidad del Viento en cara a Barlovento, con ángulo de ataque de 45° y altura de cumbrera de 5m

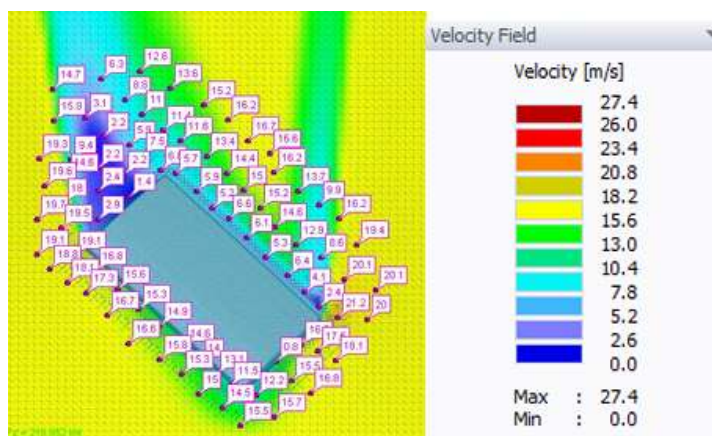


Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

Figura 88

Velocidad del Viento en cara a Barlovento, con ángulo de ataque de 45° y altura de cumbrera de 2m



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

4.3.4.1.3. Coeficiente de presión del viento en cara a barlovento a 45°

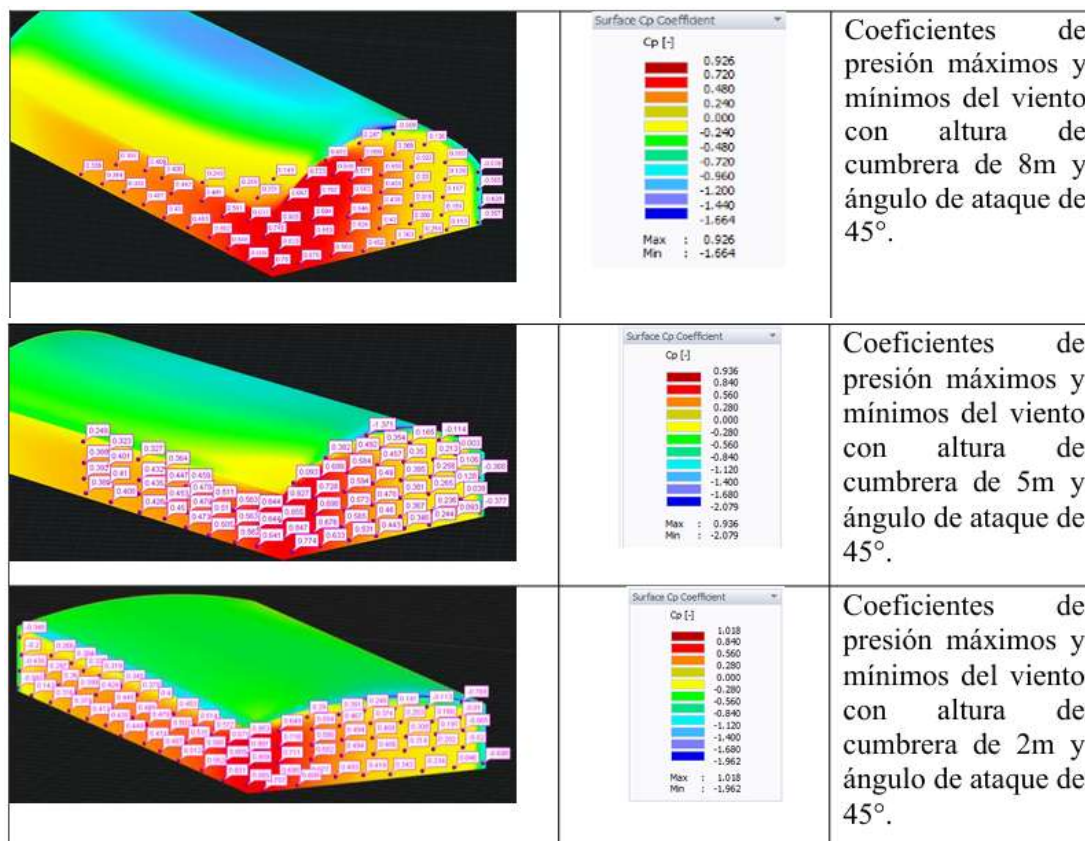
En la figura 89 se puede apreciar los coeficientes de presiones máximos y mínimos del viento a los que está sometido la estructura en sus diferentes alturas de cumbrera (8, 5 y 2m.), los cuales inciden en la cara a barlovento.

En la figura 90 se puede ver la incidencia del viento en la cara a barlovento, con un ángulo de ataque de 45° con respecto al eje de la estructura en las diferentes alturas de cumbrera (8, 5 y 2m.)

En la figura 91 se presenta la fuerza de arrastre a la que está sometida la estructura según la incidencia del viento en la cara a barlovento.

Figura 89

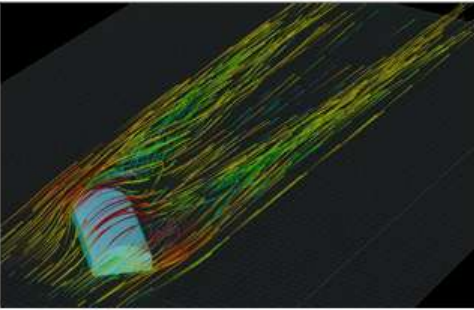
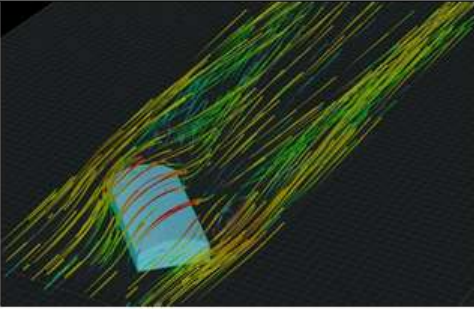
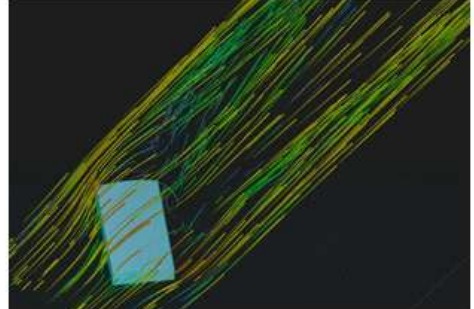
Coefficientes de Presión del Viento en cara a Barlovento



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlupal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

Figura 90*Incidencia del Viento en cara a Barlovento*

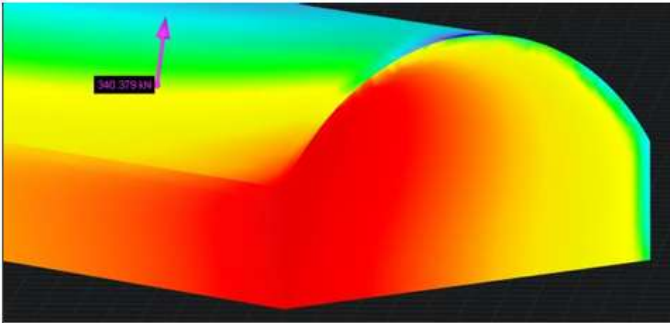
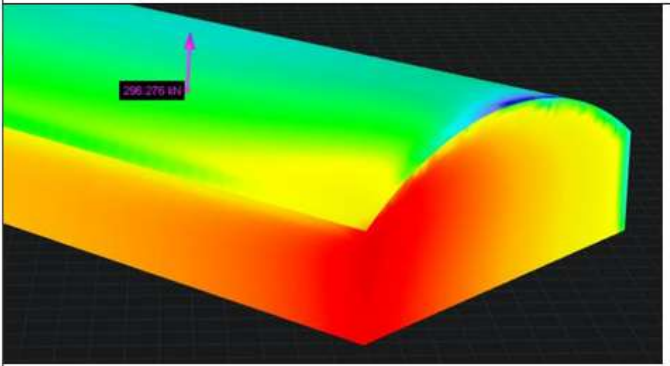
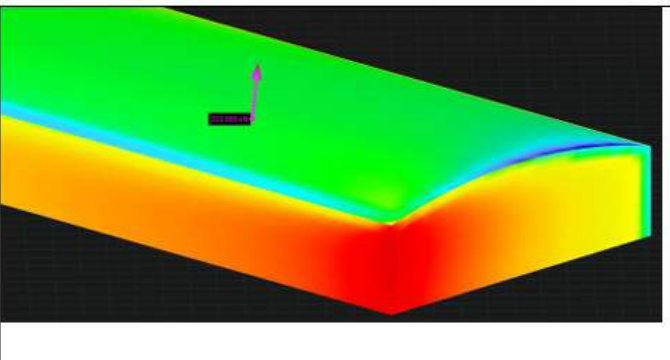
| | |
|---|---|
|  | <p>Acción de viento en cara a barlovento, con techo curvo con altura de cumbrera de 8m.</p> |
|  | <p>Acción de viento en cara a barlovento, con techo curvo con altura de cumbrera de 5m.</p> |
|  | <p>Acción de viento en cara a barlovento, con techo curvo con altura de cumbrera de 2m.</p> |

Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlupal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

Figura 91

Fuerza de arrastre del Viento en Techo curvo

| | |
|---|---|
|  | <p>Fuerza de arrastre del viento de 340.379Kn en cara a barlovento con ángulo de ataque de 45°, con altura de cumbrera de 8m.</p> |
|  | <p>Fuerza de arrastre del viento de 296.276Kn en cara a barlovento con ángulo de ataque de 45°, con altura de cumbrera de 5m.</p> |
|  | <p>Fuerza de arrastre del viento de 232.885Kn en cara a barlovento con ángulo de ataque de 45°, con altura de cumbrera de 2m.</p> |

Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

4.3.4.1.4. Coeficiente de arrastre del viento a 45°

Con la fuerza de arrastre (F_d) hallado por el software, se procederá a calcular el coeficiente de arrastre (C_d) a la que está sometida la estructura para las distintas alturas de cumbrera de 8m., 5m. y 2m., de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$F_d = \frac{1}{2} (C_d)(\rho)(A)(v)^2 \quad (32)$$

Donde:

C_d = Coeficiente de arrastre

ρ = densidad del fluido; kg/m^3

A = área de referencia; m^2

v = velocidad del flujo relativo al objeto; m/s

Reordenando la formula anterior se tiene lo siguiente:

$$C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2} \quad (33)$$

A.1. Altura de cumbrera de 8m. con ángulo de ataque de 45°

Los valores para el cálculo del coeficiente de arrastre son los siguientes:

La fuerza de arrastre se obtuvo del software, donde $F_d = 340.379KN = 340379N$

Para la densidad del viento se tiene $\rho = 1.214 \text{ kg}/m^3$

Para la velocidad del viento se tiene $v = 26.4 \text{ m/s}$

El área de referencia con respecto a la cara en barlovento se considera como la suma de las áreas de los rectángulos y la parábola, donde se tiene

$$A = \frac{2(b)(h)}{3} + (b)(h) + (b1)(h1)$$

$$A = \frac{2(30)(8)}{3} + (30)(7.5) + (60)(7.5)$$

$$A = 835m^2$$

Con los valores anteriormente hallados reemplazamos en la ecuación, obteniéndose el coeficiente de arrastre para ese perfil:

$$C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2}$$

$$C_d = \frac{(340379)(2)}{(1.214)(835)(26.4)^2}$$

$$C_d = \frac{680758}{706501.382}$$

$$C_d = 0.963$$

A.2. Altura de cumbrera de 5m. con ángulo de ataque de 45°

Los valores para el cálculo del coeficiente de arrastre son los siguientes:

La fuerza de arrastre se obtuvo del software, donde $F_d = 296.276KN = 296276N$

Para la densidad del viento se tiene $\rho = 1.214 \text{ kg/m}^3$

Para la velocidad del viento se tiene $v = 26.4 \text{ m/s}$

El área de referencia con respecto a la cara en barlovento se considera como la suma de las áreas de los rectángulos y la parábola, donde se tiene

$$A = \frac{2(b)(h)}{3} + (b)(h) + (b_1)(h_1)$$

$$A = \frac{2(30)(5)}{3} + (30)(7.5) + (60)(7.5)$$

$$A = 775m^2$$

Con los valores anteriormente hallados reemplazamos en la ecuación, obteniéndose el coeficiente de arrastre para ese perfil:

$$C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2}$$

$$C_d = \frac{(296276)(2)}{(1.214)(775)(26.4)^2}$$

$$C_d = \frac{592552}{655734.816}$$

$$C_d = 0.903$$

A.3. Altura de cumbrera de 2m. con ángulo de ataque de 45°

Los valores para el cálculo del coeficiente de arrastre son los siguientes:

La fuerza de arrastre se obtuvo del software, donde $F_d = 232.885KN = 232885N$

Para la densidad del viento se tiene $\rho = 1.214 \text{ kg/m}^3$

Para la velocidad del viento se tiene $v = 26.4 \text{ m/s}$

El área de referencia con respecto a la cara en barlovento se considera como la suma de las áreas de los rectángulos y la parábola, donde se tiene

$$A = \frac{2(b)(h)}{3} + (b)(h) + (b_1)(h_1)$$

$$A = \frac{2(30)(2)}{3} + (30)(7.5) + (60)(7.5)$$

$$A = 715m^2$$

Con los valores anteriormente hallados reemplazamos en la ecuación, obteniéndose el coeficiente de arrastre para ese perfil:

$$C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2}$$

$$C_d = \frac{(232885)(2)}{(1.214)(715)(26.4)^2}$$

$$C_d = \frac{465770}{604968.249}$$

$$C_d = 0.769$$

Tabla 18

Resumen de Fuerza y Coeficiente de Arrastre para ángulo de ataque de 45°, curvo.

| Altura de cubriera | Densidad (ρ); kg/m ³ | Velocidad del viento (v); m/s | Área (A); m ² | Fuerza de arrastre $F_d = \frac{1}{2}(C_d)(\rho)(A)(v)^2$; Kn | Coeficiente de arrastre $C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2}$ |
|-----------------------|---|--------------------------------------|---------------------------------|---|---|
| 8 m. | 1.214 | 26.4 | 835 | 340.379 | 0.963 |
| 5 m. | | | 775 | 296.276 | 0.903 |
| 2 m. | | | 715 | 232.885 | 0.769 |

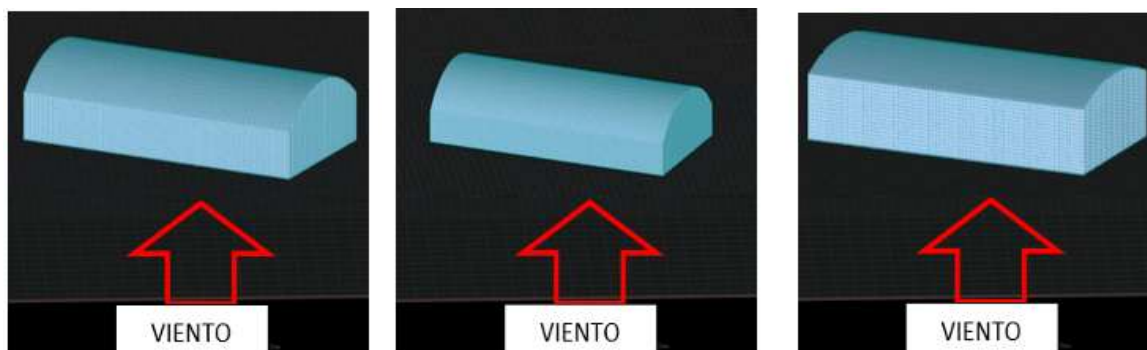
Nota. Autoría propia.

4.3.5.1. Techo curvo con acción del viento a 60°

En la siguiente figura se puede ver la cara donde incide la acción del viento con ángulo de ataque de 60° a diferentes alturas de cubriera (8, 5 y 2m), donde se detallan los puntos de prueba de las presiones a las que se encuentra sometida la estructura.

Figura 92

Dirección del Viento a 60° en diferentes alturas de cumbrera, de izquierda a derecha, 8m, 5m y 2m



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento (<https://www.dlupal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

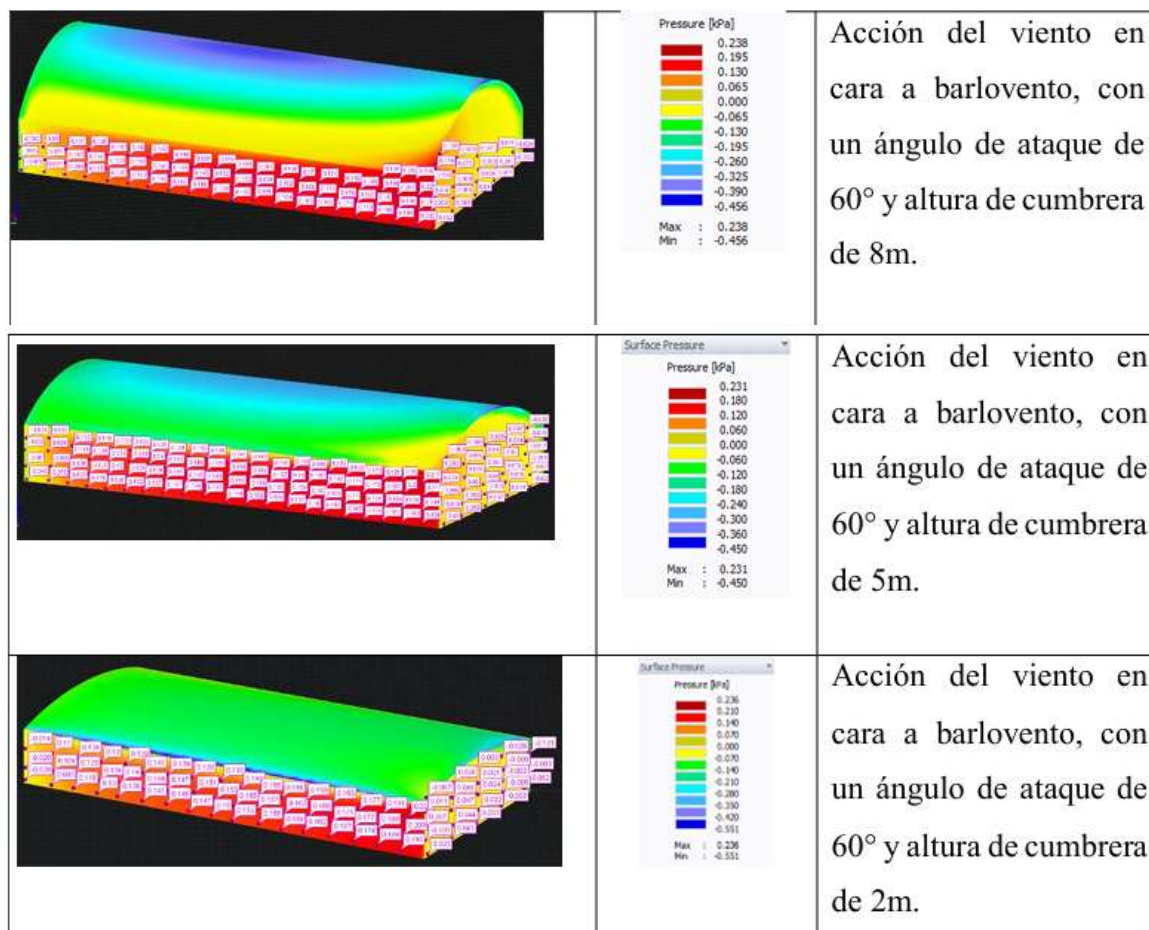
4.3.5.1.1. Presión del viento en cara a barlovento a 60°

Se harán los cálculos con la incidencia del viento en cara a barlovento, con un ángulo de ataque del viento de 60°. Se generaron 70 puntos de prueba para el estudio de las presiones, en donde se puede observar los puntos máximos y mínimos de presión por empuje (presión positiva) y succión (presión negativa) generadas por la fuerza del viento en la cara a barlovento.

En la figura 93 se puede ver los valores las presiones máximas y mínimas a las que está sometida la estructura.

Figura 93

Presiones del Viento en cara a Barlovento



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

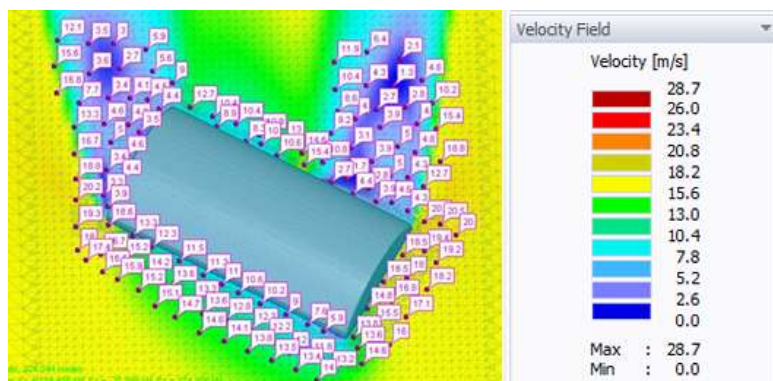
(<https://www.dlupal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

4.3.5.1.2. *Velocidad del viento en cara a barlovento a 60°*

La incidencia de la velocidad del viento en la cara a barlovento, se colocan los setenta puntos de estudio. En las figuras 94, 95 y 96 se puede ver los puntos de estudio para las distintas alturas de cumbrera de 8, 5 y 2m.

Figura 94

Velocidad del Viento en cara a Barlovento, con ángulo de ataque de 60° y altura de cumbrera de 8m

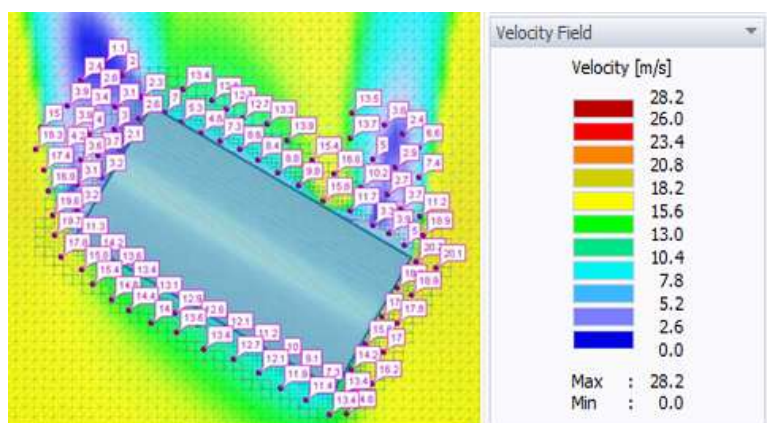


Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlupal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

Figura 95

Velocidad del Viento en cara a Barlovento, con ángulo de ataque de 60° y altura de cumbrera de

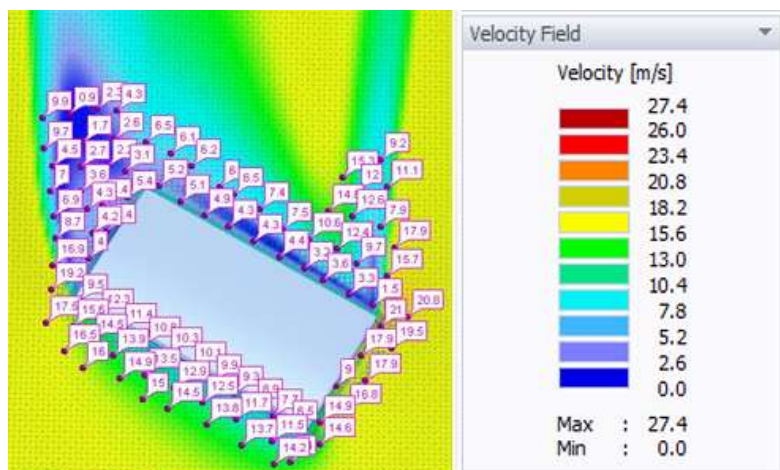


Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

Figura 96

Velocidad del Viento en cara a Barlovento, con ángulo de ataque de 60° y altura de cumbrera de

(<https://www.dlupal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

4.3.5.1.3. *Coficiente de presión del viento en cara a barlovento a 60°*

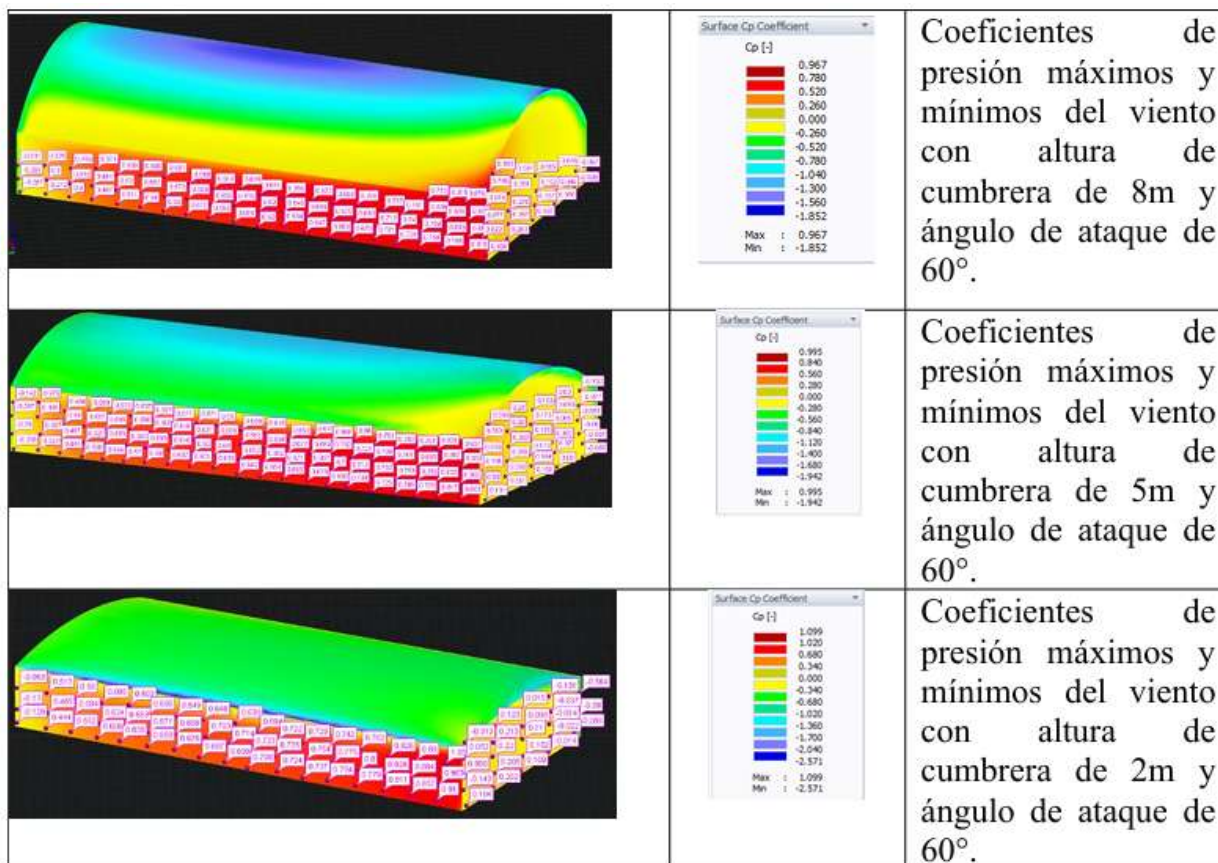
En la figura 97 se puede apreciar los coeficientes de presiones máximos y mínimos del viento a los que está sometido la estructura en sus diferentes alturas de cumbrera (8, 5 y 2m.), los cuales inciden en la cara a barlovento.

En la figura 98 se puede ver la incidencia del viento en la cara a barlovento, con un ángulo de ataque de 60° con respecto al eje de la estructura en las diferentes alturas de cumbrera (8, 5 y 2m.)

En la figura 99 se presenta la fuerza de arrastre a la que está sometida la estructura según la incidencia del viento en la cara a barlovento.

Figura 97

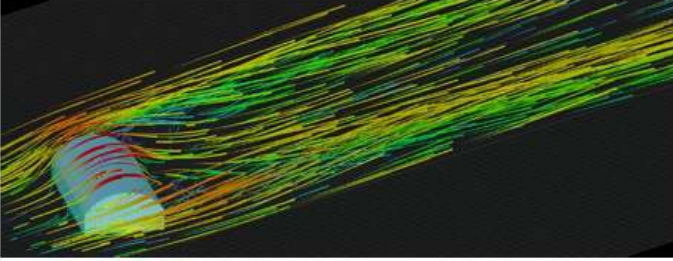
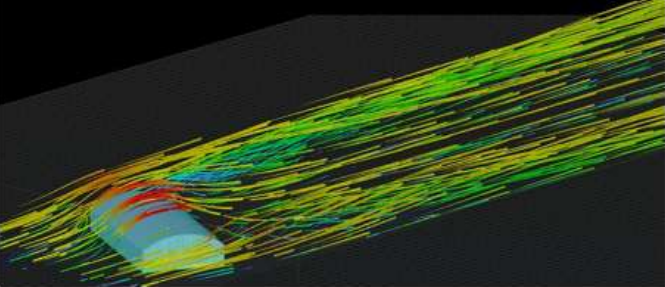
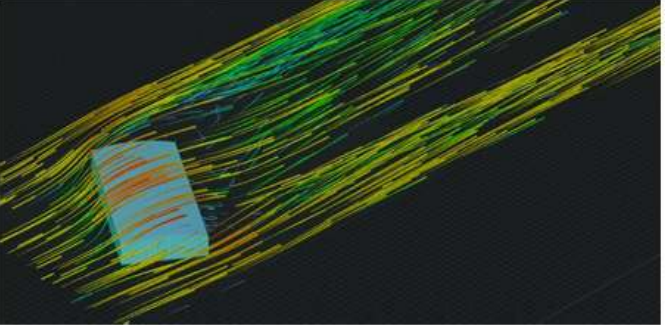
Coefficientes de Presión del Viento en cara a Barlovento



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlupal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

Figura 98*Incidencia del Viento en cara a Barlovento*

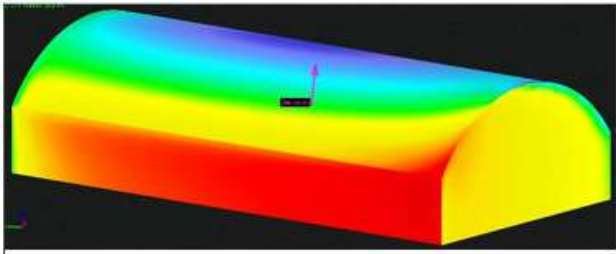
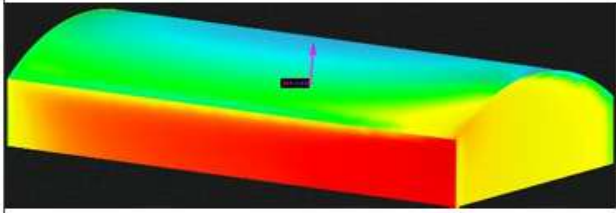
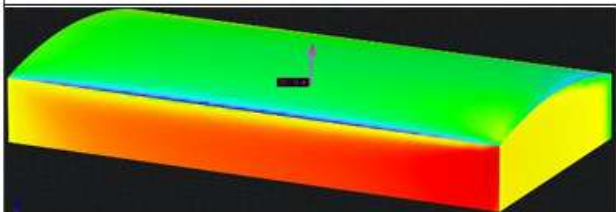
| | |
|---|---|
|  | <p>Acción de viento en cara a barlovento, con techo curvo con altura de cumbrera de 8m.</p> |
|  | <p>Acción de viento en cara a barlovento, con techo curvo con altura de cumbrera de 5m.</p> |
|  | <p>Acción de viento en cara a barlovento, con techo curvo con altura de cumbrera de 2m.</p> |

Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

Figura 99

Fuerza de arrastre del Viento en Techo a dos Aguas

| | |
|--|---|
|  | <p>Fuerza de arrastre del viento de 406.355Kn en cara a barlovento con ángulo de ataque de 60°, con altura de cumbrera de 8m.</p> |
|  | <p>Fuerza de arrastre del viento de 354.44Kn en cara a barlovento con ángulo de ataque de 60°, con altura de cumbrera de 5m.</p> |
|  | <p>Fuerza de arrastre del viento de 272.154Kn en cara a barlovento con ángulo de ataque de 60°, con altura de cumbrera de 2m.</p> |

Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

4.3.5.1.4. Coeficiente de arrastre del viento a 60°

Con la fuerza de arrastre (F_d) hallado por el software, se procederá a calcular el coeficiente de arrastre (C_d) a la que está sometida la estructura para las distintas alturas de cumbrera de 8m., 5m. y 2m., de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$F_d = \frac{1}{2} (C_d)(\rho)(A)(v)^2 \quad (34)$$

Donde:

C_d = Coeficiente de arrastre

$\rho = \text{densidad del fluido; } kg/m^3$

$A = \text{área de referencia; } m^2$

$v = \text{velocidad del flujo relativo al objeto; } m/s$

Reordenando la fórmula anterior se tiene lo siguiente:

$$C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2} \quad (35)$$

A.1. Altura de cumbrera de 8m. con ángulo de ataque de 60°

Los valores para el cálculo del coeficiente de arrastre son los siguientes:

La fuerza de arrastre se obtuvo del software, donde $F_d = 406.355KN = 406355N$

Para la densidad del viento se tiene $\rho = 1.214 \text{ } kg/m^3$

Para la velocidad del viento se tiene $v = 26.4 \text{ } m/s$

El área de referencia con respecto a la cara en barlovento se considera como la suma de las áreas de los rectángulos y la parábola, donde se tiene

$$A = \frac{2(b)(h)}{3} + (b)(h) + (b1)(h1)$$

$$A = \frac{2(30)(8)}{3} + (30)(7.5) + (60)(7.5)$$

$$A = 835m^2$$

Con los valores anteriormente hallados reemplazamos en la ecuación, obteniéndose el coeficiente de arrastre para ese perfil:

$$C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2}$$

$$C_d = \frac{(406355)(2)}{(1.214)(835)(26.4)^2}$$

$$C_d = \frac{8122710}{706501.3824}$$

$$C_d = 1.150$$

A.2. Altura de cumbrera de 5m. con ángulo de ataque de 60°

Los valores para el cálculo del coeficiente de arrastre son los siguientes:

La fuerza de arrastre se obtuvo del software, donde $F_d = 354.440KN = 354440N$

Para la densidad del viento se tiene $\rho = 1.214 \text{ } kg/m^3$

Para la velocidad del viento se tiene $v = 26.4 \text{ } m/s$

El área de referencia con respecto a la cara en barlovento se considera como la suma de las áreas de los rectángulos y la parábola, donde se tiene

$$A = \frac{2(b)(h)}{3} + (b)(h) + (b1)(h1)$$

$$A = \frac{2(30)(5)}{3} + (30)(7.5) + (60)(7.5)$$

$$A = 775m^2$$

Con los valores anteriormente hallados reemplazamos en la ecuación, obteniéndose el coeficiente de arrastre para ese perfil:

$$C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2}$$

$$C_d = \frac{(354440)(2)}{(1.214)(775)(26.4)^2}$$

$$C_d = \frac{708880}{655734.816}$$

$$C_d = 1.081$$

A.3. Altura de cumbrera de 2m. con ángulo de ataque de 60°

Los valores para el cálculo del coeficiente de arrastre son los siguientes:

La fuerza de arrastre se obtuvo del software, donde $F_d = 272.154KN = 272154N$

Para la densidad del viento se tiene $\rho = 1.214 \text{ kg/m}^3$

Para la velocidad del viento se tiene $v = 26.4 \text{ m/s}$

El área de referencia con respecto a la cara en barlovento se considera como la suma de las áreas de los rectángulos y la parábola, donde se tiene

$$A = \frac{2(b)(h)}{3} + (b)(h) + (b1)(h1)$$

$$A = \frac{2(30)(2)}{3} + (30)(7.5) + (60)(7.5)$$

$$A = 715m^2$$

Con los valores anteriormente hallados reemplazamos en la ecuación, obteniéndose el coeficiente de arrastre para ese perfil:

$$C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2}$$

$$C_d = \frac{(272154)(2)}{(1.214)(715)(26.4)^2}$$

$$C_d = \frac{544308}{604968.2496}$$

$$C_d = 0.899$$

Tabla 19

Resumen de Fuerza y Coeficiente de Arrastre para ángulo de ataque de 60°, curvo.

| Altura de cubrerera | Densidad (ρ); kg/m ³ | Velocidad del viento (v); m/s | Área (A); m ² | Fuerza de arrastre $F_d =$ $\frac{1}{2}(C_d)(\rho)(A)(v)^2$; Kn | Coeficiente de arrastre $C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2}$ |
|------------------------|---|--------------------------------------|---------------------------------|--|---|
| 8 m. | 1.214 | 26.4 | 835 | 406.355 | 1.150 |
| 5 m. | | | 775 | 354.440 | 1.081 |
| 2 m. | | | 715 | 272.154 | 0.899 |

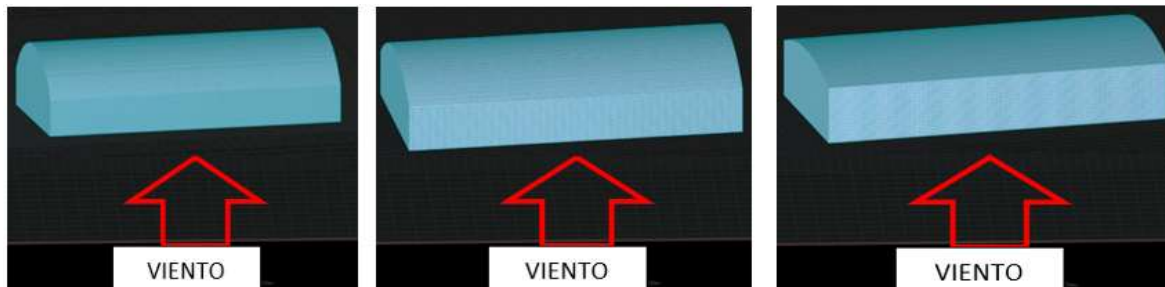
Nota. Autoría propia.

4.3.6.1. Techo a dos aguas con acción del viento a 90°

En la siguiente figura se puede ver la cara donde incide la acción del viento con ángulo de ataque de 90° a diferentes alturas de cubrerera (8, 5 y 2m), donde se detallan los puntos de prueba de las presiones a las que se encuentra sometida la estructura.

Figura 100

Dirección del Viento a 90° en diferentes alturas de cubrerera, de izquierda a derecha, 8m, 5m y



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

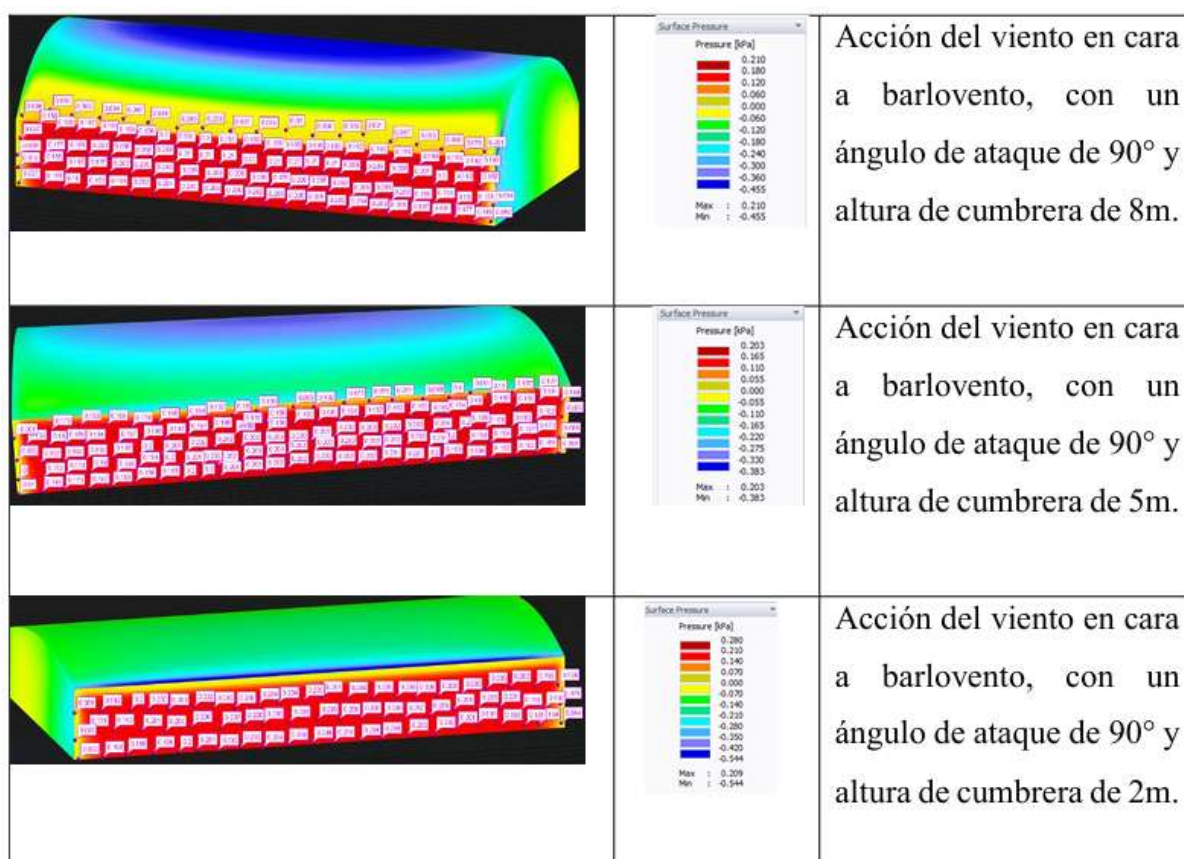
4.3.6.1.1. Presión del viento en cara a barlovento a 90°

Se harán los cálculos con la incidencia del viento en cara a barlovento, con un ángulo de ataque del viento de 90°. Se generaron 70 puntos de prueba para el estudio de las presiones, en donde se puede observar los puntos máximos y mínimos de presión por empuje (presión positiva) y succión (presión negativa) generadas por la fuerza del viento en la cara a barlovento.

En la figura 101 se puede ver los valores las presiones máximas y mínimas a las que está sometida la estructura.

Figura 101

Presiones del Viento en cara a Barlovento



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

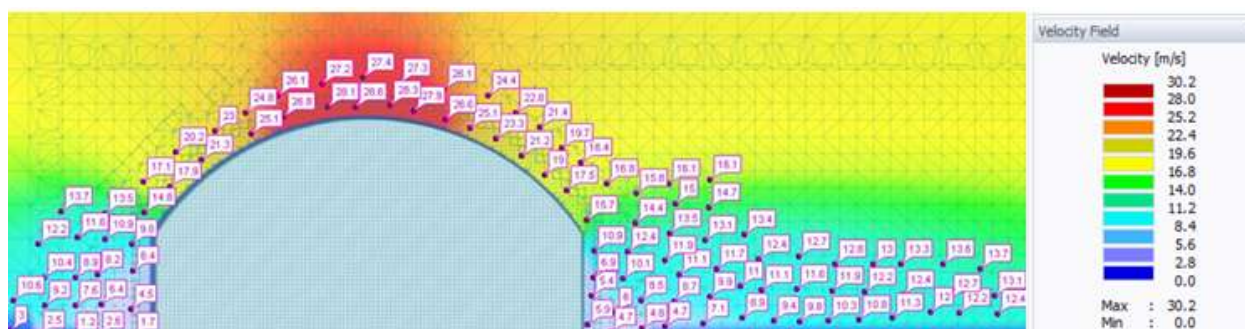
(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

4.3.6.1.2. *Velocidad del viento en cara a barlovento a 90°*

La incidencia de la velocidad del viento en la cara a barlovento, se colocan los setenta puntos de estudio. En las figuras 102, 103 y 104 se puede ver los puntos de estudio para las distintas alturas de cumbrera de 8, 5 y 2m.

Figura 102

Velocidad del Viento en cara a Barlovento, con ángulo de ataque de 90° y altura de cumbrera de 8m

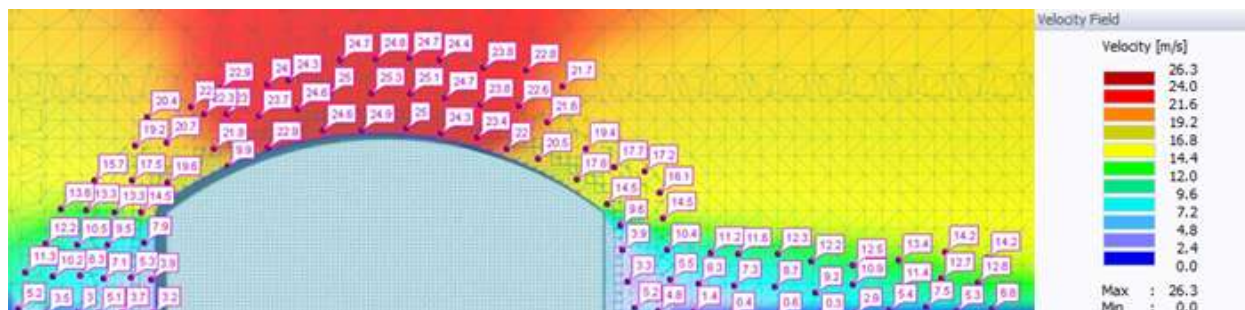


Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

Figura 103

Velocidad del Viento en cara a Barlovento, con ángulo de ataque de 90° y altura de cumbrera de 5m

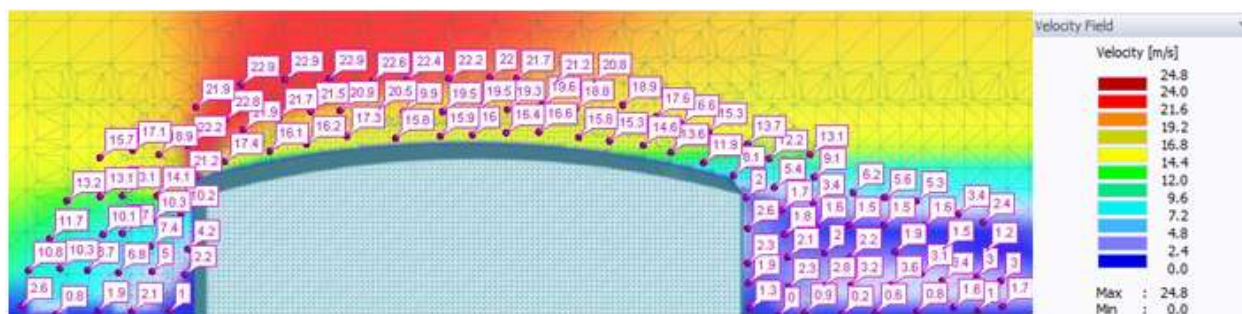


Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

Figura 104

Velocidad del Viento en cara a Barlovento, con ángulo de ataque de 90° y altura de cumbrera de



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

4.3.6.1.3. Coeficiente de presión del viento en cara a barlovento a 90°

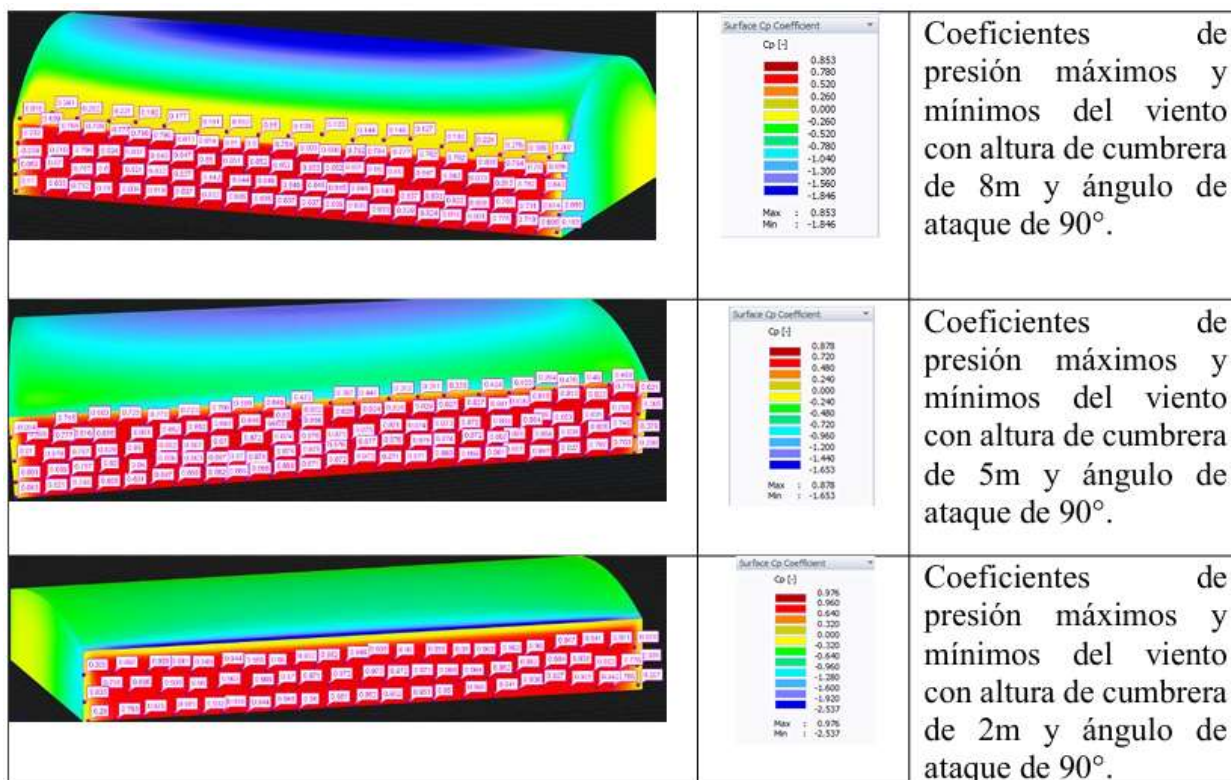
En la figura 105 se puede apreciar los coeficientes de presiones máximos y mínimos del viento a los que está sometido la estructura en sus diferentes alturas de cumbrera (8, 5 y 2m.), los cuales inciden en la cara a barlovento.

En la figura 106 se puede ver la incidencia del viento en la cara a barlovento, con un ángulo de ataque de 90° con respecto al eje de la estructura en las diferentes alturas de cumbrera (8, 5 y 2m.)

En la figura 107 se presenta la fuerza de arrastre a la que está sometida la estructura según la incidencia del viento en la cara a barlovento.

Figura 105

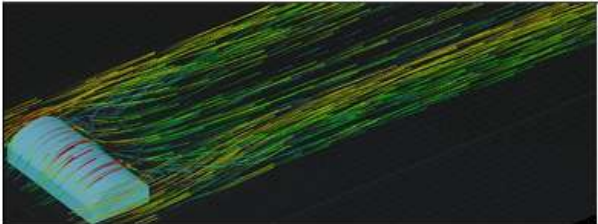
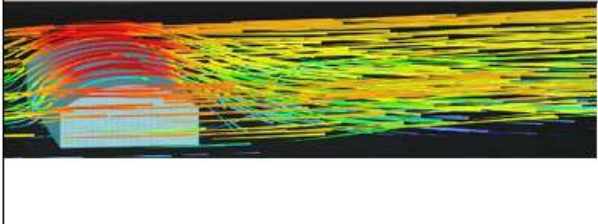
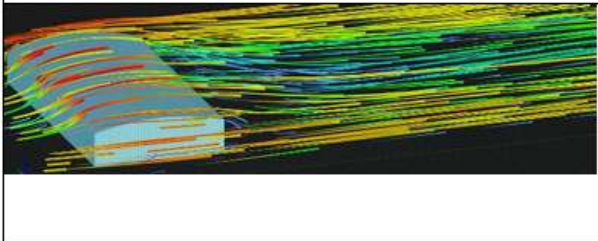
Coefficientes de Presión del Viento en cara a Barlovento



Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

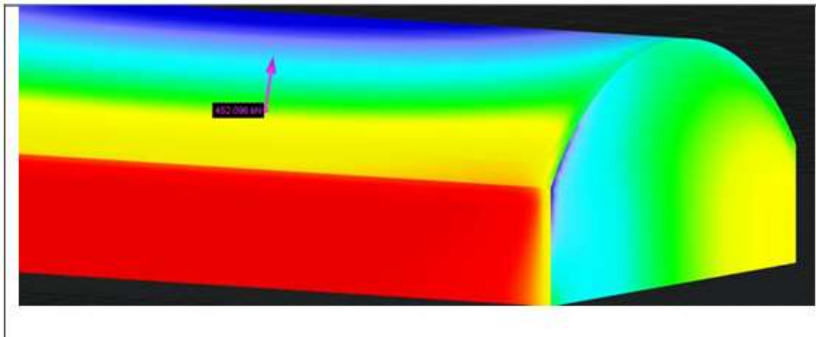
Figura 106*Incidencia del Viento en cara a Barlovento*

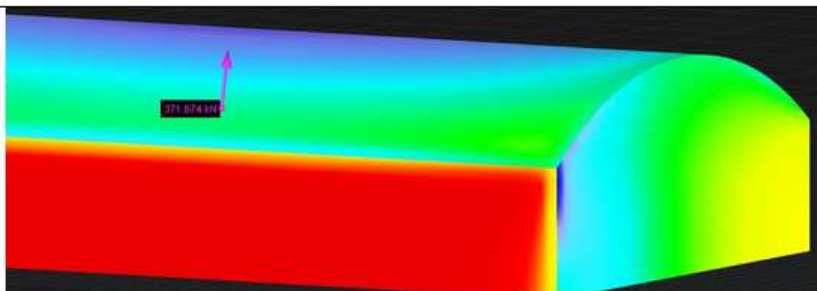
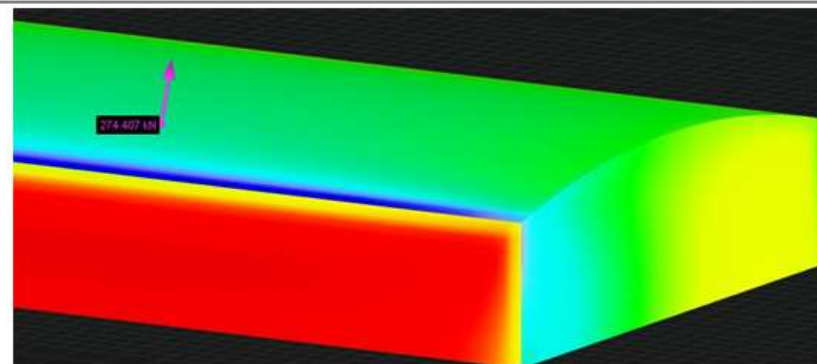
| | |
|--|--|
|  | <p>Acción de viento en cara a barlovento, con techo curvo con altura de cumbrera de 8m. y ángulo de ataque de 90°.</p> |
|  | <p>Acción de viento en cara a barlovento, con techo curvo con altura de cumbrera de 5m. y ángulo de ataque de 90°.</p> |
|  | <p>Acción de viento en cara a barlovento, con techo curvo con altura de cumbrera de 2m. y ángulo de ataque de 90°.</p> |

Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlubal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

Figura 107*Fuerza de Arrastre del Viento en Techo Curvo*

| | |
|--|---|
|  | <p>Fuerza de arrastre del viento de 452.096Kn en cara a barlovento con ángulo de ataque de 90°, con altura de cumbrera de 8m.</p> |
|--|---|

| | |
|---|---|
|  | <p>Fuerza de arrastre del viento de 371.674Kn en cara a barlovento con ángulo de ataque de 90°, con altura de cumbrera de 5m.</p> |
|  | <p>Fuerza de arrastre del viento de 274.407Kn en cara a barlovento con ángulo de ataque de 90°, con altura de cumbrera de 2m.</p> |

Nota. Adaptado de *Simulación del viento*, por Rwind 1.24, 2021, Análisis de viento

(<https://www.dlupal.com/es/productos/software-de-analisis-estructural-independiente/rwind>)

4.3.6.1.4. Coeficiente de arrastre del viento a 90°

Con la fuerza de arrastre (F_d) hallado por el software, se procederá a calcular el coeficiente de arrastre (C_d) a la que está sometida la estructura para las distintas alturas de cumbrera de 8m., 5m. y 2m., de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$F_d = \frac{1}{2}(C_d)(\rho)(A)(v)^2 \quad (36)$$

Donde:

C_d = Coeficiente de arrastre

ρ = densidad del fluido; kg/m^3

A = área de referencia; m^2

$v = \text{velocidad del flujo relativo al objeto; } m/s$

Reordenando la formula anterior se tiene lo siguiente:

$$C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2} \quad (37)$$

A.1. Altura de cumbrera de 8m. con ángulo de ataque de 90°

Los valores para el cálculo del coeficiente de arrastre son los siguientes:

La fuerza de arrastre se obtuvo del software, donde $F_d = 452.096KN = 452096N$

Para la densidad del viento se tiene $\rho = 1.214 \text{ kg}/m^3$

Para la velocidad del viento se tiene $v = 26.4 \text{ m/s}$

El área de referencia con respecto a la cara en barlovento se considera como la suma de las áreas de los rectángulos, donde se tiene

$$A = (b)(h) + (b1)(h1)$$

$$A = (60)(7.5) + (60)(8)$$

$$A = 930m^2$$

Con los valores anteriormente hallados reemplazamos en la ecuación, obteniéndose el coeficiente de arrastre para ese perfil:

$$C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2}$$

$$C_d = \frac{(452096)(2)}{(1.214)(930)(26.4)^2}$$

$$C_d = \frac{904192}{786881.779}$$

$$C_d = 1.149$$

A.2. Altura de cumbrera de 5m. con ángulo de ataque de 90°

Los valores para el cálculo del coeficiente de arrastre son los siguientes:

La fuerza de arrastre se obtuvo del software, donde $F_d = 371.674KN = 371674N$

Para la densidad del viento se tiene $\rho = 1.214 \text{ kg}/m^3$

Para la velocidad del viento se tiene $v = 26.4 \text{ m/s}$

El área de referencia con respecto a la cara en barlovento se considera como la suma de las áreas de los rectángulos, donde se tiene

$$A = (b)(h) + (b1)(h1)$$

$$A = (60)(7.5) + (60)(5)$$

$$A = 750m^2$$

Con los valores anteriormente hallados reemplazamos en la ecuación, obteniéndose el coeficiente de arrastre para ese perfil:

$$C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2}$$

$$C_d = \frac{(371674)(2)}{(1.214)(750)(26.4)^2}$$

$$C_d = \frac{743348}{634582.08}$$

$$C_d = 1.171$$

A.3. Altura de cumbrera de 2m. con ángulo de ataque de 90°

Los valores para el cálculo del coeficiente de arrastre son los siguientes:

La fuerza de arrastre se obtuvo del software, donde $F_d = 274.407KN = 274407N$

Para la densidad del viento se tiene $\rho = 1.214 \text{ kg}/m^3$

Para la velocidad del viento se tiene $v = 26.4 \text{ m/s}$

El área de referencia con respecto a la cara en barlovento se considera como la suma de las áreas de los rectángulos, donde se tiene

$$A = (b)(h) + (b1)(h1)$$

$$A = (60)(7.5) + (60)(2)$$

$$A = 570m^2$$

Con los valores anteriormente hallados reemplazamos en la ecuación, obteniéndose el coeficiente de arrastre para ese perfil:

$$C_d = \frac{F_d * 2}{(\rho)(A)(v)^2}$$

$$C_d = \frac{(274407)(2)}{(1.214)(570)(26.4)^2}$$

$$C_d = \frac{548814}{482282.3808}$$

$$C_d = 1.137$$

Tabla 20

Resumen de Fuerza y Coeficiente de arrastre para ángulo de ataque de 90°, curvo.

| Altura de cubriera | Densidad (ρ); kg/m ³ | Velocidad del viento (v); m/s | Área (A); m ² | Fuerza de arrastre $F_d = \frac{1}{2}(C_d)(\rho)(A)(v)^2$; Kn | Coeficiente de arrastre $C_d = \frac{F_d \cdot 2}{(\rho)(A)(v)^2}$ |
|-----------------------|---|--------------------------------------|---------------------------------|---|---|
| 8 m. | 1.214 | 26.4 | 930 | 452.096 | 1.149 |
| 5 m. | | | 750 | 371.674 | 1.171 |
| 2 m. | | | 570 | 274.407 | 1.137 |

Nota. Autoría propia.

V. Resultados y discusión

5.1.Resultados

A través del método de elementos finitos, se logró obtener los siguientes valores para la construcción de una nave industrial de $1800m^2$:

5.1.1. En los siguientes cuadros se puede ver los valores de las presiones máximas que se obtuvieron para un techo a dos aguas y un techo curvo.

Tabla 21

Presión máxima de Viento a diferentes alturas de cumbrera, Techo a dos Aguas

| Presión máxima del viento para techo a dos aguas a diferentes alturas de cumbrera | | | |
|--|--|--|--|
| Ángulo de ataque | Altura de cumbrera de 8m. (Kpa) | Altura de cumbrera de 5m. (Kpa) | Altura de cumbrera de 2m. (Kpa) |
| 0° | 216.1 | 207 | 205 |
| 30° | 227 | 228 | 232 |
| 45° | 220.3 | 212 | 218 |
| 60° | 233.8 | 220 | 225 |
| 90° | 218 | 203 | 211 |

Tabla 22*Presión máxima de Viento a diferentes alturas de Cumbre, Techo curvo*

| Presión máxima del viento para techo curvo a diferentes alturas de cumbre | | | |
|--|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Ángulo de ataque | Altura de cumbre de 8m. (Kpa) | Altura de cumbre de 5m. (Kpa) | Altura de cumbre de 2m. (Kpa) |
| 0° | 223 | 211 | 206.5 |
| 30° | 236 | 226 | 226 |
| 45° | 228 | 217 | 218 |
| 60° | 238 | 231 | 236 |
| 90° | 210 | 203 | 209 |

5.1.2. En los siguientes cuadros se puede ver los valores de las velocidades máximas que se obtuvieron para un techo a dos aguas y un techo curvo.

Tabla 23*Velocidad máxima del Viento a diferentes alturas de Cumbre, Techo a dos aguas*

| Velocidad máxima del viento para techo a dos aguas a diferentes alturas de cumbre | | | |
|--|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Ángulo de ataque | Altura de cumbre de 8m. (m/s) | Altura de cumbre de 5m. (m/s) | Altura de cumbre de 2m. (m/s) |
| 0° | 25.6 | 25 | 23 |
| 30° | 28 | 31.2 | 25.8 |
| 45° | 32.27 | 29.2 | 26.9 |
| 60° | 35.58 | 26.8 | 25.4 |
| 90° | 26.6 | 31.9 | 24.6 |

Tabla 24*Velocidad máxima del Viento a diferentes alturas de Cumbre, Techo curvo*

| Velocidad máxima del viento para techo curvo a diferentes alturas de cumbre | | | |
|--|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Ángulo de ataque | Altura de cumbre de 8m. (m/s) | Altura de cumbre de 5m. (m/s) | Altura de cumbre de 2m. (m/s) |
| 0° | 25.4 | 25.3 | 23.17 |
| 30° | 25.6 | 26.1 | 24.9 |
| 45° | 26.8 | 27.4 | 26.4 |
| 60° | 28.7 | 28.2 | 27.4 |
| 90° | 30.2 | 26.3 | 24.8 |

5.1.3. En los siguientes cuadros se puede ver los valores de coeficiente de arrastre máximo que se obtuvieron para un techo a dos aguas y un techo curvo.

Tabla 25*Coeficiente de arrastre máximo del Viento a diferentes alturas de Cumbre, Techo a dos Aguas*

| Coeficiente de arrastre máximo del viento para techo a dos aguas a diferentes alturas de cumbre | | | |
|--|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Ángulo de ataque | Altura de cumbre de 8m. | Altura de cumbre de 5m. | Altura de cumbre de 2m. |
| 0° | 1.034 | 1.073 | 1.180 |
| 30° | 0.697 | 0.429 | 0.861 |
| 45° | 0.838 | 0.820 | 0.734 |
| 60° | 0.937 | 0.649 | 0.605 |
| 90° | 0.583 | 0.950 | 1.066 |

Tabla 26

Coefficiente de arrastre máximo del Viento a diferentes alturas de Cumbre, Techo curvo

| Coefficiente de arrastre máximo del viento para techo curvo a diferentes alturas de cumbre | | | |
|---|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Ángulo de ataque | Altura de cumbre de 8m. | Altura de cumbre de 5m. | Altura de cumbre de 2m. |
| 0° | 1.019 | 1.057 | 1.170 |
| 30° | 0.773 | 0.709 | 0.629 |
| 45° | 0.963 | 0.903 | 0.769 |
| 60° | 1.150 | 1.081 | 0.899 |
| 90° | 1.149 | 1.171 | 1.137 |

5.1.4. En los siguientes cuadros se puede ver los valores de los coeficientes de presión que se obtuvieron para un techo a dos aguas y un techo curvo.

Tabla 27

Coefficiente de presión del Viento a diferentes alturas de cumbre, Techo a dos Aguas

| Coefficiente de presión del viento para techo a dos aguas a diferentes alturas de cumbre | | | |
|---|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Ángulo de ataque | Altura de cumbre de 8m. | Altura de cumbre de 5m. | Altura de cumbre de 2m. |
| 0° | 0.877 | 0.891 | 0.891 |
| 30° | 0.227 | 0.984 | 1.081 |
| 45° | 1.017 | 0.913 | 1.017 |
| 60° | 0.948 | 0.949 | 1.048 |
| 90° | 0.886 | 0.876 | 0.983 |

Tabla 28

Coefficiente de presión del Viento a diferentes alturas de Cumbre, Techo curvo

| Coefficiente de presión del viento para techo curvo a diferentes alturas de cumbre | | | |
|---|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Ángulo de ataque | Altura de cumbre de 8m. | Altura de cumbre de 5m. | Altura de cumbre de 2m. |
| 0° | 0.905 | 0.908 | 0.963 |
| 30° | 0.959 | 0.974 | 1.055 |
| 45° | 0.926 | 0.936 | 1.018 |
| 60° | 0.967 | 0.995 | 1.099 |
| 90° | 0.853 | 0.878 | 0.976 |

5.2.Discusión

5.2.1. De acuerdo a lo obtenido en la tabla 19 y 20, se pudo observar lo siguiente:

Que, con una altura de cumbre de 8m para un techo a dos aguas y considerando los ángulos de ataque de 0° y 90°, se tiene una presión de viento máxima de 216.1 Kpa y 218 Kpa. De igual manera para una altura de cumbre de 5m, se tiene una presión máxima de viento de 207 Kpa y 203 Kpa. Igualmente, para una altura de cumbre de 2m, se tiene una presión de viento máxima de 205 Kpa y 211 Kpa. Para un techo curvo, con una altura de cumbre de 8m, se tiene una presión de viento máxima de 223 Kpa y 210 Kpa. De igual manera, para una altura de cumbre de 5m, se tiene una presión de viento máxima de 211 Kpa y 203 Kpa. Lo mismo para una altura de cumbre de 2m, se tiene una presión de viento máxima de 206.5 Kpa y 209 Kpa. Según los valores obtenidos por Gallardo (2015) para un techo a dos aguas, se obtuvo una presión de viento de 63.182 y 46.31Pa a una velocidad de 10m/s para un ángulo de ataque de 0° y 90°, con lo cual

se ve una notable diferencia, puesto que el análisis que se realizó fue a una mayor velocidad (25 m/s) y a diferentes ángulos de ataque (0° , 30° , 45° , 60° , 90°), pero se siguieron los mismos lineamientos para el cálculo por elementos finitos. Esta diferencia también se debe al tipo de mallado que se empleó para el cálculo de los valores aerodinámicos.

5.2.2. De acuerdo a lo obtenido en la tabla 21 y 22, se puede observar lo siguiente:

Que, con una altura de cumbrera de 8m para un techo a dos aguas y considerando los ángulos de ataque de 0° y 90° , se tiene una velocidad de viento máxima de 25.6m/s y 26.6m/s. De igual manera, a una altura de cumbrera de 5m, se tiene una velocidad de viento máxima de 25m/s y 31.9m/s. Lo mismo para una altura de 2m, se tiene una velocidad de viento máxima de 23m/s y 24.6m/s. Para un techo curvo, con una altura de 8m, se tiene una velocidad de viento máxima de 25.4m/s y 30.2m/s. De igual manera, para una altura de 5m, se tiene una presión de viento máxima de 25.3m/s y 26.3m/s. Lo mismo para una altura de 2m, se tiene una velocidad de viento máxima de 23.17m/s y 24.8m/s. Estos valores de velocidad obtenidos tienen como referencia el estudio que hace Ossandón (2008) en su investigación, donde hace los cálculos comparativos de las velocidades del viento según la norma chilena NCh432.Of71 y la norma ASCE 7-05. De forma similar se hizo los cálculos para las velocidades, siguiendo los pasos de la norma ASCE 7-17 y aplicando los valores numéricos que corresponden a la geografía de nuestro país, teniendo como respaldo el estudio anteriormente nombrado de Ossandón.

5.2.3. De acuerdo a lo obtenido en la tabla 23y 24, se puede observar lo siguiente:

Que, con una altura de 8m para un techo a dos aguas y considerando los ángulos de ataque de 0° y 90° , se tiene un coeficiente de arrastre máximo de 1.03 y 0.58. De igual manera, con altura de 5m, se tiene un coeficiente de arrastre máximo de 1.07 y 0.95. Lo mismo para una altura de 2m, se tiene un coeficiente de arrastre máximo de 1.18 y 1.06. Para un techo curvo, con una altura de

cumbrera de 8m, se tiene un coeficiente de arrastre máximo de 1.01 y 1.14. De igual manera, para una altura de 5m, se tiene un coeficiente de arrastre máximo de 1.05 y 1.17. Lo mismo para una altura de 2m, se tiene un coeficiente de arrastre máximo de 1.17 y 1.13. Según los valores de 1.05 y 0.8 obtenidos por Natalini (2005), se puede notar una leve diferencia debido a que el análisis realizado por Natalini fue hecho en Argentina, y los valores de velocidad de viento y de condiciones geográficas son diferentes de los realizados en la presente investigación. Otro punto clave de esta diferencia es que la investigación de Natalini fue realizada en un túnel de viento experimental y no con un software de análisis de elementos finitos. A pesar de ello, se puede ver que las diferencias son breves y que se puede tomar en consideración los valores obtenidos en la presente tesis, teniendo como referencia los valores obtenidos por Natalini.

5.2.4. De acuerdo a lo obtenido en la tabla 25 y 26, se puede observar lo siguiente:

Que con una altura de cumbrera de 8m y considerando los dos ángulos de ataque de 0° y 90° , se tiene un coeficiente de presión de 0.877 y 0.866. De igual manera, para una altura de 5m, se tiene un coeficiente de presión de 0.891 y 0.876. Lo mismo para una altura de 2m, se tiene un coeficiente de presión de 0.891 y 0.983. Para un techo curvo, con una altura de cumbrera de 8m, se tiene un coeficiente de presión de 0.905 y 0.853. De igual manera, para una altura de 5m, se tiene un coeficiente de presión de 0.908 y 0.878. Lo mismo para una altura de 2m, se tiene un coeficiente de presión de 0.963 y 0.976. Según los valores obtenidos por Balbastro (2009), para un techo a dos aguas con ángulos de ataque de 0° y 90° se obtuvo los coeficientes de presión de 0.537 y 0.471, contrastando estos valores se tiene una ligera diferencia debido al tipo de software que utilizó Balbastro (2009), siendo este un software distinto al usado en la investigación, además de que los datos de entrada varían, debido a que la nave industrial de nuestro estudio se ubica en una zona geográfica distinta a la de Balbastro (2009), por ende los valores tendrán ligeras

diferencias pero se sigue el mismo principio de tomar los valores mayores obtenidos por el software. Para el caso de una nave con techo curvo, Gallardo (2015) obtuvo para ángulos de ataque de 0° y 90° unos valores de 0.8 y 0.9 respectivamente, observando que se mantiene la ligera diferencia debido al uso de un software distinto al usado en la investigación (en el caso de Gallardo Ansys) y a la ubicación de la nave industrial (país de Argentina), quedándonos con el mismo principio, el uso de los valores mayores obtenidos en la investigación.

VI. Conclusiones y recomendaciones

6.1. Conclusiones

Analizando los valores obtenidos de los coeficientes de arrastre y presión a través del método de elementos finitos, se logró obtener la forma aerodinámica más adecuada para el techo de una nave industrial de 1800m^2 , siendo este un techo curvo con altura de cumbrera de 5m., la cual presenta la mejor resistencia a la fuerza del viento.

6.1.1. Se determinó, para un techo a dos aguas una presión máxima de 218Kpa con altura de cumbrera de techo de 8m. Para un techo curvo, se obtuvo una presión máxima de 223Kpa con altura de cumbrera de techo de 8m. Todo ello a través del método de elementos finitos calculado por el programa RWIND y lo contrastado por el estudio de Gallardo.

6.1.2. Se determinó, para un techo a dos aguas una velocidad máxima de 31.9m/s con altura de cumbrera de techo de 5m. Para un techo curvo, se obtuvo una velocidad máxima de 30.2m/s con altura de cumbrera de techo de 8m. Estos valores se obtuvieron luego del contraste del trabajo de Ossandón y el análisis de elementos finitos.

6.1.3. Se determinó, para un techo a dos aguas un coeficiente de arrastre de 1.18 con altura de cumbrera de techo de 2m. Para un techo curvo, se obtuvo un coeficiente de arrastre de 1.17 con altura de cumbrera de techo de 5m. Datos que se corroboraron a través del estudio realizado por Natalini y los valores obtenidos por el software RWIND.

6.1.4. Se determinó, para un techo a dos aguas un coeficiente de presión de 0.983 con altura de cumbrera de techo de 2m. Para un techo curvo, se obtuvo un coeficiente de presión de 0.878 con altura de cumbrera de techo de 5m. Estos datos fueron contrastados con los valores obtenidos a través de los estudios de Balbastro y Gallardo y en análisis de elementos finitos de RWIND.

6.2.Recomendaciones

6.2.1. Para un mejor análisis aerodinámico de las dos formas de techo (a dos aguas y curvo), se plantea poder realizarlo en un túnel de viento físico, que pueda generar el análisis del viento en modelos a escala de las dos formas de techo anteriormente mencionados, ya que un túnel de viento físico, trabaja con velocidades de viento reales que inciden en las estructuras. Con lo cual, se puede obtener valores más exactos y reales.

6.2.2. El resultado de esta investigación no se debe generalizar para las demás formas de techo de naves industriales, debido a que el análisis que se realizó, solo es para un determinado tipo de nave industrial y no se puede aplicar a otros modelos de nave industrial, solo se podría tener como bibliografía de consulta, para poder realizar cálculos similares en otras investigaciones.

6.2.3. Se recomienda poder realizar los mismos cálculos para una nave industrial de 1800m², utilizando un programa distinto al utilizado en esta investigación. Con lo cual se busca poder comparar los datos obtenidos y observar las posibles variaciones que pueden otorgar cada programa en sus respectivos cálculos.

VII. Referencias bibliográficas

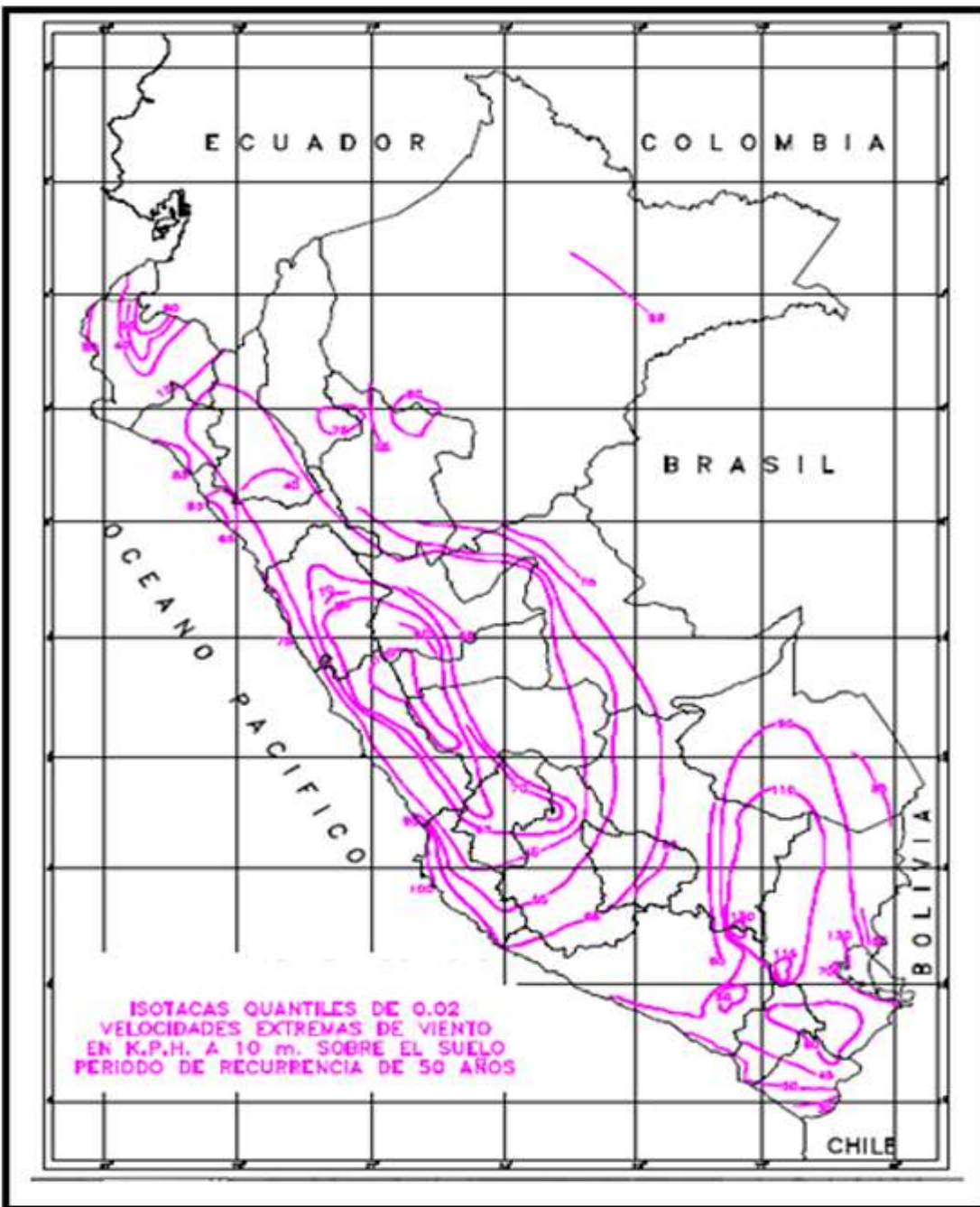
- ASCE/SEI 7-16, (2016). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*, American Society of Civil Engineers, USA.
- Carlos Balbastro, Gustavo. (2009). *Coeficiente de presión en cubiertas abovedadas aisladas sometidas a la acción del viento* (Tesis de Doctorado). Universidad Tecnológica Nacional, Santa Fe, Argentina.
- Cengel Y., Cimbala J. (2006). *Mecánica de Fluidos. Fundamentos y aplicaciones*. Editorial McGraw-Hill, New York, USA.
- Chadid Gutiérrez, María Alejandra. (2018). *Análisis aerodinámico mediante mecánica de fluidos computacional de un vehículo eléctrico utilitario* (Tesis de Grado). Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia.
- Escalante Sánchez, José Fernando. (1986). *Efecto del viento sobre las estructuras* (Tesis de Grado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Gallardo Amaya, Edmundo. (2015). *Estudio de los efectos del viento en naves industriales con cubierta de dos aguas con mecánica de fluidos computacional* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, Pilar. (2010). *Metodología de la Investigación*. (5ta ed.). México D.F., McGraw-Hill.
- Irving H. Shames. (1995). *Mecánica de Fluidos*. Editorial McGraw-Hill, New York, USA.
- Mendoza E., Zermeño M., Arroyo G., López A. (2015). *Efecto de viento en estructuras*. Revista Universidad autónoma de Aguascalientes. Recuperado desde:
https://www.researchgate.net/publication/282649701_EFECTO_DE_VIENTO_EN_ESTRUCTURAS

- Natalini, Mario B. (2005). *Acción de viento sobre cubiertas curvas aisladas* (Tesis de Doctorado). Universidad Nacional del Nordeste, Resistencia, Argentina.
- Ortiz Blancarte, Sergio. (2018). *Estudio de los efectos del viento en edificio irregular de gran altura con pruebas experimentales en túnel de viento* (Tesis de Grado). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Ossandón Tapia, Rodrigo Andrés. (2008). *Determinación de la acción del viento sobre las estructuras en Chile* (Tesis de Grado). Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.
- Reglamento Nacional de Edificaciones. (2006). *Cargas* (E.020).

VIII. Anexos

8.1. Anexo A: Figuras complementarias

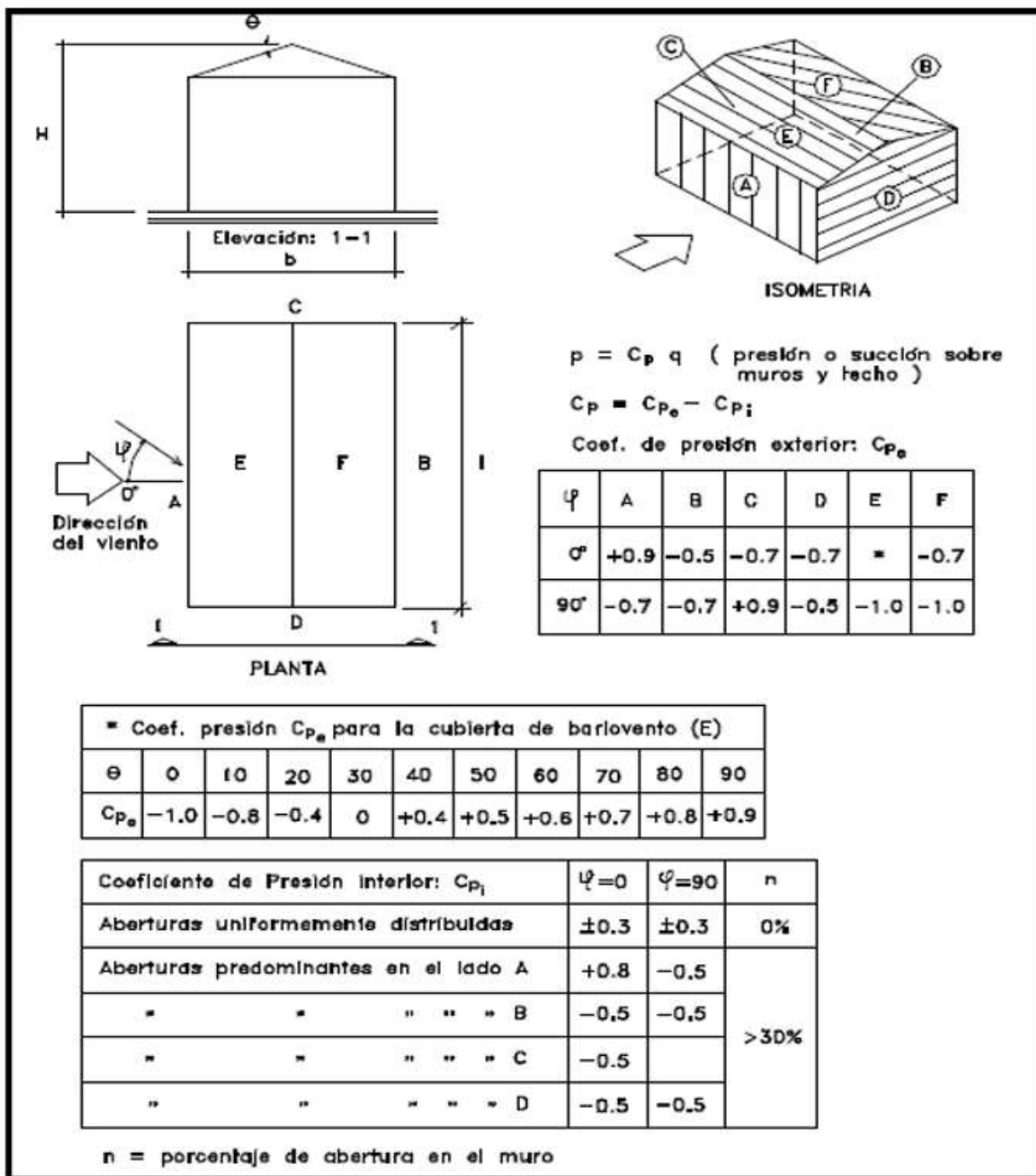
Figura 108

Mapa de isotacas

Nota. Adaptado de *Diseño Estructural en Acero* (p. 11), por Zapata Baglietto, 2013, UNI.

Figura 109

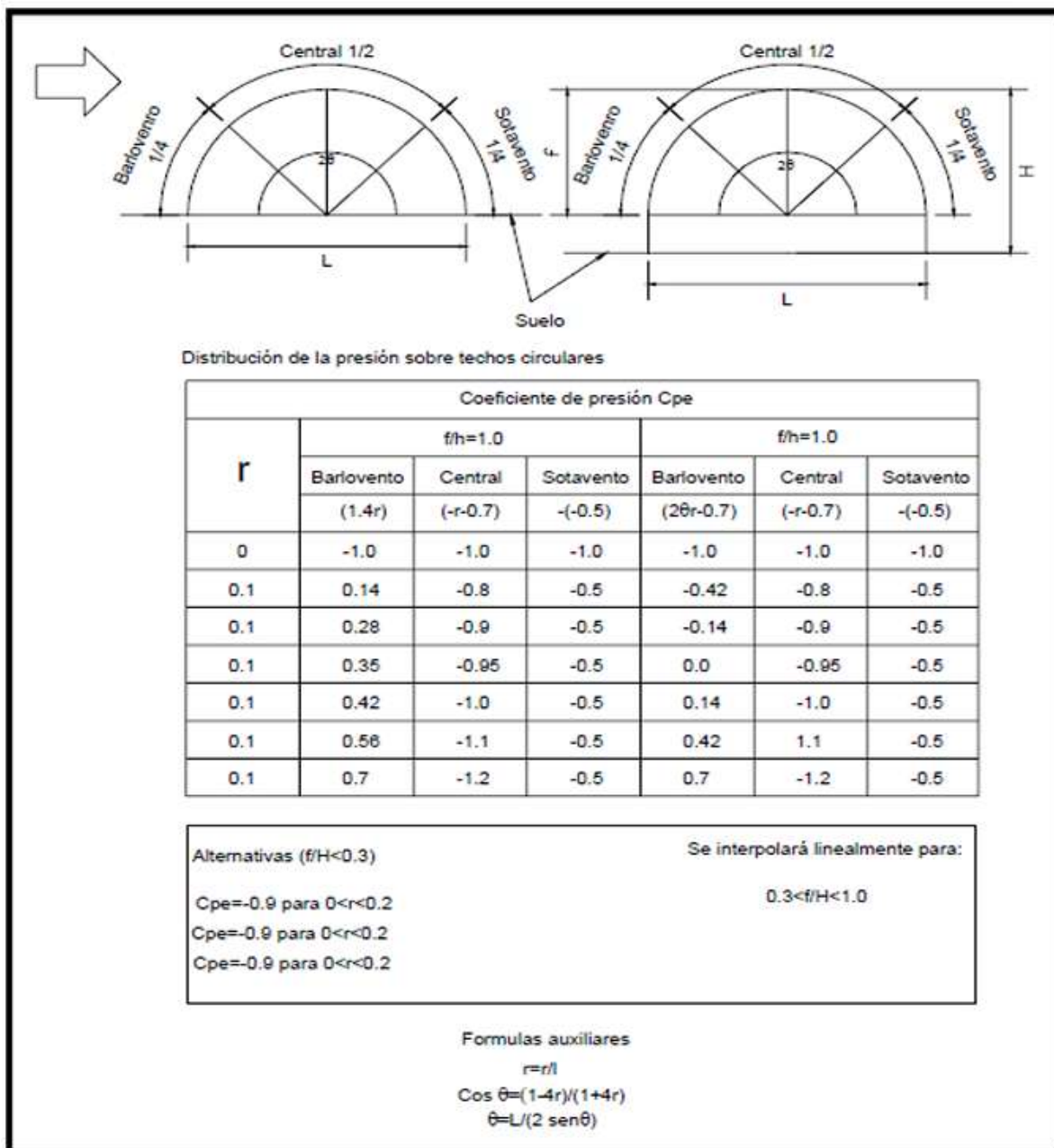
Coefficientes de presión en cubiertas simétricas a dos aguas



Nota. Adaptado de *Diseño Estructural en Acero* (p. 12), por Zapata Baglietto, 2013, UNI.

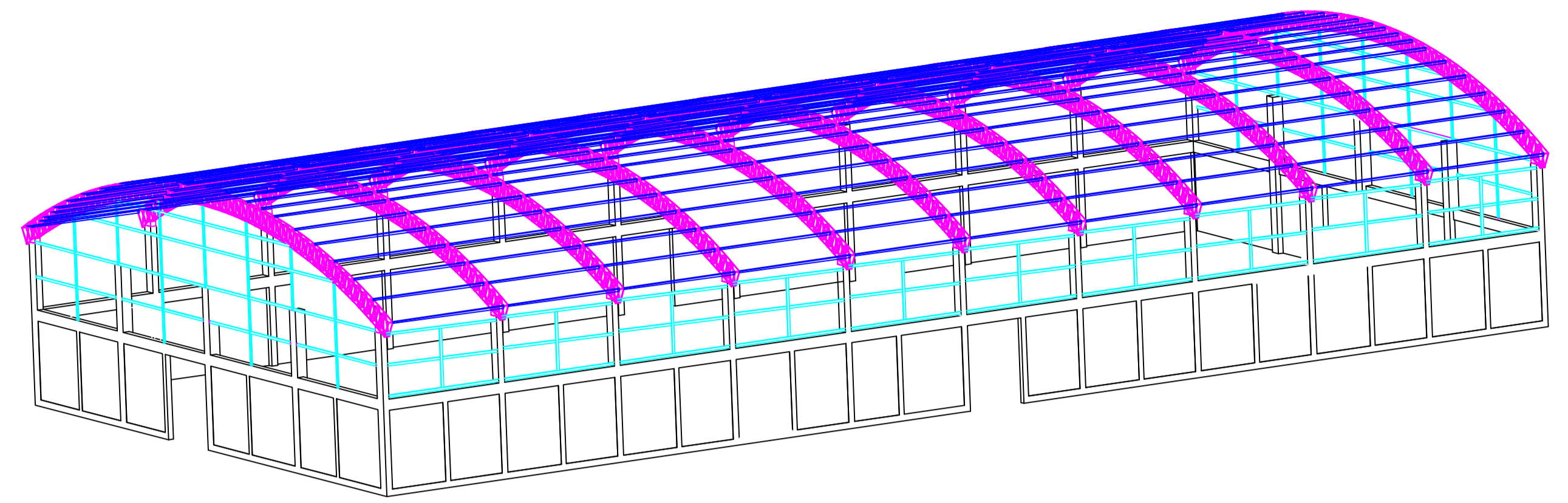
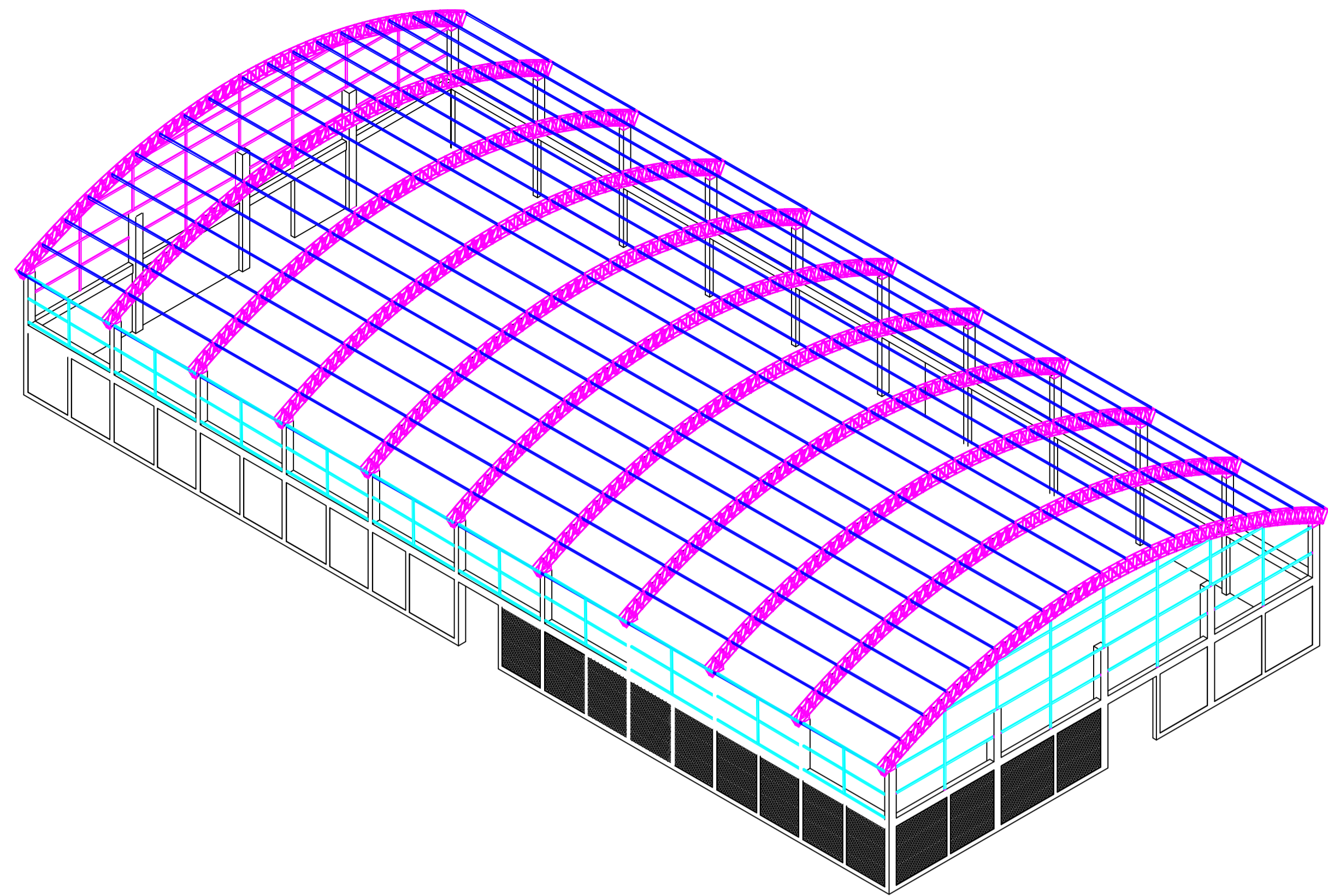
Figura 110

Coeficientes de presión para cubiertas en forma de arco

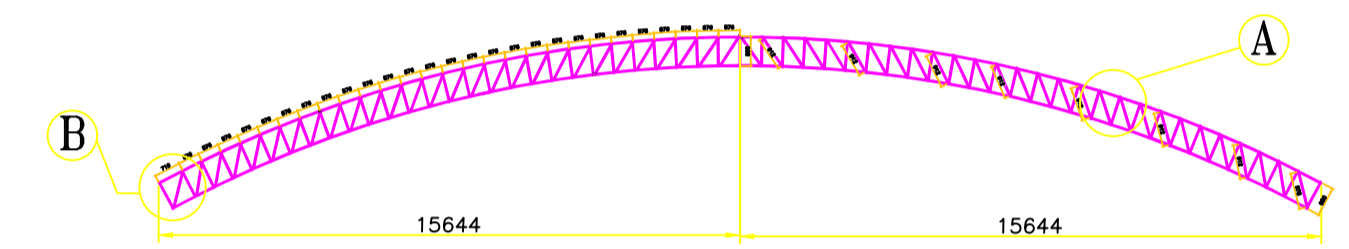


Nota. Adaptado de *Efectos del viento sobre las estructuras* (Tesis) (p. 43), por Escalante Sánchez, J., 1986, UNI, Perú.

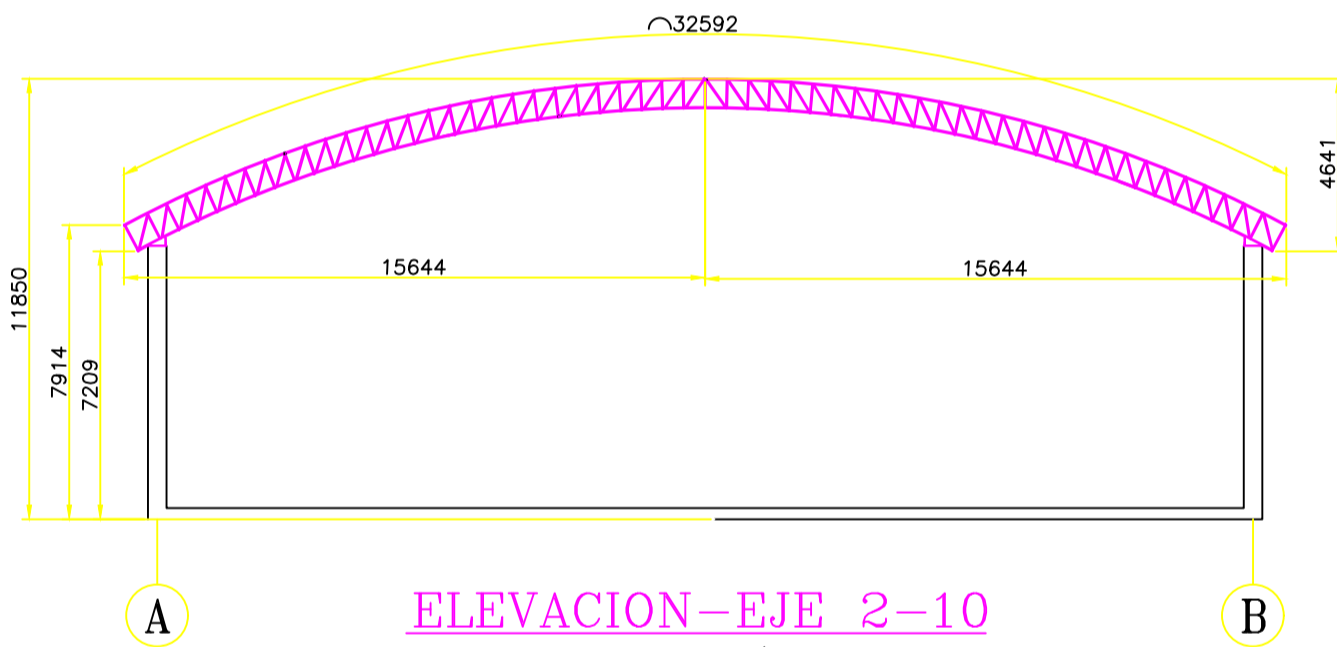
8.2. Anexo B: Planos



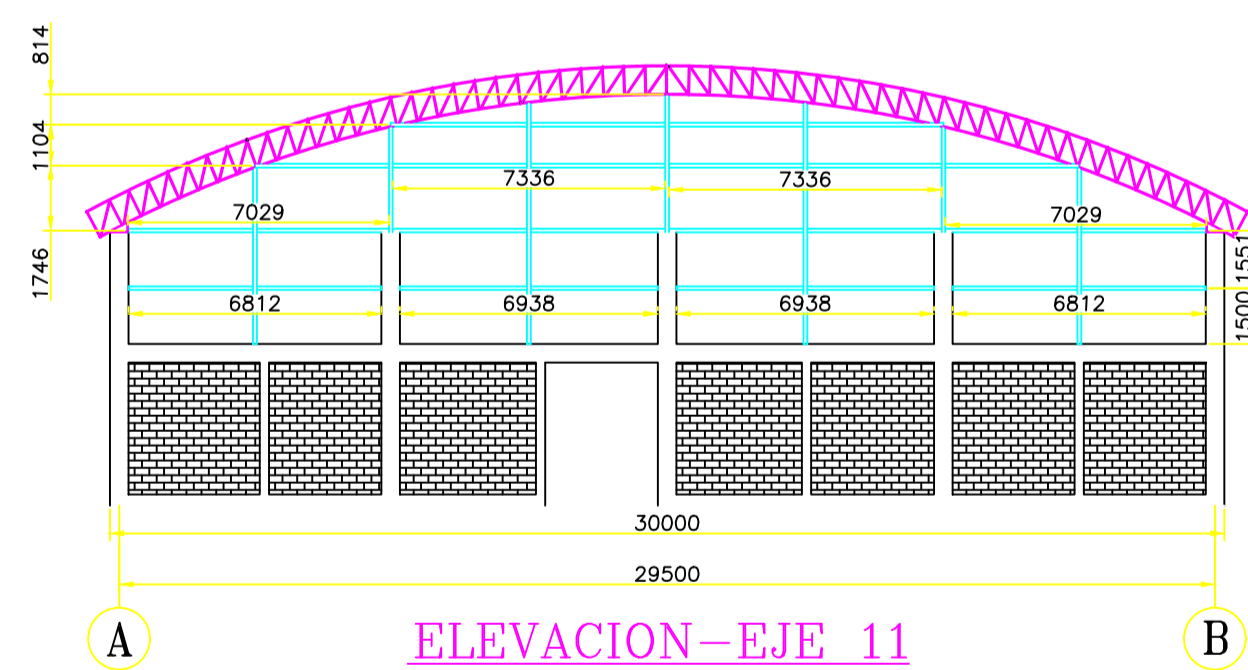
VISTAS ISOMETRICAS
ESCALA : S/E



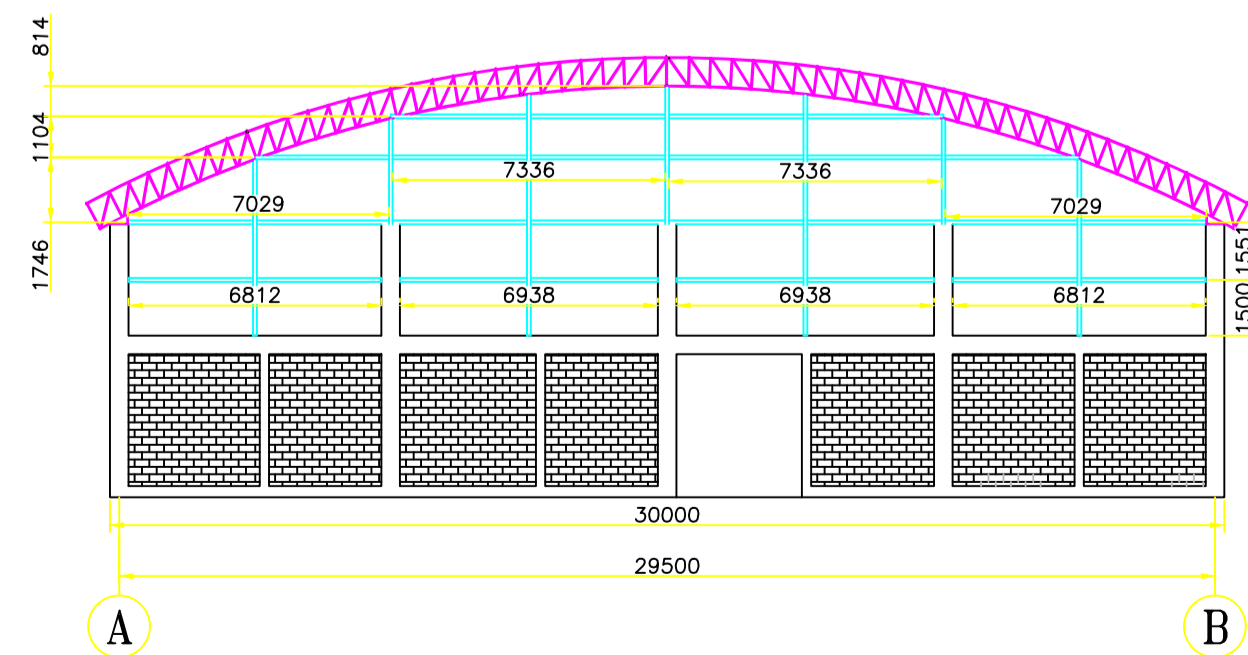
ELEVACION-ARCO
ESCALA : S/E



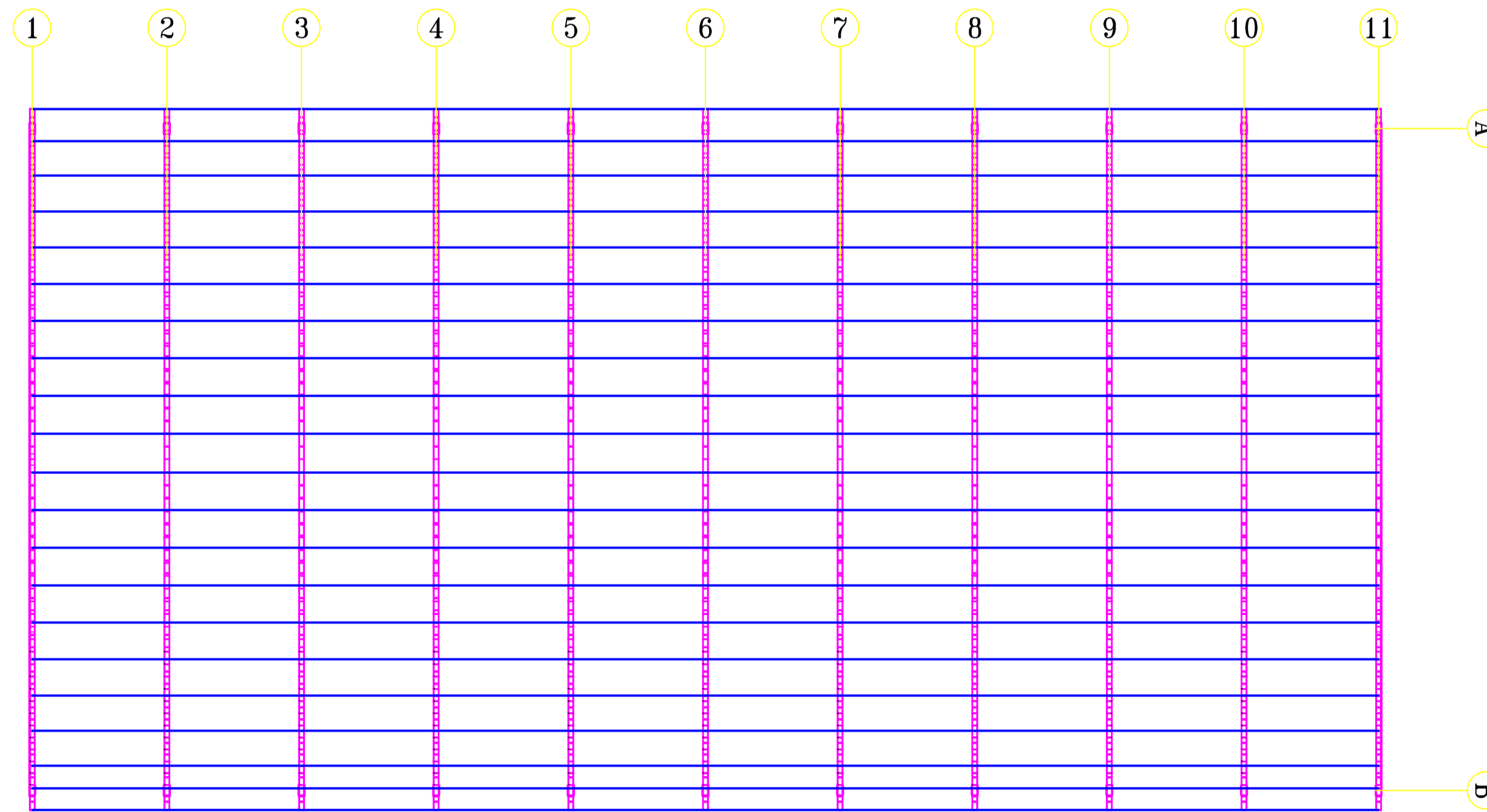
ELEVACION-EJE 2-10
ESCALA : S/E



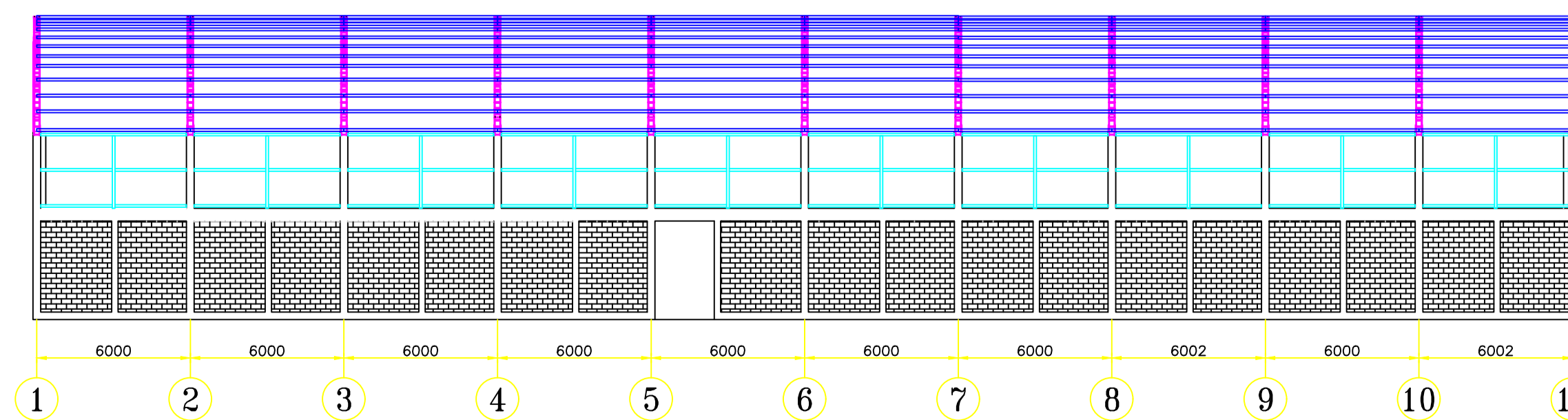
ELEVACION-EJE 11
ESCALA : S/E



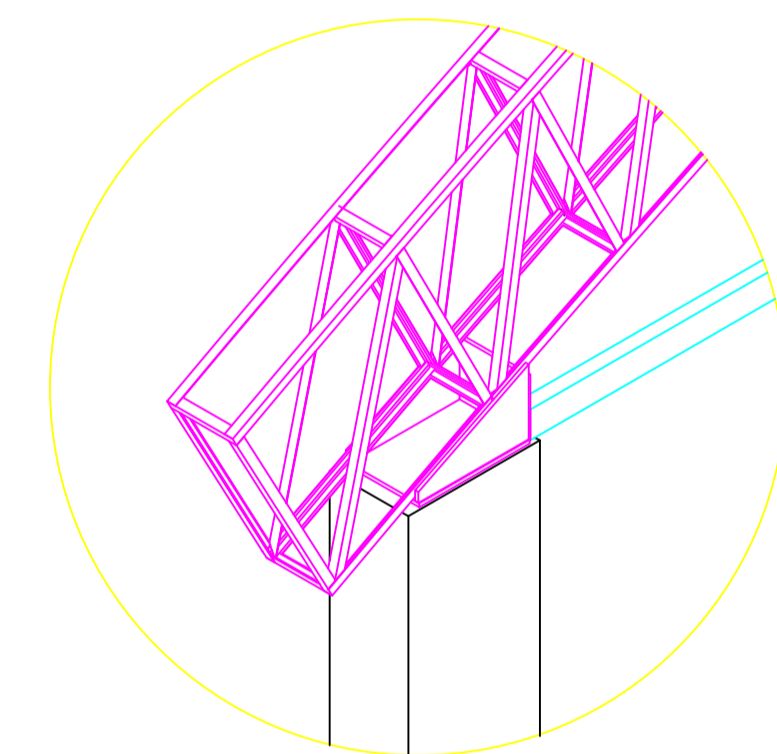
ELEVACION-EJE 1
ESCALA : S/E



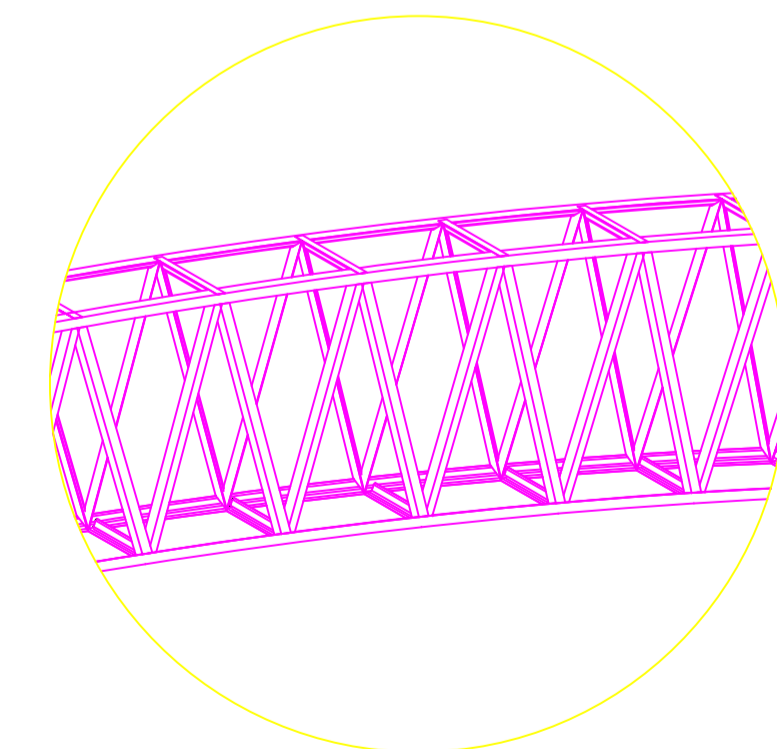
PLANTA - NIVEL +11850
ESCALA : S/E



ELEVACION
ESCALA 1:1

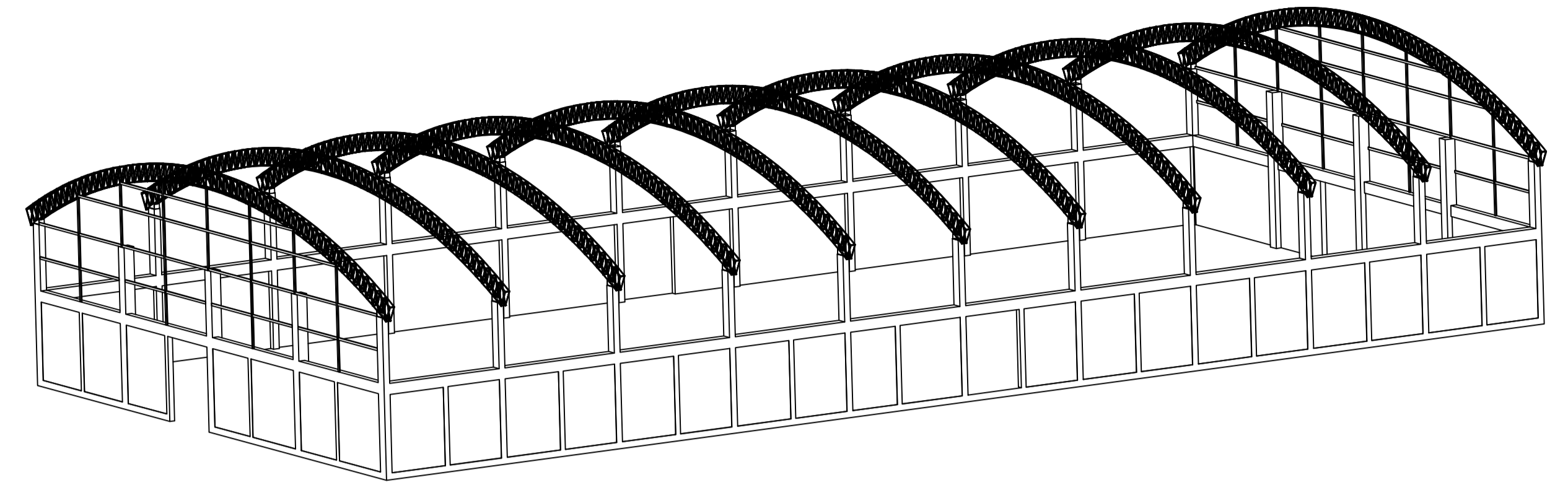
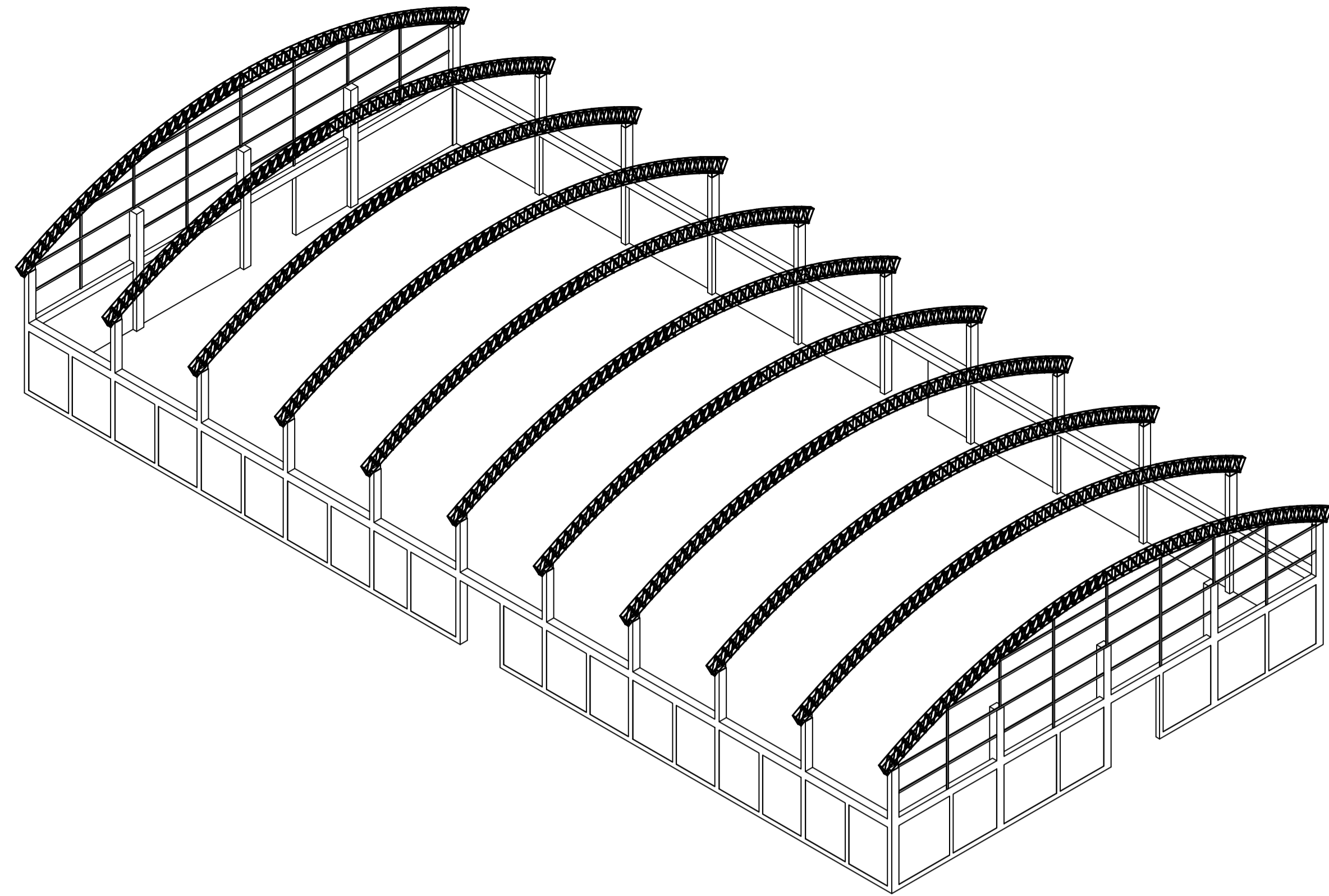


SECCION B
ESCALA : 1/10

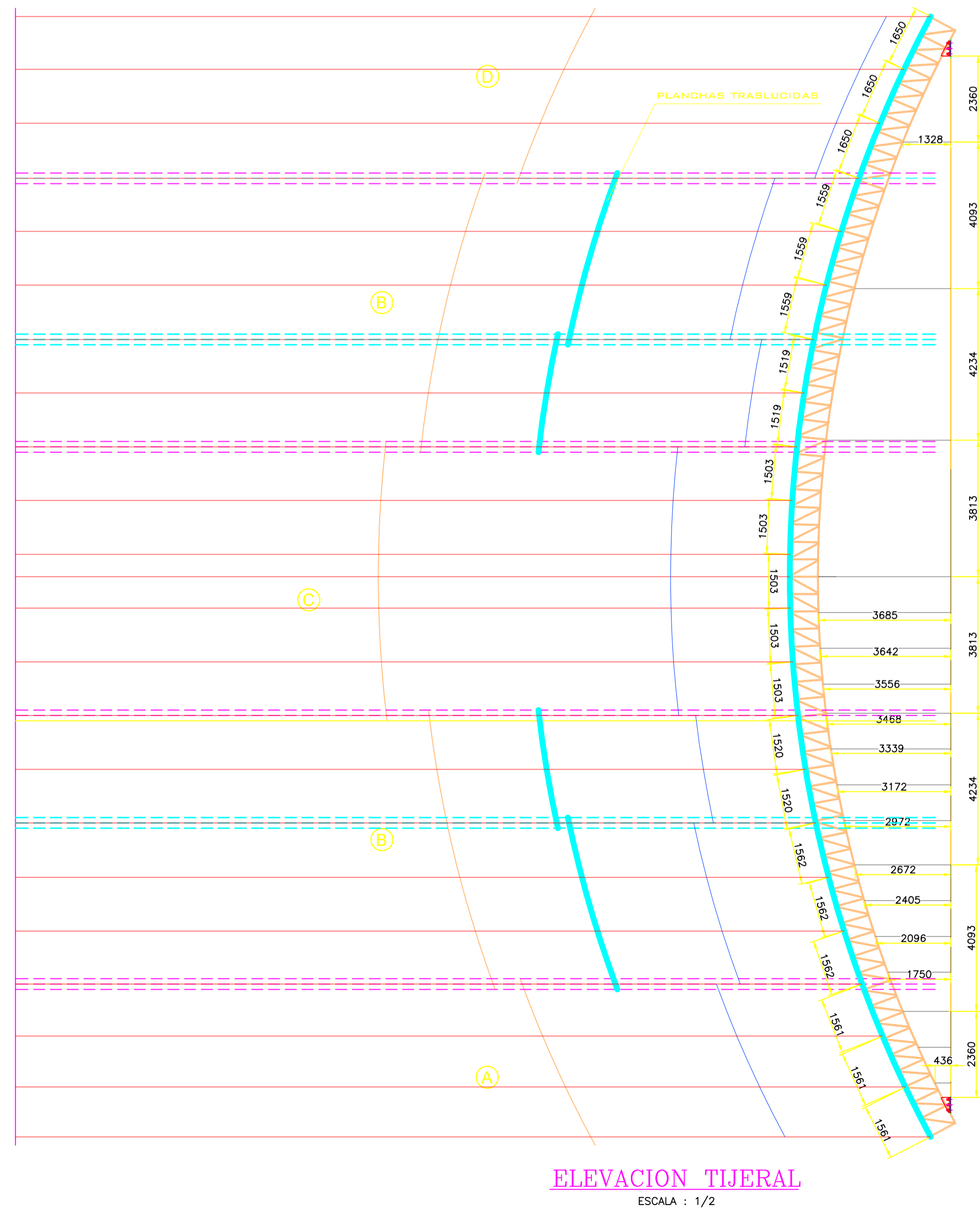


SECCION A
ESCALA : 1/10

| | | | | | | |
|--|--------------------------------|---------------------|---------------------------------|--|--------|------------------|
| | UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA | TITULO: | VISTA DE SECCION DE TECHO CURVO | TAMAÑO DE FORMATO: | A1 | |
| | ESCUOLA ACADÉMICA PROFESIONAL: | INGENIERIA MECANICA | CLASE DE RUGOSIDAD | N12 N11 N10 N9 N8 N7 N6 N5 N4 N3 N2 N1 | FECHA: | 22/05/2023 |
| | DISEÑADO | APROBADO | ESCALA: | UBICACION: | REV: | NUMERO DE PLANO: |
| | B.QUEZADA | N.ESCALANTE | S.E. | LA LIBERTAD-ASCOPE-CARTAVIO | 0 | UNS - 01 |



VISTAS ISOMETRICAS
ESCALA : S/E

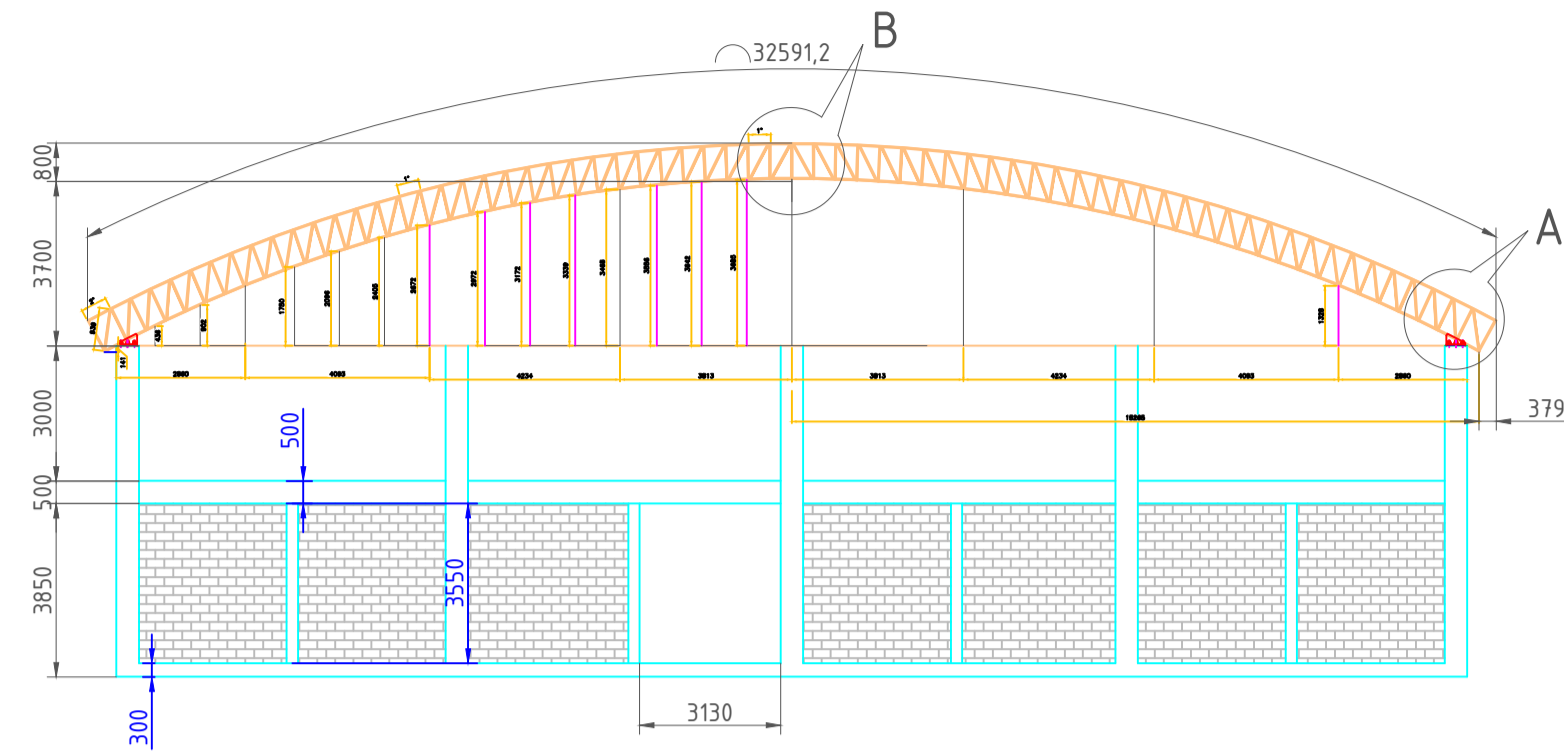


PLANTA - NIVEL +11850
ESCALA : S/E

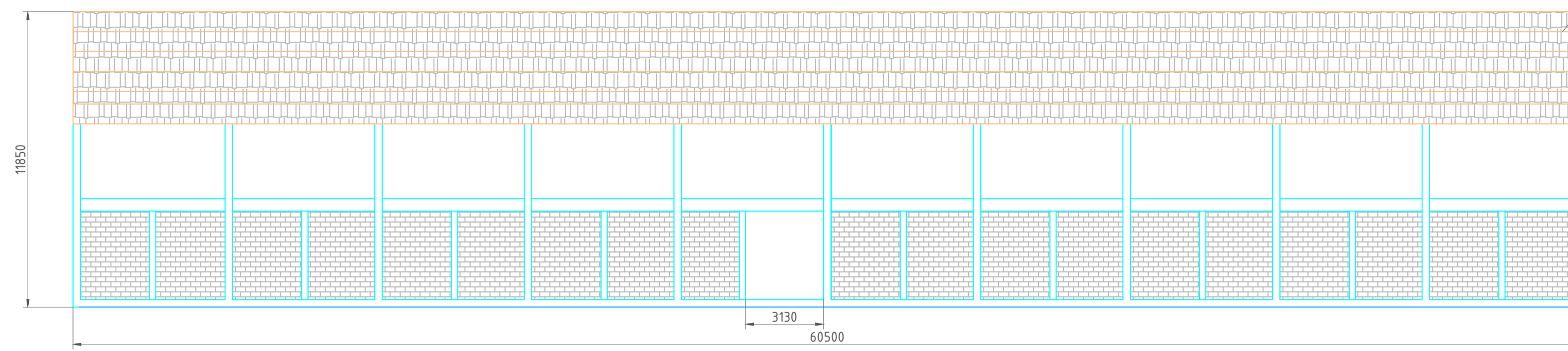


| | | | | | |
|---|------------------------|--|---|------------------------------|-----------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA | | TITULO: ELEVACION TIJERAL | | TAMANO DE FORMATO: A1 | |
| ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL: INGENIERIA MECANICA | | CLASE DE RUGOSIDAD N12 N11 N10 N9 N8 N7 N6 N5 N4 N3 N2 N1 | | FECHA: 22/05/2023 | |
| DISEÑADO B.QUEZADA | APROBADO NESCALANTE | ESCALA: S.E. | UBICACION: LA LIBERTAD-ASCOPE-CARTAVIO | | REV: 0 |
| | | | | NUMERO DE PLANO: UNS - 02 | |

VISTA FRONTAL

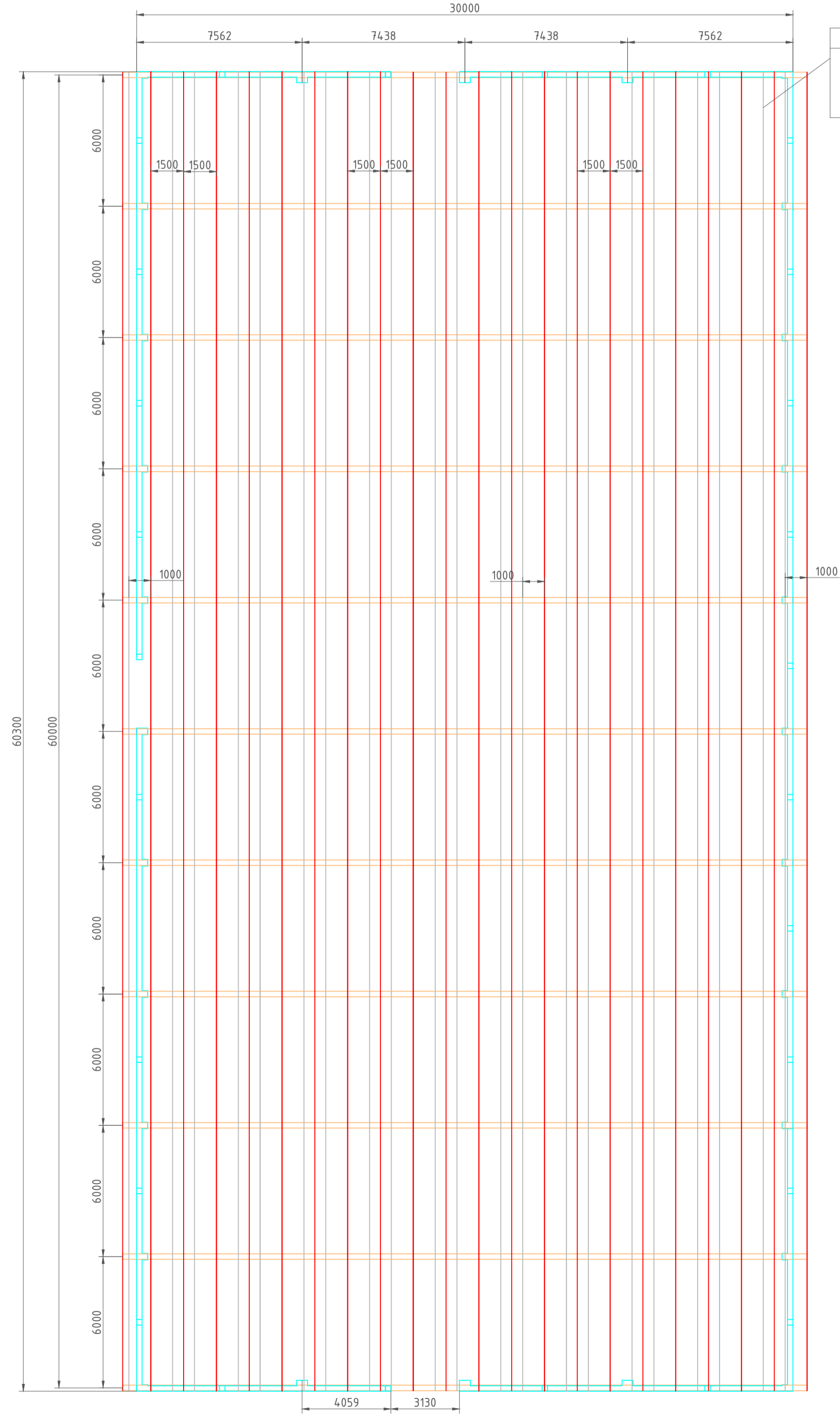


VISTA LATERAL IZQUIERDA



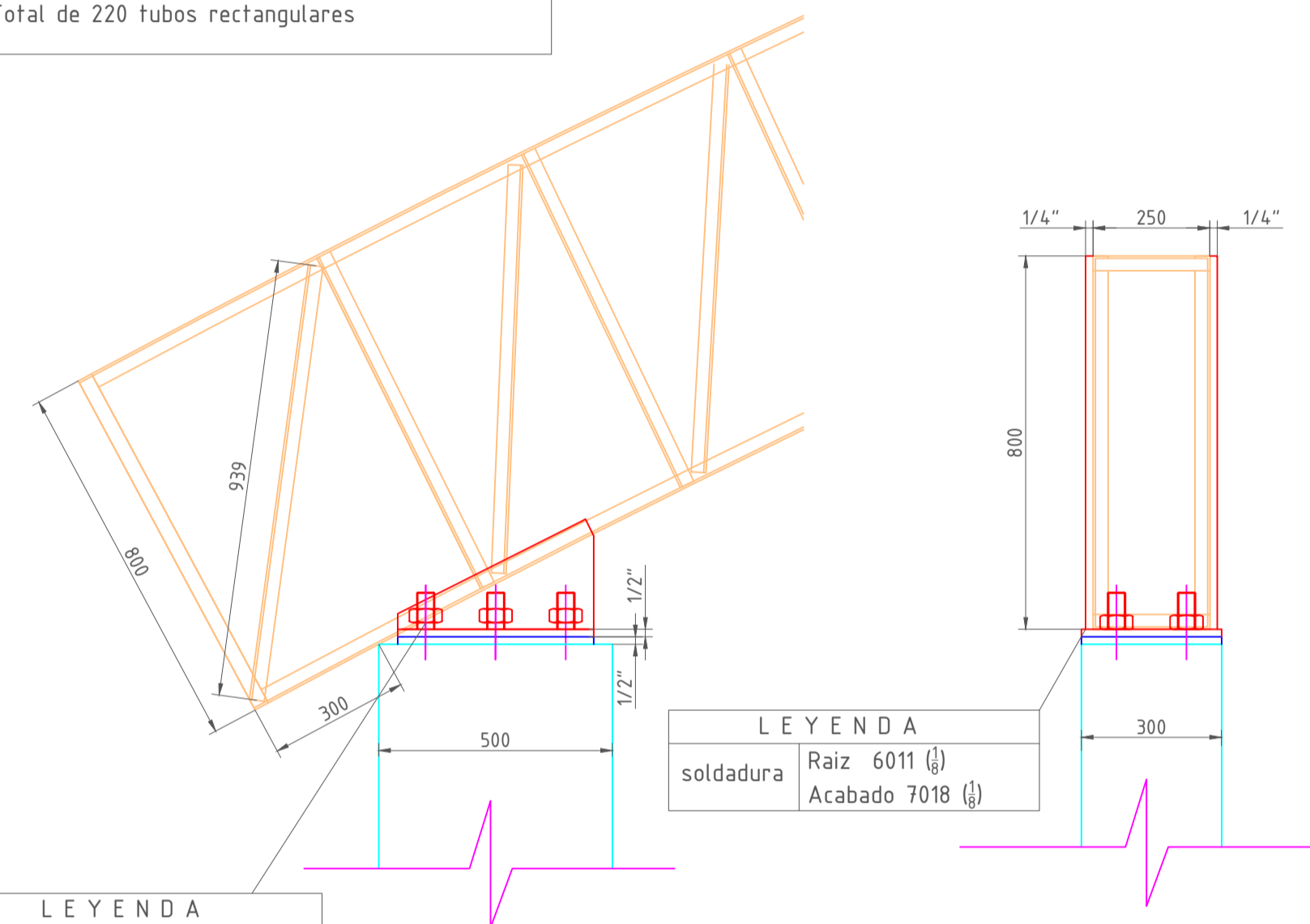
| LEYENDA | |
|--------------|--------------------|
| calamina-TR4 | 6,43m x 1,07m |
| | total 315 unidades |

VISTA SUPERIOR



| LEYENDA | |
|----------|---|
| viguetas | 22 tubos rectangulares x 10espacios Total de 220 tubos rectangulares |

DETALLE "A"

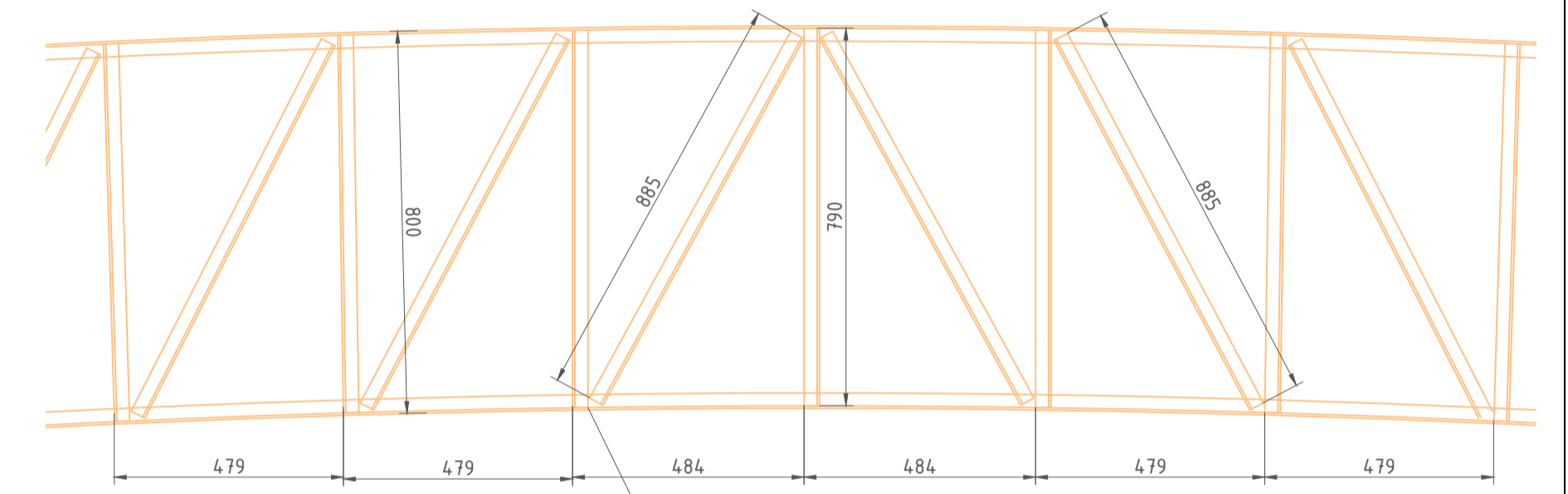


| LEYENDA | |
|-----------|-----------------------------------|
| soldadura | Raiz 6011 (⚡) Acabado 7018 (⚡) |

| LEYENDA | |
|-----------------------|-------------|
| 132 Pernos de anclaje | φ1"x1000mm. |

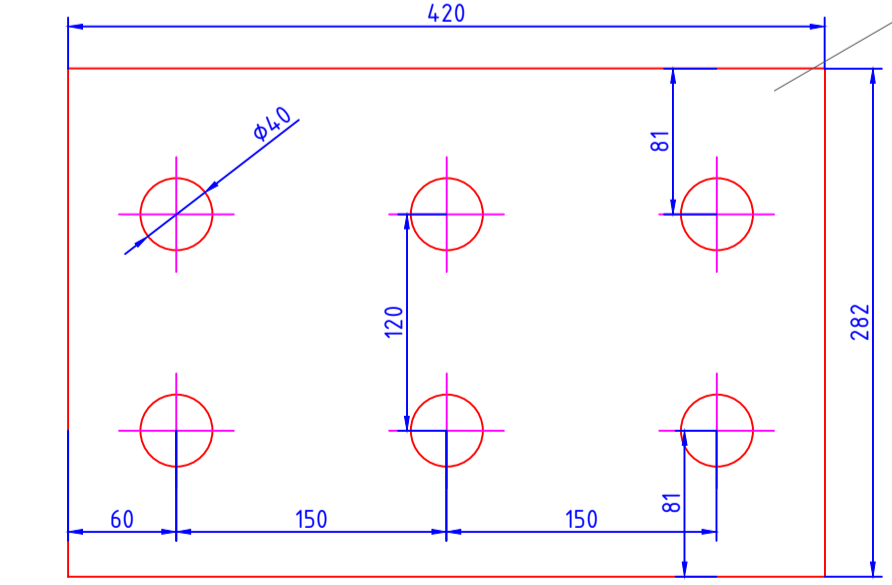
| LEYENDA | |
|---------------------------------|-----------|
| Pl. ASTM A-36 esp. 1/4" de 2400 | * 1200mm. |
| Total de 2 planchas | |

DETALLE "B"



| LEYENDA | |
|--------------------|-----------------------|
| tijeral | áng. 1 1/2"x3/4" = 23 |
| compresión | áng. 1 1/2"x3/4" = 18 |
| tensión | áng. 1 1/2"x3/4" = 19 |
| compresión lateral | áng. 1 1/2"x3/4" = 6 |

DETALLE "C"



| LEYENDA | |
|---------------------|------------------------|
| soporte 22 unidades | Pl. ASTM A-36 esp.1/4" |

| LEYENDA | |
|---------------------|------------------------|
| soporte 22 unidades | Pl. ASTM A-36 esp.1/4" |

| LEYENDA | |
|---------------------|------------------------|
| soporte 22 unidades | Pl. ASTM A-36 esp.1/4" |

| | | | |
|----------------------|--------------------------------|---|--------------------|
| | UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA | TÍTULO: | TAMARO DE FORMATO: |
| | ESCUOLA ACADÉMICA PROFESIONAL: | TECHO CURVO - DETALLES DE DISEÑO | A1 |
| | INGENIERIA MECANICA | CLASE DE RUGOSIDAD | FECHA: |
| | DISEÑADO APROBADO ESCALA: 1/80 | UBICACION: LA LIBERTAD-ASCOPE-CARTAVIJO | 22/05/2023 |
| RIQUEZADA NESCALANTE | REV: 0 | NÚMERO DE PLANO: | UNS - 03 |