ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO DE UN SISTEMA ESTRUCTURAL Y DE CLIMATIZACIÓN DE UN PLANETARIO GIRATORIO TIPO CÚPULA ASTRONÓMICA PARA EL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO DE QUITO DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGISTER EN DISEÑO Y SIMULACIÓN

Ing. David Benalcázar

david.benalcazarr@epn.edu.ec

DIRECTOR: PhD. Ericson López

ericson.lopez@epn.edu.ec

CODIRECTOR: MDI. Carlos Baldeon

carlos.baldeon@epn.edu.ec

Quito, mayo 2020

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el Ingeniero David Benalcázar bajo nuestra supervisión.

Phd.Ericson López

DIRECTOR DE PROYECTO

Ing. Carlos Baldeón MDI

CODIRECTOR DE PROYECTO

DECLARACIÓN

Yo **David Benalcázar**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento. A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

David Benalcázar

AGRADECIMIENTOS

A mis abuelos y padres por todo el apoyo recibido a lo largo de mi vida, por el amor, la paciencia y comprensión en todo momento.

Al Dr. Ericson López, por todo el apoyo y confianza brindada a lo largo de estos años, incluyendo el presente proyecto.

Al Ing. Carlos Baldeón, por su amistad, conocimientos transmitidos y apoyo técnico en la elaboración de la tesis.

A la gloriosa facultad de Ingeniería Mecánica, porque tras sus aulas se han formado muchos ingenieros, que aportan en muchas de las ramas productivas y científicas del país.

David Benalcázar

DEDICATORIA

A mi hijo David Sebastián.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN 19
Pregunta de investigación 19
Objetivo general 19
Objetivos específicos 19
1 MARCO TEÓRICO 20
1.1 Introducción 20
1.1.1 Cúpula 20
1.1.2 Componentes de las cúpulas 20
1.1.3 Miembros estructurales 20
1.1.4 Miembros a tensión axial 20
1.1.5 Clasificación de los miembros a tensión 21
1.1.6 Cables de acero 21
1.1.7 Barras de perfil redondo y cuadrado 21
1.1.8 Secciones transversales estructurales sugeridas para trabajar a tensión 22
1.1.9 Secciones de perfiles simples y secciones armadas 22
1.1.10 Responsabilidades 23
1.2 MATERIALES 23
1.2.1 El acero 23
1.2.2 Curva esfuerzo deformación 24
1.2.3 Ventajas del acero 24
1.2.4 Desventajas 26
1.2.5 Secciones estructurales 27
1.2.6 Norma y códigos del diseño estructural 27
1.2.7 Normas extranjeras aplicadas en la norma NEC-SE-AC 28
1.3 CARGAS DE CONSTRUCCIÓN 29
1.3.1 Cargas muertas 29
1.3.2 Cargas vivas 29
1.3.3 Cargas ambientales 30
1.3.4 Combinaciones de carga 31
1.4 LA CLIMATIZACIÓN 32
1.4.1 Condiciones de comodidad 32
1.4.2 Definiciones básicas de climatización 32
1.4.3 Cargas externas 33

1.4.4 Ductileria 34
1.4.5 Controles. 34
1.4.6 Suministro y distribución final del aire. 34
1.4.6.1 Sistemas de mezcla 34
1.4.6.3 Sistemas locales 35
1.4.7 Los intercambiadores de calor tipo serpentín 35
1.4.8 Filtros 35
1.4.9 Filtros de partículas 35
1.5 Equipos más utilizados en la cúpula 36
1.5.1 Telescopio 36
1.5.2 Proyector 38
1.6 COMPONENTES MOTRICES 39
1.6.1 Motor Eléctrico 40
1.6.2 Sistema de embrague y freno de tambor 40
1.6.3 Reductor de velocidad 40
1.6.4 Actuadores neumáticos 41
2 METODOLOGÍA, ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE PARÁMETROS Y ALTERNATIVAS 42
2.1 Prefactibilidad 42
2.2 Localización del Proyecto 42
2.3 Especificaciones de la estructura 44
2.3.1 Consideraciones para las especificaciones técnicas 44
2.3.2 Casa de la calidad 44
2.3.3 Voz del usuario 44
2.3.4 Voz del Ingeniero 44
2.3.5 Conclusiones de la casa de la calidad 45
2.3.6 Dimensionamiento estructural. 45
2.3.7 Carga 45
2.3.8 Especificaciones técnicas 45
2.4 DISEÑO CONCEPTUAL Y DEFINICIÓN 46
2.5 DETERMINACIÓN DE LOS MODULOS 47
2.5.1 Análisis y selección de alternativas 47
3 CÁLCULOS Y RESULTADOS 52
3.1 Análisis de elementos estructurales usando programas de diseño por el método de elementos finitos 52
3.1.1 Metodología 52
3.1.2 Procedimiento de resolución en el programa SAP 2000 53

3.1.3 Pre-proceso 53
3.1.4 Designación de unidades 53
3.1.5 Importación de la geometría 53
3.1.6 Definición del material 53
3.1.7 Definición de perfiles 53
3.1.8 Cargas 54
3.1.9 Módulo estático estructural 54
3.1.10 Solver 54
3.1.11 Mallado del modelo 54
3.1.12 Postproceso 54
3.2 OBTENCIÓN DE LAS CARGAS DE DISEÑO 54
3.2.1 Carga muerta 54
3.2.2 Carga muerta distribuida 55
3.2.3 Carga viva 55
3.2.4 Carga de viento 55
3.2.5 Carga de sismo 56
3.3 ASIGNACIÓN DE DISEÑO ESTRUCTURAL PARA LA CÚPULA Y ASIGNACIÓN DE PARÁMETROS CON EL PROGRAMA SAP2000 61
3.3.1 Asignación del material 61
3.4 Definición de los perfiles 62
3.5 Definición de los casos de carga 65
3.6 Definición de la geometría 67
3.7 Asignación de la carga muerta 67
3.8 Aplicación de cargas vivas 68
3.9 Aplicación de cargas de viento 68
3.10 Asignación de la carga de sismo 68
3.11 Análisis del modelo 68
3.12 Diseño de miembros sometidos a tracción 69
3.13 Cálculo de elementos sometidos a compresión 70
3.14 Diseño para elementos sometidos flexión 73
3.15 Miembros a corte 74
3.16 Diseño de placa base 74
3.17 Diseño de pernos de anclaje 75
4 MEMORIA DE CÁLCULO 77
4.1 Diseño de miembros a compresión 77
4.1 Diseño de miembros a flexión 83

4.2 Predimencionamiento de viguetas 84
4.3 Diseño de vigas principales a corte 87
4.4 Cálculo de placa base 88
4.5 Pernos de anclaje 90
4.6 Diseño de conexiones 91
4.7 Cálculo para el diseño de conexiones soldadas 91
4.8 Cálculo de conexiones 93
4.8.1 Resistencia del metal base 94
4.8.2 Cálculo de las conexiones estructurales 95
4.9 RESISTENCIA METAL BASE 98
4.10 ANALISIS DINÁMICO DE LA EDIFICACIÓN 98
4.11 ESTABILIDAD DE LA ESTRUCTURA 99
4.12 GIRO DE LA CÚPULA 99
4.12.1 Velocidad de la cúpula 100
4.12.2 Selección del motor 102
4.12.3 Selección del reductor de velocidad 103
4.13 COMPUERTAS 104
5 DESCRIPCIÓN DE LA CÚPULA PARA EL ANÁLISIS DE CLIMATIZACIÓN 106
5.1 Metodología para la climatización 106
5.2 Carga de enfriamiento externo 106
5.3 Enfriamiento interno 107
5.4 Aparatos eléctricos 107
5.5 Ventilación e ingreso de aire 108
5.5.1 Calor sensible 108
5.5.2 Calor latente 109
5.5.3 Calor total 109
5.6 CARGAS EXTERIORES POR CONDUCCIÓN 109
5.6.1 Resistencia térmica en la cubierta 110
5.6.2 Peso equivalente de la pared (cálculo) 111
5.7 CARGAS EN LA CÚPULA (cálculos) 113
5.7.1 Carga térmica en techo 113
5.7.2 Personas 113
5.7.3 Luces 114
5.7.4 FACTOR DE CALOR SENSIBLE 115
5.8 CANTIDAD DE VENTILACIÓN PARA LA CÚPULA 118
5.8.1 Masa de aire de suministro para la cúpula 118

5.8.2 Condiciones de mezcla del aire 120
5.8.3 Balance de masas 120
5.9 Cálculo de la hentalpia de la mezcla 121
5.9.1 Factor de calor sensible, latente 123
5.9.2 Tabla de masas y volúmenes de aire del sistema 125
5.9.3 Cambios de aire dentro de la cúpula 125
5.10 ELECCIÓN DE LAS CAPACIDADES DEL EQUIPO 126
5.10.1 Punto de rocío del equipo 127
5.10.2 Selección de equipo y distribución 128
5.11 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE 129
5.12 Consideraciones generales de diseño 129
5.13 Espacio disponible 129
5.14 Métodos de diseño 130
5.14.1 Método de fricción 130
5.14.2 Procedimiento 130
5.15 CÁLCULO DE DUCTOS 131
5.15.1 Ductos para el retorno 133
5.15.2 Ventilador de extracción 133
5.15.3 Lineamientos para la construcción de los ductos y aditamentos del sistema usado para la ventilación. 134
6 COSTOS 135
7 CONCLUSIONES 138
8 RECOMENDACIONES 140
9 BIBLIOGRAFÍA 141
ANEXOS 143
ANEXO 1 I
CASA DE LA CALIDAD I
ANEXO 2 II
DIAGRAMA FUNCIONAL II
ANEXO 3 III
RECOMENDACIONES DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA ESTRUCTURAL III
ANEXO 4 IV
RECOMENDACIONES DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN IV
ANEXO 5 V
REGISTRO PARA REVISIÓN ESTRUCTURAL V
ANEXO 6 VII

REGISTRO PARA LA REVISIÓN DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN VII
2.- Verificación de dimensiones principales. VII
ANEXO 7 IX
SIMULACIÓN IX
ANEXO 8 X
CATÁLOGOS X
ACEROS X
CATÁLOGOS DE VENTILACIÓN XIV
PROPIEDADES DE MATERIALES XV
CATÁLOGO MOTORES XVII
REDUCTOR XIX
VARIADORES DE FRECUENCIA XIX
ANEXO 9 XX
ASHRAE XX
ANEXO 10 XXI
NORMA ILUMINACIÓN UNE 12464-1 XXI
ANEXO 11 XXII
HOJA DE DATOS DEL EQUIPO DE CLIMATIZACIÓN XXII
ANEXO 12 XXV
ANEXO HOJAS DE PROCESOS XXV
ANEXO 9 WPS XXVI
ANEXO 14 XXVIII
RESUMEN SAP 2000 XXVIII
9.1 ANEXO 105 INFORME DE RAM CONEXTION XXXV
ANEXO 16 XLIII
PLANOS XLIII

CONTENIDO DE FIGURAS

FIGURA 1 MIEMBROS SOMETIDOS A TENSIÓN 21
FIGURA 2 PERFILES ESTRUCTURALES 22
FIGURA 3 HORNO DE CUBILOTE 24
FIGURA 4 DIAGRAMA ESFUERZO DEFORMACIÓN UNITARIA 24
FIGURA 5 VENTILADOR CENTRIFUGO 33
FIGURA 6 DUCTILERIA SOBRE ESTRUCTURA METÁLICA 34
FIGURA 7 SERPENTÍN 35
FIGURA 8 TELESCOPIO DEL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO DE QUITO 36
FIGURA 9 PARTES DE UN TELESCOPIO REFRACTOR 37
FIGURA 10 PARTES GENERALES DE UN TELESCOPIO REFLECTOR 37
FIGURA 11 PARTES GENERALES DE UN TELESCOPIO CATADIÓPTRICO 38
FIGURA 12 PLANETARIO ANALÓGICO STARMASTER 38
FIGURA 13 39
FIGURA 14 PARTES DEL SISTEMA FULL DOME 39
FIGURA 15: MOTOR ELÉCTRICO 40
FIGURA 16: SISTEMA DE EMBRAGUE FRENO 40
FIGURA 17 REDUCTOR ACOPLADO A MOTOR 41
FIGURA 18 MOTOR NEUMÁTICO 41
FIGURA 19 DIMENSIONES DEL SITIO A CONSTRUIR 42
FIGURA 20. DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA METODOLOGÍA. 43
FIGURA 21, DISEÑO DE LA CÚPULA EN SAP 2000 52
FIGURA 22 ESPECTRO ELÁSTICO DE DISEÑO 56
FIGURA 23 VALOR DE PERIODO DE VIBRACIÓN 58
FIGURA 24 : CARGA MUERTA 60
FIGURA 25 DEFINICIÓN DE MATERIAL 61
FIGURA 26 DEFINICIÓN DE LOS PERFILES EN EL PROGRAMA SAP 2000 62
FIGURA 27 DEFINICION DEL PERFIL 62
FIGURA 28 DEFINICIÓN DEL PERFIL W10X12 63
FIGURA 29 DEFINICIÓN DEL PERFIL HSS 5X5X1.5 64
FIGURA 30 COMBINACIONES DE CARGA 65
FIGURA 31 EJEMPLO DE LA PRIMERA COMBINACIÓN DE CARGAS CON 1.4 VECES DE LA CARGA MUERTA 66
FIGURA 32 CÚPULA EN SAP 2000 67
FIGURA 33 APLICACIÓN DE LA CARGA MUERTA 67
FIGURA 34 DESIGNACIÓN DE CARGAS DE VIENTO 68

FIGURA 35 ASIGNACIÓN DE CARGAS DE SISMO 68
FIGURA 36 PRIMERA CORRIDA DE CÚPULA. 69
FIGURA 37 VALORES DE K PARA PANDEO LOCAL 71
FIGURA 38 MONOGRAMAS PARA CALCULO DE LONGITUD EFECTIVA 71
FIGURA 39, PLACA BASE 75
FIGURA 40 LA CARGA DE DISEÑO PARA LA ESTRUCTURA SERÁ 25.36 KG/M2 77
FIGURA 41 DISTRIBUCIÓN DE CARGAS 77
FIGURA 42 ESPECIFICACIONES DE LA SECCIÓN W 78
FIGURA 43 PROPIEDADES DE LA SECCIÓN W 79
FIGURA 44 VARIACIÓN DE LA FLUENCIA 82
FIGURA 45 DISTRIBUCIÓN DE CARGAS 83
FIGURA 46 ESPECIFICACIONES DEL PERFIL W 84
FIGURA 47 PROPIEDADES DEL PERFIL W 84
FIGURA 48 DIMENSIONAMIENTO DE PLACA BASE 88
FIGURA 49 EJEMPLO DE CONEXIÓN ESTRUCTURAL 95
FIGURA 50 CONEXIÓN DE SOLDADURA DE BASE 97
FIGURA 51 CONEXIÓN INTERMEDIA PARA LA CÚPULA 97
FIGURA 52 ESPECTRO ESTÁTICO DE DISEÑO 98
FIGURA 53 CUERPO LIBRE DE LA RUEDA 100
FIGURA 54 COMPUERTAS ABIERTAS 104
FIGURA 55. DISEÑO DE CLIMATIZACIÓN DE LA CÚPULA 106
FIGURA 56 . ANALOGÍA ELECTRICA 110
FIGURA 57. FACTOR DE CALOR SENSIBLE 116
FIGURA 58 CICLO DEL AIRE (TOTAL DEL AIRE EXTERIOR) 116
FIGURA 59 CARTA PSICOMÉTRICA EN LA QUE NO SE TIENE RECIRCULACIÓN 117
FIGURA 60 CON RECIRCULACIÓN (AIRE EXTERIOR Y DEL AIRE INTERIOR) 117
FIGURA 61 CARTA PSICOMÉTRICA PARA EL CÁLCULO DE Δh 119
FIGURA 62 CARTA PSICOMÉTRICA PARA EL CÁLCULO DE H MEZCLA 121
FIGURA 63 CARTA PSICOMÉTRICA ONLINE 122
FIGURA 64 CARTA PSICOMÉTRICA 124
FIGURA 65 CICLO DEL AIRE PARA LA SELECCIÓN DEL EQUIPO DE CLIMATIZACIÓN 126
FIGURA 66 FIGURA REPRESENTATIVA DEL DIÁMETRO DEL DOMO 129
FIGURA 67 DIAGRAMA UNIFILAR DE DUCTOS DE SUMINISTRO 131
FIGURA 68 TRAMOS DE SISTEMA DE DUCTOS PARA CÁLCULO DE PERDIDAS POR FRICCIÓN 132
FIGURA 69 RETORNO DE AIRE DISEÑADO PARA LA CÚPULA 133

CONTENIDO DE TABLAS

TABLA 1 DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES PERFILES UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA 27
TABLA 2 NORMATIVAS INTERNACIONALES PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS METÁLICAS 28
TABLA 3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA CÚPULA 46
TABLA 4 TIPOS DE ACERO MÁS COMUNES EN DISEÑO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS. 47
TABLA 5 VENTAJAS A CONSIDERAR PARA SELECCIÓN DEL MATERIAL 48
TABLA 6 VENTAJA Y DESVENTAJAS DEL ACERO A36 48
TABLA 7 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL ACERO A572 48
TABLA 8 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL ACEROA588 49
TABLA 9 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS SEGÚN EL MATERIAL 49
TABLA 10 COMPARACIÓN RESPECTO A LA RESISTENCIA MECÁNICA 49
TABLA 11 COMPARACIÓN RESPECTO A LA SOLDABILIDAD 50
TABLA 12 COMPARACIÓN RESPECTO A LA DEFORMACIÓN INELÁSTICA 50
TABLA 13 COMPARACIÓN RESPECTO A LA FLUENCIA 50
TABLA 14 COMPARACIÓN RESPECTO AL COSTO 50
TABLA 15 CONCLUSIÓN DE PONDERACIONES 50
TABLA 16 CARGAS MUERTAS 55
TABLA 17 CARGA MUERTA DISTRIBUIDA 55
TABLA 18 VALORES PARA EL PERIODO DE VIBRACIÓN 57
TABLA 19 VALOR DE Z PARA CÁLCULO DE CORTANTE BASAL 58
TABLA 21 RAZÓN DE ANCHO/ESPESOR PARA ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE MIEMBROS A FLEXION 85
TABLA 22 METAL BASE Y METAL DE APORTE COMPATIBLE EN CADA CASO 92
TABLA 23 GARGANTA EFECTIVA A TOPE DE LAS SOLDADURAS 92
TABLA 24 SOLDADURA DE FILETE, (TAMAÑO MÍNIMO) 93
TABLA 25 CONEXIONES DE LOS MIEMBROS 94
TABLA 26 RESISTENCIA TÉRMICA DE LOS MATERIALES 110
TABLA 27 CARGA DE CALENTAMIENTO SEGÚN LA HORA SOLAR 111
TABLA 28 VALORE DE CLTD CORREGIDOS 113
TABLA 29 CALOR SENSIBLE PARA PERSONAS 114
TABLA 30 FLUJO DE MASA (AIRE EXTERIOR) PARA LA CÚPULA 118
TABLA 31 VALORES OBTENIDOS EN LA CARTA PSICOMÉTRICA 119
TABLA 33 MASA DE RETORNO 121

TABLA 34 VALORES DE LA TABLA PSICOMÉTRICA 122
TABLA 35 ENTALPIA DE LA MEZCLA 123
TABLA 36 MEZCLA DEL AIRE (ESTADO 5) 123
TABLA 37 DATOS DE LOS ESTADOS 1 2 3 4 5 124
TABLA 38 CALOR SENSIBLE DE LOS EQUIPOS DE LA CÚPULA 125
TABLA 39 CALOR LATENTE DE LOS EQUIPOS 125
TABLA 40 RESUMEN DE DATOS 125
TABLA 41 PUNTO DE ROCÍO DE LOS EQUIPOS 128
TABLA 42 DIMENSIONAMIENTO DE DUCTOS DE INGRESO 132
TABLA 43 DIMENSIONAMIENTO DE DUCTOS DE RETORNO 133
TABLA 45 COSTO DE ELEMENTOS MANO DE OBRA EN DUCTILERIA 136
TABLA 46 COSTO MATERIALES 136
TABLA 47 COSTO TOTAL DE FABRICACIÓN 137

INDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1 55
ECUACIÓN 2 56
ECUACIÓN 3 57
ECUACIÓN 4 59
ECUACIÓN 5 60
ECUACIÓN 6 60
ECUACIÓN 7 69
ECUACIÓN 8 70
ECUACIÓN 9 70
ECUACIÓN 10 73
ECUACIÓN 11 73
ECUACIÓN 12 74
ECUACIÓN 13 80
ECUACIÓN 14 80
ECUACIÓN 15 80
ECUACIÓN 16 81
ECUACIÓN 17 81
ECUACIÓN 18 83
ECUACIÓN 19 83
ECUACIÓN 20 86
ECUACIÓN 21 87
ECUACIÓN 22 87

ECUACIÓN 23 89
ECUACIÓN 24 89
ECUACIÓN 25 89
ECUACIÓN 26 90
ECUACIÓN 27 90
ECUACIÓN 28 91
ECUACIÓN 29 91
ECUACIÓN 30 92
ECUACIÓN 31 93
ECUACIÓN 32 93
ECUACIÓN 33 94

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño y simulación de una estructura metálica en forma de domo, mismo que será diseñado para su uso en las instalaciones del Observatorio Astronómico de Quito en el parque Jerusalén. Para el diseño se baso en la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015 y se consideró las resistencias a la fluencia o modulo elástico de los materiales, una vez realizado el diseño se ingresa en el programa SAP 2000, e Inventor Profesional 2018, SolidWorks 2019 y Ram Conexión para a través de estos recursos computacionales, diseñar los elementos que por su geometría son más complejos de dibujar y diseñar y finalmente se genera los planos de taller para la posterior construcción del domo. Adicionalmente, se consideró en el presente proyecto cargas muertas, vivas, cargas de sismo, *SSP* y los respectivos factores de seguridad para un correcto diseño de la estructura. Para la parte de climatización, se analizará las diferentes cargas térmicas a las que estará sometida la cúpula y se realizará el respectivo cálculo, para proceder a escoger el equipo acorde a las demandas energéticas que conlleva el ambiente a la zona de confort.

Palabras Clave: Domo Geodésico, Estructura metálica, Diseño, Simulación, Construcción, Climatización, ventilación.

ABSTRACT

The present project aims at the design, simulation and construction of a metallic structure in the form of dome itself that will be installed in the Astronomical Observatory of Quito, for the design referred to in the Ecuadorian construction norm, and it was taken in Consideration of the fluency resistances of the materials, and taking on consideration the NEC 2015 once the design is made, it is entered in the SAP 2000 program, and Inventor Professional 2018, through the finite elements design the elements that are more complex to design, finally, the workshop and the dome is built, dead, live loads, earthquake loads, SSP, and the respective safety factors for the correct design of the structure were considered in this project. For the air conditioning part, the different thermal loads to which the dome will be subjected are analyzed. and the respective calculation is made, and the respective equipment is chosen according to the energy demands of bringing the environment to the comfort zone.

Key Words: Geodesic Dome, Metallic structure, Design, Simulation, Construction.

INTRODUCCIÓN

La tendencia mundial en el uso de acero para la construcción y climatización va en crecimiento, debido a las grandes prestaciones, en cuanto a su relación resistencia, peso, costos, tiempo de armado, versus otros materiales. En el presente trabajo, se integra de manera armónica el diseño, simulación y construcción, tomando en consideración valores obtenidos matemáticamente con valores obtenidos en la simulación, con la finalidad de determinar el porcentaje de error entre la simulación y modelo real. De igual manera, se incluye la climatización de la cúpula, con el fin de brindar confort térmico a los usuarios de la cúpula astronómica, para lo cual se ha considerado cargas térmicas, internas y externas, su interacción y la cantidad de aire que se renueva cada cierto tiempo y la ductileria metálica requerida.

Pregunta de investigación

¿Es posible desarrollar una cúpula estructural con funcionalidad de planetario y observatorio astronómico?

Objetivo general

Diseñar un sistema estructural y de climatización de un planetario giratorio tipo cúpula astronómica, para el Observatorio Astronómico de Quito de la Escuela Politécnica Nacional.

Objetivos específicos

Diseñar una estructura que de soporte a componentes estructurales fijos y móviles de la cúpula astronómica.

Diseñar un sistema de climatización acorde a los equipos astronómicos y usuarios.

Simular la estructura en varios softwares de Diseño y Simulación acorde a la NEC.

Simular cargas térmicas y su distribución en el ambiente diseñado y optimizar su distribución.

Analizar los costos de los componentes.

1 MARCO TEÓRICO

1.1 Introducción

El uso del acero como material estructural es ampliamente extendido a nivel mundial, debido a sus altas propiedades de resistencia en zonas de alto riesgo sísmico. Se considera además, que el alto crecimiento demográfico de la población humana, reta continuamente a los ingenieros en la búsqueda de nuevos métodos de construcción y de materiales acordes a las necesidades actuales estructurales.

La estructura que se diseña, debe cumplir con lo descrito en la Norma Ecuatoriana de la Construcción, con enfoque en el diseño con factores de carga y resistencia (LRFD).

1.1.1 Cúpula

Es una construcción estructural cuya forma externa es semiesférica, cuyo propósito principal suele ser la utilización de telescopios, planetarios, centros de convenciones y centros de exposiciones. Puede ser construida en acero y revestida de mampostería o materiales más ligeros y modernos como aluminio estructural y recubrimiento plástico. Esta, puede tener una dualidad de uso como un simulador del cielo nocturno, al utilizar un proyector para planetario, para la difusión de las ciencias astronómicas.

1.1.2 Componentes de las cúpulas

En la construcción de cúpulas de acero, se utilizan estructuras triangulares, con miembros horizontales denominados vigas y elementos verticales denominados columnas, usualmente se usa un entrelazado de los elementos que permitan el cierre adecuado de la cúpula, para que soporte sobre sí misma el peso propio y de otros elementos estructurales y de mampostería.

1.1.3 Miembros estructurales

Se clasifican acorde al tipo de esfuerzo que será aplicado sobre el mismo, en columnas, vigas, riostras, reforzamientos y dependiendo de varios factores, como inercia, momento flector, radio de giros, material y forma de aplicación de las fuerzas y momentos, así como la dirección de las fuerzas aplicadas a los elementos, pueden ser elementos dobles simétricos o con reforzamiento en al alma del elemento[1]

1.1.4 Miembros a tensión axial

Aquellos en los cuales la tensión es perpendicular a las caras del elemento y de sentido opuesto, son usualmente utilizados para rigidizadores y contravientos, para asegurar una mayor estabilidad estructural.[1]

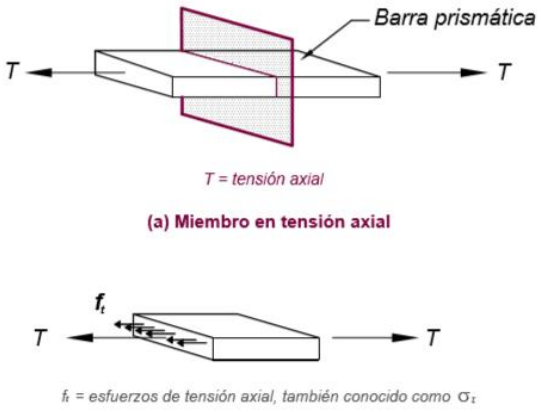


Figura 1 Miembros sometidos a tensión

(Fuente:[2])

1.1.5 Clasificación de los miembros a tensión

1. Cables
2. Barras redondas, cuadras y planas
3. Secciones de perfiles simples
4. Secciones armadas
5. Tensores

1.1.6 Cables de acero

Los cables son componentes flexibles que trabajan a tensión, formados por uno o más grupos de alambres llamados torones, que se definen como el conjunto de alambres ordenados de manera helicoidal alrededor de torón central para obtener una sección plana uniforme y un cable estructural. Es un conjunto de cables trenzados ordenados también helicoidalmente alrededor de un núcleo formado (ya sea torón, otro cable de alambres o un cable de fibras). Los cables de alambres de acero con núcleo de fibras, son utilizados en su totalidad para fines de izaje; los torones y cables con núcleos de torones o núcleos independientes de cables de alambre tienen principalmente aplicación industriales [2],[1].

1.1.7 Barras de perfil redondo y cuadrado

Las barras de perfil redondo y cuadrado son los elementos estructurales más simples para trabajar con fuerzas de tensión. Las barras de perfil circular se suelen utilizar con los extremos maquinados, con objeto de poder regular su montaje. A veces se puede aumentar el diámetro de los extremos, por forja o soldadura de la barra redonda de mayor diámetro, con la finalidad de que el área en la sección de la rosca sea igual o ligeramente mayor que el área de la sección transversal donde no se tiene la rosca. Si los puntos extremos de

estas barras son soldados, se recomienda utilizar un templador intermedio para correr la tensión adecuada. Las barras redondas tienen como principal uso, la estabilidad en diagonal de torres para el arriostramientos o contraventeos de naves industriales. Su uso no se recomienda donde exista un equipo o maquinaría que transmita vibraciones a la estructura, aparte de generar contaminación auditiva por vibración, [3], [1].

1.1.8 Secciones transversales estructurales sugeridas para trabajar a tensión

Cuando se realiza el diseño de los elementos estructurales metálicos, se considera normas o especificaciones internacionales, las cuales están respaldadas en estudios y experiencias pasadas y numerosas pruebas de laboratorio avaladas en laboratorios certificados. Así, se evita fallos en el diseño de estructuras no rentables. Las fallas principales son: el uso de factores de seguridad muy grandes, o, viceversa, factores de seguridad bajos que suponen un riesgo a la seguridad estructural.

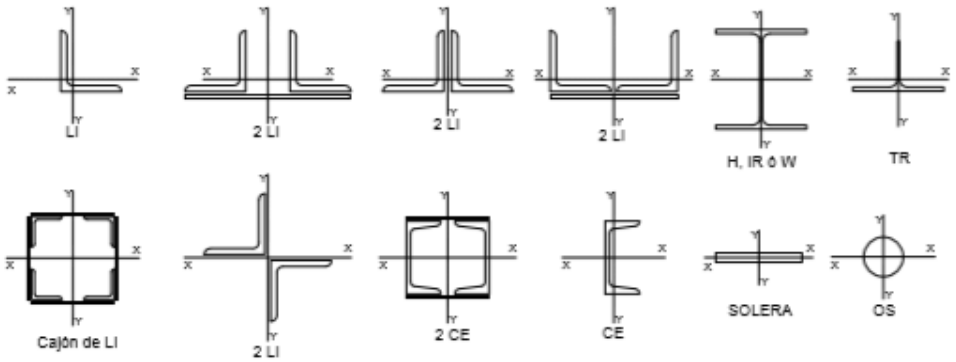


Figura 2 Perfiles estructurales

(Fuente:[4])

1.1.9 Secciones de perfiles simples y secciones armadas

El empleo de perfiles laminados es común, cuando la magnitud de la fuerza de tensión es elevada, ya sea de ángulos, canales y placas para formar secciones en cajón. De igual forma, cuando se diseña por inversión de esfuerzos bajo compresión-tensión, la varilla y el cable quedan sin aplicación. En la práctica, todo ángulo y perfil puede ser utilizados para trabajos de aplicación a tensión, aunque por términos prácticos se utiliza en su mayoría al ángulo, ya sea simple o combinado. En trabajos donde se requiere mayor área, se recomienda emplear uno o dos canales y eventualmente perfiles I. Otro punto importante en algunos casos de diseño, es la excentricidad que provoca en miembros asimétricos la

fuerza de tensión, mismo que se visualiza en las conexiones. Estas pueden evitarse con pernos y con soldadura adecuada al material base.[5]

1.1.10 Responsabilidades

De acuerdo con la Norma Ecuatoriana de la construcción NEC-SE-AC 2015, la construcción con elementos de acero estructural se divide en tres etapas: diseño, fabricación y montaje. Se indica además, que los profesionales que realicen el diseño de estructuras de acero deberán obligatoriamente tener mínimo las siguientes credenciales profesionales:

Poseer título de tercer nivel en Ingeniería Civil.

Poseer un título en Ingeniería Mecánica y un título de cuarto nivel en Ingeniería Estructural.

El profesional responsable por el diseño, se denominará Diseñador en estas disposiciones y será el encargado de presentar la documentación indicada en la Sección 3.2

Los profesionales que realicen la fabricación y el montaje de estructuras de acero, deberán poseer como mínimo las siguientes credenciales profesionales:

• Poseer título de tercer nivel en Ingeniería Mecánica o Ingeniería Civil.

• Poseer título de tercer o cuarto nivel en Tecnología de la Soldadura, o ser Inspector de soldadura certificado (CWI) según la Especificación AWS B5.1-2003. [6][7].

1.2 MATERIALES

1.2.1 El acero

El acero es uno de los materiales más nobles utilizados a lo largo de la historia de la humanidad. En la producción, el mineral de hierro (óxido de hierro) debe ser calentado en un alto horno con coque de carbono e ingreso de oxígeno. Después de la extracción del carbono este reduce y transforma el óxido de hierro a hierro en bruto líquido, resultando los subproductos de monóxido de carbono y bióxido de carbono. Otra forma usualmente utilizada para la producción del acero es el reciclaje, transformación desde la chatarra reciclada del mismo metal; aquí las altas temperaturas funden el material en un horno eléctrico de arco. Varios aceros de aleación y especiales también, se producen por el uso de hornos eléctricos y de arco. [3].

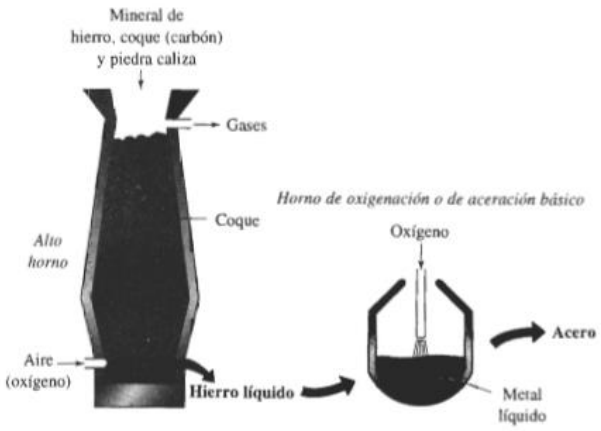
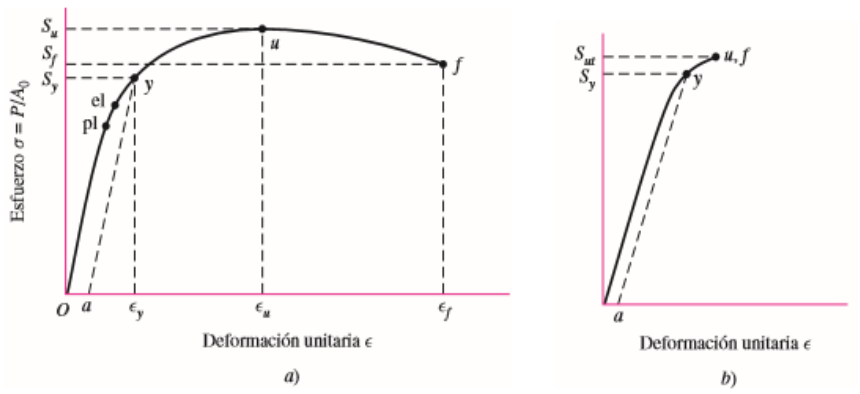


Figura 3 Horno de cubilote

Fuente([8]

1.2.2 Curva esfuerzo deformación



[2]Los usos varían. Por mucho tiempo los ingenieros usaron el término *resistencia última*, de aquí el subíndice *u* en S_u o S_{ut}. Sin embargo, en ciencia de materiales y metalurgia se usa el término *resistencia a la tensión*.

Figura 4 Diagrama esfuerzo deformación unitaria

Fuente([8])

Los aceros estructurales más usados deben cumplir con las especificaciones que se indican en la ASTM: A36/A36 M, A53/A53 M (Grado B), A500 (Grado B o C), A501, A572/A572M [Grado 50 (345)], A588/A588M, A992/A992M. El acero estructural usado para placas base de columnas, debe seguir una de las especificaciones antes descritas o ASTM A283/A283M Grado D.

1.2.3 Ventajas del acero

Un sistema de estructura de acero se puede adaptar más fácilmente para nuevas condiciones de carga, expansión vertical y cambios en los requisitos del propietario que

otros sistemas de estructura. Las vigas y columnas de acero se pueden reforzar para transportar carga adicional, sin impactar significativamente los planos de piso. Se pueden agregar nuevas aberturas en el piso para acomodar nuevas escaleras, equipos mecánicos o ejes verticales. Se pueden agregar niveles adicionales más fácilmente a los edificios de acero. La adaptabilidad futura de los edificios de acero garantiza su utilidad en los años venideros, ofreciendo así el mayor valor de cualquier material de construcción.[4]

1.2.3.1 Buena resistencia versus otros materiales

Considerando resistencia alta del material por kilogramo de peso, resulta una disminución del peso total de la estructura; este hecho es importante en puentes de grandes longitudes, en edificios de gran altura y en estructuras con condiciones de baja cimentación y suelo empobrecidos o de rellenos donde el peso es un factor importante[4].

1.2.3.2 Uniformidad

La característica de isotropía del acero no cambian apreciablemente con el tiempo ni con la carga y descarga cíclica, como es el caso de las estructuras construidas de concreto reforzado el cual varia su uniformidad debido a sus agregados, solo existen variaciones en el caso de materiales laminados [9]

1.2.3.3 Elasticidad

El acero se acerca a uno de los materiales que se aproxima mayoritariamente en su comportamiento a los cálculos de diseño que la mayoría de los materiales, siguiendo la ley de Hooke obteniendo esfuerzos bastante altos. Los diferentes momentos inerciales de una estructura de acero se pueden calcular de manera precisa, a lo que no sucede en concreto.[4]

1.2.3.4 Vida útil

El mantenimiento estructural del acero debe ser adecuado, para que la estructura tenga una vida infinita bajo la acción de varios factores climatológicos. Según nuevos estudios realizados en aceros, se ha descubierto que bajo ciertas condiciones no es necesario el mantenimiento alguno con recubrimientos de pintura debido a las mejoras en el material.[4]

1.2.3.5 Ductilidad

Se comprende la ductilidad como la propiedad que tiene el material para soportar sin fallo grandes deformaciones a causa de esfuerzos de tensión. Cuando se pone a pruebas de tensión a un acero dulce (bajo contenido de carbono), se produce una reducción considerable de su sección transversal y un gran alargamiento en el punto de falla, antes de presentarse la fractura. No es recomendable el uso de un material que no tenga esta propiedad ya que probablemente se romperá al aplicar un golpe repentino sobre su

superficie. En miembros estructurales sometidos a cargas puntuales se observa, altas concentraciones de esfuerzos. Si se toma en consideración la ductilidad de los aceros estructurales comunes, estos les permite fluir puntualmente, evitándose así fallas prematuras. Una ventaja de los aceros dúctiles es que, al someterlos a sobrecargas, sus amplio rango de deflexiones ofrecen un panorama claro de la falla (denominada como "cuenta regresiva") sin embargo, a bajas temperaturas y altas velocidades de carga el acero puede ser frágil y tener fracturas en su cuerpo .[4]

1.2.3.6 Tenacidad

Los aceros de aplicaciones estructural son utilizados por poseer buena resistencia y ductilidad al mismo tiempo, es decir, si un miembro de acero es cargado hasta presentarse grandes deformaciones será aun capaz de resistir grandes fuerzas. Esta característica es tomada en cuenta , porque implica que los miembros puedan ser usados en estructuras [4]

1.2.3.7 Ampliación en estructuras previas

Las estructuras construidas con acero se adaptan perfectamente a ampliaciones y reforzamientos como adición de nuevas vigas y columnas e incluso adición a estructuras de acero ya existentes. Con regularidad, se pueden apreciar ampliaciones de puentes de acero y edificios altos, con reforzamiento estructural[4].

1.2.4 Desventajas

1.2.4.1 Corrosión

Al estar expuestos a condiciones ambientales de agua y aire, los aceros tienden a la corrosión. Se recomienda pintar el material una vez al año o cuando lo amerite. Sin embargo, el uso de aceros intemperizados reduce esta problemática pero, hay casos donde su uso no es posible. A veces la corrosión puede ser un verdadero problema, por ejemplo, las fallas por corrosión y fatiga suelen ocurrir si los miembros de acero son aplicados con esfuerzos repetitivos, es decir, bajo fuerzas que se intercalan positiva y negativamente entre sí y peor aún en ambientes químicos agresivos, la resistencia a la fatiga de los miembros de acero puede reducirse. [4]

1.2.4.2 Costo de la protección contra el fuego

Se conoce que los miembros estructurales de acero no son combustibles, sus propiedades estructurales se suelen reducir considerablemente en temperaturas que comúnmente se alcanzan en incendios (temperaturas mayores a 1000 C). Han ocurrido incendios graves en inmuebles vacíos, en los que el único material combustible es el material estructural. Como se conoce el acero es un buen conductor del calor, de manera que los miembros de acero sin protección son capaces de transmitir suficiente calor de una sección a otro. Cuando otros materiales combustibles de un edificio se incendian, van consumiendo el

material que se encuentra en su interior, lo que incrementa el costo en la instalación de equipos de protección.[4]

1.2.4.3 Fatiga

Otra desventaja del acero es que su resistencia se afecta si se somete a un gran número de inversiones del sentido del esfuerzo, o a un gran número de cambios en la magnitud del esfuerzo de tensión; es decir, se tienen problemas de fatiga que generan grietas en el material. En la aplicación actual, si se conoce que el material estará sometido a un número mayor de ciclos de esfuerzo variable, se reducen las resistencias estimadas de tales miembros.[10]

1.2.5 Secciones estructurales

Las secciones estructurales usualmente son perfiles laminados en frio o caliente, normados bajo la AISC -360-17 del 2016, mismos que son aprobados para la construcción de edificaciones y estructuras metálicas. En el mercado nacional, existen varios proveedores de perfiles laminados tanto en frio como en caliente.

Tabla 1 Descripción de los principales perfiles utilizados en la industria

DESIGNACION	DESCRIPCIÓN
I	Perfiles laminados, usualmente con ángulo de alas iguales, fabricados a partir del proceso de laminación o soldadura
W	Viga laminada de perfil ancho
S	Viga laminada de perfiles iguales
HP	Son los elementos de perfil doble T
M	Viga de peralte
T	Viga en forma de T con peralte alto
C	Son plegados en frio y en la actualidad son fabricados por plegado en frio
L	Viga en forma de L

(Fuente:[10])

1.2.6 Norma y códigos del diseño estructural

En Ecuador se utiliza la Norma Ecuatoriana de la Construcción por sus siglas NEC, misma que se detalla a continuación según su aplicabilidad.[7]

Normas ecuatorianas de la construcción

• NEC-SE-CG: Cargas (no sísmicas)

• NEC-SE-DS: Cargas Sísmicas y Diseño Sismo Resistente

• NEC-SE-RE: Rehabilitación Sísmica de Estructuras

• NEC-SE-GM: Geotecnia y Diseño de Cimentaciones

• NEC-SE-HM: Estructuras de Hormigón Armado

• NEC-SE-AC: Estructuras de Acero

• NEC-SE-MP: Estructuras de Mampostería Estructural

• NEC-SE-MD: Estructuras de Madera

• NEC-SE-VIVIENDA: Viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5m

1.2.7 Normas extranjeras aplicadas en la norma NEC-SE-AC

Las Disposiciones que se presentan en este capítulo, tienen como referencia lo descrito en los documentos ANSI/AISC 341-05, ANSI/AISC 341-10 (Seismic Provisions for Structural Steel Buildings), 358-05 (Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications) y FEMA 350 (Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment Frame Buildings). Estas normas reflejan el conocimiento más actualizado sobre el desempeño sísmico de edificios, cuya construcción es de acero estructural en los Estados Unidos de Norteamérica.

Las especificaciones y códigos referenciados en estas disposiciones serán los listados en la Sección A2 de la ANSI/AISC 360-10 con las siguientes adiciones:[7]

Tabla 2 Normativas Internacionales para el diseño y construcción de estructuras metálicas

Abreviación	Nombre y detalles
ANSI/AISC 360 -10	Specification for Structural Steel Buildings (American Institute of Steel Construction AISC)
ANSI/AISC 358-10	Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications (American Institute of Steel Construction AISC)
ANSI/AISC 341-05	Seismic Provisions for Structural Buildings
ANSI/AISC 341-10	Seismic Provisions for Structural Buildings (American Institute of Steel Construction AISC)
AWS D1.8/D1.8M:2009	Structural Welding Code-Seismic Supplement (American Weiding Society AWS)
ANSI/AWS B4.0M:2000	Standard Methods for Mechanical Testing of Welds (Metric Customary Units) (American Welding Society AWS)
ANSI/AWS B4.0:2007	Standard Methods for Mechanical Testing of Weids (US Customary Units) (American Welding Society AWS)
ASNT SNT TC 1a-2001	Recommended Practice for the Training and Testing of Nondestructive Testing Personnel (American Society for Nondestructive Testing ASNT)
AWS B5.1-2003	Specification for the Qualification of Welding Inspectors
FEMA 350, July 2000	Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Buildings (Federal Emergency Management Agency FEMA)

(Fuente:[10],[11])

Se recalca que las disposiciones descritas en este capítulo, no incluyen requerimientos para los siguientes cuatro casos, el lector puede consultar los documentos ANSI/AISC 341-05 y ANSI/AISC 341-10.

• Pórticos Especiales con Armaduras a Momento (PEAM)

• Pórticos con Arriostramientos Restringidos al Pandeo (PARP)

• Muros Especiales con Placas de Cortante (MEPC)

• Edificios compuestos de acero estructural y concreto reforzado [10],[11]

1.3 CARGAS DE CONSTRUCCIÓN

Según la Sección B2 de la Especifición AISC manifiesta que, hoy las cargas nominales que se usarán en el diseño estructural deberán ser las estipuladas y controladas por el reglamento que se esté siguiendo para diseñar de mejor manera la estructura, es decir, basarse en las normas internacionales que usa cada país. En el caso de ausencia de normativa vigente, las cargas de diseño serán las provistas en una publicación de la American Society of Civil Engineers intitulada Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures.2 Comúnmente se conoce a esta publicación como ASCE 7. La publicación original es de la American National Standards Institute (ANSI) y se le conoce como la Norma ANSI 58.1. La ASCE posteriormente se hizo cargo. En general, las cargas se dividen de acorde con su naturaleza de origen y duración de la aplicación. Como tales, se les denomina cargas ambientales ,cargas muertas, cargas vivas.[10]

1.3.1 Cargas muertas

Se considera cargas muertas cuando las cargas de magnitud permanecen fijas a través del tiempo en lugar y magnitud. Estas son el peso propio de la estructura y otras cargas permanentemente unidas a ella como maquinaria fija, pisos y techados. Para una estructura tipo pórtico con estructura de acero, los muros de diferentes materiales, los pisos, el techado, la plomería y los accesorios se consideran cargas muertas. [10]

1.3.2 Cargas vivas

Se consideran aquellas cargas que varían de magnitud y lugar. Son producidas cuando una estructura se ocupa, se usa y se mantiene la carga sobre la misma; solo durante un periodo de tiempo. Las cargas se denominan móviles ya que se mueven bajo su propio impulso como camiones, gente y equipos. Así como también animales, mueblería móvil o bultos de peso no estacionarios [4].

1.3.2.1 Cargas de piso

Se refiere a las cargas vivas que son producidas por la fuerza gravitatoria que deben usarse en el diseño de pisos de edificio, se indican en todos los códigos de construcción.

Los puentes están sujetos a una serie de cargas concentradas de magnitud variable, causadas por grupos de camiones o ruedas de trenes [3].

1.3.2.2 Cargas de impacto.

Son las que se producen por la vibración de las cargas móviles como por ejemplo el caso de vehículos, objetos pesados como un saco arrojado al piso de un cuarto o un vehículo que rebota sobre el piso irregular de un puente. Estas cargas, causan mayores fuerzas que las que se presentarían si las cargas se aplicaran suave y gradualmente. Además, las cargas de impacto se producen cuando la maquinaria como grúas trabajan en el izaje de cargas y los elevadores en su uso normal entran en funcionamiento y se detienen. Las cargas de impacto son calculadas como la diferencia entre la magnitud de las cargas producidas y la magnitud de las cargas que se definen como muertas para su análisis [4].

1.3.2.3 Cargas longitudinales.

Al detenerse una maquinaria ferroviaria en la mitad de un puente o un automóvil pesado en un puente carretero, se generan fuerzas de sentido longitudinal.[4].

Sin embargo, se consideran otras cargas vivas en el diseño de estructuras metálicas, por ejemplo: presiones provenientes del suelo como las ejercidas por la carga lateral de la tierra en los muros de contención o las subpresiones generadas por el suelo sobre las cimentaciones; las presiones hidráulicas contra las represas, las fuerzas inerciales producto del movimiento de represas de agua durante un terremoto, así como las presiones de levantamiento sobre estructuras tipo sótano, las cargas producto de explosiones (dinamita ,TNT o roturas de la barrera del sonido por ciertos equipos); las fuerzas de cargas térmicas debidas a cambios bruscos de temperatura que ocasionan daño estructurales de alargamiento y contracción que a su vez, generan esfuerzos y agrietamientos; y las fuerzas de giro del tipo centrifugo (producidos en puentes curvos por equipo pesado ferrocarrilero o efectos similares en equipos como la montaña rusa.[4]

1.3.3 Cargas ambientales

Las cargas del tiempo ambiental son cargas vivas, pero son el resultado de factores propios del medio externo en el cual se ubica la estructura metálica. Para las estructuras metálicas, las cargas ambientales son causadas por la lluvia, la nieve, el viento, granizo, cambios de temperatura y sismos. Aun cuando tienden a tener una variación con el tiempo, no todas

son causadas por la fuerza de la gravedad o por las condiciones de operación, como es común con otras cargas vivas.[4]

1.3.4 Combinaciones de carga

Combinación para el cálculo por resistencia última acorde a la NEC-SE-CG

$D\ Carga\ permanente$

$E\ Carga\ de\ sismo$

$L\ Sobrecarga\ (carga\ viva)$

$Lr\ Sobrecarga\ cubierta\ (carga\ viva)$

$S\ Carga\ de\ granizo$

$W\ Carga\ de\ viento$ [12]

$Combinación\ 1$

$1.4\ D$

$Combinación\ 2$

$1.2\ D\ +\ 1.6\ L\ +\ 0.5max\ [Lr;\ S;\ R]$

$Combinación\ 3\ *$

$1.2\ D\ +\ 1.6\ max\ [Lr;\ S;\ R] +\ max\ [L;\ 0.5W]$

$Combinación\ 4\ *$

$1.2\ D\ +\ 1.0\ W\ +\ L\ +\ 0.5\ max\ [Ld;\ S;\ R]$

$Combinación\ 5\ *$

$1.2\ D\ +\ 1.0\ E\ +\ L\ +\ 0.2\ S$

$Combinación\ 6$

$0.9\ D\ + 1.0\ W$

$Combinación\ 7$

$0.9\ D\ +\ 1.0\ E$

Excepciones • Si L ≤ 4.8 kN/m², el factor de incremento de carga para L en las combinaciones 3, 4 y 5, puede ser 0.5 (véase el apéndice 4.2 NEC 15), con excepción de las áreas destinadas a estacionamientos y reuniones públicas.

• Cuando la carga por presión lateral H esté presente, se incluirá como sigue: o 1.6H, cuando el efecto de H contribuye a la acción de otras cargas sobre la estructura. o 0.9H, cuando el efecto de H contrarreste la acción de otras cargas sobre la estructura o el factor de incremento de carga para H, se puede considerar igual a cero, si la acción estructural debido a H contrarresta o neutraliza la acción debida a W o E. [12]

• La aplicación de la carga de granizo S en las combinaciones 2, 4 y 5, será considerada en cubiertas planas o en cubiertas con pendiente. .[4]

• La carga sísmica E, será resuelta de acuerdo con el capítulo de peligro sísmico y diseño sismo resistente de la NEC 15. [12]

1.4 LA CLIMATIZACION

Actualmente la climatización se ha convertido en una necesidad de básica tomando en consideración el control de la climatización interna de museos, auditorios, cúpulas, donde el flujo de gente exige una corrección de la condición interna del clima para tener un confort térmico entre los asistentes para lo cual se considera variables simultáneas de humedad, temperatura, cantidad de material particulado, respondiendo a las exigencias de los usuarios, para lo cual se distribuye el aire de una manera uniforme sobre el ambiente [13]•

1.4.1 Condiciones de Comodidad

El proceso de climatizar el aire, es controlar parámetros como humedad, temperatura, distribución de aire y pérdidas, cuya finalidad es proporcionar confort de los ocupantes de domos, residencias, teatros, colegios, albergues. En la industria, el objetivo es mantener la preservación de alimentos y elementos químicos a temperaturas bajas, con la finalidad de evitar procesos de putrefacción y degradación [14].

1.4.2 Definiciones básicas de climatización

1.4.2.1 Cargas internas

Son las cargas generadas en el interior de la cúpula de estudio, en el caso de la cúpula astronómica, las cargas internas son generadas por la ganancia por radiación solar, equipos, y personas asistentes.

1.4.2.2 Personas

El ser humano genera calor que se emite al medio ambiente en forma de convección y radiación.

1.4.2.3 Alumbrado

La luminaria también transforma la energía eléctrica en calor y luz por radiación y convección.

1.4.2.4 Maquinas eléctricas

Las máquinas eléctricas en su normal funcionamiento también generan una carga térmica por convección.

1.4.3 Cargas externas

Radiación solar: Es aquella que se da por la presencia del sol, generando un calentamiento en las paredes y por ende una modificación en el interior de la cúpula.

Aire exterior: Se considera que el aire exterior a la estructura se encuentra a una temperatura diferente a la interior, por lo que influye en el confort térmico.

1.4.4 Componentes principales del sistema de climatización

1.4.5 Ventilador:

Es un dispositivo que consta principalmente de un motor y un juego de aspas mismas que permiten el ingreso o salida de aire con la finalidad de crear flujo de aire, hacia los otros componentes del sistema de climatización.

Figura 5 Ventilador centrifugo

Fuente([15])

1.4.6 Ductileria

Comprende todos los tubos redondos o rectangulares por los cuales se distribuye el aire a los diferentes lugares, se clasifican acorde con la presión y flujo de trabajo. Es importante conocer la manera idónea de seleccionar los tamaños, materiales y calibres para evitar tener vibración excesiva y ruido, así como controlar la velocidad de aire por cambios de área. [16].

Figura 6 Ductileria sobre estructura metálica

(Fuente:[17])

1.4.7 Controles

Son dispositivos diseñados para regular y controlar en los sistemas de distribución, parámetros como el flujo, temperatura y velocidad del aire, logrando un balance de aire de acorde con lo solicitado por el cliente y el diseñador.[18]

1.4.8 Suministro y distribución final del aire.

Existen tres diferentes tipos de distribución de aire en la parte, según han sido divididos en la ASHRAE en [18]:

1.4.8.1 Sistemas de mezcla

Para lograr un confort se tiene las siguientes condiciones de velocidad y temperatura, el aire se suministra a una velocidad mayor y una temperatura menor a las que se buscan en la zona por acondicionar.

En este tipo de sistema, es común utilizar difusores y rejillas que se colocan en las salidas o cerca de ellas, usualmente con descargas laterales cuando se está hablando de enfriamiento; pueden colocarse lateralmente o en nivel de piso cuando se trata de realizar un calentamiento[16]

1.4.8.2 Sistemas de desplazamiento

El aire es inyectado directamente al cuarto a una temperatura ligeramente menor que la requerida y con velocidades aproximadas a los 100 pies por minuto, logrando que el aire

frío inunde el espacio por acondicionar. Al llegar a los equipos y usuarios que producen el calor como fuente, el aire se desplazará a la parte superior, donde se realiza el retorno. Para estos sistemas se usan rejillas de inyección, que pueden colocarse al nivel del piso, principalmente por canales laterales.[15]

1.4.8.3 Sistemas locales

Este sistema permite el suministro del aire en lugares muy específicos como salas de cuidados intensivos y salas de máquinas, relativos a áreas de trabajo u ocupación; y es utilizado en la industria y en la medicina principalmente.[16]

1.4.9 Los intercambiadores de calor tipo serpentín

Son aquellos elementos donde se realiza el proceso de intercambio de calor real de temperatura, humedad y energía; para acondicionar el aire y suministrar a los espacios. Es muy importante realizar una selección idónea y tomar en cuenta que siempre existirá una condensación de aire que debe de ser transferida al exterior de espacios y del equipo. [18]

Figura 7 Serpentín

(Fuente:[19])

1.4.10 Filtros

Son las piezas cuya función principal es retener partículas u olores del flujo del aire, se fabrican con carbón activado y son ubicados internamente en las unidades manejadoras de flujo de aire, aunque pueden ubicarse independientemente : [19]

1.4.11 Filtros de partículas

Tienen el objetivo principal de atrapar y retener las partículas sólidas pequeñas que se encuentran en el flujo de aire y se clasifican de acuerdo con el tamaño y dimensiones de las partículas, las cuales se determinan de acuerdo a un valor mínimo reportado de partículas retenidas en pruebas, según la NAFA (National Air Filtration Association), en Estados Unidos. [19]

1.5 Equipos más utilizados en la cúpula

1.5.1 Telescopio

Un telescopio es un instrumento óptico desarrollado con el fin de observar objetos lejanos, a través del manejo de la luz y de sus propiedades. Es una herramienta principal para el estudio de la Astronomía y uno de los que más profundamente revolucionó la concepción del universo que tiene el ser humano. Su funcionamiento obedece al principio de la magnificación de las imágenes, es decir, a la alteración de los patrones de la luz visible para agrandar lo observado[20]

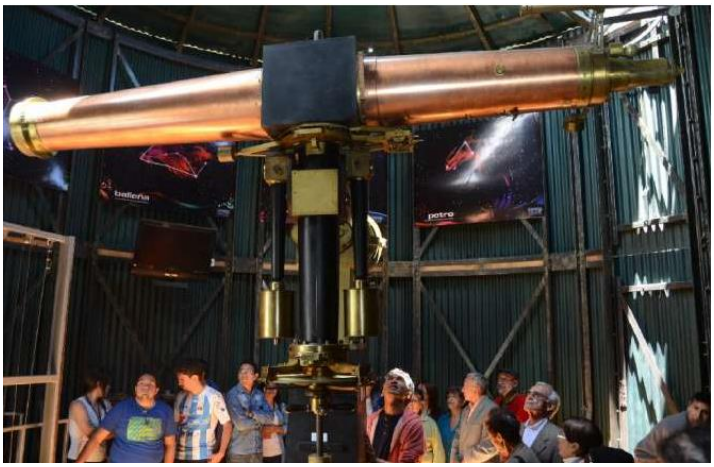


Figura 8 Telescopio del Observatorio Astronómico de Quito

(Fuente: Propia)

1.5.1.1 Tipos de telescopios

1.5.1.1.1 Refractor

Es conocido también como telescopio Galileano, en este equipo óptico compuesto por dos lentes situados en las puntas externas de un tubo circular. En un punto del frente tiene una lente convergente, por la cual se permite el ingreso de luz del objeto de estudio y se refracta hasta concentrarse en el foco, donde se conforma la imagen final que el usuario puede ver. Situado en el extremo opuesto de la estructura para el tubo, se coloca un lente de tipo divergente-ocular, a través del cual los rayos que pasan. Esto implica que el ángulo usado siempre incrementa la imagen del objeto. [21].

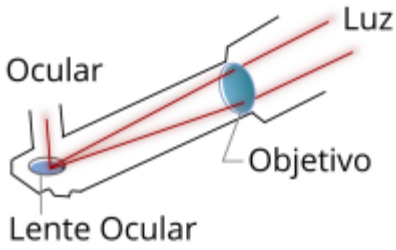


Figura 9 Partes de un telescopio refractor

(Fuente:[21])

1.5.1.1.2 Reflector

Denominado telescopio Newtoniano, fue diseñado y construido en 1668 por Isaac Newton. Sus partes principales son un espejo primario (cóncavo) en el que la luz se refleja, a el otro extremo del cuerpo, donde encontraremos un espejo secundario que permite direccionar los rayos hacia un lado del tubo. Como el objetivo del espejo reflector es del tipo parabólico la aberración cromática es solucionada ya que todos los rayos de luz se concentran en un solo punto del plano focal, el principal uso del telescopio Newtoniano es la observación de objetos de poca intensidad como nebulosas, galaxias y cúmulos estelares. [21].

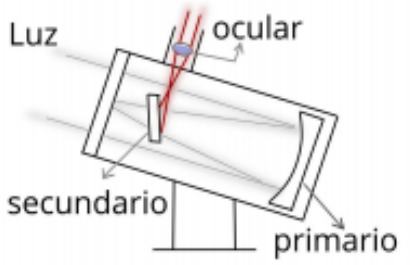


Figura 10 Partes generales de un telescopio reflector

(Fuente:[21])

1.5.1.1.3 Catadióptrico

En este tipo de sistema catadióptrico, los fenómenos de reflexión y refracción son usados para formar una imagen donde la luz ingresa a través del lente corrector, es redirigido hacia un espejo primario tipo esférico, donde se refleja y transmite a un espejo secundario. Y como último paso, la luz o la imagen se refleja en el espejo secundario y sale por el ocular hacia el usuario por la parte posterior del telescopio. La ventaja de este telescopio es que permite realizar las observaciones nocturnas de planetas, así como objetos de cielo profundo e incluso realizar observación terrestre. Además de ser un instrumento mucho más compacto[21].

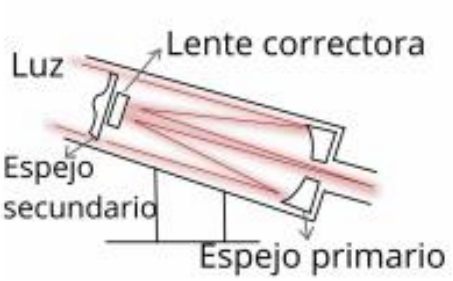


Figura 11 Partes generales de un telescopio catadióptrico

(Fuente:[21])

1.5.2 Proyector

El proyector es el equipo de transmisión de la imagen pregrabada sobre el techo de la cúpula, existen principalmente dos tipos de proyectores que se detallan a continuación

1.5.2.1 Analógicos

Son los más antiguos y fueron creados en 1923 en Alemania por Carl Zeiss, donde se daba vital importancia al concepto que las estrellas deben ser brillantes, redondas y lo más diminutas posibles para crear un fiel retrato del cielo nocturno.[22]

Figura 12 Planetario Analógico StarMaster

(Fuente:[23])

1.5.2.2 Digitales

Sistemas digitales son utilizados especialmente en planetarios que pueden ser del tipo portátil o fijos de dimensiones considerables, los cuales combinan una buena técnica y la enseñanza de la astronomía práctica al mundo real, haciendo de la proyección astronómica una experiencia didáctica y educativa, adaptando los temarios acordes a los planes educativos y las necesidades de profesores, alumno y visitantes. La tecnología

digital hace que estos proyectores sean más potentes y prácticos que los 'planetarios' analógicos los cuales poco a poco quedan obsoletos, [24]

Figura 13

(Fuente:[24])

1.5.2.3 Full Dome

Debido al gran avance tecnológico en el campo de las imágenes digitalizadas, han aparecido nuevos sistemas de proyección especiales. Uno de ellos son los proyectores tipo digital, que combinados con espejos esféricos o lentes ojo de pez como elemento reflector, brindan a los usuarios la posibilidad de proyectar imágenes a 180 grados en un domo semiesférico, reduciendo el uso de los convencionales sistemas de proyección tipo analógica de los planetarios. Este sistema es el conocido FULL-DOME. [25]

Figura 14 Partes del sistema Full Dome

(Fuente:[25])

1.6 COMPONENTES MOTRICES

Para el movimiento de la cúpula, se utiliza normalmente dos anillos soportados por ruedas, que permiten el movimiento relativo entre sí, esto se lo realiza usualmente a través de sistemas motrices, impulsados por motores eléctricos.

1.6.1 Motor Eléctrico

Los motores eléctricos son máquinas eléctricas de salida rotativa a través de un eje que transforman una energía eléctrica en energía mecánica de rotación a su eje. Su funcionamiento utiliza la ciencia de las fuerzas de atracción y repulsión establecidas entre un imán y un hilo llamado bobina por donde hacemos circular electricidad [26].

Figura 15: Motor eléctrico

(Fuente:[26])

1.6.2 Sistema de embrague y freno de tambor

El embrague centrífugo es utilizado para operar automáticamente sistemas motrices con ruedas sin ningún resorte, el par de torsión que es transmitido resulta en una proporción igual al cuadrado de la velocidad. Esto es útil con el uso de motor eléctrico, donde usualmente durante el arranque la máquina es impulsada y alcanza una velocidad de trabajo sin un mayor impacto sobre la estructura de las ruedas. [27].

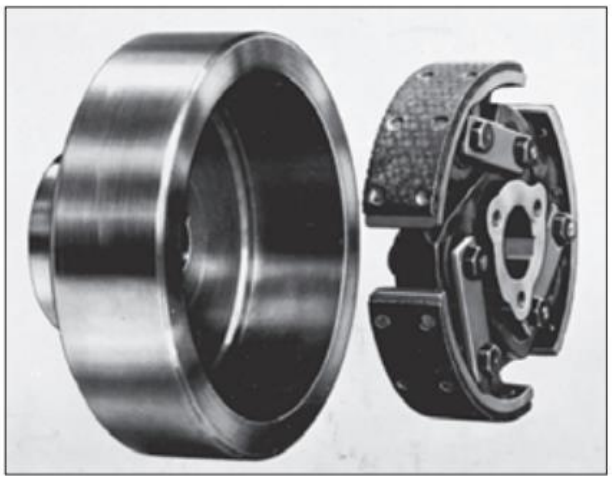


Figura 16: Sistema de embrague freno

(Fuente:[26])

1.6.3 Reductor de velocidad

Es un sistema de engranajes que permite que los motores eléctricos de explosión u otro, funcionen a diferentes velocidades para los que fueron diseñados, es decir, tienen una

entrada a cierta velocidad y una salida donde se obtiene la velocidad de giro deseada. Para el accionamiento de la cúpula existe una diferencia entre la velocidad de operación del motor y la velocidad de operación de la cúpula, por lo que se ocupa un reductor de velocidad y un sistema de acoplamiento tipo embrague para una transmisión suave de movimiento, evitando de esta manera una carga excesiva que produzca un daño en la estructura. Los motores y sistema de embrague son diseñados a continuación [28].

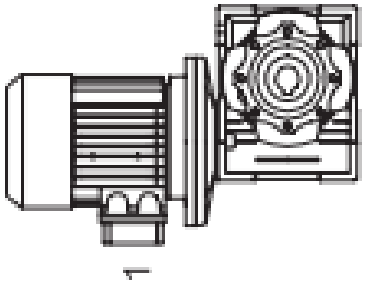


Figura 17 Reductor acoplado a motor

(Fuente:[28])

1.6.4 Actuadores neumáticos

Son equipos que utilizan aire comprimido de un sistema y se clasifican en dos grandes subdivisiones: los cilindros, en los que obtenemos movimientos lineales y motores en los que tienen lugar movimientos de tipo rotativos; mismos que pueden ser utilizados para girar la cúpula en la posición idónea. Estos motores requieren de un sistema de neumático que provea constantemente cierto caudal de aire al interior del motor para su correcto funcionamiento [29] .

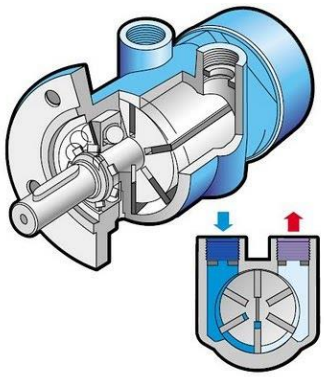


Figura 18 Motor neumático

(Fuente[29])

2 METODOLOGÍA, ANALISIS Y SELECCIÓN DE PARAMETROS Y ALTERNATIVAS

2.1 Prefactibilidad

El crecimiento acelerado de la población ecuatoriana y la falta de difusión de las ciencias astronómicas en la ciudad de Quito, crea la necesidad de desarrollar un proyecto de una cúpula astronómica que cumpla con la normativa ecuatoriana, la estructura a desarrollar adicionalmente debe soportar las condiciones climatológicas de Quito.

2.2 Localización del Proyecto

El proyecto se encuentra ubicado en el valle de Malchingui, en el terreno del Observatorio Astronómico de Quito.

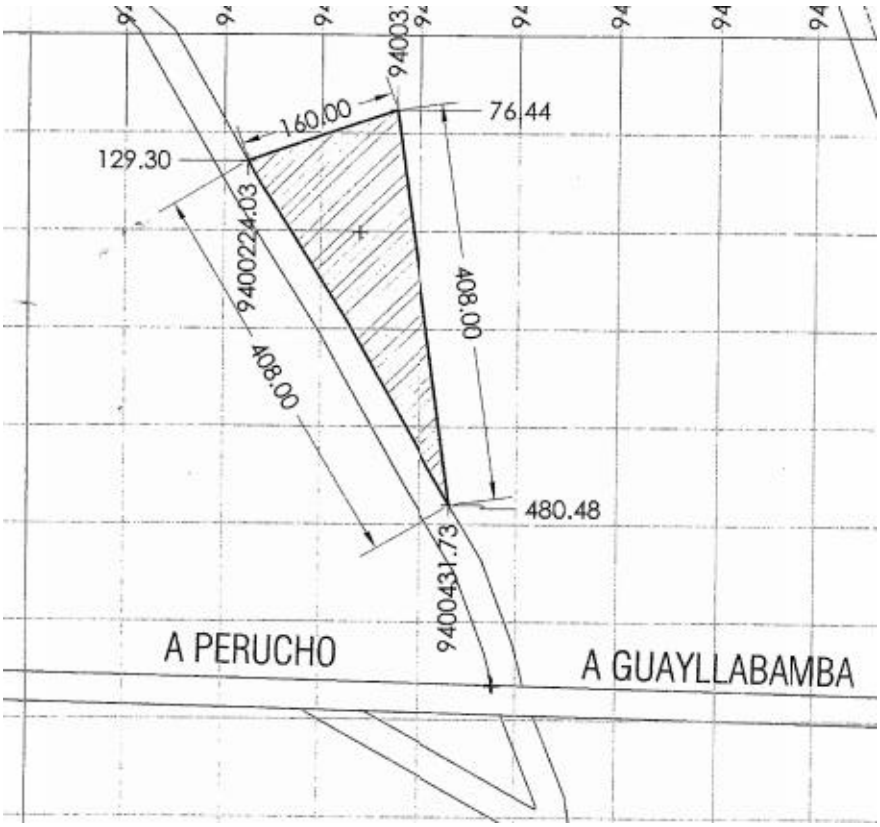


Figura 19 Dimensiones del sitio a construir

(Fuente: [20])

Su desarrollo comprende el uso de programas, modelos numéricos, normas y diseños en 3 dimensiones. Para la metodología se realizará un diagrama de flujo correspondiente.

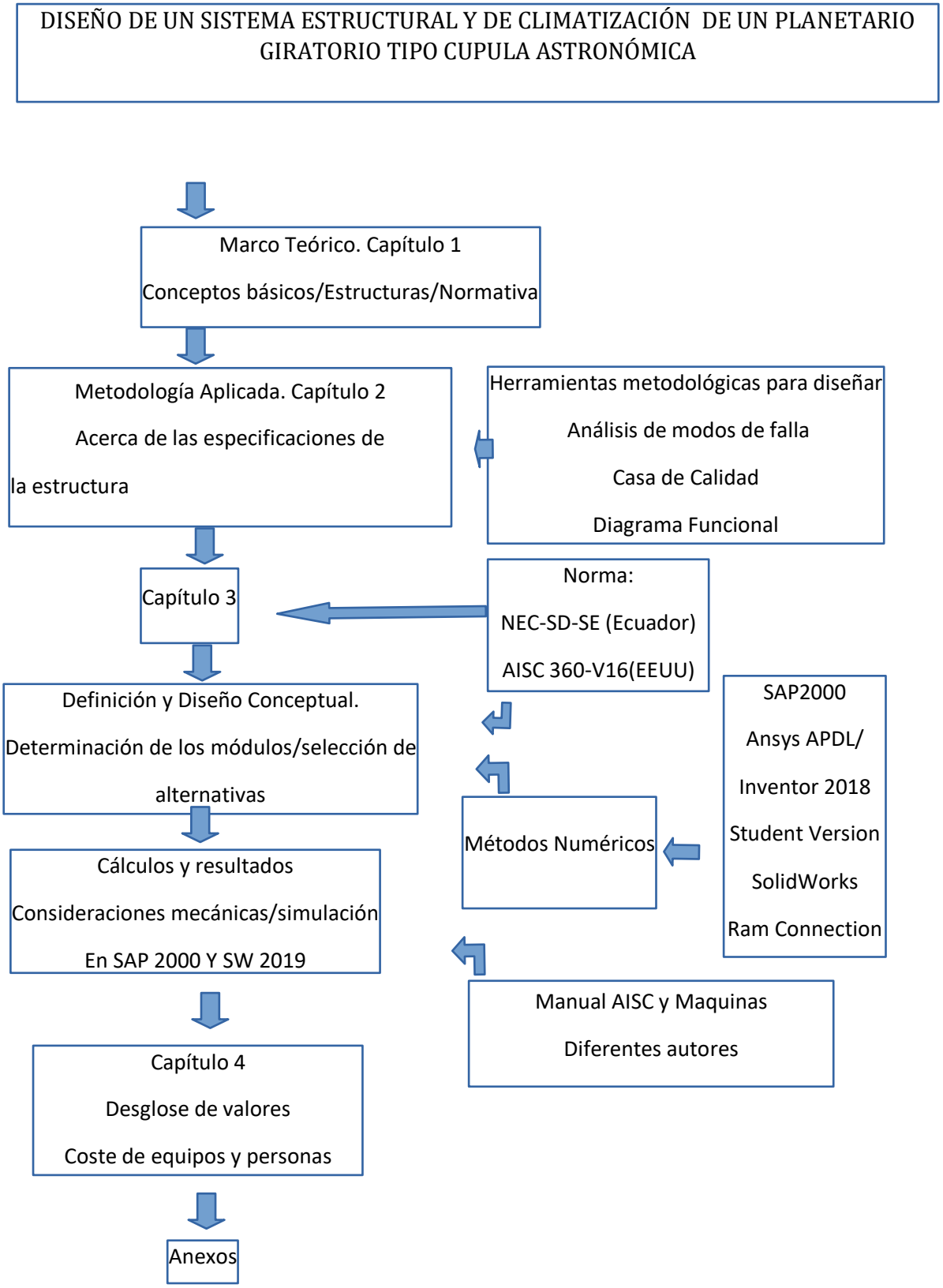


Figura 20. Diagrama de flujo para la metodología.

(Fuente: Propia)

2.3 Especificaciones de la estructura

2.3.1 Consideraciones para las especificaciones técnicas

El trabajo actual tiene como meta el diseño y la simulación de un sistema estructural metálico que permita la difusión de las ciencias astronómicas del Observatorio Astronómico de Quito de la Escuela Politécnica Nacional y la utilización adecuada de los equipos especializados para la observación y medición de variables astronómicas.

El dimensionamiento del sistema lo realizaremos basado en las normas NEC-SE-AC (2014) y AISC -360-2016, que nos indican las directrices en estructuras de acero.

2.3.2 Casa de la calidad

Se considera la estructura a diseñar y se toma en cuenta métodos de desarrollo de la calidad, poniendo como prioridad las necesidades de los visitantes, así como las de los científicos.

El desarrollo de casa de la calidad se observa en el ANEXO 1.

2.3.3 Voz del Usuario

Se toma en consideración la información proporcionada por el personal del Observatorio Astronómico de Quito, la estructura cumple los siguientes requerimientos, así como lo descrito en la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

Fácil acceso.

Económico.

Seguridad

No genera ruido excesivo.

Ocupa el espacio designado.

Mantenimiento de baja periodicidad.

Construcción con materiales de fácil acceso en el mercado.

Soportar condiciones climáticas.

2.3.4 Voz del Ingeniero

La estructura cumple los siguientes requerimientos:

- Alta accesibilidad
- Capacidad de Carga
- Superficie

- Facilidad de operación
- Mecanismos seguros
- Bajo coste de mantenimiento
- Vida útil larga
- Costo de protección bajo condiciones climáticas fuertes
- Uso de materiales especiales para ambientes lluviosos

2.3.5 Conclusiones de la Casa de la Calidad

Del análisis de la casa de la calidad, se concluye los puntos más importantes obteniendo:

2.3.6 Dimensionamiento estructural.

Para dimensionar la estructura se basó en la normativa vigente:

NEC / NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCION SECCIÓN ESTRUCTURAS.

2.3.7 Carga

La cúpula astronómica, debe soportar la carga muerta (propia y de equipos), carga viva, de viento, de sismo y sus diferentes combinaciones.

2.3.8 Especificaciones Técnicas

Para la elaboración de la cúpula astronómica se tomó en consideración los requerimientos de la voz del cliente, así como la voz del ingeniero.

Tabla 3. Especificaciones Técnicas de la cúpula

Empresa: David Benalcázar	Cliente: Observatorio Astronómico de Quito EPN	Producto: Diseño de un sistema estructural y de climatización de un planetario giratorio tipo cúpula astronómica para el Observatorio Astronómico de Quito de la Escuela Politécnica Nacional		Presentado 31/01/2020 Revisado 03/03/2020
Especificaciones				
Conceptual	Fecha	Propone	r/d	Descripción
Función	24/03/2020	C	R	La Cúpula astronómica debe ser capaz de abrir sus compuertas superiores para permitir la observación de los cielos Ecuatoriales
Movimientos	23/03/2020	E	R	movimiento giratorio
Dimensión	23/03/2020	c+e	R	giro máximo 360 [grados]
Fuerza	23/03/2020	E	R	carga máxima de mampostería.
Materiales	23/03/2020	C	D	resistentes a la corrosión
Controles	23/03/2020	c+e c+e	R D	caja de control y panel control semiautomático
Ergonómica	23/03/2020	c+e	D R	columnas verticales, amplias
Fuente energía	23/03/2020	c+e	R	funcionamiento eléctrico
Normativa	23/03/2020	E	R	cumplimiento de la norma técnica NEC15 NEC-SE-AC. ESTRUCTURAS DE ACERO

E=tesista C=cliente R=requerimiento D=deseo
(Fuente: Propia)

2.4 DISEÑO CONCEPTUAL Y DEFINICIÓN

Se identifica la función primaria y secundaria de la cúpula astronómica a diseñar, por lo que se ha definido lo siguiente:

Función primaria: Cumplen las demandas de los usuarios y clientes.

Función secundaria: Asiste en el correcto desenvolvimiento de la función primaria.

Se diseña 3 niveles a analizar, así:

- Nivel 0
- Nivel 1 Estructura fija
- Nivel 2 Estructura móvil
- Nivel 3 Climatización

El Diseño Conceptual se encuentra en el ANEXO 2.

DETERMINACIÓN DE LOS MÓDULOS

2.4.1 Análisis y selección de alternativas

2.4.1.1 Selección del material

Para la selección del material se utiliza los aceros estructurales recomendados por la NEC 15 y en los SRCS deben cumplir las siguientes especificaciones de la ASTM: A36/A36 M, A53/A53 M (Grado B), A500 (Grado B o C), A501, A572/A572M [Grado 50 (345)], A588/A588M, A992/A992M. El acero estructural usado para placas base de columnas, debe seguir una de las Especificaciones ASTM previos o ASTM A283/A283M Grado D. [12]

Los diferentes materiales de estructuras que son permitidos usar en aplicaciones sísmicas, han sido seleccionados en base a sus propiedades inelásticas y de soldabilidad. En general, ellos cumplen las siguientes características:

1. Un pico de fluencia pronunciada en el diagrama esfuerzo – deformación unitaria

2. Una gran capacidad para absorber deformaciones inelásticas (por ejemplo, elongación del 20% o más en una longitud de 50 mm); y

3. Buena soldabilidad y compatibilidad. [12]

(Según NEC-SE-AC)

Para la selección de alternativas usaremos los siguientes aceros.

Tabla 4 Tipos de acero más comunes en diseño de estructuras metálicas.

I	ASTM A 36
II	ASTM A 53
III	ASTM A 500
IV	ASTM A 501
V	ASTM A 572
VI	ASTM A 588
VII	ASTM A 992
VIII	ASTM A 283

(Fuente:Propia,[4])

Tabla 5 Ventajas a considerar para selección del material

A	Resistencia
B	Soldabilidad
C	Deformación inelástica
D	Fluencia
E	Costo

(Fuente: Propia,[4])

Se realiza la matriz de alternativas

ACERO A36

Tabla 6 Ventaja y desventajas del acero A36

Ventajas	**Desventajas**
Buena resistencia mecánica	Baja resistencia en comparación a otros aceros
Buena soldabilidad	Resistencia reducida a altas temperaturas
Fácil obtención en el mercado	Baja resistencia a la corrosión
Fácil maquinabilidad	
Alta aplicabilidad en el área estructural	

(Fuente: Propia)

ACERO A572

Tabla 7 Ventajas y desventajas del acero A572

Ventajas	**Desventajas**
Buena resistencia mecánica	Costo más elevado que otros aceros
Mediana Soldabilidad	Resistencia reducida a altas temperaturas
Fácil obtención en el mercado	Se lo obtiene solamente bajo pedido
Alta resistencia a la corrosión	
Alta aplicabilidad en el área estructural	

(Fuente: Propia)

ACERO A 588

Tabla 8 Ventajas y desventajas del AceroA588

Ventajas	**Desventajas**
Buena resistencia	Costo más elevado que otros aceros
Buena soldabilidad	Resistencia reducida a altas temperaturas
Buena resistencia con la corrosión	Difícil obtención en el mercado
Alta aplicabilidad en el área estructural	

(Fuente: Propia)

2.4.1.2 Selección de alternativas según el material

Los criterios aplicados para la selección son analizados con una ponderación de la Tabla 9. Según la importancia, se ordena cada uno con el objetivo de determinar su ordenamiento.

Tabla 9 Selección de alternativas según el material

CRITERIO	Resistencia mecánica	Soldabilidad	Deformación	Fluencia	Costo	∑+1	Ponderación
Resistencia mecánica	X	1	0	1	0	3	0,23
Soldabilidad	0	x	1	1	0	3	0,23
Deformación Inelastica	0	1	X	0	0	2	0,15
Fluencia	0	1	0	X	0	4	0,31
Costo	0	0	0	0	x	1	0,08
					Suma	13	1,00

(Fuente: Propia)

En la Tabla 8 se evalúa las soluciones para el ASTM A36 (Solución 1), ASTM A572, (Solución 2), ASTM A588 (Solución 3); los valores designados se muestran como:

- 1, cuando el valor de criterio de las filas es mayor que el de las columnas.

- 0,5, cuando el valor de ambos criterios obtenidos que se comparan son equivalentes.

- 0, cuando el valor de criterio obtenido de las filas es menor que el de las columnas.

Tabla 10 comparación respecto a la resistencia mecánica

Resistencia mecánica	Solución 1	Solución 2	Solución 3	∑+1	Ponderación
Solución 1	X	0	0	1	0,20
Solución 2	0	X	0	1	0,20
Solución 3	1	1	X	3	0,60
			Suma	5	1,00

(Fuente: Propia)

Evaluación respecto a la soldabilidad

Tabla 11 Comparación respecto a la soldabilidad

Soldabilidad	Solución 1	Solución 2	Solución 3	∑+1	Ponderación
Solución 1	X	1	1	3	0,55
Solución 2	0	X	0,5	1,5	0,27
Solución 3	0	0	X	1	0,18
			Suma	5,5	1,00

(Fuente: Propia)

Evaluación respecto a la deformación inelástica

Tabla 12 Comparación respecto a la deformación inelástica

Deformación inelastica	Solución 1	Solución 2	Solución 3	∑+1	Ponderación
Solución 1	X	0	0	3	0,50
Solución 2	0	X	0	1	0,17
Solución 3	0	1	X	2	0,33
			Suma	6	1,00

(Fuente: Propia)

Evaluación respecto a la fluencia

Tabla 13 Comparación respecto a la fluencia

Fluencia	Solución 1	Solución 2	Solución 3	∑+1	Ponderación
Solución 1	X	0	1	2	0,29
Solución 2	1	X	0	2	0,29
Solución 3	1	1	x	3	0,43
			Suma	7	1,00

(Fuente: Propia)

Evaluación respecto al costo

Tabla 14 Comparación respecto al costo

Costo	Solución 1	Solución 2	Solución 3	∑+1	Ponderación
Solución 1	X	1	1	3	0,50
Solución 2	0	X	0	1	0,17
Solución 3	0	1	x	2	0,33
			Suma	6	1,00

(Fuente: Propia)

Tabla 15 Conclusión de ponderaciones

Solución	Resistencia mecánica	Soldabilidad	Deformación	Fluencia	Costo	∑	PRIORIDAD
Solución 1	0,05	0,13	0,08	0,09	0,04	0,375	2
Solución 2	0,05	0,06	0,03	0,09	0,01	0,235	3
Solución 3	0,14	0,04	0,05	0,13	0,03	0,389	1

(Fuente: Propia)

Concluimos del estudio realizado por el método ordinal corregido de los criterios ponderados observado en la Tabla 15, que el acero a A588 es el mejor para la cúpula Astronómica.

3 CÁLCULOS Y RESULTADOS

3.1 Análisis de elementos estructurales usando programas de diseño por el método de elementos finitos

Se utiliza el software SAP2000 V16 ya que es el más propicio para realizar el diseño y simulación de cargas debido a que nos permite analizar el comportamiento de los componentes en el análisis estático de la estructura, también permite definir diferentes tipos de configuración del mallado y combinaciones de carga. El diseño se lo realizará en SolidWorks 2019 para las platinas base y para los miembros estructurales a compresión y tensión.

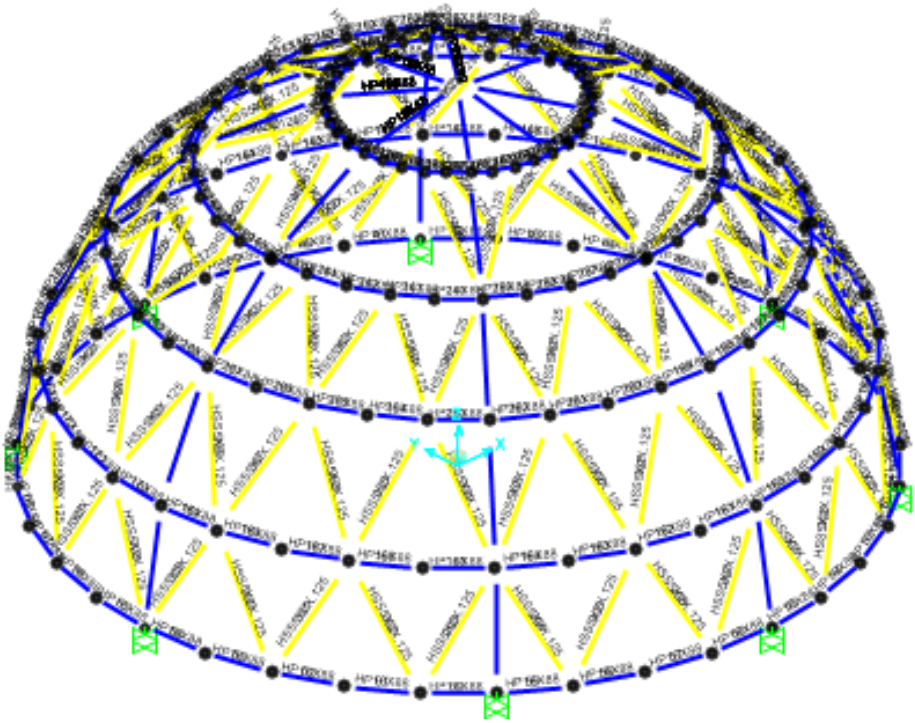


Figura 21, Diseño de la cúpula en SAP 2000

(Fuente: Propia)

En el análisis de las uniones se utiliza el software SolidWorks 2019, Inventor 2019, SAP 2000, RAM conexión.

3.1.1 Metodología

Debido a que la simulación es la creación de una réplica del modelo real, se pretende reproducir de la manera más exacta el comportamiento mecánico estructural de la cúpula, a través de la utilización del software SAP 2000, por lo que se dimensiona de manera adecuada el modelo, se dibuja en el programa Solidworks 2019 y su análisis se lo realiza

en el programa SAP 2000, para lo cual se aplicará los conceptos básicos de elementos finitos.

3.1.2 Procedimiento de resolución en el programa SAP 2000

Las etapas para la resolución del modelo estructural en el programa SAP 2000 son:

1.- Escoger el espacio de trabajo

2.- Designar las unidades de trabajo en metros

3.- Realizar la importación de la geometría del modelo

4.- Definir del material

5.- Designar los perfiles

6.- Designar las de cargas y restricciones

7.- Designar los casos de carga

8.- Correr el programa

9.- Analizar los resultados.

3.1.3 Pre-proceso

Para el pre- proceso del modelo, se toma en consideración un espacio infinito sin malla restrictiva inicial en el programa.

3.1.4 Designación de unidades

Debido a la geometría del modelo se trabajará con unidades en metros, kilogramos y segundos.

3.1.5 Importación de la geometría

El modelo inicialmente es dibujado en Solidworks 2019, debido a la facilidad de dibujo que brinda el software, luego se exporta en formato IGES al programa SAP 2000 a su espacio de trabajo.

3.1.6 Definición del material

El material utilizado en el estudio es el Acero A588, en base al análisis de solución de alternativas.

3.1.7 Definición de perfiles

Los perfiles asignados inicialmente son perfiles tipo W18x55.

3.1.8 Cargas

Las cargas asignadas son aplicadas en la estructura en los puntos críticos, tomando en consideración dirección y magnitudes correctas, basándonos en la NEC15, la fuerza de la gravedad también es incluida en el estudio.

3.1.9 Módulo estático estructural

En este módulo se generó inicialmente un modelo en los programas de Inventor y Solidworks, con los cuales la geometría dibujada del modelo será exportada con extensión punto IGES; misma que será interpretada e importada por el programa SAP 2000 para su respectiva simulación.

3.1.10 Solver

El módulo Solver en el programa SAP2000 es el que nos permite desarrollar la resolución de las ecuaciones matemáticas, generadas internamente en el programa para la subdivisión del mallado de los elementos de la geometría, además se debe considerar el número de iteraciones matemáticas hasta llegar a la convergencia.

3.1.11 Mallado del modelo

Para la creación de la malla de la cúpula se selecciona geometrías del tipo cúbicas, las cuales permiten el mejor uso de recursos internos de nuestra computadora. Para el mallado del elemento se utilizaron 85522 elementos lineales.

3.1.12 Postproceso

Se estudia minuciosamente los valores obtenidos en el programa y se valida con cálculos precisos en modelos menos complejos, constatando la veracidad de los resultados, esta diferencia de valores no debe exceder del 20 por ciento entre el modelo matemático y el modelo simulado.

3.2 OBTENCIÓN DE LAS CARGAS DE DISEÑO

3.2.1 Carga muerta

Es la carga que se encuentra permanentemente en la cúpula astronómica según la NEC-SE-CG cuyo compendio trata de las cargas permanentes (peso propio de cada uno de los elementos), de las cargas variables (vivas y climáticas) y de las diferentes combinaciones. Son elementos tales como: muros, paredes, recubrimientos, instalaciones sanitarias, eléctricas, mecánicas, máquinas y todo artefacto integrado permanentemente a la estructura. Considerando la estructura de la cúpula astronómica.

Tabla 16 Cargas Muertas

CARGAS MUERTAS	
Descripción del peso	Valor (ton)
Peso propio (Estructura de acero)	93.21
Peso sistema de ventilación	4.14
Peso paredes Steel panel	27.14
Peso equipos astronomía	3
TOTAL	127.49

(Fuente: Propia)

3.2.2 Carga muerta distribuida

Tabla 17 Carga muerta distribuida

Determinación de las cargas	
Descripción	peso en kg/m2
Paredes Steel panel	2.95
Cielo Razo	8
Recubrimiento	8
Peso propio acero	200
TOTAL	218.95

(Fuente: Propia)

3.2.3 Carga viva

Nos basaremos en la NEC_SE_CG para edificaciones como la cúpula se utiliza carga viva equivalente a 2.9 KN/m2=295.7 kg/m2

3.2.4 Carga de viento

Nos basaremos en la NEC_SE_CG. Se debe considerar que la carga del viento trabaja como presiones en las superficies verticales a barlovento, como cargas de presión y succiones en las superficies planas de las estructuras y superficies ubicadas verticalmente a sotavento. [7]

Cálculo de la presión del viento según la norma NEC_SE_CG,

$$P = \frac{1}{2}\delta * V_b^2 * Ce * Cf$$ *Ecuación 1*

Donde

$P = presión\ de\ aire\ en\ Pa$

$\delta = Densidad\ del\ aire = 1.25\ kg/m3$

$V_b \ = V * \sigma$

$V = velocidad\ de\ viento$

$\sigma = factor\ de\ corrección\ según\ el\ entorno\ de\ la\ edificación\ tabla\ 5$

$V_b\ \ = 21m/s * 1.06$

$V_b\ \ = 22.26$

$Ce = Coeficiente\ de\ entorno/altura$

$Cf\ = 0.7\ según\ tabla\ 6\ de\ factor\ de\ forma\ de\ NEC - SE - CG$

$$P = \frac{1}{2} * 1.25 \frac{kg}{m^3} * 22.26^2\ \frac{m}{s} * 1.06 * 0.7$$

$$P = 236.84 \frac{N}{m^2}$$

3.2.5 Carga de sismo

Nos basaremos en la NEC_SE_CG. En el análisis de la carga sísmica, consideramos la obtención del cortante basal estructural acorde a la norma de diseño

Ecuación 2

$$V = \frac{I\ Sa}{\emptyset p \emptyset_e R}$$

Donde

$I = factor\ de\ importancia\ de\ la\ estructura\ [7]$

$Sa = Espectro\ de\ diseño\ de\ aceleración$

$\emptyset p = Coeficiente\ de\ configuración\ estructural\ de\ regularidad\ en\ planta$

$\emptyset e\ \ = Coeficiente\ de\ configuración\ estructural\ de\ regularidad\ en\ elevación$

$R = Factor\ de\ reducción\ de\ resistencia\ sísmica$

$Los\ valores\ a\ obtener\ del\ espectro\ elástico\ de\ diseño\ se\ obtienen\ en\ la\ grafica\ siguiente\ [7]$

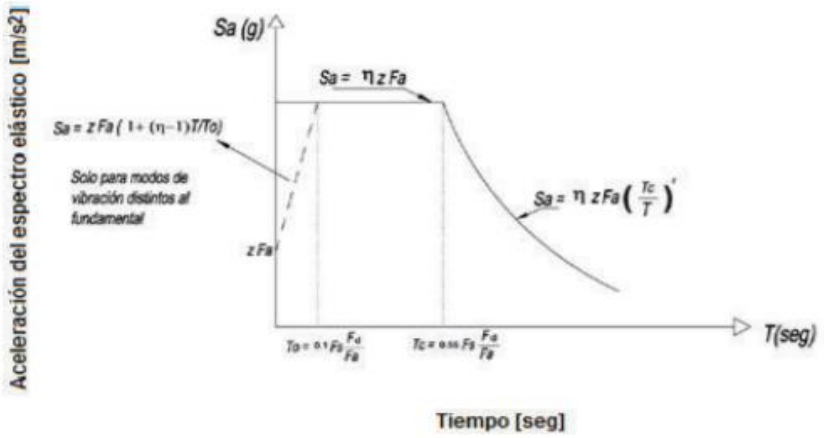


Figura 22 Espectro elástico de diseño

(Fuente:[3])

$$Sa = n\,z\,Fa \quad para\ 0 \leq T \leq Tc$$

$$Sa = n\,z\,Fa\left(\frac{Tc}{T}\right)^{r} \quad para\ T > Tc$$

Donde

$n = Relación\ entre\ a\ aceleración\ espectral\ y\ para\ el\ periodo\ de\ entorno$[7]

$z = Aceleración\ máxima\ en\ roca\ esperada\ para\ el\ sismo\ de\ diseño$

$Fa = Coeficiente\ de\ amplificación\ de\ suelo\ en\ la\ zona\ de\ periodo\ corto$

$T = Periodo\ fundamental\ de\ vibración\ de\ la\ estructura$

$Tc = Periodo\ límite\ de\ vibración\ en\ el\ espectro\ símico\ elástica$

$r = Factor\ usado\ en\ el\ espectro\ de\ diseño\ elástico$ [7]

El periodo inicial de vibración de la cúpula astronómica se calcula con la siguiente expresión:

$$T = Cth^{\propto}$$ Ecuación 3

Donde

$Ct = coeficiente\ que\ depende\ del\ tipo\ de\ estructura$

$h = Altura\ máxima\ de\ la\ edificación\ de\ n\ pisos, medida\ desde\ la\ base\ de\ la\ estructura$

Tabla 18 Valores para el periodo de Vibración

TIPO DE ESTRUCTURA	Ct	α
Estructura de acero		
Sin arrostramientos	0,072	0,8
Con Arrostramientos	0,073	0,75
Pórticos especiales de hormigón armado		
Sin Muros Estructurales ni diagonales rigidizadoras	0,055	0,9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadas y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mampostería estructural	0,055	0,75

Fuente: NEC-SE-DS 2015

Los parámetros usados para obtener la fuerza de corte basal brindada en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 15) para el sector de Malchingui/Pedro Moncayo/Pichincha es:

Tabla 19 valor de Z para cálculo de cortante Basal

MALCHINGUI	MALCHINGUI	PEDRO MONCAYO	PICHINCHA	0.40

Fuente: NEC-SE-DS 2015

Z=0.4

La cúpula será destinada para la estructura de ocupación especial, según la NEC-SE-DS ‘’Museos, domos, iglesias, edificios y colegios o polideportivos que ocuparán más de 300 personas en su interior. Se considera que las estructuras que llenan su aforo con más de 5000 personas tales como, edificios públicos como hospitales requieren operar de manera continua‘’ [7] . La tabla 6 muestra el factor de importancia que tiene un valor de:

I=1.3

Para los valores de Ct según el tipo de estructura y según el capítulo 4 de la NEC

Ct=0.073

$\propto = 0.75$

$h = 20\ metros$

Se determina el periodo de la vibración en la cual trabaja la estructura:

$T_a = Ct^{h_n^{\propto}}$

Dónde:

h_n	Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura, en metros.
T_a	Periodo de vibración
Ct	Coeficiente que depende del tipo de edificio

Figura 23 valor de periodo de vibración

(Fuente: [7])

$$T = Ct\, h^{\propto}$$

$$T = 0.073 * 20^{0.75}$$

$$T = 0.69\ seg$$

Se consideran los valores de suelo y de sitio según la sección 3.2 Geología Local, tabla 2, tipos de suelos para el diseño y simulación sísmico según la NEC para un suelo clasificado como del tipo D mismo que se encuentra en Quito. Se selecciona el perfil E, que contiene un espesor total H mayor de 3 mm de arcillas del tipo blando.

$$Fa=1.14$$

$$Fd=1.6$$

$$Fs=1.9$$

Con la finalidad de obtener la aceleración espectral elástica basada en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15), se determinan los límites usados para los periodos de vibración en la definición de espectro de respuesta de los desplazamientos:

$$To = 0.1 * Fs * \frac{Fd}{Fa}$$

$$To = 0.1 * FS * \frac{Fd}{Fa}$$

$$To = 0.26$$

$$Tc = 0.55 * Fs * \frac{Fd}{Fa}$$

$$Tc = 1.46$$

$Considerando\ estos\ \ valores\ se\ obtiene\ la\ aceleración\ espectral\ con\ la\ siguiente\ ecuación$

$$Sa = n * z * Fa$$ Ecuación 4

$Con\ valor\ n = 2.48\ para\ las\ provincias\ de\ la\ Sierra, (NEC, 2015\ 2014/08 /NECSEDS.pdf)$[7]

$$Sa = 2.48 * 0.4 * 1.14$$

$$Sa = 1.13$$

Se considera como pórticos arrastrados a la estructura ordenada con regularidad de piso y elevación uniforme, el factor de regularidad torsional debido a la geometría simétrica de la cúpula es:

$$\varphi p = 1$$

$$\varphi e = 1$$

El coeficiente de reducción respuesta estructural ´´para los pórticos de aceros laminados en caliente con diagonales que generan rigidización o con estructuras tipo muro de hormigón armado´´ de la tabla 13 NEC-SE-DS

$$R = 7$$

Se concluye que

$$V = \frac{I * Sa}{\emptyset p * \emptyset_e * R} * W$$ Ecuación 5

$$V = \frac{1.3 * 1.13}{1 * 1 * 7} * w$$

$$V = 0.37W$$

La NEC nos brinda el valor de carga reactiva, tomando en consideración el total del peso de la estructura y para el análisis final se debe considerar el 100% del dead load o carga muerta y el 25% de la live load o carga viva, operando como multiplicador al área total obteniendo la carga reactiva total[7]

6.1.7. Carga sísmica reactiva W

La carga sísmica **W** representa la carga reactiva por sismo.

Independientemente del método de análisis descrito en la sección **6.2** se usara la siguiente carga sísmica reactiva **W**.

Caso general

W=D+0.25L$_i$	
Dónde	
D	Carga muerta total de la estructura
L$_i$	Carga viva del piso i

Figura 24 : Carga Muerta

(Fuente: [7])

$$Ar = \pi * r^2$$ Ecuación 6

$$Ar = 3.14 * 20^2 = 1256m^2.$$

$$W = (\ 99.2+0.25*45)\ \text{ton}$$

W=110.45 ton

HP16X88	Frame	184	708,38573	92,5495
HSS5X2X.125	Frame	124	854,61905	6,6647

Cortante basal resulta

$$V = 0.37 * 110.45t$$

$$V = 40.86\text{t}$$

Una vez que se obtiene la fuerza de corte basal con la cual está sometida la cúpula, se obtiene la distribución adecuada de cargas en la estructura metálica

3.3 ASIGNACIÓN DE DISEÑO ESTRUCTURAL PARA LA CÚPULA Y ASIGNACIÓN DE PARÁMETROS CON EL PROGRAMA SAP2000

Se realizará el modelo estructural en base a los planos arquitectónicos, tomando en consideración materiales, cargas y armado final.

3.3.1 Asignación del material

Se define el acero A36 como material de utilización:

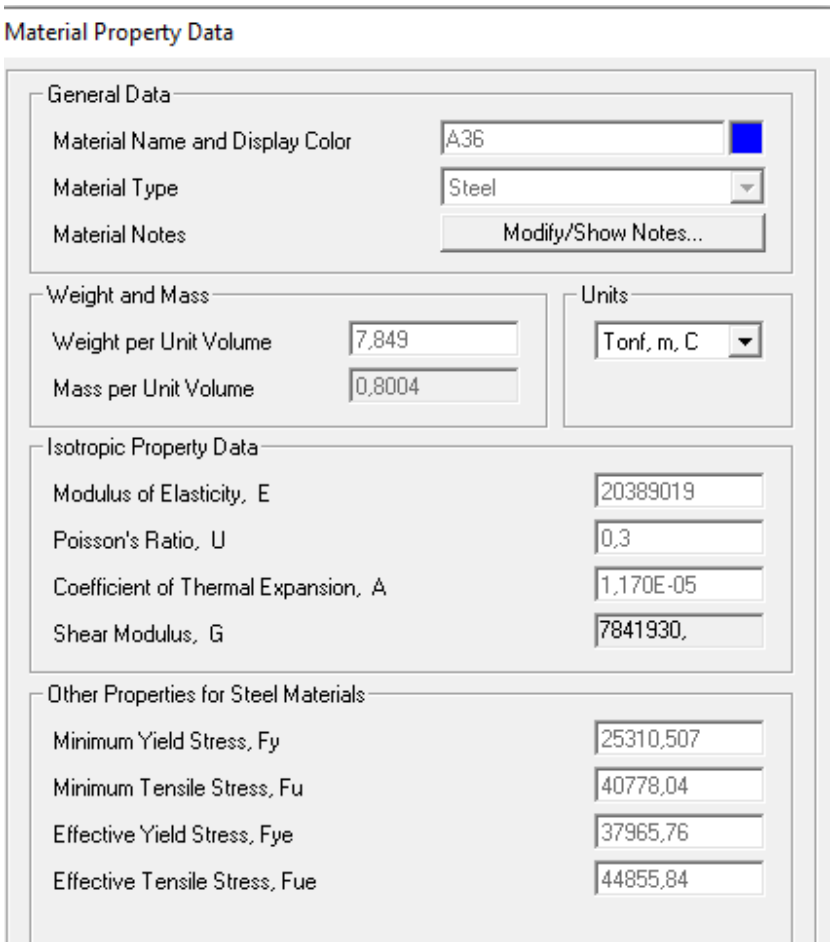


Figura 25 Definición de material

(Fuente:Propia)

3.4 Definición de los perfiles

Para el presente proyecto se utilizará los perfiles basados en la AISC.

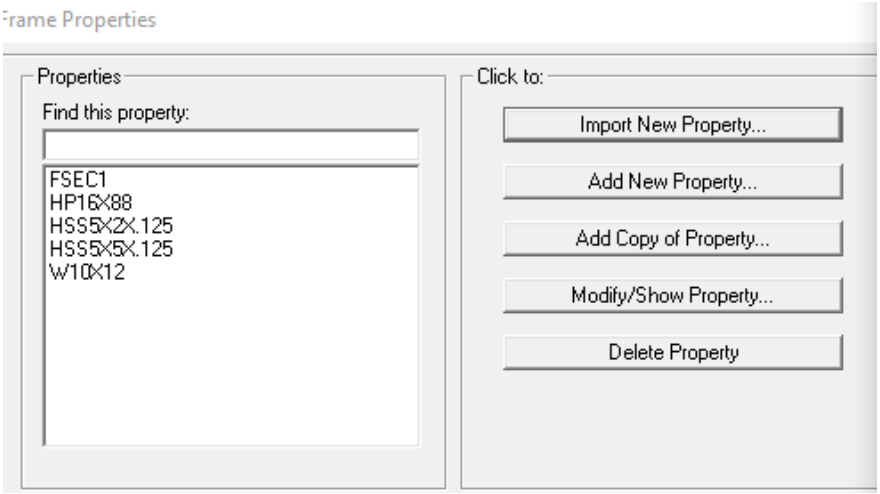


Figura 26 Definición de los perfiles en el programa SAP 2000

(Fuente:Propia)

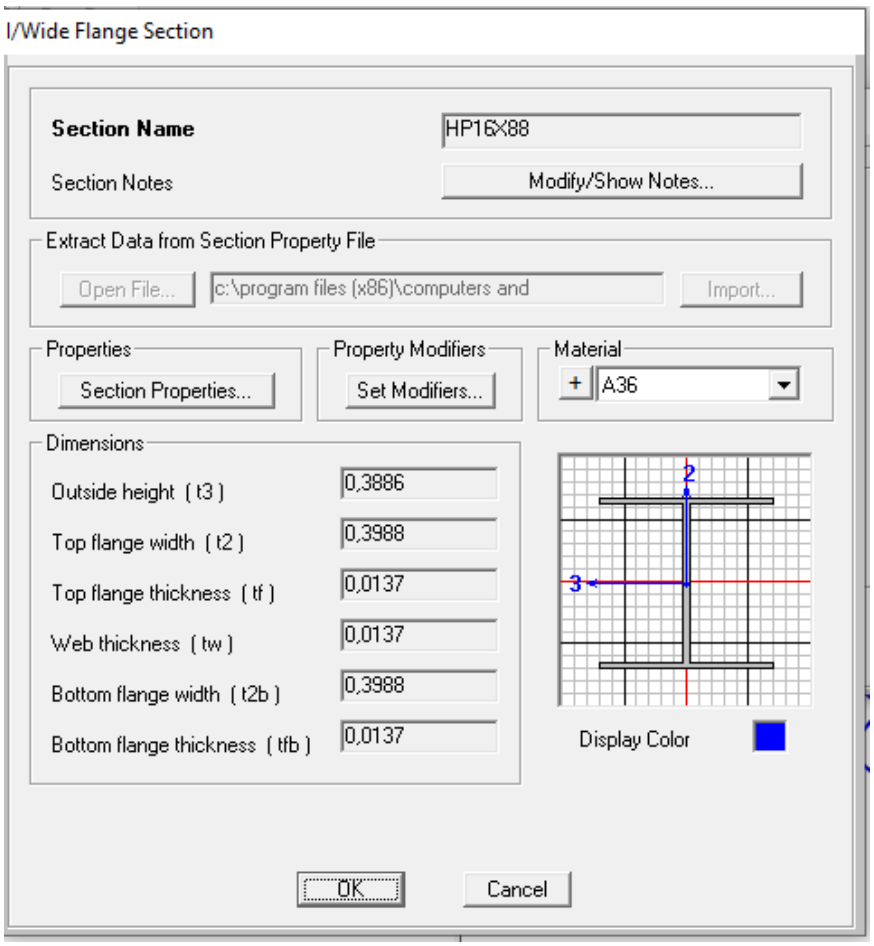


Figura 27 definición del perfil

(Fuente:Propia)

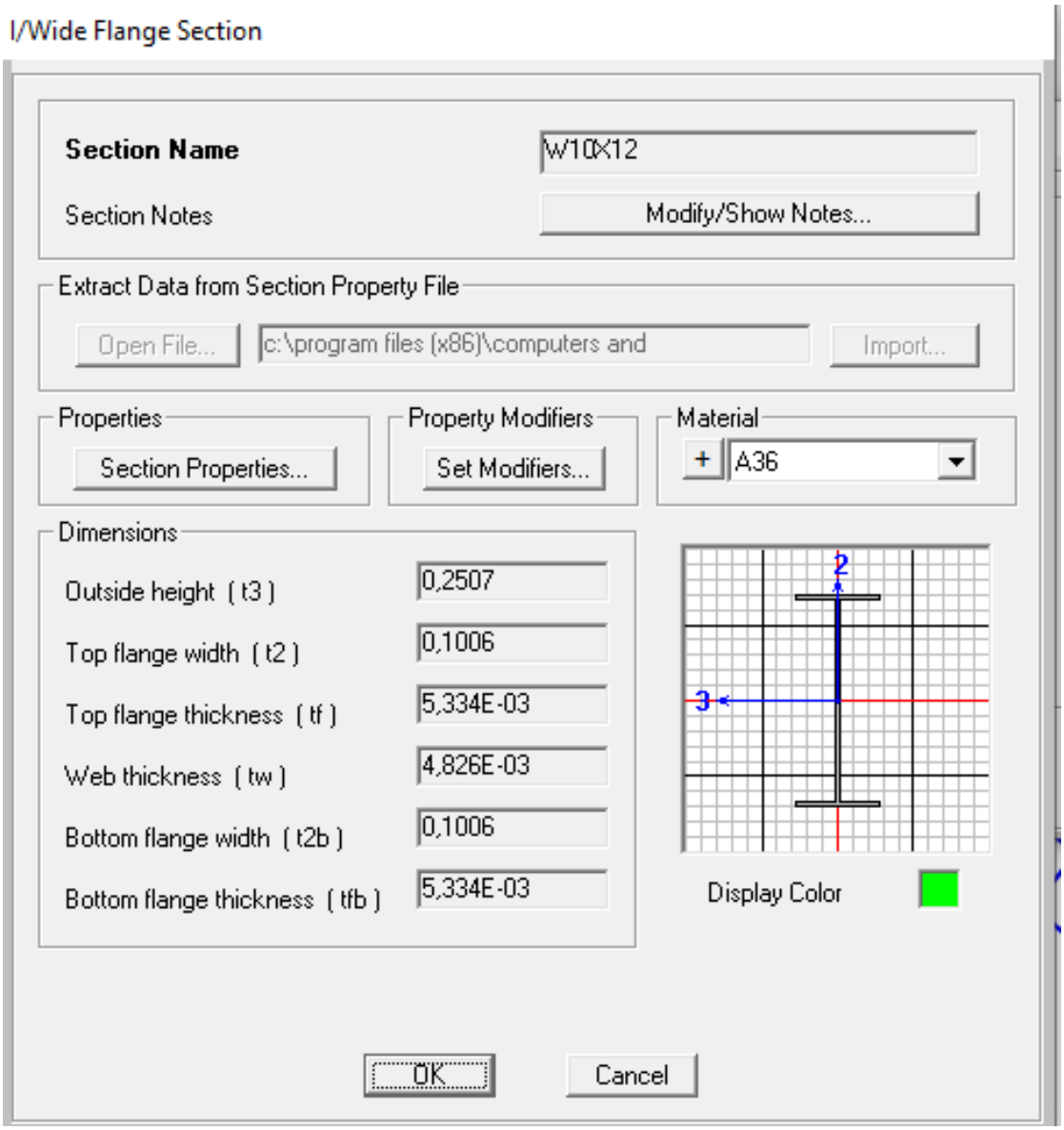


Figura 28 Definición del perfil W10x12

(Fuente:Propia)

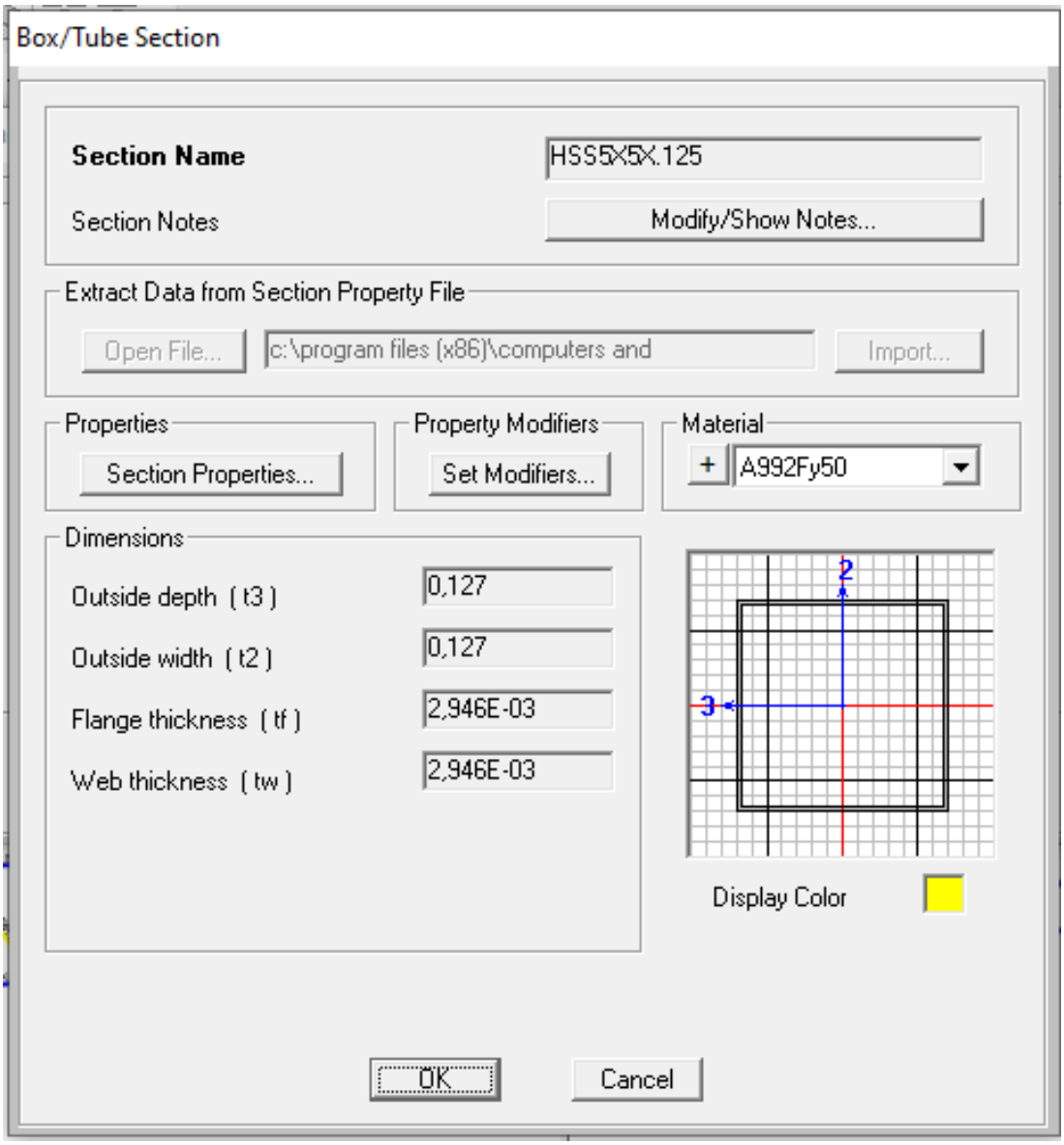


Figura 29 Definición del perfil HSS 5x5x1.5

(Fuente:Propia)

3.5 Definición de los casos de carga

Para definir los casos de carga utilizaremos lo descrito en la NEC 2015.

Combinación 1

$$1.4\ D$$

Combinación 2

$$1.2\ D + 1.6\ L + 0.5 \max[L_r\ ;\ S\ ;\ R]$$

Combinación 3*

$$1.2\ D + 1.6 \max[L_r\ ;\ S\ ;\ R] + \max[L\ ;\ 0.5W]$$

Combinación 4*

$$1.2\ D + 1.0\ W + L + 0.5 \max[L_r\ ;\ S\ ;\ R]$$

Combinación 5*

$$1.2\ D + 1.0\ E + L + 0.2\ S$$

Combinación 6

$$0.9\ D + 1.0\ W$$

Combinación 7

$$0.9\ D + 1.0\ E$$

Figura 30 Combinaciones de carga

(Fuente:[7])

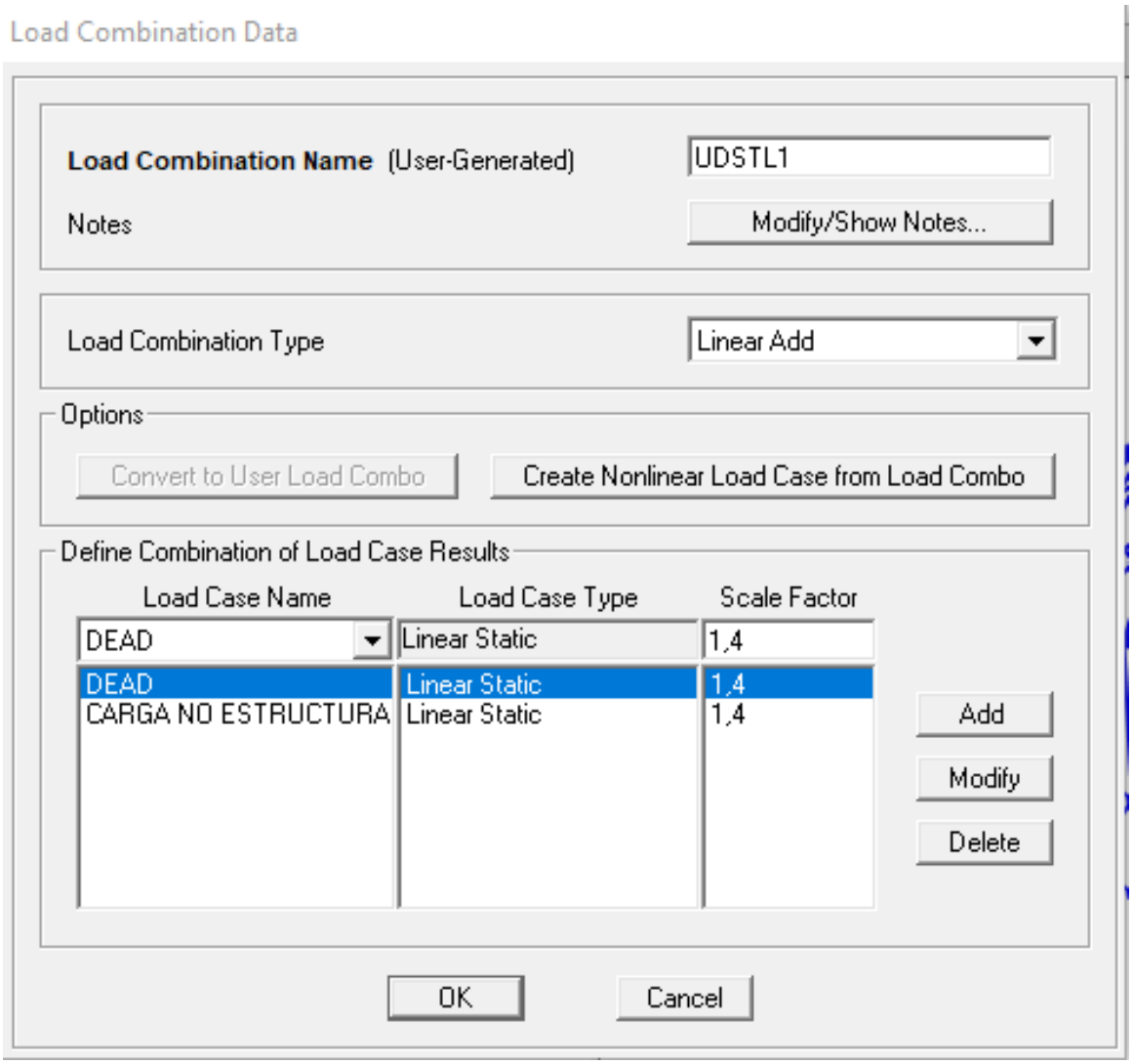


Figura 31 Ejemplo de la primera combinación de cargas con 1.4 veces de la carga muerta

(Fuente:Propia)

3.6 Definición de la geometría

Se realiza la GRID, sobre la que reposa la geometría, a partir de un modelo en blanco.

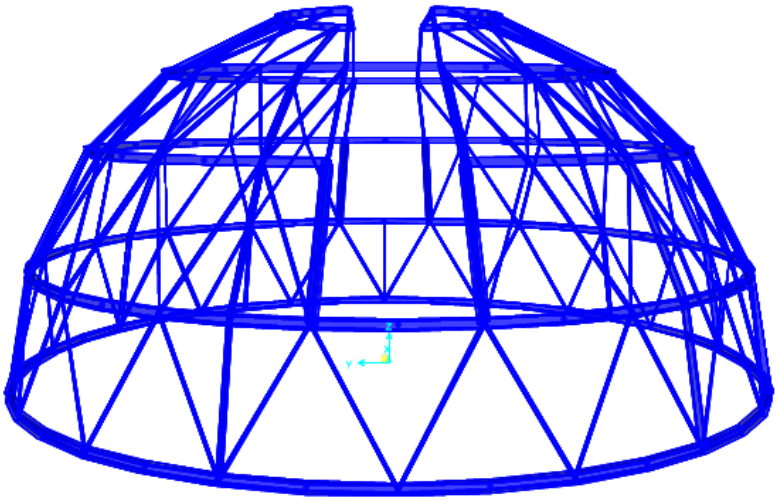


Figura 32 Cúpula en SAP 2000

(Fuente:Propia,)

3.7 Asignación de la carga muerta

Se aplica una carga muerta de 34,28 T adicional al peso propio de las estructuras.

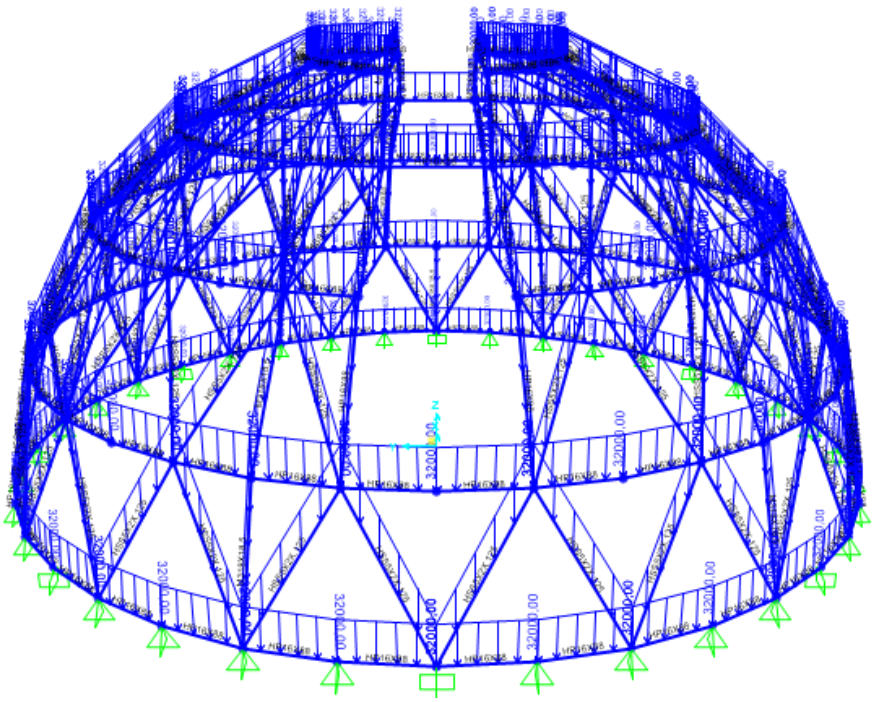


Figura 33 Aplicación de la carga muerta

(Fuente: Propia)

3.8 Aplicación de cargas vivas

Asumiendo 1 persona por metro cuadrado de 150 kg se tiene una carga viva de 188.49 T.

3.9 Aplicación de cargas de viento

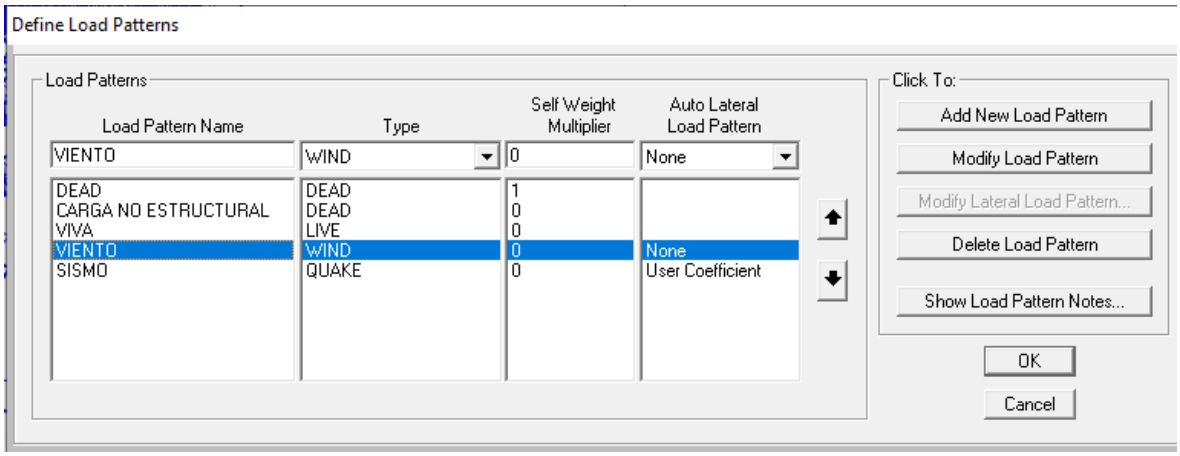


Figura 34 Designación de cargas de viento

(Fuente:Propia)

3.10 Asignación de la carga de sismo

Se define el sismo en la dirección de diseño *x*, y el sismo en la dirección de diseño *y*.

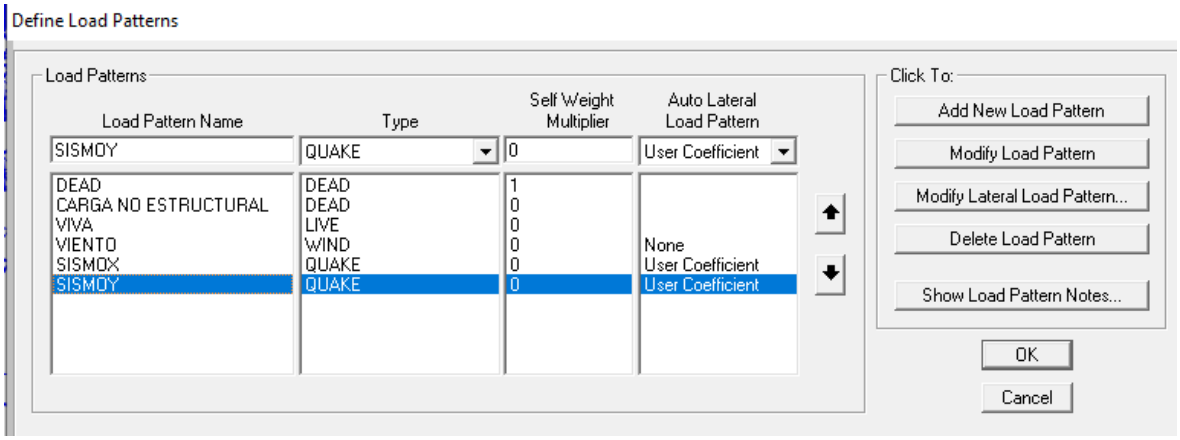


Figura 35 Asignación de cargas de sismo

(Fuente:Propia)

3.11 Análisis del modelo

Al correr el modelo por primera vez, se encuentra las primeras secciones sobrecargadas por lo que se realiza un reforzamiento estructural, para volver a correr el modelo.

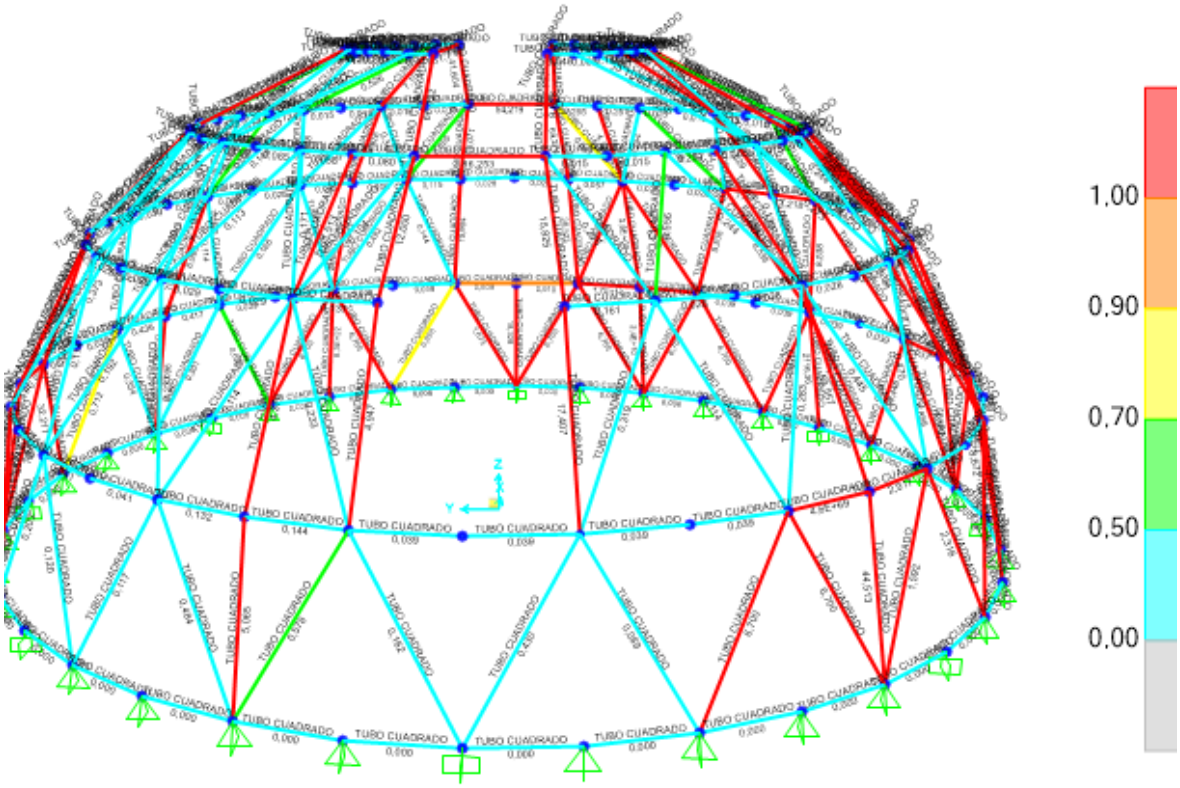


Figura 36 Primera corrida de cúpula.

(Fuente:Propia)

En la primera corrida existen miembros, en los cuales sobrepasa la carga el esfuerzo F y del material, nos indica presencia de fallas por lo que se rigidizará esos miembros.

3.12 Diseño de miembros sometidos a tracción

Los valores de diseño a tracción, deben ser menores a los valores de estado límite en la sección bruta. Usando el método LRFD, para la fluencia en tracción bruta con:

$$\varphi t = 0.9$$

$$Pn = Fy * Ag$$

Ecuación 7

El cálculo del estado rotura a tracción en la sección del plano perpendicular en la sección neta es:

$$\varphi t = 0.75 \text{ para LRFD}$$

$$Pn = Fu * Ac$$

Donde:

Ae=es el área neta efectiva tomada en mm2

$Ag = es\ el\ área\ bruta\ del\ miembro\ en\ mm2$

$Fy = la\ resistencia\ a\ la\ fluencia\ de\ acero$

$Fu = la\ resistencia\ última\ del\ acero\ utilizado\ (AISC, 2005)$

3.13 Cálculo de elementos sometidos a compresión

En el análisis para diseño a compresión se toma en cuenta las columnas, es decir las fallas por pandeo flexionarte, pandeo torsional y pandeo local. Para que exista un pandeo elástico, la estructura deberá ser esbelta y de una longitud larga y su carga nominal de pandeo P se calcula con la fórmula general de Euler

$$P = \frac{\pi^2 * E * I}{L^2}$$ Ecuación 8

Donde

$I = es\ el\ momento\ de\ inercia\ de\ la\ columna$

$L = longitud\ de\ la\ columna$

$E = módulo\ de\ elasticidad\ del\ acero$

$El\ radio\ de\ giro\ se\ calcula\ con\ la\ siguiente\ ecuación$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$ *Ecuación 9*

Despejando I

$$I = Ar^2$$

$Sustituyendo\ valores, conseguimos\ el\ esfuerzo\ de\ pandeo\ de\ crítico\ de\ Euler,$

$$\frac{P}{A} = \frac{\pi^2 * E * I}{(\frac{L}{r})^2}$$

En la práctica es poco común encontrar columnas ideales, se debe considerar que extremos que carecen de libertad para poder rotar usarán en la fórmula distintos valores según la longitud, obteniendo valores de cargas al pandeo más pegados a la realidad entonces según la AISC 360.

Geometría de deformación se muestra en línea entrecortada	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Valor Teórico de K	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Valores recomendados de diseño cuando las condiciones reales son aproximadas	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
Condiciones de extremo	Restricción a la rotación y desplazamiento Rotación libre - restricción al desplazamiento Restricción a rotación – desplazamiento libre Rotación y traslación libres					

Figura 37 Valores de K para pandeo local

(Fuente:[10])

Con base en los datos de la figura 37 se obtienen los resultados previos o aproximados, para obtener resultados exactos posteriormente, es decir, sirven como guía práctica.

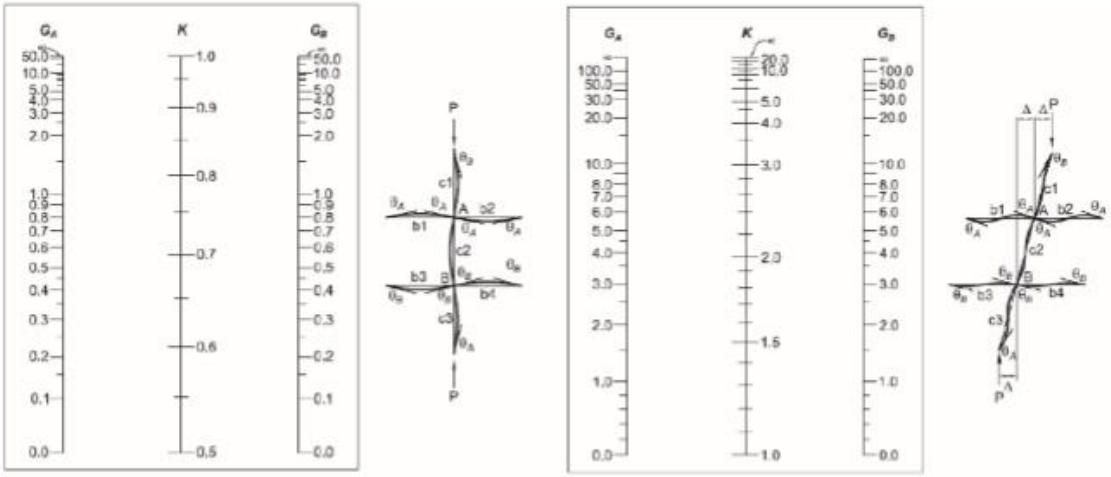


Figura 38 MONOGRAMAS PARA CÁLCULO DE LONGITUD EFECTIVA

(Fuente: [30])

Según las especificaciones del AISC y tomando el método de factores, se proporciona la fórmula universal de Euler, cuya aplicación es para columnas consideradas como largas con pandeo y una ecuación de deformación tipo parábola, así como para las columnas intermedias y cortas es ampliamente utilizada. Entonces, se procede a determinar un esfuerzo critico Fcr para la viga sometido a esfuerzo de compresión, la resistencia de la columna diseñada puede entonces determinarse por la siguiente fórmula.

*Pu=Ag*Fcr*

La tensión de pandeo por flexión es determinada así:

$$\frac{KL}{r} \leq 4{,}71\sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ ó } \frac{F_y}{F_e} \leq 2{,}25$$

Una vez que cumpla la condición, se tiene que el esfuerzo Fcr y se calcula así:

$$F_{cr} = \left[0{,}658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y$$

Donde

Fe: $es\ la\ tensión\ de\ pandeo\ por\ flexión\ en\ kg/cm2\ (Mpa)$

$El\ valor\ de\ la\ tensión\ crítica\ de\ pandeo - elástico\ Fe, se\ obtiene\ de$:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

Donde

$\frac{KL}{r}$ $es\ la\ esbeltez\ de\ la\ columna$

$E =$ $módulo\ de\ elasticidad\ del\ acero$

Se comprueba la carga sobre las columnas en la estructura de la cúpula para elementos del tipo compactos con doble simetría, se verifica el pandeo flexotorcional y torsional con la ecuación:

$$F_e = \left[\frac{\pi^2 EC_w}{(K_2L)^2} + GL\right]\frac{1}{I_x + I_y}$$

Donde

$Cw = constante\ de\ alabe$

$G = modulo\ elástico\ cortante\ del\ acero\ = 790000\ kgf/cm2$

$Ix = momento\ de\ inercia\ en\ torno\ del\ eje\ x$

$Iy = momento\ de\ inercia\ en\ torno\ a\ eje\ y$

$Para\ elementos\ con\ sección\ de\ simetría\ dobla\ a\ constante\ de\ alabeo\ Cw\ puede\ obtenerse\ como$:

$$C_w = \frac{I_y {h_0}^2}{4}$$

Donde

ho=distancia entre centroides de alas

3.14 Diseño para elementos sometidos flexión

La viga es un miembro estructural que soporta cargas transversales. La resistencia en flexion de una viga, debe ser determinada con $\varphi b = 90$. En los puntos límites de fluencia se tiene que:

$$Mn = Mp = FyZ$$ Ecuación 10

$Donde$

$Mn = resistencia\ de\ flexión\ nominal$

$Mp = es\ el\ momento\ plástico$

$Fy = el\ límite\ de\ fluencia\ del\ acero$

$Z = es\ el\ módulo\ de\ sección\ plástico\ en\ torno\ al\ eje\ de\ flexión\ en\ mm3$

$La\ longitud\ limite\ Lp\ y\ Lr\ se\ obtiene\ con\ la\ ecuación[10]$

$$L_p = 1.76r_y * \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$ Ecuación 11

$Donde$

$ry = es\ el\ radio\ de\ giro\ en\ el\ eje\ y,$

$E = es\ el\ módulo\ de\ elasticidad\ del\ material$

$Fy = el\ límite\ de\ fluencia\ del\ acero$

$$L_r = \sqrt{1{,}95 r_{ts} \frac{E}{0{,}7F_y} \sqrt{\frac{Jc}{S_x} + 6{,}76\left(\frac{0{,}7F_y}{E}\right)^2}}$$

$Donde$

$$r_{ts} = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x}$$

$Dónde\ el\ coefieciente\ C\ se\ obtiene\ de\ la\ NEC\ donde$:

Cw: $1, para\ secciones\ I\ con\ doble\ simetría$

3.15 Miembros a corte

Para el diseño de miembros con solicitación a esfuerzos cortantes, se utilizará la siguiente ecuación:

$$Vn = 0.6FyAwCv$$

Ecuación 12

Para elementos con alma de miembros laminados de sección H con $\frac{h}{tw} \leq \sqrt[2.24]{E/Ey}$

$$\varphi b = 1$$

$$Cv = 1$$

Se considera el coeficiente para uso en pandeo, al corte de la parte del alma del elemento como Ky y se determina para almas sin atiesadores transversales (AISC 2015, pg 138).

$$\frac{h}{tw} \leq 260$$

$$ky = 5$$

3.16 Diseño de placa base

Cuando se diseña columnas de acero es primordial que el apoyo sobre la zapata sea distribuido uniformemente, para evitar sobrecargas sobre la cimentación.

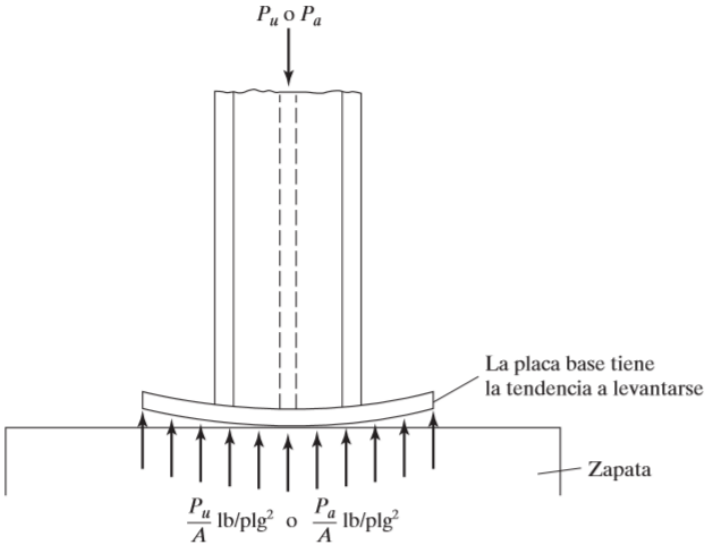


Figura 39, Placa Base

(Fuente:[3])

Entonces, la fuerza Pu es transmitida de forma uniforme del cuerpo de la placa hacia la base de cimentación-concreto con una presión igual a Pu/A con A como el área base.

$$P_p = 0{,}85\, f'_c A_1$$

$En\ un\ área\ menor\ a\ la\ del\ apoyo\ usaremos$

$$P_p = 0{,}85\, f'_c A_1 \sqrt{A_1/A_2}$$

$Donde$

$A1$: $Representa\ el\ área\ de\ apoyo\ concéntrico\ de\ acero\ en\ un\ soporte\ de\ concreto\ cm2$

$A2\ Área\ máxima\ \ de\ la\ porción\ de\ la\ superficie\ de\ apoyo\ que\ es\ geométricamente\ similar$

$y\ concéntrica\ con\ el\ área\ de\ carga\ cm2$

$f'c' =\ resistencia\ a\ la\ compresión\ especificada\ del\ concreto\ en\ kg/cm2$

3.17 Diseño de pernos de anclaje

Este tipo de pernos que sirven para anclajes, se diseñan para soportar fuerzas, así como también cargas de tracción que se produce por los momentos generados entre la zapata de concreto y la placa base.

$$R_n = \emptyset F_n A_b$$

Donde

$Fn = Tensión\ de\ tracción\ nominal$

$Fu = Esfuerzo\ a\ la\ ruptura\ en\ cilindros\ de\ acero$

$Ab = área\ bruta\ del\ perno$

$\varphi = 0.75\ factor\ de\ diseño$

Tomando en cuenta el tamaño de la distancia roscada del perno, utilizamos la siguiente ecuación que nos provee la ACI 12.1 (American Concrete Institute).

$$L_d = \frac{0.0632 A_b * F_y}{\sqrt{f_c'}}$$

Adicionalmente, a la longitud a la que se diseña el perno se considera el aumento en la longitud dada, tomando en consideración el ancho de las placas y la diferente ubicación de los pernos-tuercas. Se recomienda que la longitud del gancho Lg, no debe ser menor a Ld/25.

4 MEMORIA DE CÁLCULO

4.1 Diseño de miembros a compresión

Son aquellos en los cuales la carga será cargada axialmente generando comprensión.

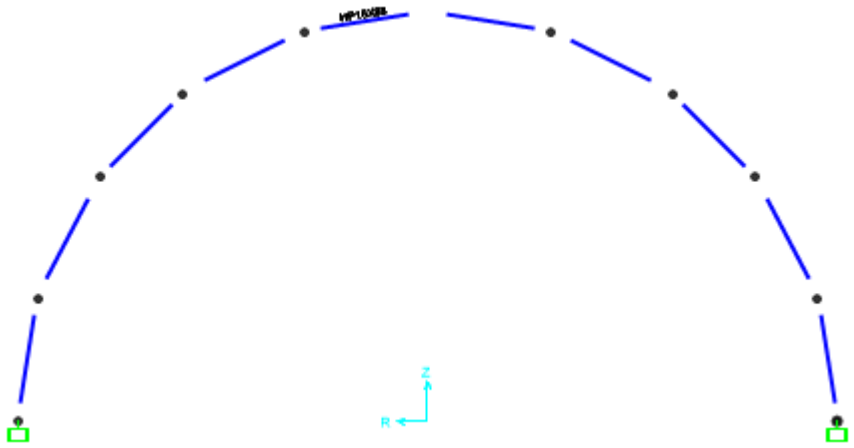


Figura 40 La carga de diseño para la estructura será 25.36 kg/m2

(Fuente: Propia,[31])

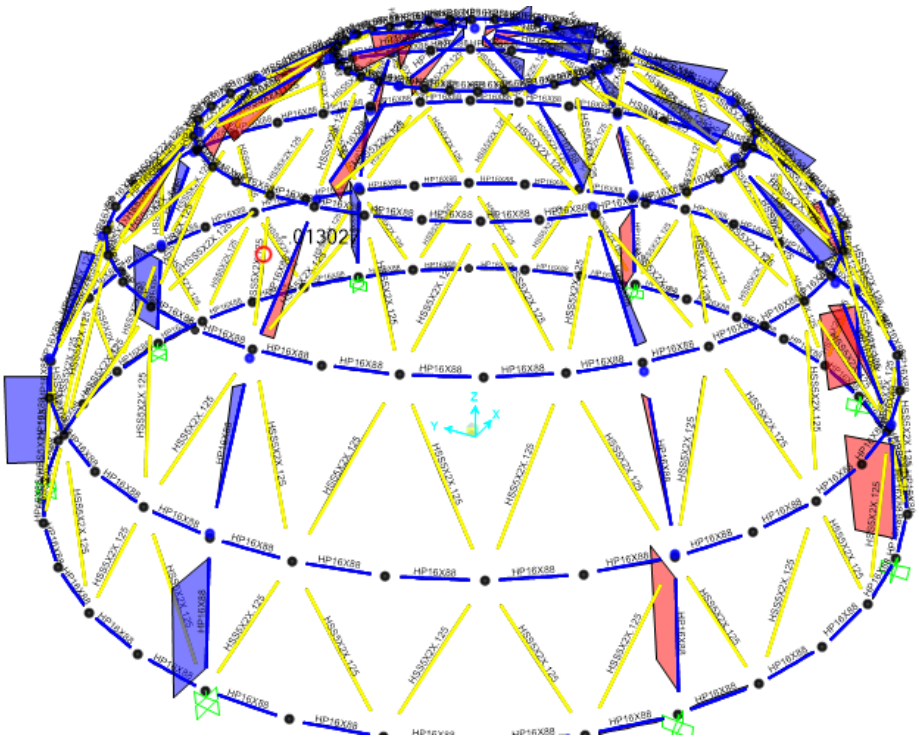


Figura 41 Distribución de cargas

(Fuente: Propia,[31])

Se selecciona la columna crítica y con la carga máxima se procede a verificar su capacidad de resistencia, debido a la geometría del modelo y la distribución uniforme de las catorce columnas principales, la carga que soporta cada columna es:

Con la última carga de diseño para la columna de 9.1 Toneladas. Se continúa al predimencionamiento de la columna y se selecciona una Viga.

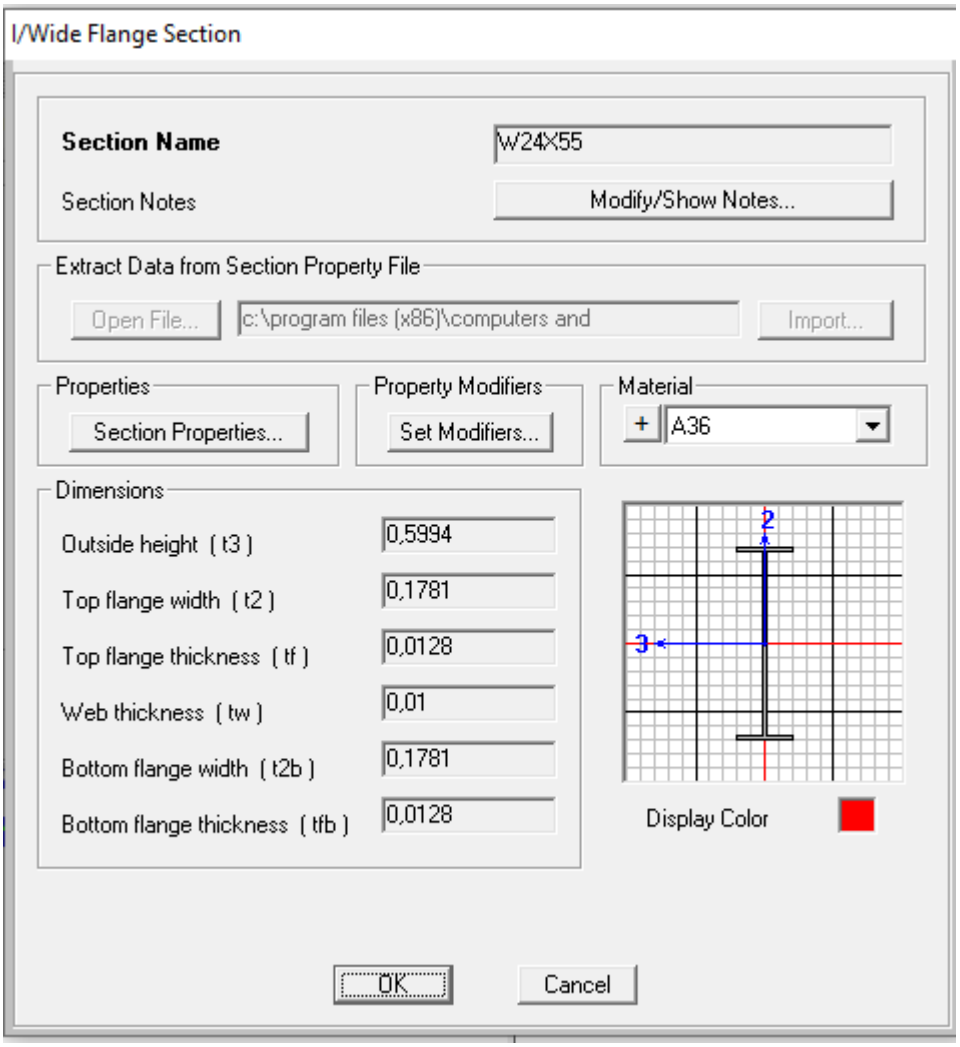


Figura 42 Especificaciones de la sección W

(Fuente: Propia,[31])

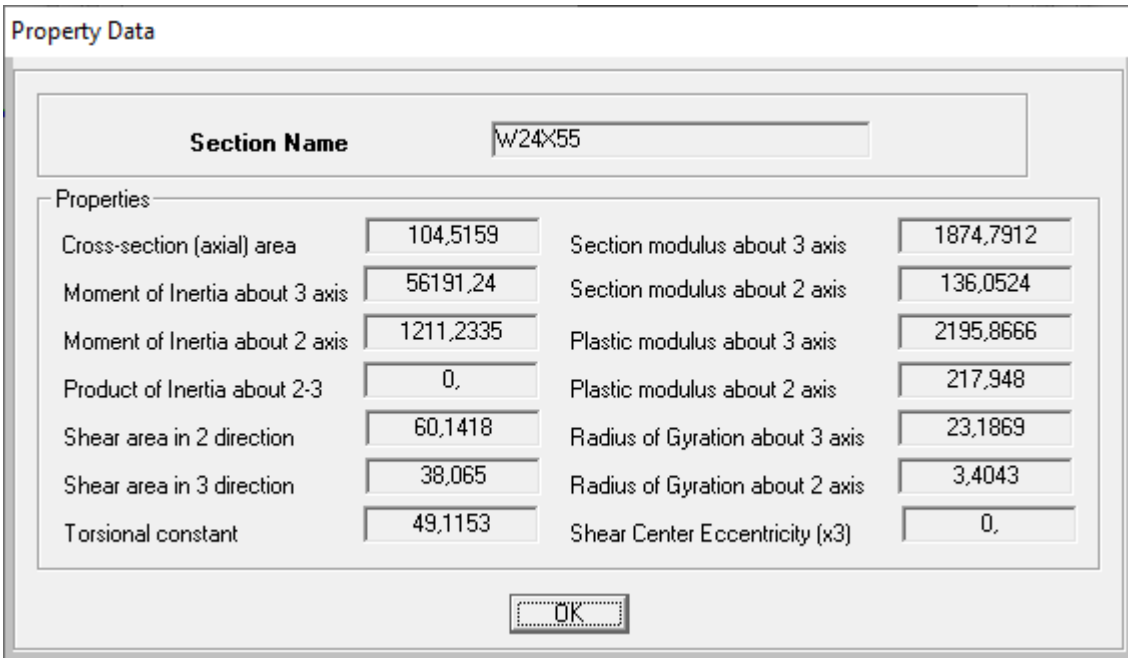


Figura 43 Propiedades de la sección W

(Fuente: Propia,[31])

Se debe verificar que la columna con la que mantenga la condición de perfil de alma compacta, sea acorde a las dimensiones establecidas en las relaciones del manual de la AISC 360, condiciones de alma compacta tabla B4.1 a

Tabla 20 Límite de esbeltez para perfiles laminados

Ancho vs Espesor para perfiles laminados	λ_p compacta vs no compacta	λ_t esbelto-no esbelto
b/t	$0.38\sqrt{\frac{E}{Fy}}$	$1\sqrt{\frac{E}{Fy}}$

(Fuente : [10]/tabla B4.1b)

$$\frac{b}{t} < 0.38\sqrt{\frac{E}{Fy}}$$

$$\frac{0.5994}{0.01} < 1.4\sqrt{\frac{21000000}{2530\,\frac{kg}{cm^2}}}$$

$$59.94 < 127.54$$

Determinación de la resistencia a compresión nominal, considerando el estado límite de pandeo por flexo-torsión de la columna estudiada.

$$Pv = Fcr * Ag$$ Ecuación 13

Obtenemos el valor del esfuerzo crítico siguiendo las indicaciones brindadas de la AISC para el método de estudio LRFD.

Verificaremos la relación en los ejes $r_{xx} = 23.13\ cm$ $r_{yy} = 3.4$ a partir de la ecuación 14 .

$$\frac{KL}{r} \leq 4.71\sqrt{\frac{E}{Fy}}$$ Ecuación 14

$$\frac{1(300)}{3.4} \leq 4.71\sqrt{\frac{21000000}{2530\frac{kg}{cm^2}}}$$

$$88.23 \leq 429.11$$

Entonces se utiliza el valor de Fcr indicado en la ecuación 15

$$Fcr = \left(0.658^{\frac{Fy}{Fe}}\right)Fy$$ Ecuación 15

$$Fe = \left(\frac{\pi^2 * E}{(KL/r)^2}\right)Fy$$

$$Fe = \left(\frac{\pi^2 * E}{(KL/r)^2}\right)Fy$$

$$Fe = \left(\frac{\pi^2 * 21000000}{(1 * 300/3.4)^2}\right) = 2662.16kg$$

$$Fcr = \left(0.658^{\frac{2530}{2662}}\right) * 2530\frac{kg}{cm^2}$$

$$Fcr = 1618.86\frac{kg}{cm^2}$$

$$Pn = 1619\frac{kg}{cm^2} * 104.59cm^2 = 169331.21$$

$$\varphi * Pn = 0.85 * 169331.21\frac{kg}{cm^2} = 143931.52Kg$$

El factor de seguridad permite conocer la capacidad máxima para la cual la viga estructural puede trabajar sin generar falla.

$$\frac{Pu}{\varphi * Pn} > 0.4$$

$$\frac{91000}{143931.52} > 0.4$$

$$0.63 > 0.4$$

Se procede a comprobar la resistencia a la carga de compresión del elemento viga-columna W24x55.

Se procede a verificar la resistencia por pandeo torsional y flexotorcional.

$$Pn = Fcr * Ag$$

Para los miembros estructurales con simetría doble como las vigas I, se obtiene la ecuación:

$$Fe = \left[\frac{\pi^2 * ECw}{(K_2 * L)^2} + GJ\right]\frac{1}{Ix + Iy}$$ Ecuación 16

La constante de alabeo Cw es

$$Cw = \frac{Iy * ho^2}{4} = \frac{1211.23cm^4 * 34.33cm^2}{4} = 356873.44$$

$$Fe = \left[\frac{\pi^2 * 21000000 * 356873.44}{(1 * 300)^2} + 72000 * 94.2\right]\frac{1}{56191 + 1211.23}$$

$$Fe = \left[\frac{\pi^2 * 21000000 * 356873.44}{(1 * 300)^2} + 72000 * 94.2\right]\frac{1}{56191 + 1211}$$

$$Fe = 14435.48\ Kg$$

$G = Módulo\ elástico\ de\ corte\ del\ acero\ = 790000\ kgf/cm2$

$J =\ constante\ torsional\ cm4$

$K2 = factor\ de\ longitud\ efectiva\ para\ pandeo\ torsional$

$$Fcr = \left[0.658^{\frac{2530}{14435.5}}\right] * 2530\frac{kg}{cm^2}$$ Ecuación 17

$$Fcr = 2351.9\frac{kg}{cm^2}$$

$$Pn = Fcr * Ag = 2351.9\frac{kg}{cm^2} * 104.51cm^2 = 245797.06kg$$

$$Pn = 0.85 * 245797 = 208.92t$$

Se verifica la capacidad de la columna

$$Fs = \frac{Pn}{Pu} = \frac{208.92t}{143.93t} = 1.46$$

Verificación de la fluencia

1. Fluencia

$$M_n = M_p = F_y Z_x \qquad \text{(F2-1)}$$

Donde

F_y = tensión de fluencia mínima especificada del tipo de acero utilizado, kgf/cm² (MPa)

Z_x = módulo de sección plástico en torno al eje x, cm³ (mm³)

Figura 44 Variación de la fluencia

(Fuente: [10])

$$Mn = FyZy = 2530\frac{kg}{cm^2} * 217.94cm^3 = 551388.2kg - cm$$

$$Mn = 5.51\ t * m$$

$$Mu \leq Mn$$

0.28t*m≤ 5.51 $t * m$

0.28t*m≤ 5.51 $t * m$

Verificando a fuerzas combinadas

$$\frac{Pu}{\varphi Pn} + \frac{Muy}{\emptyset Mny} + \frac{Muz}{\emptyset Mnz} < 1$$

$$\frac{149.93t}{910t} + \frac{0.28}{4.78} + \frac{3.788}{60.85} < 1$$

$$0.28 < 1$$

Queda comprobada que la resistencia a flexocompresión de la columna W24x55, trabaja como columna crítica.

4.1 Diseño de miembros a flexion

El estudio para el diseño de miembros sometidos a flexión se lo puede definir como la carga de diseño última, con las combinaciones de cargas según la normativa ecuatoriana vigente.

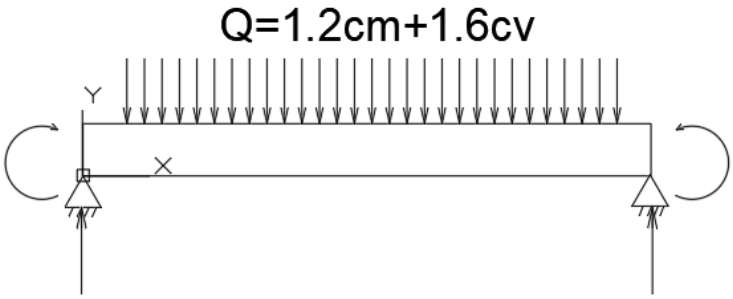


Figura 45 Distribución de cargas

(Fuente: Propia)

De las diferentes combinaciones de carga se obtiene que:

$$Cultima = 1.2Cm + 1.6Cv$$

$$Cultima = 1.2(218.95) + 1.6(295.7)$$

$$Cultima = 735.86\ \frac{kg}{m^2}$$

Donde las cargas que soportan las vigas-viguetas tomadas a dimensionar son determinados por:

De la carga distribuida sobre la viga

$$W = Area * Carga$$ Ecuación 18

$$W = 6m * 735.86/36$$

$$W = 6m * 735.86\frac{kg}{m^2}/18$$

$$W = 245.28kg * m$$

Momento máximo que actúa en las viguetas

$$Mu = \frac{W * l^2}{12}$$ Ecuación 19

$$Mu = \frac{245.28kg/m * (6m)^2}{12}$$

$$Mu = 735.84kg * m$$

$$Mu = 0.74T * m$$

4.2 Predimencionamiento de Viguetas

Se selecciona en catálogo AISC 360 la viga W18x35.

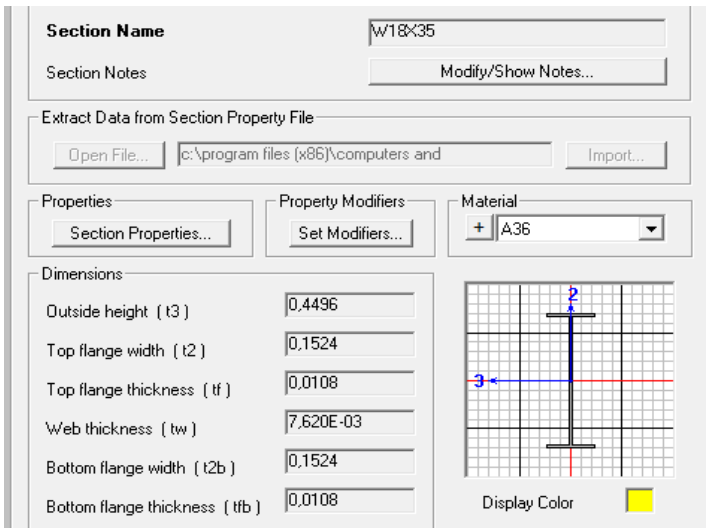


Figura 46 Especificaciones del perfil W

(Fuente: Propia,[31])

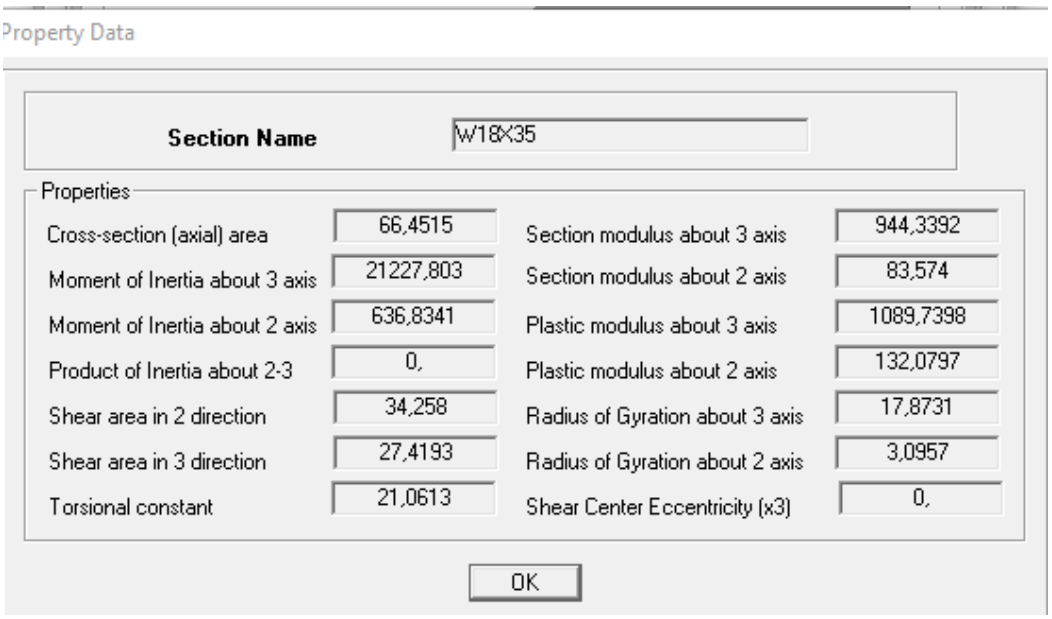
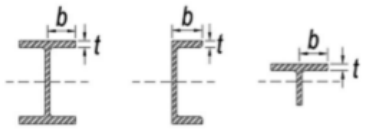
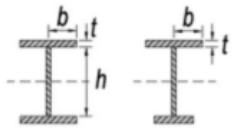


Figura 47 Propiedades del perfil W

(Fuente: Propia,[31])

Para dimensionar se verificará que los elementos sean compactos. Verificación en tabla B4.1b del AISC

Tabla 20 Razón de ancho/espesor para elementos estructurales de miembros a flexion

Caso	Descripción del elemento	Razón Ancho-Espesor	Razones Ancho-Espesor Límite		Ejemplos
			λ_p (compacta-no compacta)	λ_r (esbelto-no esbelto)	
10	Flexión en alas de perfiles I laminados, canales y tes.	b/t	$0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
11	Alas de secciones I soldadas con doble y simple simetría.	b/t	$0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	[a] [b] $0.95\sqrt{\frac{k_c E}{F_L}}$	

(Fuente : [10]/tabla B4.1b)

Verificación del patín estructural y el alma del elemento tipo I, para generar estructuras compactas.

$$\frac{b}{2t_f} \leq 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{1015.2cm}{2(0.1)} \leq 0.38\sqrt{\frac{21000000}{2530}}$$

$$76 \leq 10.95$$

Queda verificada que la viga no es compacta en el patín, verificación en el alma

$$\frac{h}{tw} \leq 3.76\sqrt{\frac{2100000}{2530}}$$

$$\frac{44}{0.8} \leq 3.76\sqrt{\frac{2100000}{2530}}$$

$$55 \leq 108.33$$

Se verifica el pandeo torsional local basándonos en la tabla F1.1 del manual AISC

$$Mn = Mp = FyZx$$

$$Mp = 2530\frac{kg}{cm^2} * 1089.74cm^3$$

$$Mp = 2757042.02\ kg * m$$

$$Mp = 2757042.02\ kg * m$$

$$Mp = 2757042.02\ kg * m$$

$$Mp = 27.57t * m$$

Se determina la longitud de los apoyos para control de pandeo torsional local, a través de las longitudes limites Lp y Lr

$$Lp = 1.76 * ry * \sqrt{\frac{E}{Fy}}$$ Ecuación 20

$Donde\ ry, se\ lo\ denomina\ como\ el\ radio\ de\ giro\ relativo\ al\ eje\ y\ en\ mm$

Ecuación F2-5 AISC pg 115

$$Lp = 1.76 * (3.09) * \sqrt{\frac{2100000}{2530}}$$

Lp =156.68 cm

$$Lr = \sqrt{1.95 r_{ts}\ \frac{E}{0.7Fy} + \sqrt{(\frac{Jc}{Sxh_o})^2 + 6.76(\frac{0.7Fy}{E})^2}}$$

Donde

$r_{ts} = \frac{\sqrt{I_{y*}c_w}}{S_x}$

Para secciones I con doble simetría C=1

$$r_{ts} = \frac{\sqrt{83.57 * 1}}{1089}$$

$$r_{ts} = 0.27$$

Entonces

$$Lr = \sqrt{1.95 * 0.27\ \frac{2100000}{0.7 * 2530} + \sqrt{(\frac{21.06}{1089 * 44})^2 + 6.76(\frac{0.7 * 2530}{2100000})^2}}$$

Lr =24.98 cm

Se debe ocupar el valor de $Lp \leq 156.68$ para el pandeo de latero-torsional, por tal razón se ubicarán puntos de apoyo laterales a la viga, tomando en cuenta una longitud de 150 cm.

Se debe verificar que la viga, tenga la capacidad de resistir a las condiciones de cargas diseñadas, controlar el pandeo local del ala sometida a comprensión para sección no compacta.

$$Mn = Mp - (Mp - 0.7Fy * Zx)\left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}}\right)$$ Ecuación 21

$Evaluando\ los\ valores\ de\ la\ viga$

$$\lambda = \frac{bf}{2tf} = \frac{17}{2 * 1} = 8.5$$

$$\lambda_{pf} = 0.38 * \sqrt{\frac{E}{Fy}} = 10.95$$

$$\lambda_{rf} = 0.95 * \sqrt{\frac{k_c * E}{F_y}} = 21.55$$

$$k_c = Coeficiente\ para\ elementos\ esbeltos\ no\ atiesados, tabla\ B4.1\ AISC\ 360 - 10$$

$$k_c = 0.62$$

$$Mn = 2757042.02 - (2757042.02 - 0.7 * 2530 * 1089.73)\left(\frac{8.5 - 10.95}{21.55 - 10.95}\right)$$

$$Mn = 2948218.33kg.cm = 29.48t * m$$

Verificando la fluencia

$$Mu \leq Mn$$

$$0.74t * m \leq 29.48t * m$$

Verificación que la viga W18x35, tiene la capacidad de resistir las demandas mecánicas de trabajo.

4.3 Diseño de vigas principales a corte

El coeficiente Cv toma en consideración las dimensiones de cada elemento viga, por tal motivo se determina la sección donde se encuentra el elemento de viga que ha sido escogida.

$$Vn = 0.6 * Fy * Aw * Cv$$ Ecuación 22

$$\frac{h}{tw} < 260\ para\ obtener\ le\ valor\ Kv$$

$$h/tw \leq 1.1\sqrt{\frac{kv * E}{Fy}}$$

$$44/0.8 \leq 1.1\sqrt{\frac{5 * 2100000}{2530}}$$

$$44/0.8 \leq 1.1\sqrt{\frac{5 * 2100000}{2530}}$$

$$55 \leq 70.86$$

Al comprobar la relación se utiliza un valor de Cv=1 que concuerde con las solicitudes de las indicaciones del AISC, donde la mínima capacidad nominal a soportar será:

$$Vn = 0.6Fy * Aw * Cv$$

$$Vn = 0.6 * 2530 * 66.45 * 1$$

$$Vn = 100871.1\ kg$$

$$\emptyset Vn = 0.9 * 100871.1kg = 90784kg$$

$$\emptyset Vn = 90.78t$$

$$Vu < \emptyset Vn$$

$$0.24t < 90.87t$$

Se verifica que la viga W18*35 es resistente al corte.

4.4 Cálculo de placa base

Se denomina placa base, a una plancha de metal que tiene como función trasmitir las cargas verticales provenientes de la cúpula.

Su diseño depende de la manera en que la carga ha sido distribuida en la capacidad del concreto a las fuerzas de compresión, al igual que los esfuerzos que es capaz de soportar la columna dada.

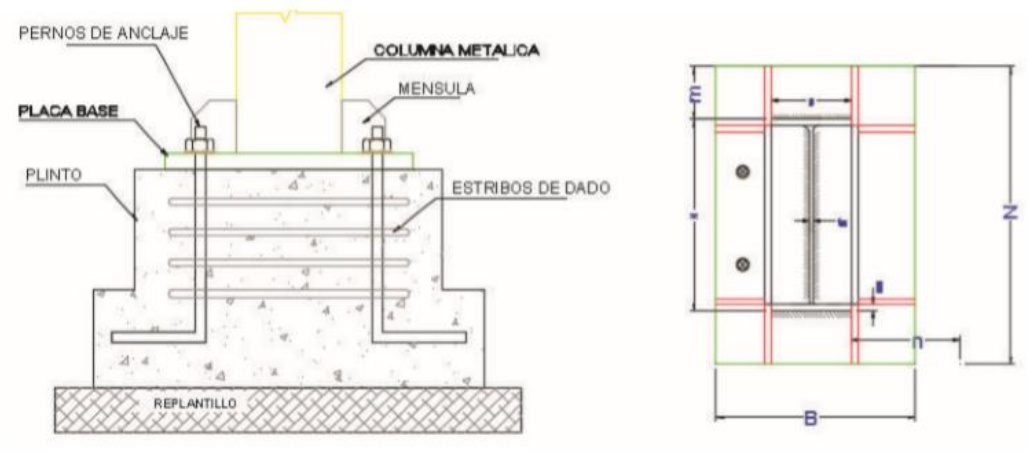


Figura 48 dimensionamiento de placa base

(Fuente: [4])

Para el dimensionamiento se toma en consideración las fuerzas totales que se ejecutan sobre la placa de los cimientos, las fuerzas transmitidas son 9100 kg.

Aplicando las ecuaciones

$$Pu = \emptyset c * Pp = \emptyset c(0{,}85 f'_c A_1)$$ Ecuación 23

$$A_1 = \frac{Pu}{f_c * 0.85 * f_c'}$$ Ecuación 24

Tomando en consideración la resistencia del hormigo 210 kg/cm^2

$$A_1 = \frac{91000}{0.6 * 0.85 * 210 \frac{kg}{m^2}}$$

$$A_1 = 849.67\ cm^2$$

El resultado de A1 da un lado estimado de 30 cm por lado, pero se debe considerar una distancia mínima de 5 cm por lado aparte del perfil; entonces si el perfil de la columna es de W 24x55, la placa debe tener una dimensión de 65x35 cm. Para conocer el espesor de la placa base la fórmula es la siguiente:

$$t_{requerido} = I_{max} * \sqrt{\frac{2 * Pu}{0.9 Fy\ B * N}}$$ Ecuación 25

$$t_{requerido} = I_{max} * \sqrt{\frac{2 * 91000 kg}{0.9 * 2530 \frac{kg}{cm^2} * \ 55cm * 30cm}}$$

Donde

$$Imax = \frac{B - 0.8b}{2} = \frac{35 - 0.8 * 17cm}{2}$$

$$Imax = 10.7cm$$

$$t_{requerido} = 10.7cm * \sqrt{\frac{2 * 91000 kg}{0.9 * 2530 \frac{kg}{cm^2} * \ 55cm * 30cm}}$$

$$t_{requerido} = 2.35\ cm$$

El ancho para considerar de la placa base es de 2.54cm o 1 pulgada, por tal motivo queda garantizada la resistencia de la placa, se comprueba la resistencia de la placa mediante la ecuación:

$$f = \frac{Pu}{A} \pm \frac{Pu * 0.5 * h}{I}$$ Ecuación 26

El momento máximo, es obtenido como el resultante de las fuerzas que genera en la placa base entre las partes externas de la viga, debido a la fuerza de compresión de la columna en la placa base, entonces se determina la excentricidad producida:

$$f = \frac{91000}{65 * 35} \pm \frac{91000 * 0.5 * 17}{\frac{1}{12} * 35 * 65^3}$$

$$f = \frac{91000}{65 * 35} \pm \frac{91000 * 0.5 * 17}{\frac{1}{12} * 35 * 65^3}$$

$$f1 = 40.95kg$$

Como resultado se logra obtener el momento producido, entre los puntos extremos de la viga por la fuerza de compresión sobre la columna-base.

$$M = 55cm * 40.95kg$$

$$M = 2252.25kg*\text{cm}$$

Entonces

$$t_{req} = \sqrt{\frac{6 * 2252kg * cm}{0.9 * 2530 * \frac{kg}{cm^2}}}$$

$$t_{req} = 2.43cm$$

El espesor mínimo de la placa es de 2.54cm, entonces la placa tendrá la dimensión de 65*35*2.54 cm.

4.5 Pernos de anclaje

Para el cálculo de los pernos usados en el anclaje, se toma en cuenta los elementos previamente dimensionados, se debe considerar un valor de 0.75 según la AISC.

$$R_p = \emptyset * Fu * Ab$$ Ecuación 27

Si se coloca 4 pernos y los mismos deben soportar la resultante, entonces el diámetro mínimo será:

$$\emptyset = \frac{\pi * d^2}{4}$$ Ecuación 28

Se toman al inicio 4 pernos por cada lado, los cuales tendrán una distancia de 8 cm entre cada centro de perno, de esta manera se podrá calcular el mínimo diámetro requerido para el cual podrá soportar la carga de momento.

Considerando las reacciones en la placa

$$Tp = \left(\frac{Pu}{BN}\right) * \left(\frac{m}{2}\right) m$$

$$Tp = \left(\frac{91000}{65 * 35}\right) * \left(\frac{8.5}{2}\right) 8.5$$

$$Tp = 1445.0kg$$

$$Tp = \frac{144.5kg}{4} = 361.5\text{kg}$$

Entonces

$Rp = 361.5$

$$361.5 = 0.75 * 4200 \frac{kg}{cm^2} * \frac{\pi * d^2}{4}$$

d =0.38 in

Se establece el resultado anterior como mínimo, por lo que se selecciona pernos comerciales de 1 pulgada de diámetro.

4.6 Diseño de conexiones

Debido a la naturaleza y aplicación del presente proyecto, se solicita que las conexiones sean soldadas.

4.7 Cálculo para el diseño de conexiones soldadas

Se procede a analizar los esfuerzos que pueden soportar las conexiones acordes a la normativa vigente de la AWS D1.1 utilizadas en conexiones soldadas, las partes soldadas deben cumplir y estar acorde a las medidas de los vigas y columnas que serán utilizadas.

Para conexiones soldadas, la resistencia nominal φRn, donde $\varphi = 0.75$ para el metal base (AISC 2015)

$$\varphi Rn = F_{nBM} A_{BM}$$ Ecuación 29

para el metal

$$\varphi Rn = F_{nw} A_{we}.$$ Ecuación 30

Donde

$F_{nBM} = tensión\ nominal\ del\ metal\ base$

$A_{BM} = área\ de\ la\ sección\ \ transversal\ del\ metal\ base$

$F_{nw} = tensión\ nominal\ del\ metal\ de\ soldadura$

$A_{we} =$ área efectiva de la soldadura : [7][4]

La resistencia de la parte soldada se va a calcular utilizando un metal de aporte, el cual será compatible según convenga lo recomendado por la NEC.

Tabla 21 Metal Base y metal de aporte compatible en cada caso

Metal Base	Metal de Aporte Compatible
A36, espesor ≤ 19 mm	Electrodos E60 – E70
A36, espesor ≤ 19 mm A572 (Gr.50-55) A588 A913 (Gr.50) A1011 A992 A1018	SMAW:E7016, E7016, E7018, E7028 Otros procesos: Electrodos E70
A913 (Gr.60 -65)	Electrodos E80

(Fuente: [7][4])

Se recomienda que para espesores menores a 19 mm se utilice electrodos E6011 y E7018. Se selecciona el electrodo E7018 por su mayor resistencia. Para la garganta efectiva se toma la siguiente tabla.

Tabla 22 Garganta efectiva a tope de las soldaduras

Garganta efectiva de soldaduras de tope con Junta de penetración parcial	
Espesor de materia de parte unida más delgada mm	Espesor de material de parte unida más delgada mm
Hasta 6 inclusive	3
Entre 6 y 13	5
Entre 13 y 19	6
Entre 19 y 38	8
Entre 38 y 57	10
Entre 57 y 150	13
Mayor a 150	16

(Fuente: [7])

Tabla 23 Soldadura de filete, (tamaño mínimo)

Tamaño mínimo de soldadura de filete	
Espesor de parte unida más delgada mm	Tamaño de Soldadura de Filete mm
Hasta 6 inclusive	3
Por lo cual el área efectiva de la garganta estará dada por el valor mínimo de filete de soldadura de 3mm Entre 6 y 13	5
Entre 13 y 19	6
Entre 19 y 38	8

(Fuente: [7])

El esfuerzo del metal de soldadura viene dado por $Fnw = 0.6F_{Exx}$, con cargas a través de su centro de gravedad y un ángulo desfasado aplicando la carga, se utiliza la ecuación:

$$Fnw = 0.6F_{EXX}(1 + 0.5sin^{1.5}\theta)$$ Ecuación 31

Donde

$Fexx = Resistencia\ de\ clasificacion\ del\ metal\ de\ aporte$

$\theta = ángulo\ de\ carga\ medido\ desde\ el\ eje\ logitudinal\ de\ la\ soldadura$

Debe cumplir las demandas mecánicas para lo cual se realiza la comparación de la resistencia del elemento de soldadura con el esfuerzo de diseño máximo, se cuantifica el tamaño de soldadura.

$$L = \frac{V_u}{R_n}$$ Ecuación 32

Se puede fabricar y montar los parámetros técnicos, especificando la información obtenida en los wps y planos estructurales.

4.8 Cálculo de conexiones

Se procede con el cálculo de las conexiones soldadas que serán utilizadas para la estructura del domo geodésico. Para esto, se utilizan las conexiones precalificadas.

Tabla 24 Conexiones de los miembros

NIVEL	ELEMENTO 1	ELEMENTO 2	TIPO DE JUNTA DE CONEXIÓN
1	W24X55	W18X35	RESISTENTE A MOMENTO
2	W24X55	W18X35	SEMIRIGUIDA
3	W24X55	W18X35	SEMIRIGUIDA
4	W24X55	W18X35	SEMIRIGUIDA

(Fuente: Propia)

Análisis de las diferentes conexiones unidas por soldadura, que serán utilizadas en el montaje de los elementos.

4.8.1 Resistencia del metal base

Para el análisis de la resistencia del metal base se seleccionará la sección transversal del patín superior e inferior y la sección del alma central de las vigas.

$$\emptyset Rn = Fn * A$$ Ecuación 33

Sección del alma de la viga W18x35

$$A = (H - 2tf) * tw = (44.9 - 2 * 1.5) * 1 = 41.9cm^2$$

$$Rn = 2530\frac{kg}{cm^2} * 41.9cm^2 = 106007kg$$

$\emptyset * Rn$ =0.9*106007kg=95406.3=95.4 t

Sección del patín de la viga W18x35

$$A = B * tf = 15 * 1 = 15cm^2$$

$$Rn = 2530\frac{kg}{cm^2} * 15cm^2 = 37950\ kg$$

$\emptyset * Rn$ =0.9*37950kg=34155=34.15 t

4.8.2 Cálculo de las conexiones estructurales

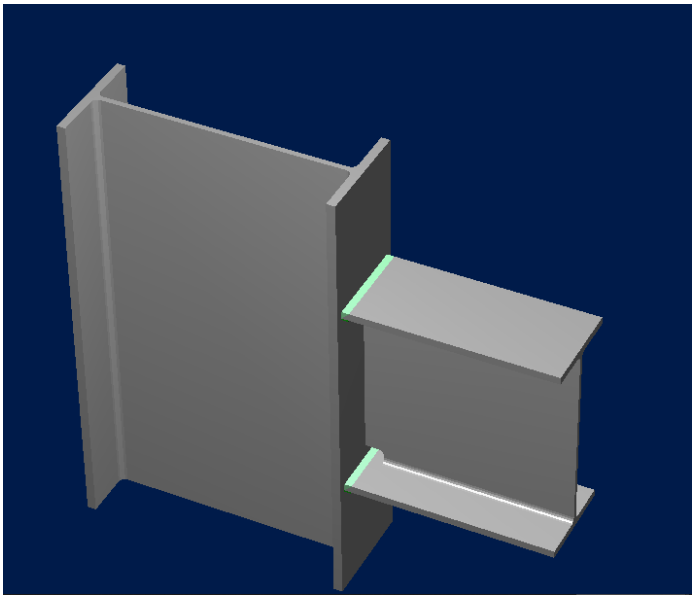


Figura 49 Ejemplo de conexión estructural

Fuente: Propia/Ram conextion

Si utilizamos un electrodo E7018 cuyo Fn=70000 lb/pulg, el cual es la resistencia designada del metal de aporte de soldadura que será la junta entre la viga - columna W24x55 y W18x35, el tamaño de garganta es de 4 mm debido a su espesor de 1 cm

$$Espesor\ de\ la\ garganta = sin45x0.4cm = 0.28cm$$

Se obtiene la resistencia de soldadura.

$$Rn = Lcmx4921\frac{kg}{cm^2} * 0.4cm$$

$$Rn = 1968k\ kg*\text{cm}$$

$$L = \frac{1968kg * cm}{240kg}$$

$$L = 8.2\ cm$$

Para el ala superior e inferior y por criterio se debe soldar también el alma una longitud de 16.4 cm a cada lado, considerando que la viga utilizada es la W18x35 y la columna W24x55; y serán soldadas por medio de un filete de parcial penetración sobre el alma y una junta tipo CJP ubicada en la soldadura sobre el patín, dando como resultado la resistencia de la conexión de la soldadura.

$$\emptyset * Rn = Rnt + Rnw$$

$$Aw = Espesor\ de\ la\ gargante * sen45 * 0.6 * F_{Exx}$$

Espesor de la garganta=sin45*0.4cm=0.707x0.4=0.28cm

$$\emptyset * R_{nw} = 0.75 * 0.6 * 70000 \frac{kg}{14.23cm^2} * 0.28cm * 15.2cm$$

$$R_n = 9421.22\ kg$$

Donde

$$\emptyset * R_{nw} = F_{nw} * A_{we} = 0.75 * F_{EXX}(1.0 + 0.5sen^{1.5}90) * 0.35 * 2 * 15.2cm$$

$\emptyset * R_n$ =83790kg

$$\emptyset * Rn = Rnt + Rnw$$

La sumatoria de la soldadura longitudinal y transversal, es determinada por la resistencia en la conexión.

$$\emptyset * Rn = Rnt + Rnw = 9421.22kg\ + 83790kg = 93211.22kg$$

Se debe verificar la resistencia de la junta realizada en los esfuerzos generados por las cargas que se encuentran presentes en la cúpula, según la norma NEC 2015.

$0.8Mn = 0.8 * 29.84t * m$=23.87t*m=23872kg*m

$$V_E = \frac{2(1.1R_yM_p)}{L_h} = \frac{2 * (1.1 * 1.15 * 27570kg * m)}{6m}$$

$$V_E = 11625.3kg$$

Si tenemos que

$$V_u = 0.24t \qquad y \qquad M_u = 0.74t * m$$

Entonces

$$\emptyset * Rn > V_E > Vu$$

$$93.21t > 11.65t > 0.24t$$

Queda comprobada, que existe una buena resistencia de la conexión realizada por soldadura a los esfuerzos máximos de corte generados en la junta.

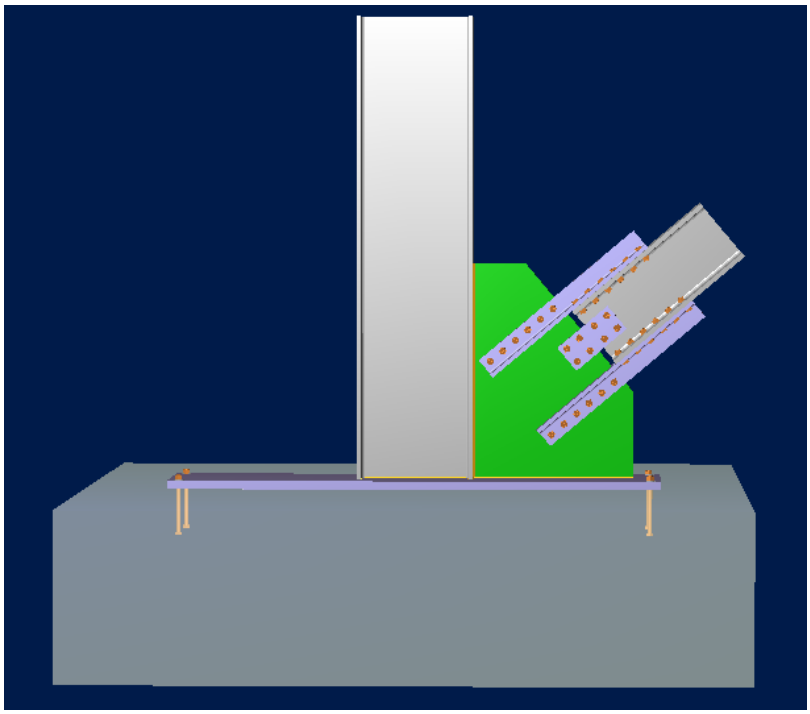


Figura 50 Conexión de soldadura de base

(Fuente: Propia)

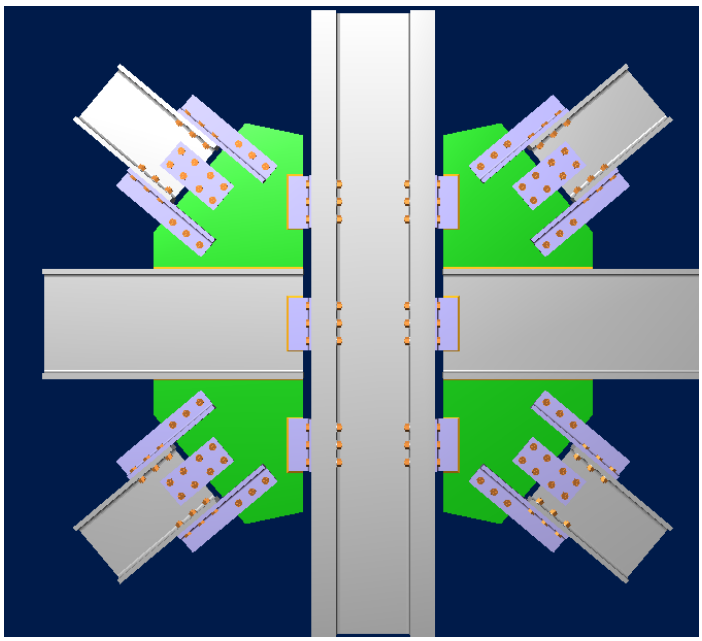


Figura 51 Conexión intermedia para la cúpula

(Fuente: Propia)

4.9 RESISTENCIA METAL BASE

Se procede con la verificación de la resistencia del metal base, la cual viene dada por la sección perpendicular del patín y la del alma de las vigas utilizadas.

$$\emptyset R_n = F_{nBM} * A_{BM}$$

El área A_{BM} será calculado una por una, entre las longitudes lineales del alma y del patín.

4.10 ANÁLISIS DINÁMICO DE LA EDIFICACIÓN

Se verifica la resistencia a las cargas que fueron propuestas bajo la carga sísmica. Se arranca con la determinación del espectro de respuesta sísmica.

$$Sa = n * z * Fa$$

$$Sa = n * z * Fa * (\frac{Tc}{T})^r$$

Se identifica los límites para el análisis del espectro y su respectivo periodo de vibración.

$$To = 0.1 * Fs \frac{Fd}{Fa} = 0.175$$

Una vez obtenidos los valores tenemos la curva de espectro sísmico para la estructura.

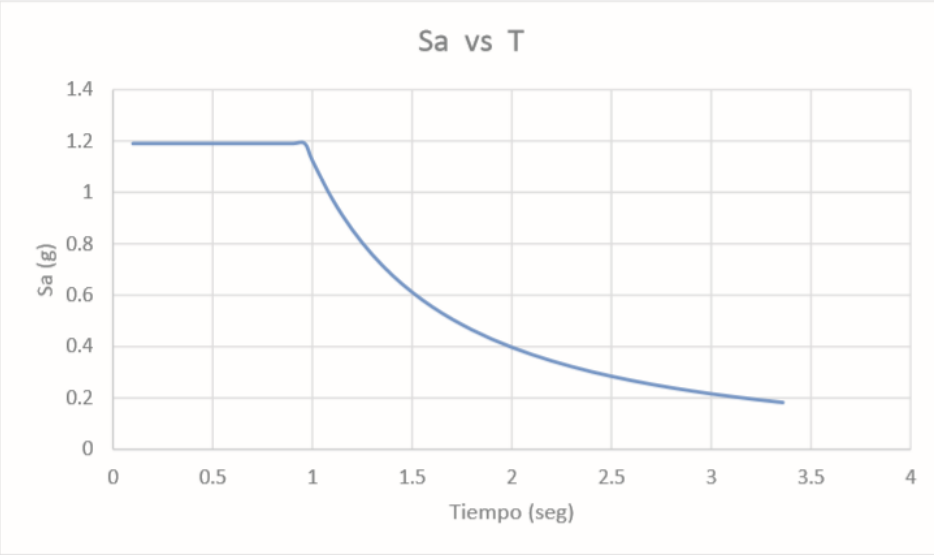


Figura 52 Espectro Estático de diseño

(Fuente:[12])

4.11 ESTABILIDAD DE LA ESTRUCTURA

La siguiente expresión será utilizada para controlar la estabilidad (NEC 15)

Ecuación 34

$$Qi = \frac{Pi * \Delta i}{Vi * hi}$$

$Donde$

$Qi = \text{ índice de estabilidad del piso } i$

$Pi = \text{ suma de la carga vertical , incluido peso muerto y sobrecarga viva del piso } i$

$Vi = \text{ cortante sísmico de piso } i$

$hi = \text{ Altura del piso considerando } [7]$

Se procede al cálculo de valores para el nivel 1, con el fin de obtener los valores de desplazamientos en cada punto de extremo de la estructura.

Control de derivas de piso:

$$\Delta_m = 0.75R * \Delta_E$$

Donde

$$\Delta_m = \text{deriva máxima inelastica}$$

$$R = \text{factor de Resistencia } R = 8$$

$$\Delta_E = \text{Desplazamiento obtenido en aplicación de fuerzas laterales de diseño reducidas}$$

$$\Delta_E = 0.5\Delta_{Mup}$$

$$\Delta_{mup} = \text{desplazamientos máximos producidos en el último nivel}$$

$$\Delta_E = 0.5 * Mup$$

Obtenemos el valor usado para los pórticos y valores de desplazamiento de los puntos más externos de los pórticos, con valores de desplazamiento iguales a 5 mm cada 10 metros de altura.

4.12 GIRO DE LA CÚPULA

Para el análisis de giro de la cúpula se debe considerar velocidades menores a 0.3 rad/ minuto, la cual es una velocidad recomendada para el uso de equipos de astronomía, además de proporcionar una adecuada seguridad estructural, debido a que mantiene el análisis estructural en el modo estático.

4.12.1 Velocidad de la cúpula

Ecuación 35

$$V_f = w * r$$

Donde

$$V_f = \frac{125m}{180s} = 0.69m/s$$

$$w = \frac{\frac{0.69m}{s}}{20m} = 0.03\frac{rad}{s}$$

$$t = \frac{2\pi\ rad}{0.03\frac{rad}{s}} = 209\ seg$$

$$0.03\frac{rad}{s} = 0 + a * (209s)$$

$$0.03\frac{rad}{s} = a * (209s)$$

$$0.03\frac{rad}{s} = a * (209s)$$

$$a = 1.4 * e^{-4}\frac{rad}{s^2}$$

Para concluir el movimiento de rodadura sin deslizamiento, las ecuaciones del movimiento permiten que se calcule la fuerza de rozamiento Fr. A continuación, se detalla el DCL Diagrama de cuerpo libre de la rueda motriz

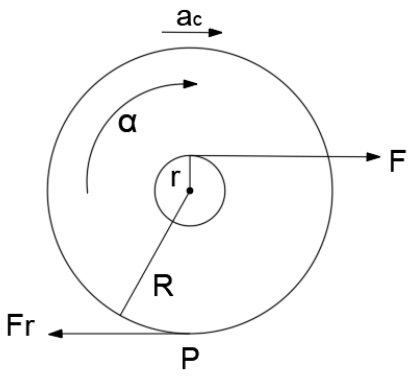


Figura 53 Cuerpo libre de la rueda

(Fuente: Propia)

Según:

La dinámica de traslación

$$F - Fr = m * a_c$$

La dinámica del movimiento rotacional alrededor de un eje

$$F * r - Fr * R = Ic * \propto$$

Considerando el momento de inercia respecto al eje

$$I_c = m * \frac{R^2}{2}$$

Resolviendo las ecuaciones de dinámica tenemos

$$a_c = \frac{2 * F(1 + \frac{r}{R})}{3m}$$ Ecuación 36

$$F_r = \frac{F}{3} * (1 - 2\frac{r}{R})$$ Ecuación 37

Entonces, para que el movimiento de la rueda se mantenga sin deslizar se debe cumplir que:

$$F_r \leq \mu * N$$

Donde

$$N = m * g$$

$$N = 31850kg * 9.8\frac{m}{s^2}$$

$$N = kg\frac{m}{s^2}$$

$$N = 312130kg\frac{m}{s^2}$$

$$F_r \leq 0.15 * 312130kg\frac{m}{s^2}$$

$$F_r \leq 46.819kg\frac{m}{s^2}$$

Entonces

$$F = \frac{(Fr * 3)}{(1 - 2\frac{r}{R})}$$

$$F = \frac{(46819N * 3)}{(1 - 2\frac{0.075m}{1m})}$$

$$F = \frac{140457N}{0.85}$$

$$F = \frac{140457N}{0.85}$$

$$F = 165243.5N$$

Donde el torque requerido por el motor es

$$T = F * r$$

$T: Torque$

F=fuerza

r=radio

entonces

$$T = 165243.5N * 0.075m$$

$$T = 12393.26N.m$$

Para transformarlo en potencia se divide para el tiempo de uso que son 180 segundos.

$$P = 68.85N.m/s$$

Transformándolo a caballos de fuerza se tiene.

$$P = 0.09\ caballos\ de\ fuerza$$

La potencia requerida por cada motor será de 0.09 caballos de fuerza.

4.12.2 Selección del motor

El motor se selecciona al cumplir con la potencia requerida para accionar los elementos móviles de la cúpula. Según el Manual de Diseño Mecánico de Shigley

$$P_{m=}P_r * F_s$$

Donde

$P_m: Potencia\ del\ motor$

$P_r: Potencia\ requerida = 0.09HP$

$P_m: Factor\ de\ servicio = 2.5$

$$P_m = 0.09 * 2.5$$

$$P_m = 0.225HP = 0.16KW$$

Comercialmente podemos encontrar motores desde 1/4 HP, buscando en catálogos de motores se dedujo que el motor va a tener las siguientes especificaciones.

Marca: MEB S.A.

Modelo: TA801-6

Potencia:0.37Kw

RPM:920

4.12.3 Selección del reductor de velocidad

Para la selección del reductor de velocidad, debemos tomar en cuenta que la velocidad deseada de la cúpula que es 0.69 m/s

$$V_{fr} = w * r$$

$$w = \frac{0.69m/s}{1m}$$

$$w = \frac{0.69rad}{s} = 6.59\ rpm$$

Si se tiene una salida del motor de 920 rpm y se requiere una salida del reductor de 6.59 rpm, entonces se necesita una relación de reducción de:

$$\frac{920}{6.59} = \frac{139.6}{1}$$

Se busca en los catálogos de reductores de velocidad y se define un reductor refabricado aproximado con especificaciones:

Marca: Worm gearboxes

Tipo:BWQ

Relación de reducción: $\frac{900}{9} = \frac{100}{1}$

Tomando en consideración esta nueva relación de velocidad se obtiene que la velocidad de trabajo de la cúpula es:

$$\frac{139.6}{w} = \frac{900}{9}$$

$$w = 1.4\frac{rad}{s} = 13.4\ rpm\ de\ la\ rueda$$

Entonces

$$V_{frueda} = 1.4\frac{rad}{s} * 1m$$

$$V_{frueda} = 1.4\frac{m}{s}$$

$$V_{cúpula} = 1.4\frac{m}{s}$$

$$w_{cúpula} = \frac{1.4\frac{m}{s}}{20m}$$

$$w_{cúpula} = 0.07\frac{rad}{s}$$

Se define que la velocidad es aceptable, aun así, se recomienda el uso de un variador de frecuencia para un arranque suave de los motores, en catálogos se define el uso del variador de frecuencia:

Marca:Rexroth/Bosh

Modelo: EFC3610-0K75-1P2- / EFC5610-0K75-1P2-

Amperaje: hasta 4.1 Amperios

4.13 COMPUERTAS

La estructura cuenta con tres compuertas superiores, mismas que se abren cuando la cúpula es utilizada en conjunto con los telescopios de Observación Astronómica, lo que permite que el cielo se observe en época de verano, el detalle en planos del sistema de compuertas se lo puede verificar en el Anexo 16.

Carrera: 1.8 metros cada compuerta

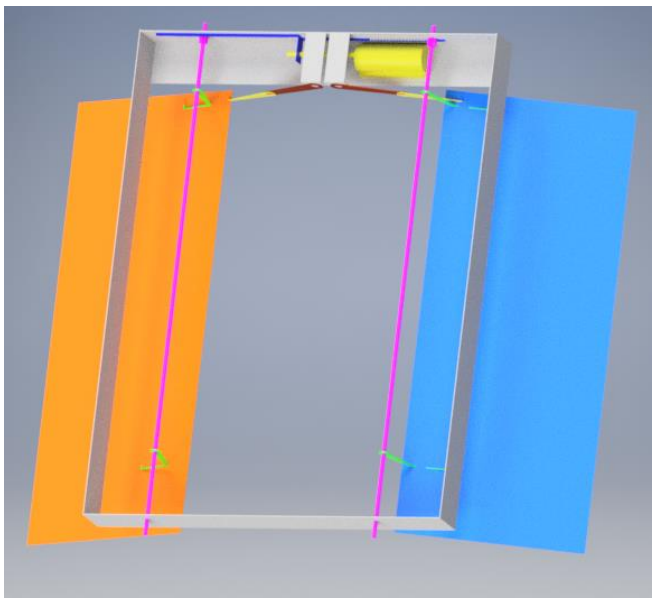


Figura 54 Compuertas abiertas

(Fuente: Propia)

Para el diseño del motor de la compuerta, se calcula la potencia del motor según el Manual de Diseño Mecánico de Shigley usando la ecuación.

$$P_{m=}P_r * F_s$$

Donde

$P_m: Potencia\ del\ motor$

$P_r: Potencia\ requerida = 0.09HP$

$P_m: Factor\ de\ servicio = 1.5$

$$P_m = 0.09 * 1.5$$

$$P_m = 0.13HP = 0.09KW$$

En el mercado se encuentran motores desde 1/16 HP para esta aplicación el cual puede ser:

Marca: MEB S.A.

Modelo: TA801-6

Potencia:0.1Kw

RPM:920

5 DESCRIPCIÓN DE LA CÚPULA PARA EL ANÁLISIS DE CLIMATIZACIÓN

Para calcular las cargas térmicas se requiere de la información obtenida en el diseño estructural del domo y seguir la metodología descrita a continuación.

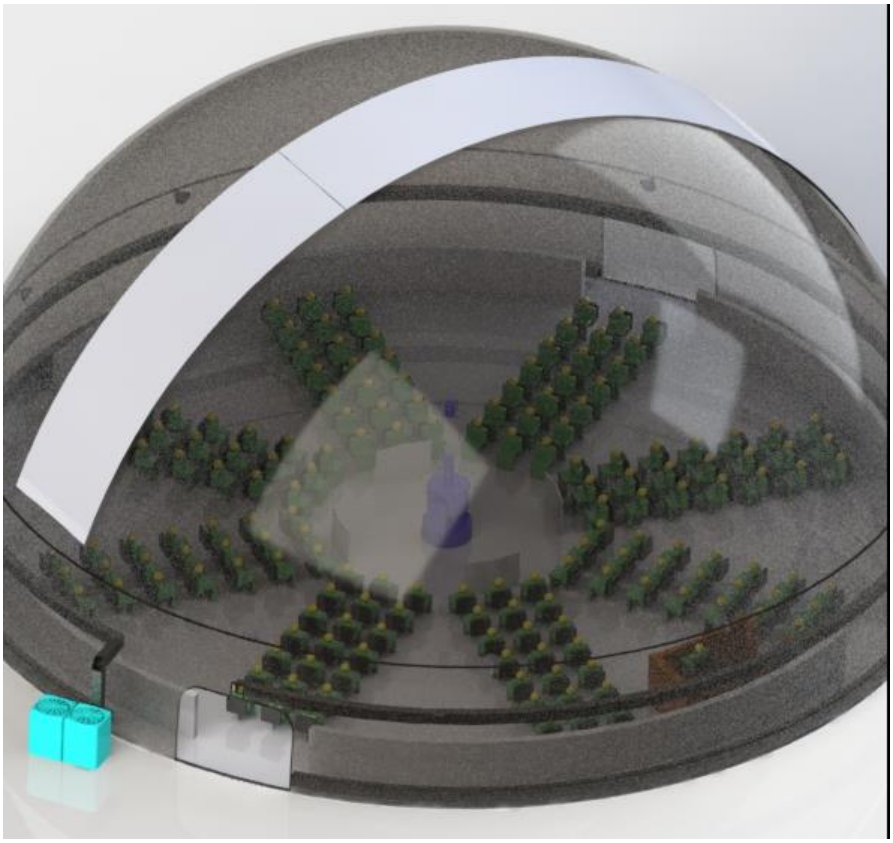


Figura 55. Diseño de Climatización de la cúpula

(Fuente: Propia)

5.1 Metodología para la climatización

1. Determinar las características de los materiales
2. Determinar los datos climáticos del sector
3. Elegir cuidadosamente las condiciones interiores del domo, mismas que pueden ser temperaturas internas de bulbo seco y de bulbo húmedo.
4. Determinar carga de la luminaria y equipos de ventilación.

5.2 Carga de enfriamiento externo

Para el cálculo de la carga térmica en techo y conducción en el mismo, se usa la siguiente ecuación:

$$q = UxAx(CLTD)$$

$q = carga\ de\ enfriamiento\ Btu/h$

$U = coeficiente\ de\ transferencia\ de\ calor\ para\ techo\ (Btu/hxft2)$

$A = área\ de\ la\ cúpula$

$CLTD = diferencia\ de\ temperatura\ de\ enfriamiento$

5.3 Enfriamiento interno

Se refiere al número de personas que ocupan el espacio interior de la cúpula astronómica.

$$q_{sensible=Nx(calor\ sensible\ ganado\ por\ persona)xCLF}$$

$$q_{latente=Nx(calor\ latente\ ganado\ por\ persona)}$$

Donde

$N = Número\ de\ personas\ en\ el\ espacio$

$CLF = Factor\ de\ enfriamiento\ determinado\ en\ horas\ de\ utilización$

$Según\ la\ ASHRAE\ CLF = 1.0\ con\ alta\ densidad\ o\ con\ 24\ horas\ de\ utilización$

El cálculo de la ganancia sensible de luz fluorescente se realiza con la siguiente ecuación:

$$Q_{luz\ fluorecente=Wx1.25xfluz;\frac{Btu}{h};(\frac{kcal}{h})}$$

Donde

$Qluz\ fluorecete = Ganancias\ sensibles\ luz\ fluorescente\ \frac{Btu}{h}$

$W = Vatios\ de\ consumo$

$Fluz = factor\ de\ almacenamiento\ de\ carga\ debido\ al\ alumbramiento\ \frac{Btu}{h}$

5.4 Aparatos eléctricos

El cálculo de la carga sensible ganada por equipos eléctricos se realiza a través de la siguiente fórmula.

$$q_{s=qsensible\ xCLF}$$

qs= carga sensible ganada por equipos

CLF= carga de enfriamiento, por programas de horas

5.5 Ventilación e ingreso de aire

5.5.1 Calor sensible

El calor sensible que se ha obtenido en Kw (Btu/h), se lo refleja en la diferencia de los valores de temperaturas que existe entre el aire que ingresa y el flujo de aire que sale, mismo que se establece a través de la siguiente ecuación.

$$ql = 1.1xCFMx\Delta T \text{ ó}$$

$$\text{qs= max } (Cpax\Delta T + Cpxwx\Delta T)$$

$Donde\ qs = \ calor\ sensible\ Btu/h;\ Kw$

$CFM = \ flujo\ volumétrico\ de\ aire, ft3/min\ ma = masico\ de\ aire\ kg/h$

$Cpa = \ calor\ especifico\ del\ aire, KJ/(kg°C)$

$Cp = \ calor\ especifico\ del\ agua\ \Delta T\ en\ °C$

$w = \ relación\ \ kg\ de\ agua\ /kg\ de\ aire\ seco$

La ecuación expresada de flujo de aire y variaciones de temperaturas da como resultado qs = max (Cpa + $Cpxw$) $x\Delta T$. Considerando la densidad y la presión de Quito de 0.71 atm o 71 kilopascal y la temperatura media del aire 21.3 °C o 294.45°K

$$\rho = 1/\ v = P/\ RT$$

$Donde\ v = volumen\ especifico$

$P = presión\ de\ aire. Atm$

$R = constante\ de\ gas\ para\ el\ aire\ 0{,}287\ kj/kg * K$

$T = temperatura\ del\ aire\ K$

$$\rho = \frac{1}{v} = 71/(\ 0.287x294.45)$$

$$\rho = 0{,}840kg/\ m3$$

Se toma en cuenta que el calor especifico del aire seco es 1,005kj/kgC y el calor especifico del agua es 1,872 kJ/kg C. Además de una relación de humedad w=0,01 kg agua/kg aire seco.

$$q = vx0{,}840x\ (1{,}005 + 1{,}872x0{,}01)\ x\Delta T$$

$$q = vx0.859x\Delta T$$

5.5.2 Calor latente

Es la diferencia de la humedad entre el aire que ingresa y sale, y se calcula con la siguiente ecuación.

$$q = mxhx\Delta w$$

Donde

$qt = \ calor\ latente\ Btu/h$

$ma = \ flujo\ masico\ de\ aire\ kg/s$

$hfg = \ calor\ latente\ del\ agua\ kJ/kg$

$\Delta w = \ diferencia\ de\ la\ humedad\ interior\ y\ exterior$

$kg\ de \frac{agua}{kg} de\ aire\ seco$

$Expresado\ con\ el\ producto\ de\ la\ densidad\ (Kg/m3)\ por\ el\ flujo\ métrico\ (m3/s).$

$$q \ = \ v_a x\rho x h_{fg} x\Delta w$$

$$v = flujo\ de\ aire \frac{m^3}{s}$$

$$\rho \ = densidad\ del\ aire\ kg/m^3 [13]$$

$$Tomando\ la\ densidad\ del\ aire\ \rho \ = \ 0{,}840 \ \ kg/m^3\ y\ el\ valor\ de\ h_{fg} \ = \ 2502kj/kg$$

$$ql = v_a x\rho x h_{fg} x\Delta w$$

$$ql = v_a x0{,}840x2502x\Delta w$$

5.5.3 Calor Total

El calor total que se ha ganado qt, es la adición del calor sensible qs y el calor latente ql, se calcula usando la siguiente ecuación. Sacado de [13].

$$qt = qs + ql$$

5.6 CARGAS EXTERIORES POR CONDUCCIÓN

El cálculo de cargas térmicas exteriores por conducción en la plancha metálica con aislante[32], se realiza usando la siguiente ecuación.

$$q = UxAx(CLTD)$$

El techo está constituido por varios materiales que derivan una diferente resistencia térmica, los valores se encuentran en el anexo 10. Adicionalmente, se calcula la resistencia térmica del aire exterior con los siguientes datos: temperatura de diseño es 23.1 °C/ P=0.71 atm/ k=$13.12 m^2 xk/watts$.

5.6.1 Resistencia térmica en la cubierta

Tabla 25 Resistencia térmica de los materiales

Construcción	Resistencia Btu/h*ft*R
Capa de aire interior	R1=0.01331
Cubierta aislante	R2=4.62
Acabado y alisados 10 cm	R3=0.81Btu/h*ft*R
Loseta	R4=0.87 Btu/h*ft*R
Capa de aire superficie exterior	R5=0.01336

(Fuente: Propia,[31])

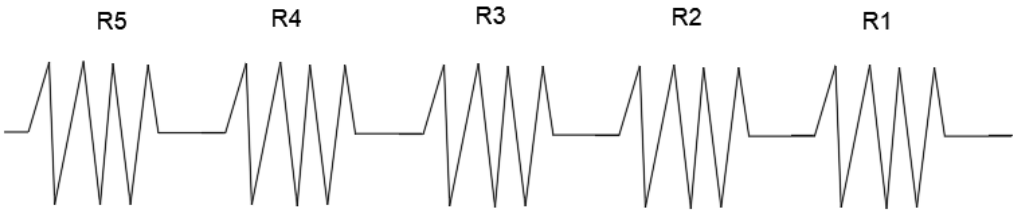


Figura 56 . Analogía electrica

(Fuente: Propia [31])

Entonces como resultado de la resistencia total es de:

Rt=R1+R2+R3+R4+R5

Rt=0.01331+4.62+0.81+0.87+0.01336

Rt=6,32 $\frac{h*ft^2*F}{Btu}$

$El\ Ut\ de\ transferencia\ de\ calor\ para\ la\ cubierta\ es$:

$$U_T = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{6.32} * \frac{Btu}{h * ft^2 * F}$$

$$U_T = 0.16 \frac{Btu}{h * ft^2 * F}$$

5.6.2 Peso Equivalente de la Pared (cálculo)

La conformación de la masa de pared es por bloque alivianado, hueco, mortero y arena. Los datos se indican a continuación:

Mortero = 45 kg/m2

Bloque hueco=64 kg/m2

en una pared de 1x1x0.025

El peso total es 109 kg/m2

El número de metros cuadrados de la cúpula, es según la fórmula de superficie de una semiesfera, así:

$$A = 4x\pi xr^2$$

$$A = 4x\pi x20^2$$

$$A = 5024m^2$$

Entonces el peso de la pared es:

$$P = 5024m^2x109\ \frac{kg}{m^2}$$

$$P = 547616\ kg\ o\ 603.64\ ton$$

La diferencia de temperatura total equivalente para techo de la cúpula (CLTD) es:

Tabla 26 Carga de calentamiento según la hora solar

Hora solar	CLTD	Hora solar	CLTD
1	29	13	25
2	28	14	26
3	27	15	28
4	26	16	30
5	25	17	32
6	24	18	33
7	23	19	34
8	22	20	34
9	21	21	34
10	21	22	33
11	22	23	32
12	23	24	31

(Fuente:[33])

La siguiente ecuación permite obtener los valores de CLTD corregidos:

$$CLTD_{corregido} = \big((CLTD + LM)xK + (78 - T_R) + (T_o - 85)\big)xf$$

Donde

$CLTD = Valor\ de\ la\ tabla\ 33$

$LM = factor\ de\ latitud\ y\ mes$

$K = factor\ de\ ajuste\ de\ color$

$Tr = temperatura\ interior$

$To = temperatura\ de\ diseño\ exterior$

$f = factor\ para\ ventiladores\ (f = 1\ sin\ áticos, f = 0.75\ si\ hay\ ventilación\ positiva)$[13]

$Temperatura\ interior\ de\ diseño = 75.2°F = 24°C$

$Mes\ de\ estudio = Marzo$

$Temperatura\ exterior\ de\ estudio = 23.1°C$

$f = 0.75$

$k = 1\ debido\ al\ color\ primario\ de\ la\ edificación$ [13]

$$CLTD_{corregido} = \big((CLTD + LM)xK + (78 - T_R) + (T_o - 85)\big)xf$$

$$CLTD_{corregido} = \big((CLTD + LM)xK + (78 - T_R) + (T_o - 85)\big)xf$$

$$CLTD_{corregido} = \big((CLTD - 2.79)x1 + (78 - 75.2) + (73.58 - 85)\big)x0.75$$

$$CLTD_{corregido} = \big((CLTD - 2.79)x1 + (78 - 75.2) + (73.58 - 85)\big)x0.75$$

$$CLTD_{corregido} = \big((0.75CLTD) - 8.56\big)$$

Entonces los valores de CLTD corregidos para la losa son:

Tabla 27 Valores de CLTD corregidos

TIEMPO HORA SOLAR	CLTD	CLTD corregido
1	29	30,31
2	28	29,56
3	27	28,81
4	26	28,06
5	25	27,31
6	24	26,56
7	23	25,81
8	22	25,06
9	21	24,31
10	21	24,31
11	22	25,06
12	23	25,81
13	25	27,31
14	26	28,06
15	28	29,56
16	30	31,06
17	32	32,56
18	33	33,31
19	34	34,06
20	34	34,06
21	34	34,06
22	33	33,31
23	32	32,56
24	31	31,81

(Fuente:[13])

5.7 CARGAS EN LA CÚPULA (cálculos)

Se seleccionó un área de 1256.6 m^2 o 13525.9 ft^2 con orientación sur, los cálculos se realizan a las 16h00 horas. Se presenta un plano arquitectónico (se dibuja la cúpula con las butacas)[13]

5.7.1 Carga térmica en techo

$$q = UxAx(CLTD)$$

$$q = 0.16\frac{Btu}{h * ft^2 * °F}x13525.9\ ft^2x(31.06)$$

$$q = 68386.95\frac{Btu}{h}$$

5.7.2 Personas

El calor sensible para personas se indica en la tabla 29.

Tabla 28 Calor sensible para personas

Nivel de actividad	Carga solar sensible	Carga calor latente
Actividad moderada, trabajo de oficina	250 Btu/ h – 75 W	200 Btu/ h – 55 W
Sentado, trabajo ligero o caminando	250 Btu/ h – 75 W	200 Btu/ h – 55 W
Trabajo ligero en fábrica	275 Btu/ h – 80 W	475 Btu/ h – 140 W
Trabajo duro	580 Btu/ h – 170 W	870 Btu/ h – 255 W
Atlético, gimnasio	710 Btu/ h – 210 W	1090 Btu/ h – 315 W

(Fuente:[33])

$$q_{sensible=Nx(Calor\ sensible\ ganado\ por\ persona)xCLF}$$

$$q_{sensible=324x\left(250\frac{Btu}{h}\right)x1}$$

$$q_{sensible=324x\left(250\frac{Btu}{h}\right)x1}$$

$$q_{sensible=81000\left(\frac{Btu}{h}\right)}$$

$$q_{latente=Nx(calor\ latente\ ganado\ por\ persona)\left(\frac{Btu}{h}\right)}$$

$$q_{latente=324x(200)\left(\frac{Btu}{h}\right)}$$

$$q_{latente=64800\left(\frac{Btu}{h}\right)}$$

5.7.3 Luces

El número de luminarias a usarse, es de una potencia de 25W estándar y cuya capacidad es 3700 lm; según la Norma Europea para Iluminación UNE12464.1 - Norma 300lux [22] (ANEXO 3). Si la luminaria alumbra 5 m^2 y se tiene un Área =1256.6m^2, se requiere de 251 luminarias entonces a 25W c/u el total de potencia es 6275 W de potencia

$$\mathrm{Q_{luz\ fluorecente}} = Wx1.25xf_{luz};\frac{Btu}{h};(\frac{kcal}{h})$$

$$\mathrm{Q_{luz\ fluorecente}} = 6275x1.25x0.25;\frac{Btu}{h};(\frac{kcal}{h})$$

$$\mathrm{Q_{luz\ fluorecente}} = 1960;\frac{Btu}{h};(\frac{kcal}{h})$$

Calor sensible total

qs=151346.9

Calor latente total

$$ql=64800\frac{Btu}{h}$$

Calor total ganado

$$q_{total} = q_{sensible} + q_{latente}$$

$$q_{total} = 216146.9\frac{Btu}{h}$$

Con el factor de calor sensible SHF se ingresa a la carta psicométrica.

$$SHF = qs/qt$$

$$SHF = 0.69$$

Se toma en cuenta las condiciones exteriores de diseño:

$$Promedio\ de\ temperatura$$

$$T = 23.1°C$$

$$Humedad\ relativa\ promedio = 65\%$$

$$Condición\ de\ diseño\ interior$$

$$Temperatura: T = 25°C\ (77°F)$$

$$Humedad\ relativa = 50\%$$

Pasos que seguir para el diseño térmico de la cúpula:

1. Determinación del factor de calor sensible.
2. Cálculo y determinación de suministro de aire exterior para la ventilación.
3. Determinación de flujo de aire hacia la cúpula.
4. Obtención de la mezcla de aire y sus condiciones.

5.7.4 FACTOR DE CALOR SENSIBLE

Para realizar el cálculo del factor de calor sensible igual a 0.69, se procede a dibujar una línea sobre la carta psicométrica para determinar la altitud de Quito de 9350 ft, desde 23.5°C (74.3) °F y un valor de humedad relativa igual a 65% (estado 3) y llegar al 90% de humedad relativa en el estado 2, como se muestra en la figura 57.

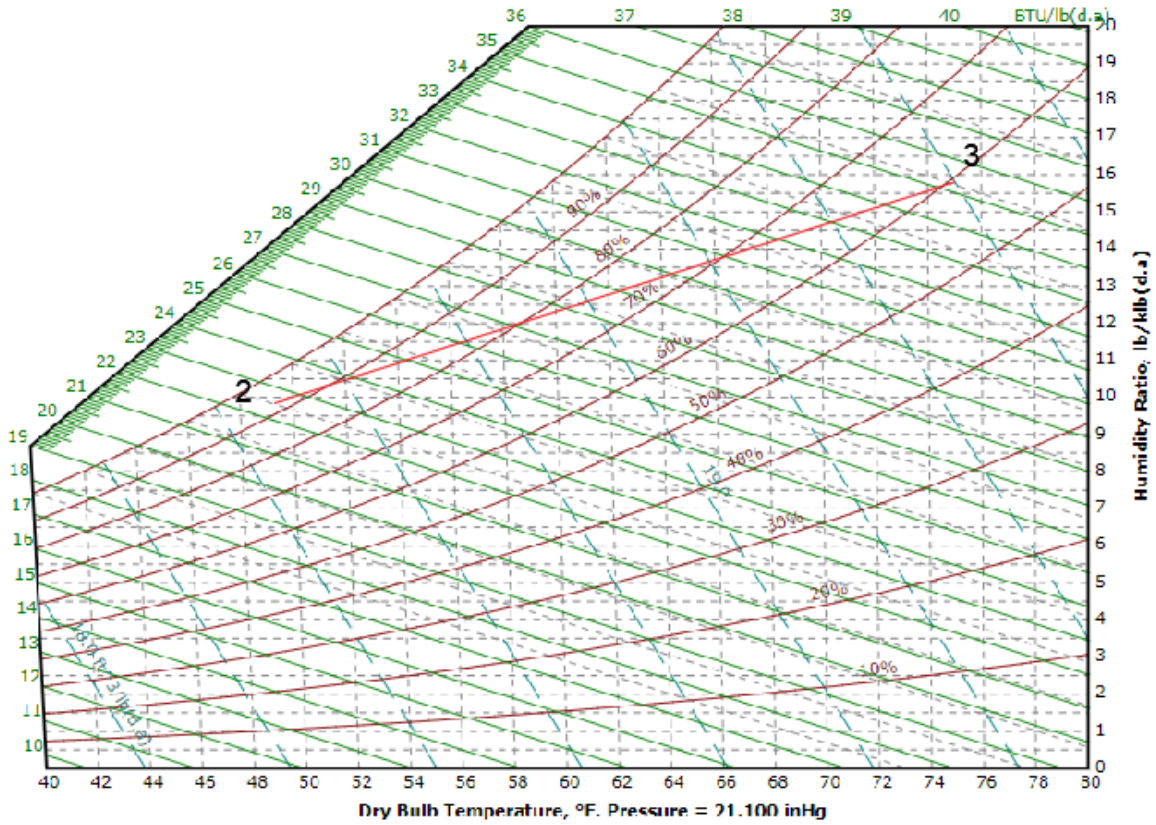


Figura 57. Factor de calor sensible

(Fuente: Propia)

Para el diseño de la ventilación, se considera que todo el aire es exterior, sin tomar en recirculación tenemos las siguientes figuras:

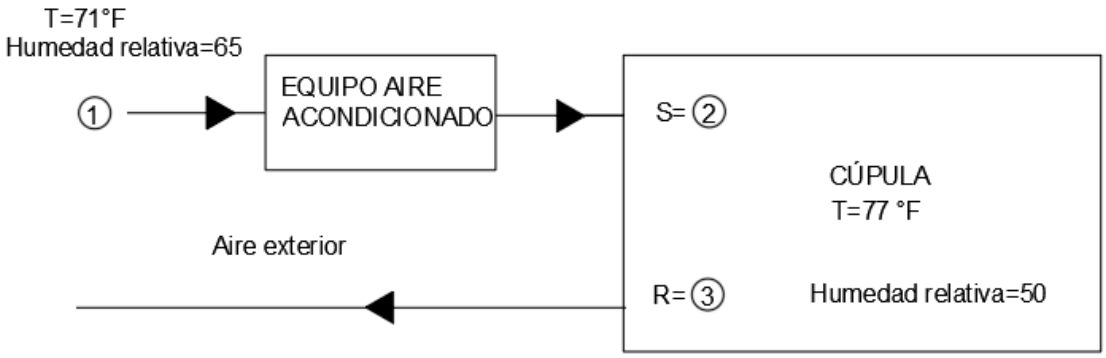


Figura 58 Ciclo del aire (total del aire exterior)

(Fuente: Propia)

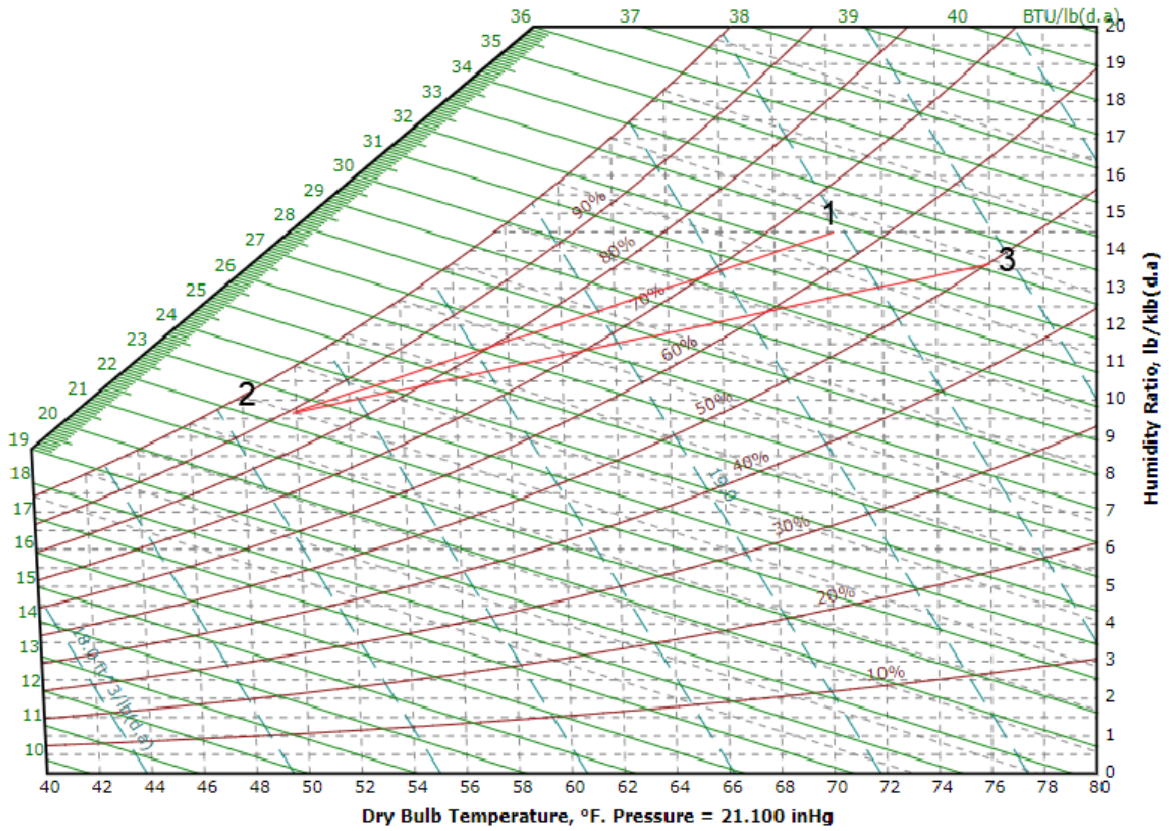


Figura 59 Carta psicométrica en la que no se tiene recirculación

(Fuente: Propia)

En la figura 59, las líneas dibujadas 1 y 2 desde el punto de aire exterior, permite obtener el factor de calor sensible de los equipos igual a 0.51.

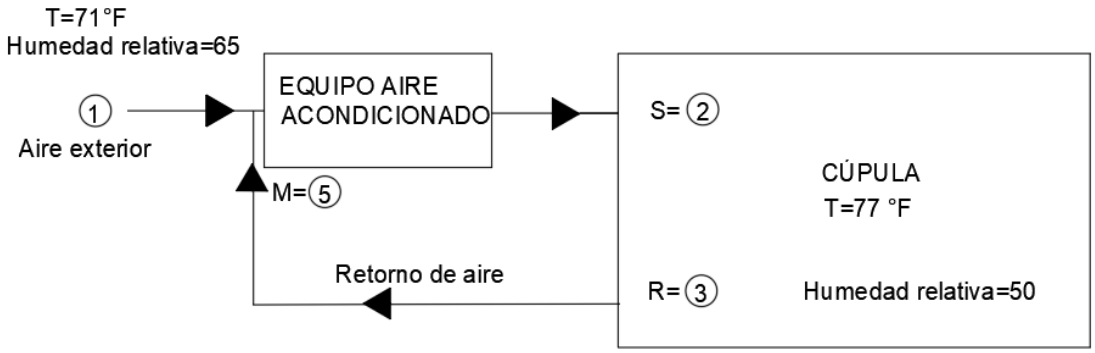


Figura 60 Con recirculación (aire exterior y del aire interior)

(Fuente: Propia)

Las condiciones de mezcla son obtenidas con la cantidad de masa de aire requerida, para la ventilación y la recirculación.

5.8 CANTIDAD DE VENTILACIÓN PARA LA CÚPULA

Según la ASHRAE 62 el número de cfm. /persona es de 7cfm/personas no fumadoras, para el presente proyecto tenemos que:

$$Q = 7\frac{cfm}{persona}x324$$

$$Q = 2268cfm$$

Masa de aire, relación de velocidades.

$$m = \frac{V}{v}$$

Cálculo de la masa exterior para ventilación.

$$m = \frac{V_1}{v_1}$$

Donde $v_1 = se\ refiere\ a\ la\ tabla\ 4.3\ punto\ 1$

$$m_1 = \frac{2268cfm * 60}{19.73\frac{ft^3}{lbm}} = 6897.11\frac{lbm}{hr}$$

Concluyendo que el flujo de masa de ventilación del aire exterior es:

Tabla 29 flujo de masa (aire exterior) para la cúpula

V1 cfm	v1 ft3/lbm	m1 lbm/hr
2268	19.73	6897.11

(Fuente: Propia)

5.8.1 Masa de aire de suministro para la cúpula

El flujo másico del sistema se lo determina con el calor sensible de la cúpula, así:

$$q_s = m_a * (\Delta h)s$$

Donde

$qs = Calor\ sensible$

$ma = masa\ de\ aire$

$\Delta h = diferencia\ de\ entalpias\ sensibles$

Utilizando la carta psicométrica, se determina las entalpias detallada en la figura 61.

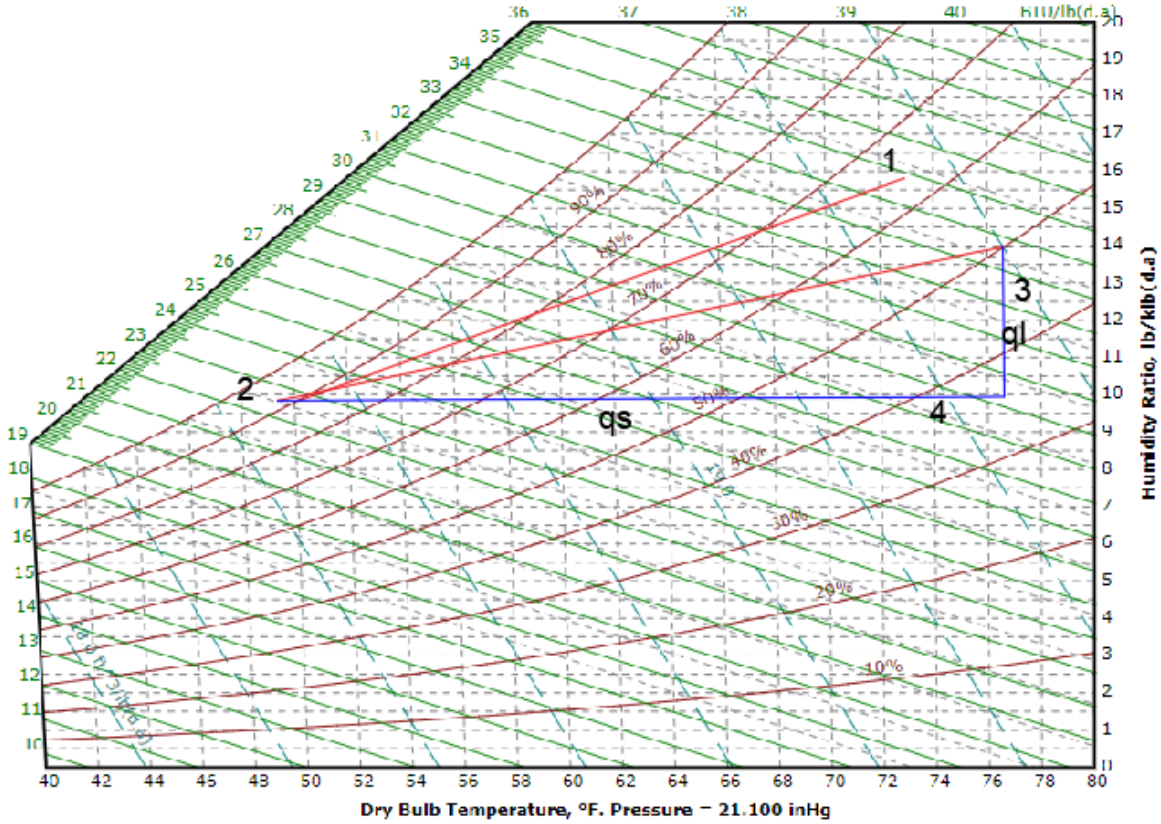


Figura 61 Carta Psicométrica para el cálculo de Δh

(Fuente: Propia)

Tabla 30 Valores obtenidos en la carta psicométrica

	t	rh	v	h	td	tw
	F	%	ft^3/lbm	Btu/lbm		F
1	73.58	65	13.46	35.66	61.10	62.28
2	50	90	18.48	22.60	47.18	48.24
3	77	50	19.60	33.97	56.96	62.73
4	77	35	19.19	29.7	47.28	43.26

(Fuente: Propia)

Con los valores de la tabla 31, se calcula el calor sensible:

$$q_s = m_a * (\Delta h)s$$

$$m_2 = m_3$$

$$m_a = \frac{q_a}{\Delta h} = \frac{q_s}{h4 - h2}$$

Para la cúpula

$$m_2 = \frac{151346.9}{29.7 - 22.60}$$

$$m_2 = \frac{151346.9}{29.7 - 22.60}$$

$$m_2 = 21316.46\ lb/hr$$

Para el flujo volumétrico:

$$m = \frac{V}{v}$$

Donde

$$V = m * v$$

$$V \quad = \frac{21316.6lb}{h} * \frac{18.48ft^3}{lb} * \frac{1}{60} = 6525.5cfm$$

Tabla 2 Flujo de masa m2 y m3 de la cúpula

	qs btu/h	m lb/h	v ft3/lb	V cfm
Cúpula	151346.9	21316.4	18.48	6525.5

(Fuente: Propia)

5.8.2 Condiciones de mezcla del aire

El estado de mezcla del aire, se la obtiene con los siguientes pasos:

1. Equilibrio de masa en la sección estudiada de la mezcla aire externo interno.
2. Obtención de la entalpia del aire de mezcla del aire de retorno y aire exterior.
3. En la lectura de la carta psicométrica se obtiene el volumen especifico, la temperatura y entalpia.

5.8.3 Balance de masas

Teniendo en cuenta la ecuación de la continuidad y basándose en la figura 49, se puede obtener la carga de aire que retorna al equipo.

$$\dot{m}_{retorno} + \dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

Donde

$\dot{m}_1 = masa\ de\ aire\ exterior$

$\dot{m}_2 = masa\ de\ aire\ en\ el\ interior\ de\ la\ cúpula$

La masa de retorno, despejada de la ecuación 4.26

$$\dot{m}_{retorno} = \dot{m}_2 - \dot{m}_1$$

$$\dot{m}_2 = 21316.4 \qquad \text{tabla 32}$$

$$\dot{m}_1 = 6897.11h \qquad \text{tabla 30}$$

$$\dot{m}_{retorno} = (21316.4\text{-}6897.11)\ \text{lb/h} = 14419.29\text{lb/h}$$

La cantidad de masas de aire que se mezclan con aire exterior es 14419.29lb/h.

Tabla 31 Masa de retorno

	m2=m3 lb/h	m1 lb/h	Flujo de masa de retorno lb/h
Cúpula	21316.4	6894.11	14419.29

(Fuente: Propia)

5.9 Cálculo de la hentalpia de la mezcla

Para obtener la entalpia de la mezcla de aire se lo obtiene al usar la figura 38 (carta psicométrica). Obteniendo las ecuaciones siguientes:

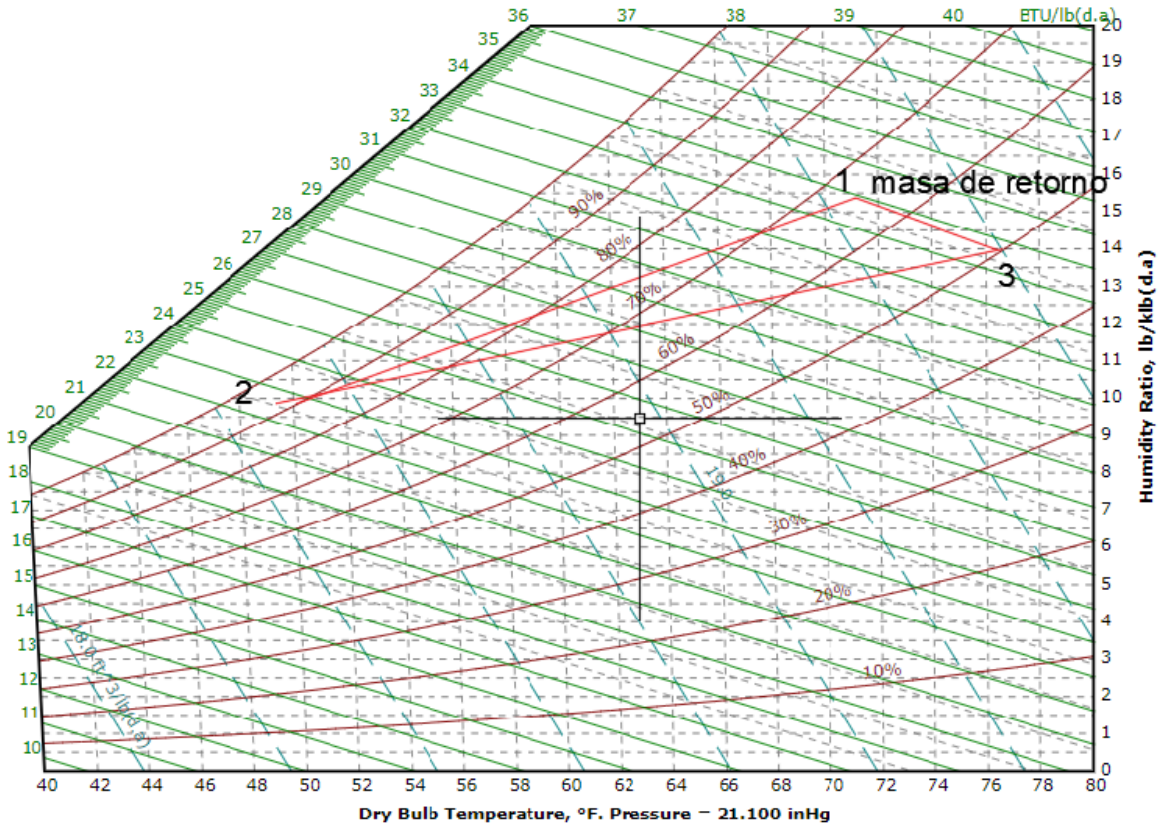


Figura 62 Carta Psicométrica para el cálculo de h mezcla

(Fuente: Propia,[34])

$$m_1 h_1 + m_{rest} h_{rest} = m_2 h_2$$

$$m_1 + m_{rest} = m_2$$

$$m_1 h_1 + m_{ret} h_{ret} = (m_1 + m_{ret}) h_2$$

$$\frac{m_1 h_1 + m_{ret} h_{ret}}{m_1 + m_{ret}} = h_2$$

Tabla 32 Valores de la tabla psicométrica

	W	t	rh	v	h	tú	tw
	llb/lb	F	%	ft^3/lb	btu/lb	F	F
1	0.01512	71	65	19.56	33.56	58.71	62.08
2	0.0098	50	90	18.63	22.64	47.24	48.22
masa de retorno	0.01421	77	50	19.57	34.05	57.01	62.59

(Fuente: Propia, [34])

Los cálculos psicrométricos se presentan en la figura 63.

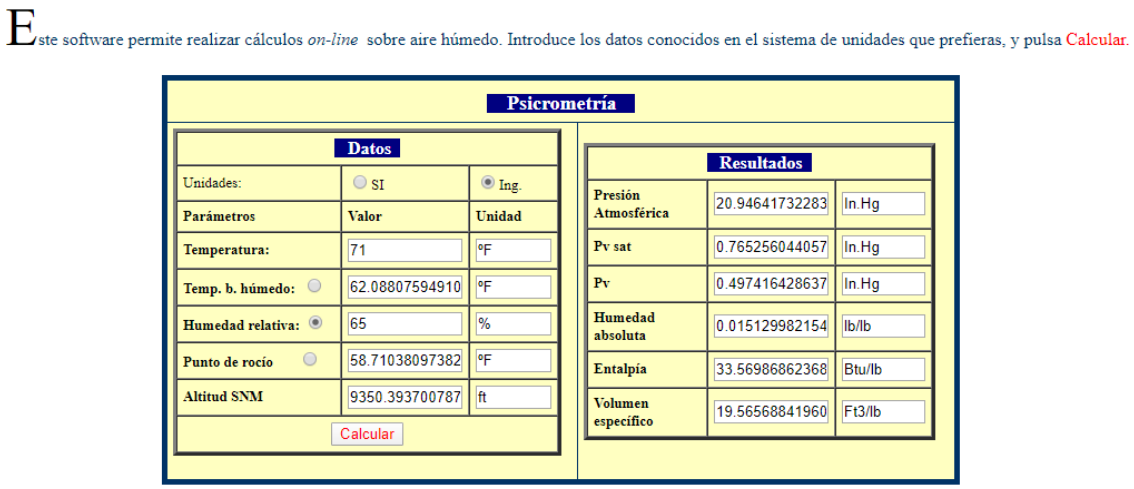


Figura 63 Carta Psicométrica online

(Fuente: Propia,[34])

Los valores de la carta psicométrica en los estados 1,2 y de retorno son:

$$h_1 = 33.56 Btu/lb$$

$$h_{ret} = 34.05$$

Se obtiene a través de cálculos:

m_1 =6897.11 lb/h

m_{ret} =14419.29 lb/h

Reemplazando en la anterior ecuación:

$$hmex = \frac{(6897.11 * 33.56) + (14419.29 * 34.05)}{6897.11 + 14419.29}$$

$$h_{retorno} = 33.89\ Btu/lbm$$

Las entalpias que corresponden a la mezcla del aire exterior y el aire que retorna para para la cúpula son:

Tabla 33 entalpia de la mezcla

	h1 btu/lbm	hret btu/lbm	hmezcla btu/lbm
Cúpula	33.56	34.05	33.89

(Fuente: Propia)

El estado 5, en la carta psicométrica, se establece teniendo una base en el valor de la entalpia tomando en consideración que la mezcla debe ser en los estados 1 y 3.

Tabla 34 Mezcla del aire (Estado 5)

	W	t	rh	v	h	td	tw
	lb/lb	F	%	ft^3/lb	btu/lb	F	F
1	0.0151	71.09	65	19.41	33.56	58.74	62.25
2	0.0098	49.90	90	18.48	22.51.	47.01	48.1
3	0.0142	77.09	50	19.60	34.05	57.07	62.82
4	0.0146	73.40	58	19.48	33.47	57.64	62.17
5	0.0221	73.40	90	19.48	22.51	57.64	62.17

(Fuente:[35])

Para obtener los pies cúbicos (CFM) requeridos que corresponden a la masa de aire que es mezclada con el aire exterior, se necesitan los valores de:

Temperatura, F = 73.4 F

Volumen, V = 19.48 ft3/lb

Entalpía, h = 33.47 btu/lb

Masa volumétrica, W= 0.0146 lb/lb

5.9.1 Factor de calor sensible latente

Para la obtención del calor sensible y calor latente, se obtiene mediante el programa online de carta psicométrica. El factor de Qs del equipo es determinado transportando la paralela desde la línea 2 – 4, hacia el centro del punto del elemento graduador Qs/Qt obteniendo el valor de 0.58.

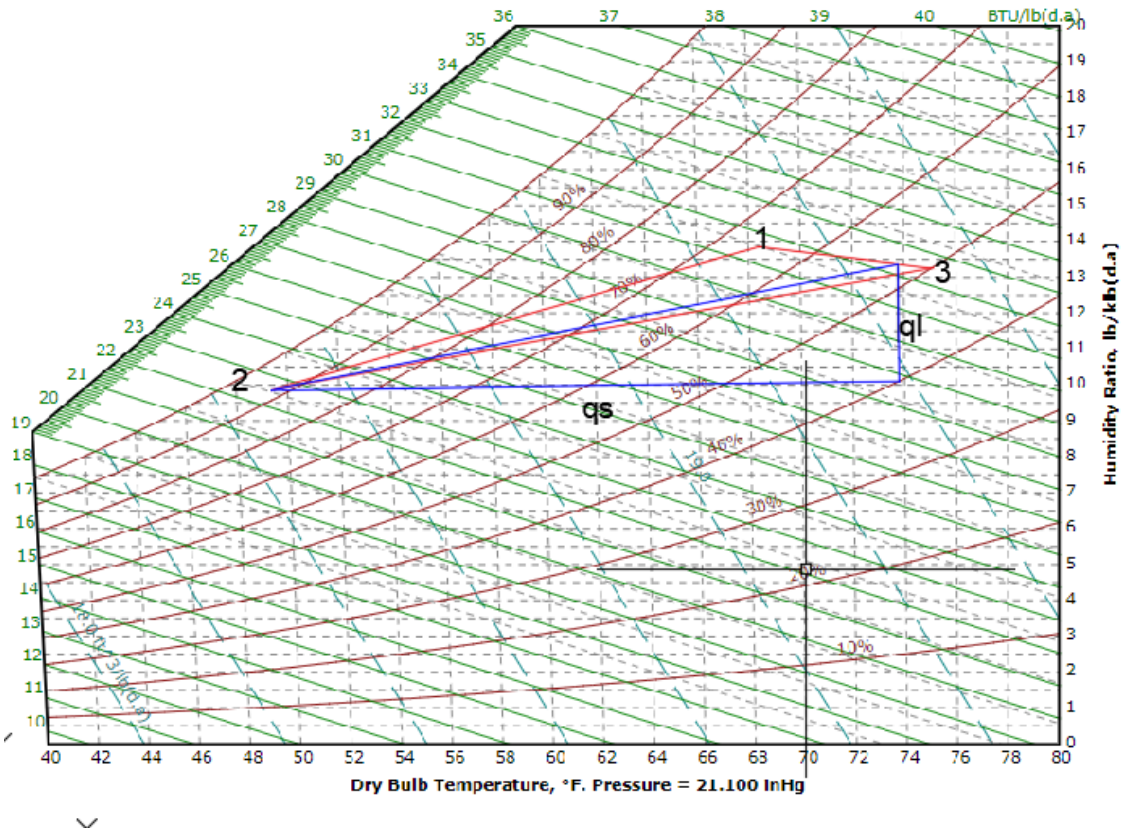


Figura 64 Carta Psicométrica

(Fuente: Propia)

Tabla 35 Datos de los estados 1 2 3 4 5

	W	t	rh	v	h	td	tw
	llb/lb	F	%	ft^3/lb	btu/lb	F	F
1	0.0151	71.09	65	19.41	33.56	58.74	62.25
2	0.0098	49.90	90	18.48	22.51	47.01	48.1
3	0.0142	77.09	50	19.60	34.05	57.07	62.82
4	0.0146	73.40	58	19.48	33.47	57.64	62.17
5	0.0221	73.40	90	19.48	22.51	57.64	62.17

(Fuente: Propia)

Para determinar el calor sensible, se usa la ecuación 28 y los valores obtenidos de la tabla 37.

$$q_s = m_a * (\Delta h)s$$

$$q_s = m_2 * (h_4 - h_2)$$

q_s =21316.4 lb/h*(33.47-22.51) Btu/lb=233627.7 Btu/h

Se indica los calores sensibles de los equipos para la cúpula.

Tabla 36 calor sensible de los equipos de la cúpula

	m_2 lb/h	h_4 Btu/lb	h_2 Btu/lb	$qs\ equipo\ Btu/h$
Cúpula	21316.4	33.47	22.51	233627.7

(Fuente: Propia)

El calor latente se lo puede obtener con la ecuación 4.17 y la tabla 4.10.

$$q_l = m_a h_{fg}(\Delta W)$$

$$h_{fg} = 128.10 \qquad \text{(pg 978 Cengel Yunus)}$$

$$q_l = 21316.4 * (0.0221 - 0.0146)$$

$$q_l = 159.87$$

En la tabla 39, se encuentran los valores de calor latente de los diferentes equipos.

Tabla 37 calor latente de los equipos

	m_2 lb/h	w_4 Btu/lb	w_5 Btu/lb	$ql\ quipo\ Btu/h$
Cúpula	21316.4	0.0146	0.0221	13107.028

(Fuente: Propia)

5.9.2 Tabla de masas y volúmenes de aire del sistema

De acuerdo con los cálculos que se realizaron, se obtuvo diferentes estados de la carta psicométrica, determinando el flujo de masa y el volumen obtenido de aire según el ciclo de norma del funcionamiento.

Tabla 38 Resumen de datos

	V_1 cfm	m_1 lbm/h	m_2 lbm/h	V_2 cfm	m_{ret} lb/h
Cúpula	2268	6897.11	21316.4	6525.5	14419.29

(Fuente: Propia)

5.9.3 Cambios de aire dentro de la cúpula

Dichos cambios son necesarios para conocer cuantitativamente, las veces en las que se renueva el aire por hora, así mediante los siguientes cálculos.

$$V = 1182462{,}34 ft^3$$

$$CFM = 6525.5$$

$$\dot{V} = 6525 \frac{ft^3}{min} * 60 \frac{min}{h} = 391500 \frac{ft^3}{h}$$

$$Cambios\ por\ hora = \frac{C}{h} = \frac{391500}{1182462.34} = 0.331$$

En base al resultado obtenido se concluye que cambia el aire total del local cada 3 horas.

5.10 ELECCIÓN DE LAS CAPACIDADES DEL EQUIPO

El equipo se seleccionó en base a las condiciones de ambientales de humedad y temperatura que se presentarán cuando la cúpula está llena, demostrando así, que es necesario la reducción de temperatura y deshumidificación del ambiente interior.

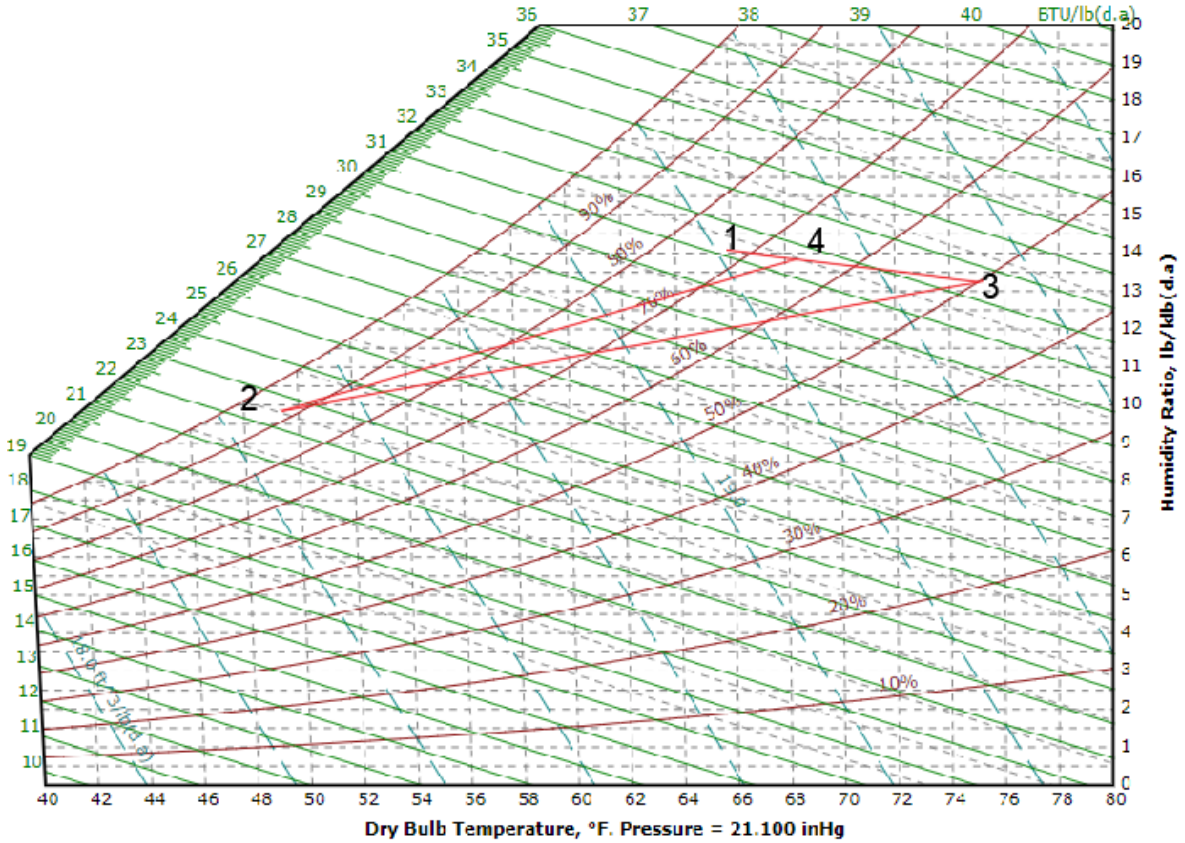


Figura 65 Ciclo del aire para la selección del equipo de climatización

(Fuente: Propia)

Los valores obtenidos de calor sensible, calor latente y flujo volumétrico que se tiene de aire para la cúpula son:

$Qs = 233\dot{6}27.7Btu/h \quad Ql = 13107.03Btu/h \quad \dot{V} = 6525.5CFM \qquad Factor\ de\ Qs = 0.69$

5.10.1 Punto de rocío del equipo

Los equipos de acondicionamiento de aire constan de un ventilador primario, un intercambiador de aletas de calor para enfriamiento y posterior deshumidificación, el cual toma el aire exterior por la entrada a través de rejillas.

El ventilador primario genera la diferencia de presión que se necesita para el caudal de aire hacia la cúpula, la presión estática requerida debe estar entre 127-203 mm.

El deshumidificador se escoge para enfriar el caudal de aire hasta un punto de rocío de 12.7°C(55°F), el punto de rocío se comprueba con la ecuación:

$$W_{adp} = \frac{W_{rm} - (W_{sa} x BF) - \frac{RLH}{0.71 x m^3/h_{da}}}{1 - BF}$$

Donde

$Wadp = humedad\ específica\ del\ punto\ de\ rocío\ (g/kg)$

$Wm = humedad\ específica\ de\ la\ habitación\ (g/kg)$

$Wsa = Humedad\ específica\ del\ aire\ que\ entra\ en\ el\ deshumidificador\ (g/kg)$

$RLH = Calor\ latente\ en\ la\ habitación\ (Kcal/h)$

$\frac{m^3}{h_{da}} = caudal\ de\ aire\ deshumidificador\ (\frac{m^3}{hr})$

$BF = factor\ de\ by\ pass\ del\ deshumidificador$

De la carta psicométrica, partimos de una temperatura de punto de rocío del aparato igualada a la temperatura de saturación que corresponde a Wasp.

De los equipos el punto de rocío del ambiente de la cúpula, es calculado con los datos de la tabla 40 usando el sistema internacional obteniéndose que:

A 25 °C y 50% humedad relativa

Wm= 13.86g/kg

Wsa=9.922g/kg

RLH=13107.3 Btu/h=3302.98 Kcal/h

$$\frac{m^3}{h_{da}} = 6525.5\ cfm = 11086.89 \frac{ft^3}{h}$$

BF=0.16

$$W_{adp} = \frac{13.86 - (9.7 - 0.16) - \frac{4502}{0.71 * 11086.89}}{1 - 0.16}$$

$$W_{adp} = \frac{13.86 - (9.7x0.16) - \frac{4502}{0.71 * 11086.89}}{1 - 0.16}$$

$$W_{adp} = 14.15 g/kg$$

La humedad específica de 14.15 g/kg (0.01418lb/lb) y en la carta psicométrica se encuentra que T=15.5°C (60F)

Ordenando los valores en tabla tenemos que:

Tabla 39 punto de rocío de los equipos

Wadp		Temperatura	
g/kg	lb/lb	°C	°F
14.15	0.01418	15.5	60

(Fuente: Propia)

5.10.2 Selección de equipo y distribución

Para seleccionar los equipos debemos tomar en cuenta dos puntos principales.

- Equipos requeridos para procesar el aire
- Distribución de aire del sistema dentro de la cúpula

Para enfriar el interior de la cúpula, consideraremos un equipo centralizado donde el aire es adecuado en un proceso de transferencia de calor y a través de ductos de ingreso y retorno.

El equipo de climatización utilizado es similar al presentado en el anexo 8 del catálogo YORK, cuyas especificaciones técnicas son[18]

$Enfriador\ de\ aire$

$Modelo: york\ 060S50$

$Capacidad\ de\ enfriamiento: 48000\ BTU/h$

$Caudal\ de\ aire: 6250\ cfm$

$Relación\ de\ calor\ sensible: 0.7$

$Presión\ estática:\ 0.9\ pulg\ de\ H2O$ (ANEXO 11)

5.11 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE

El ingreso de suministro y retorno de la masa de aire se realiza a través de ductos metálicos.

5.12 Consideraciones generales de diseño

Las consideraciones de diseño son:

- El aire debe dirigirse de la forma más perpendicular posible

- El ingreso de aire debe ser silencioso

- Se debe evitar cambios bruscos de dirección

- Los materiales deben ser uniformes

- Las juntas deben ser selladas

- Se debe seguir la Norma SMCNA

5.13 Espacio disponible

Se dispone de 125 metros lineales que corresponden a la circunferencia interna de la cúpula, la altura máxima donde puede ir montado la ductileria es de 3.5 metros. Como se muestra en la figura 66.

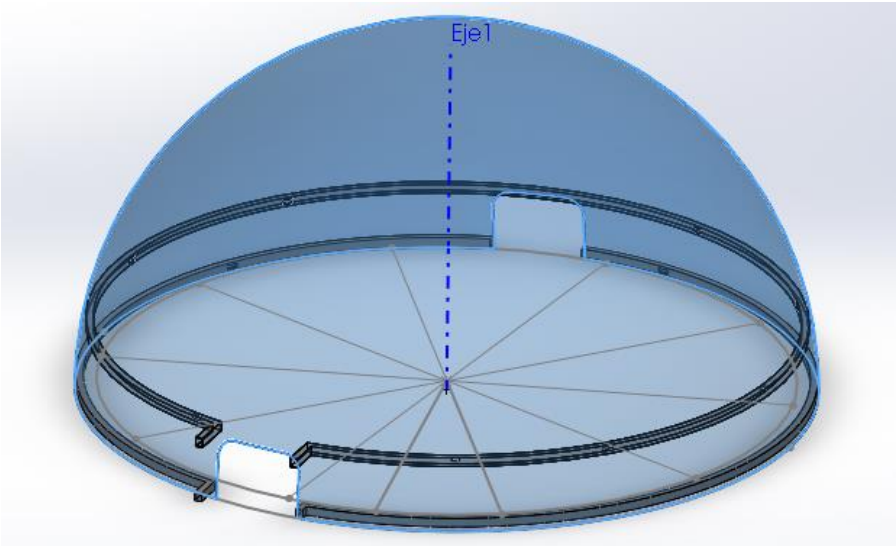


Figura 66 Figura representativa del diámetro del domo

(Fuente: Propia)

5.13.1.1 Relación espacio-presión

La presión dentro de la cúpula deberá ser positiva siempre con la finalidad de evitar el ingreso de aire que no ha sido tratado a la cúpula.

5.13.1.2 Aislamiento de ductos

Se recomienda aislar los ductos con aislante térmico, para evitar pérdidas de calor innecesarias.

5.14 Métodos de diseño

Los métodos utilizados internacionalmente son:

1. Igual fricción
2. Velocidad reducida
3. Presiones variables
4. Velocidad constante [16]

En el presente proyecto se utilizará el método de igual fricción, pues es, el más utilizado en el Ecuador.

5.14.1 Método de fricción

El método de igual fricción se basa en establecer una misma disminución de presión por medida por longitud para todo el sistema de ductos[16]

5.14.2 Procedimiento

El procedimiento por seguir es:

1. Determinar la cantidad másica de aire de la sección del ducto rectangular.
2. Respecto a la fricción aire-ducto se determina luego de seleccionar la velocidad de salida del impulsor del ventilador.
3. Determinar el diámetro teórico de las secciones por unidad de fricción.
4. Transformar el diámetro de cada sección a su equivalente en rectangulares.
5. La disminución de presión a lo largo del ducto es la unidad de fricción multiplicada por una longitud equivalente.

Se presenta el diagrama unifilar de ductos de suministro de aire y retorno para la cúpula.

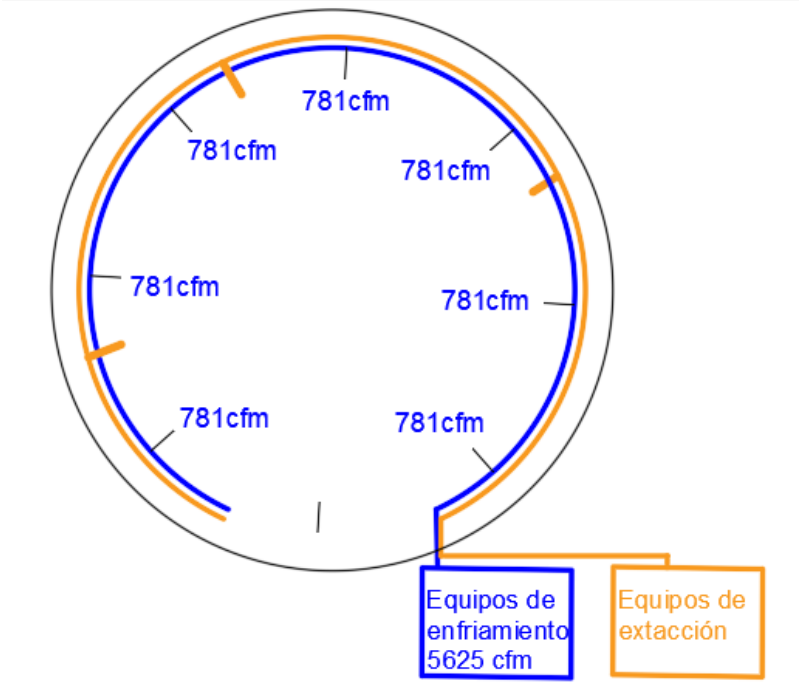


Figura 67 diagrama unifilar de ductos de suministro

(Fuente: Propia)

Los equipos que se usarán para el enfriamiento de la cúpula son 6250 cfm a nivel de mar, con un factor de seguridad de 0.9, entonces se trabajará con 5625 cfm mismos que se dividen en 8 rejillas, en las cuales se entregarán 703 cfm por rejilla de suministro y 4 rejillas de extracción de 703 cfm, para el sistema de retorno 2812 CFM.

5.15 CÁLCULO DE DUCTOS

Se realizará el dimensionamiento para suministros y luego para retorno de ductos de suministro.

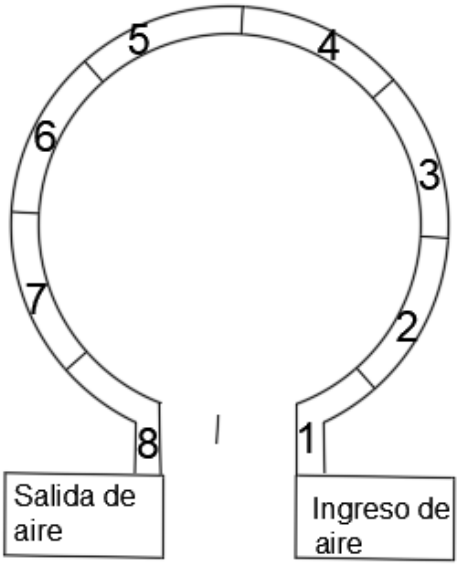


Figura 68 tramos de sistema de ductos para cálculo de perdidas por fricción

(Fuente: Propia)

Tabla 42 Cálculos de ductileria, pérdidas por sección, longitud equivalente y las pérdidas acumuladas en los ductos de suministros.

Tabla 40 Dimensionamiento de ductos de ingreso

Tramo	vol. cfm		Vel.	Pérd.	Diámetro.	Ducto rectangular.		Long. Equiv.	Pérdidas acum
		m3/h	De salida	por fricción del conjunto					
			(m/s)	pa	mm	a	b	m	pa
1	5625	9556,9	9,86	98	653.84	72.5	49.5	17,5	98
2	4921,9	8362,3	9,53	69,7	539,28	62,5	39	34,85	1628
3	4306,6	7317,0	9,22	69,7	512,97	60	37	52,2	3158
4	3768,3	6402,4	8,91	69,84	487,95	57,5	34,5	69,55	4688
5	3297,3	5602,1	8,62	69,84	464,15	55	33	86,9	6218
6	2885,1	4901,8	8,51	69,84	441,51	55	29,5	104,25	7748
7	2524,5	4289,1	8,06	69,84	419,98	52,5	28	121,6	9278
8	2208,9	3753,0	7,8	69,84	399,49	50	26,5	138,95	10808

(Fuente: Propia,[36])

La pérdida acumulada es de 10808 Pa, en un radio de 125.6 metros de diámetro de la cúpula.

5.15.1 Ductos para el retorno

En la figura 69 se muestra los tramos para el retorno de la ventilación.

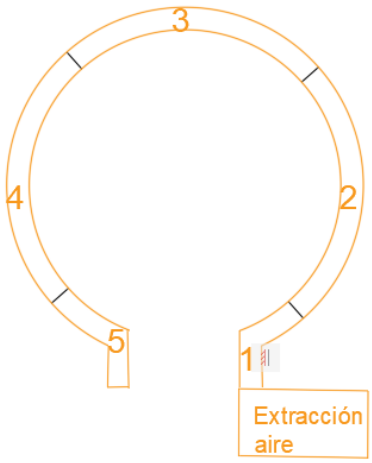


Figura 69 retorno de aire diseñado para la cúpula

(Fuente: Propia)

Tabla 41 Dimensionamiento de ductos de retorno

Tramo	vol. cfm		Vel.	Pérd.	Diámetro.	Ducto rectangular.		Long. Acumulado.	Pérdidas acum.
		m3/h	De salida	por fricción del conjunto					
			(m/s)	pa	mm	a (mm)	b (mm)	m	pa
1	2812,5	4778,46	8,28	69,84	437,3	550	290	25,132	69,84
2	2109,4	3583,8	7,71	69,84	359,44	500	260	50,232	139,68
3	1582,0	2687,9	7,17	69,84	352,55	450	230	75,332	209,52
4	1186,5	2015,9	6,67	69,84	316,49	425	195	100,432	279,36
5	889,9	1511,9	6,2	69,84	284,21	400	170	125,532	349,2

(Fuente: Propia)

Se tiene una pérdida de presión acumulada de 349 Pa para el retorno.

5.15.2 Ventilador de extracción

El ventilador utilizado para la extracción debe tener la capacidad de extraer 2812 cfm a presión estática mínima de 349 pa [37]. Las características del ventilador de extracción son:

Modelo CRC-CRA -260 Ventilador de presión media

Marca: Airtec

Capacidad de extracción 3000 cfm

Presión estática: 677 Pa

5.15.3 Lineamientos para la construcción de los ductos y aditamentos del sistema usado para la ventilación.

1. Los ductos deben guardar concordancia con los planos del proyecto planteados, sin embargo, debido a facilidad constructiva se debe tratar de que el cambio de sección en los ductos sea lo menor posible.
2. La ductileria debe tener un aislamiento térmico para que cumpla la función de llevar aire fresco al interior de la cúpula.
3. Los empates deben sellarse adecuadamente para evitar fugas con sellantes de silicona.
4. El material recomendado y de mayor uso en el mercado es la plancha de acero galvanizado.

6 COSTOS

Los costos para el sistema estructural y la climatización de la cúpula astronómica se describen a continuación:

Tabla 44 Costo de Mano de Obra

MANO DE OBRA DE ELEMENTOS SECUNDARIOS													
MAQUINARIA	**CANTIDAD**	**SOLDADURA**		**TRONZADORA**		**ESMERIL**		**TALADRO**		**OPERARIO GENERAL**		**SUB-TOTAL**	**TOTAL**
COSTO HHM [$]		**15**		**4**		**2**		**4**		**2**			
PIEZA		**CANT**	**USD**	**CANT**	**USD**	**CANT**	**USD**	**CANT**	**USD**	**CANT**	**USD**		
Anclajes	1	32	480	32	128	32	64	0,25	1	0,5	1	674	754,88
Nervio Base	1	64	960	64	256	64	128	0,5	2	0,5	1	1347	1508,64
Placas base	3	32	480	32	128	0	0	0	0	0,25	0,5	608,5	681,52
Puertas superiores	3	2	30	2	8	2	4	2	8	5	10	60	67,2
Riel inferior	2	125	1875	32	128	32	64	21	84	64	128	2279	2552,48
Riel Superior	2	125	1875	32	128	32	64	21	84	64	128	2279	2552,48
TOTAL		380	5700	194	776	162	324	44,75	179	134,25	268,5	7247,5	8117,2

Fuente: Propia

Tabla 42 Costo de elementos mano de obra en ductileria

MANO DE OBRA DE ELEMENTOS SECUNDARIOS DE CLIMATIZACION											
EQUIPOS	**CANTIDAD**	**SOLDADURA LLAMA**		**DOBLADORA**		**TALADROS**		**OPERARIO**		**SUB-TOTAL**	**TOTAL**
COSTO HHM [$]		**15**		**4**		**4**		**2**			
PIEZA		**CANT**	**USD**	**CANT**	**USD**	**CANT**	**USD**	**CANT**	**USD**		
Anclajes	1	-	-	-	-	125	500	0,5	1	501	561,12
Ductileria	1	32	480	32	128	32	128	32	64	800	896
Empates	3	16	240	32	128	0	0	0,25	0,5	368,5	412,72
Soportes	3	0	0	0	0	64	256	32	64	320	358,4
TOTAL		48	720	64	256	221	884	64,75	129,5	1989,5	2228,24

Fuente: Propia

Tabla 43 Costo materiales

PIEZA	**PERFIL HP**		**PERFIL CUADRADO**		**TOL AL CALOR**		**TUBO CUADRADO**		**ANGULO**		**TOTAL**
	HP 16X88		**HSS 5X2X1,25**		**1,22X2,44x0,75 in**		**50X50X3**		**60X4**		
COSTO UNITARIO	**12**	**$/m**	**9,41**	**$/m**	**100**	**$/m**	**4,52**	**$/m**	**5,2**	**$/m**	**$**
	CAN	**USD**	**CAN**	**USD**	**CANT**	**USD**	**CAN**	**USD**	**CAN**	**USD**	
COLUMNAS	458	5496	0	0	0	0	0	0	0	0	5496
VIGA	0	0	825	7763,25	0	0	0	0	0	0	825
SOPORTE	0	0	0	0	32	3200	0	0	0	0	3200
UNION NORMALIZADA	0	0	0	0	0	0	187	845,24	0	0	845,24
REFORZAMIENTO	0	0	0	0	0	0	0	0	200	1040	1040
RIOSTRAS	0	0	0	0	0	0	0	0	1100	5720	5720
TOTAL	0	0	1,5	14,12	2,08	27,2	6	27,12	9,5	24,37	**17126,24**

Fuente: Propia

Tabla 44 Costo total de fabricación

RUBRO	VALOR [$]
Mano de Obra Estructural	8117,2
Mano de Obra Ductileria	2228,24
Materiales Estructural	17126,24
Material ductileria	8716
Ventiladores	3500
Subtotal	39687,68
Montaje (15%)	5953,152
Imprevistos (10%)	595,3152
TOTAL	**46236,1472**

(Fuente: Propia)

7 CONCLUSIONES

El uso adecuado de programas CAD permite contrastar los resultados obtenidos a través de cálculos matemáticos, validando el diseño y permitiendo realizar geometrías más complejas de difícil cálculo matemático.

Se utiliza en el diseño perfiles laminados en caliente, los sistemas de conexión estructural se detallan en los planos de taller y el material de aporte debe ser electrodo E7018.

La aplicabilidad de las Normas Ecuatorianas de la Construcción debe ser revisada constantemente, esto debido a que se basa en normas internacionales como la NEC 360-2014, mismas que ha sido actualizada a la NEC 360-2016.

El diseño de estructuras metálicas es un método seguro y eficiente cuyas propiedades constructivas nos permiten realizar geometrías complejas como las de la presente tesis, disminuyendo el peso de la estructura y por ende el riesgo de lesiones hacia los usuarios finales por eventos sísmicos.

La estructura diseñada puede ser escalada para acoplarse en diferentes terrenos y lugares del país, cumpliendo siempre las restricciones de material, y utilizando técnicamente los factores de suelo de la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

El cumplimiento del protocolo de pruebas en la estructura nos permitirá tener una mayor fiabilidad de la estructura, esto debe ir acompañado de los ensayos destructivos y no destructivos pertinentes que permitan asegurar.

La climatización cumple con el objetivo de crear un ambiente dentro la cúpula astronómica, generando confort térmico para los usuarios, tomando en consideración los equipos adecuados.

Para el diseño de climatización se han considerado la localización de la cúpula, en el valle de Malchingui, por lo que los datos ingresados corresponden a los brindados por el INAHMI[38].

El cumplimiento del protocolo de pruebas en el sistema de climatización, ayudará en el cumplimiento de la vida útil del equipo.

8 RECOMENDACIONES

Durante la implementación del presente diseño se debe realizar la actualización de costos debido a la inflación, precios internacionales del acero y eventos de fuerza mayor.

Se debe verificar la simulación, para que los resultados obtenidos nos permitan obtener el mejor diseño, a través del proceso interactivo y comparación de diferentes modelos.

En la instalación de los equipos, se debe considerar las especificaciones y recomendaciones realizadas por el proveedor de cada uno de las máquinas.

Se recomienda que el número de personas que ingresan a la cúpula, no sea mayor al número de total de personas calculado, debido a que un exceso podría hacer que los equipos no trabajen adecuadamente.

Evitar mantener que rendijas, puertas y ventanas permanezcan abiertas para que el consumo eléctrico de los equipos de aire acondicionado sea menor.

Se recomienda realizar los mantenimientos preventivos a los equipos de climatización en forma trimestral.

Se recomienda el uso de luces fluorescentes o led y no incandescentes debido al menor consumo de energía y la menor radiación de calor hacia el ambiente.

9 BIBLIOGRAFIA

[1] “https://www.gerdau.com/gerdaucorsa/es/productsservices/products/Document Gallery/miembros-en-tension.pdf. [Accessed: 19-May-2020].

[2] O. Alvarez *et al.*, “Elaboración 2012.”

[3] J. C. McCormac and S. F. Csernak, “Diseño de Estructuras de Acero-Quinta Edición,” p. 736, 2012.

[4] S. F. C. Jack C. McCormac, “Diseño De Estructuras De Acero,” *Diciembre*, p. 737, 2011.

[5] “Future Adaptability | American Institute of Steel Construction.” [Online]. Available: https://www.aisc.org/why-steel/resources/future-adaptability/. [Accessed: 19-May-2020].

[6] R. Argüelles Álvarez, R. Argüelles Bustillo, and F. Arriaga, *Estructuras de acero 1*. 2013.

[7] M. de D. U. y V. MIDUVI and C. de la I. de la C. CAMICON, “Norma NEC-SE-CG Cargas (No Sísmicas),” *Nec*, vol. Capítulo 1, pp. 1689–1699, 2015.

[8] Donald R. Askeland, “Materiales Cerámicos,” *Ciencia e ingenieria de los materiales*. pp. 400–440, 2005.

[9] V. Y. Pilares, “ELEMENTOS ESTRUCTURALES COMPUESTOS :,” pp. 328–331.

[10] AISC, *Especificación ANSI / AISC 360-10 para Construcciones de Acero*. 2010.

[11] Fisher; James M., “Base Plate and Anchor Rod Design,” *AISC Des. Ser.*, p. 73, 2006.

[12] E. Diego, A. Valencia, E. Luis, and F. Guevara, *Peligro sísmico*. .

[13] R. L. Hedrick *et al.*, “Ventilation for acceptable indoor air quality,” *ASHRAE Stand.*, vol. 2013, no. 62.1-2013, 2013.

[14] L. S. R. Jennings Burgess H., “Aire Acondicionado y Refrigeración,” 1958.

[15] N. Colocho, P. Daza, and M. Guzman, “Manual básico de sistemas de aire acondicionado y extracción mecánica de uso común en arquitectura,” p. 174, 2011.

[16] V. Cámara, “Diseño y construcción de un sistema de ductos para la climatización zonificada de un invernadero de fresa,” 2017.

[17] “Ductos - Aires aconidionados industriales | THERMOMECANIC.” [Online]. Available: https://thermomecanicsa.com/ductos/. [Accessed: 19-May-2020].

[18] A. Burdick, “Strategy guideline: Accurate heating and cooling load calculations,” *Guidel. Improv. Duct Des. HVAC Syst. Home*, no. June, pp. 103–138, 2012.

[19] “Batería de intercambio de acero inoxidable - CIAT.” [Online]. Available: https://www.directindustry.es/prod/ciat/product-8605-1324487.html. [Accessed: 19-May-2020].

[20] “Inicio - Observatorio Astronómico de Quito - OAQ.” [Online]. Available: https://oaq.epn.edu.ec/. [Accessed: 24-May-2020].

[21] “Tipos de telescopios.” [Online]. Available: https://www.astrocordoba.es/articulos-astronomicos/66-tipos-de-telescopios. [Accessed: 02-Jun-2020].

[22] Aenor, “UNE 12464.1: Norma europea sobre la iluminación para interiores,” pp. 1–15, 2012.

[23] M. By and C. Zeiss, “// PLANETARIOS.”

[24] “Proyectores Digitarium | Planetarios Digitales.” [Online]. Available: http://digisatel.com/planetarios_digitales.html. [Accessed: 03-Jun-2020].

[25] “(No Title).” [Online]. Available: http://www.planetariocanopus.com.ar/proydigital/proydigit.html. [Accessed: 03-Jun-2020].

[26] “Motor Electrico Funcionamiento Partes y Qué Es. Motor de Corriente Continua y Alterna.” [Online]. Available: https://www.areatecnologia.com/EL MOTOR ELECTRICO.htm. [Accessed: 15-Jun-2020].

[27] K. J. BUDYNAS, RICHARD G. NISBETT, “Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley,” *Igarss 2014*, no. 1, pp. 1–5, 2014.

[28] “Reductores Reductores sinfín/corona Gearboxes Worm Gearboxes.”

[29] “NEUMAC - MOTORES NEUMÁTICOS.” [Online]. Available: https://www.neumac.es/index.php/es/productos/motores-neumaticos. [Accessed: 17-Jun-2020].

[30] “Future Adaptability | American Institute of Steel Construction.” [Online]. Available: https://www.aisc.org/why-steel/resources/future-adaptability/. [Accessed: 24-May-2020].

[31] L. E. Su, “Volumen 1 INTRODUCCIÓN VISUAL A SAP2000,” 2004.

[32] Y. A. Cengel and M. A. Boles, “Termodinámica,” p. 1041, 2012.

[33] S. et al Nicklas, “ASHRAE Handbook HVAC Systams and Equipment. USA,” no. 28, p. 955, 2016.

[34] J. A. B. Wissing, M. P. Wissing, M. M. du Toit, and Q. M. Temane, “Psychometric properties of various scales measuring psychological well-being in a South African context: The FORT 1 Project,” *J. Psychol. Africa*, vol. 18, no. 4, pp. 511–520, 2008.

[35] “Psicrometría.” [Online]. Available: http://www.sc.ehu.es/nmwmigaj/CartaPsy.htm. [Accessed: 19-May-2020].

[36]: : “Cálculo de Conductos para Climatización y Aire Acondicionado ISOVER ::” [Online]. Available: http://isover.net/programaconductos/. [Accessed: 20-May-2020].

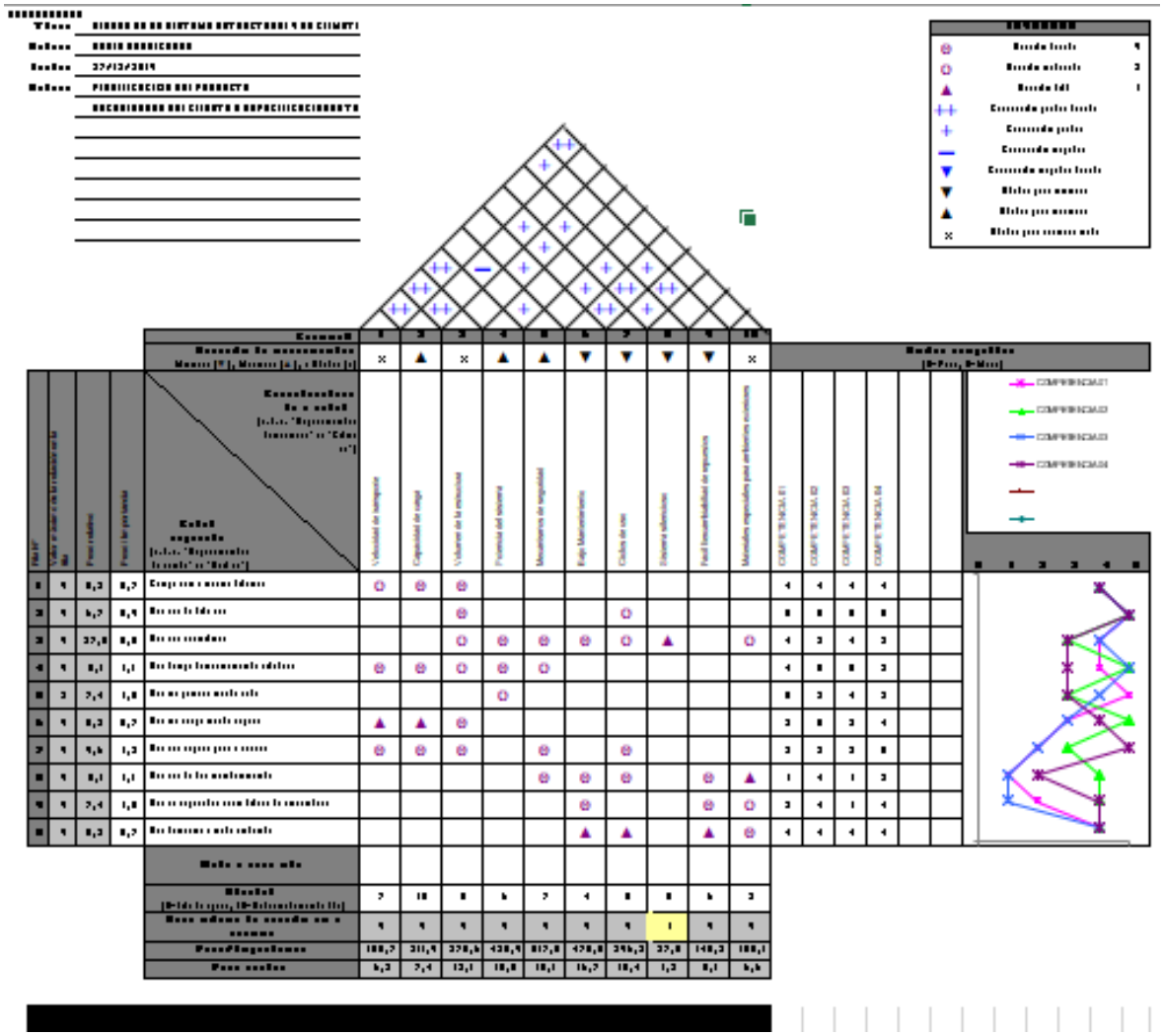
[37] V. Centrifugo and P. Media, “Modelo crc - cra.”

[38] INAMHI, “Anuario Meteorológico Nro 51-2011,” *Dir. Gestión Meteorológica*, vol. 51, p. 149, 2014.

ANEXOS

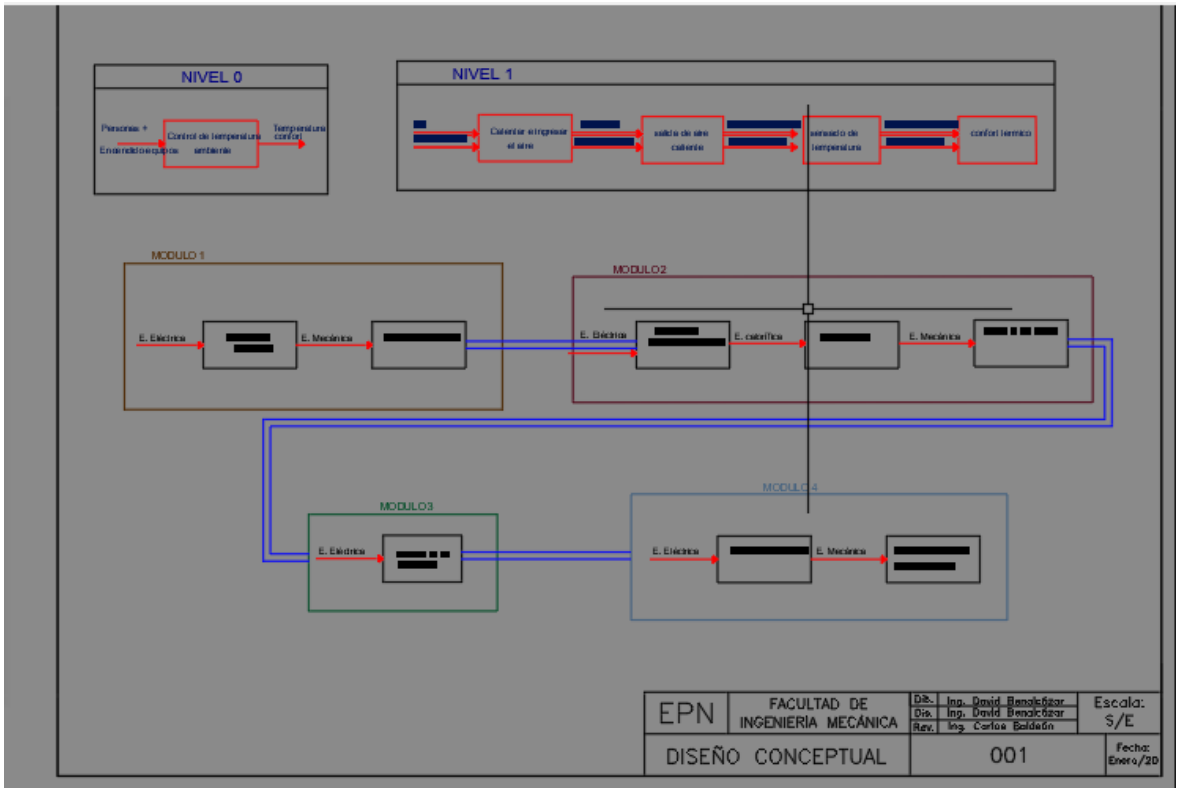
ANEXO 1

CASA DE LA CALIDAD



ANEXO 2

DIAGRAMA FUNCIONAL



ANEXO 3

RECOMENDACIONES DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA ESTRUCTURAL

Con el objetivo de precautelar la estructura de ataques atmosféricos, contaminantes y derrumbes se debe seguir el siguiente mantenimiento.

1. Toda la estructura metálica que esté expuesta a factores externos debe ser sumergida en galvanizado en caliente, para su posterior montaje.
2. Se debe realizar por lo menos una vez al año, ensayo visual para establecer el grado de corrosión y determinar el tratamiento de limpieza, pintura o galvanizado.
3. La superficie debe tener protección anódica o de sacrificio.
4. Realizar pintura de las partes afectadas por la corrosión por lo menos una vez al año.
5. Revisar el espesor de los elementos estructurales cada 4 años, para considerar un reforzamiento en el caso de que se haya producido corrosión.
6. Aislar la estructura del suelo.
7. No sobrecargar la estructura más allá de la carga para la que fue diseñada.
8. Para la cimentación se debe prevenir la degeneración de los soportes metálicos, se debe realizar una correcta impermeabilización y preparación previa del suelo.
9. Se deberá comunicar oportunamente a un técnico competente la aparición de daños, por causa de excavaciones o próximas y nuevas construcciones.
10. Se recomienda conservar la documentación técnica relativa a la estructura y cimentaciones, así como también sus características técnicas.
11. Se prohibirá cualquier uso que produzca una humedad mayor que la habitual.
12. Cualquier modificación de los componentes de la estructura debe ser justificada y comprobada mediante los cálculos oportunos.
13. No se permitirá actuaciones sobre los elementos estructurales de la cúpula, sin estudios previos y autorización de un técnico competente.
14. Después de un periodo prolongado de lluvias y vientos fuertes, se deberá inspeccionar visualmente la aparición de humedades en el interior del edificio o en el exterior para evitar que se obstruyan los desagües de agua.
15. Se debe eliminar cualquier tipo de vegetación

PROHIBICIONES

1. No se transmitirá sobre la cubierta cuando ésta se encuentre mojada.
2. No se permitirá sobre la cubierta elementos que puedan perforarla.
3. No se cambiará las características funcionales de la cúpula.
4. No se verterán productos químicos sobre la cúpula.

ANEXO 4

RECOMENDACIONES DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN

El sistema de climatización forma parte de la instalación térmica de la cúpula, para mantener la calidad y seguridad se deberá seguir las siguientes observaciones.

1. Revisar el sistema de conexiones eléctricas.
2. Revisar los filtros de aire de los equipos.
3. Se debe revisar cada 6 meses los ductos de obstrucciones y exceso de polvo.
4. Se debe revisar el buen estado de las rejillas.
5. Se debe revisar que el cableado esté en buenas condiciones.
6. Se realiza un mantenimiento de los motores de los ventiladores y aires acondicionados al menos cada 6 meses.
7. Cambios de rodamientos y acoples mecánicos se deberá realizar cada año.
8. Se realiza la limpieza de condensadores y evaporadores cada 3 meses.
9. Se comprueba que no existan fugas en tuberías.
10. Se comprueba que no exista fugas en los ductos.
11. Se debe comprobar el correcto funcionamiento de las válvulas de expansión.
12. Se debe comprobar el correcto funcionamiento de los controles.
13. Verificar el estado de los soportes.
14. Revisar el correcto estado de los termostatos.
15. Cambiar de refrigerante por lo menos cada 3 años según especificaciones del fabricante.

ANEXO 5

REGISTRO PARA REVISIÓN ESTRUCTURAL

Interventor: _____

1.- **Verificación visual de todos los componentes:**

Estado de los elementos			
Elemento	**Bueno**	**Malo**	**Regular**
Columna			
Viga			
Arriostramientos			
Soldaduras			
Cimentación			
Reforzamientos			

2.- Verificación de deflexiones principales

Dimensión	Diseño	Construcción	Aceptación	
			Si	**No**
Largo total (mm)				
Ancho total (mm)				
Altura total (mm)				

3**.- Verificación de los elementos**

Estado de los elementos			
Elemento	**Bueno**	**Malo**	**Regular**

4.- Pruebas aplicadas finales

Estado de los elementos				
Prueba	**Bueno**	**Malo**	**Observación**	**Informe técnico**
Inspección Visual				
Tintas penetrantes				
Ultrasonidos				
Rx				

5.- Resultado obtenido

RESULTADO				
Ensayo	**Aprueba**	**No aprueba**	**Tiempo**	**Observación**
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

Observación
_____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____

Atentamente,

Interventor 1 **Interventor 2**

ANEXO 6

REGISTRO PARA LA REVISIÓN DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN

Interventor 1: _____

Interventor 2: _____

1.- **Verificación visual de todos los componentes:**

Estado de los elementos			
Elemento	Bueno	Malo	Regular

2.- Verificación de dimensiones principales.

Dimensión	**Diseño**	**Construcción**	**Aceptación**	
			Si	**No**
Largo total (mm)				
Ancho total (mm)				
Altura total (mm)				

3**.- Trabajo sin carga**

Estado de los elementos			
Elemento	**Bueno**	**Malo**	**Regular**

4.- **Trabajo con carga**

Estado de los elementos			
Elemento	Bueno	Malo	Regular

5.- Resultado obtenido en el marco de cera

RESULTADO				
Ensayo	Aprueba	No aprueba	Tiempo	Observación
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

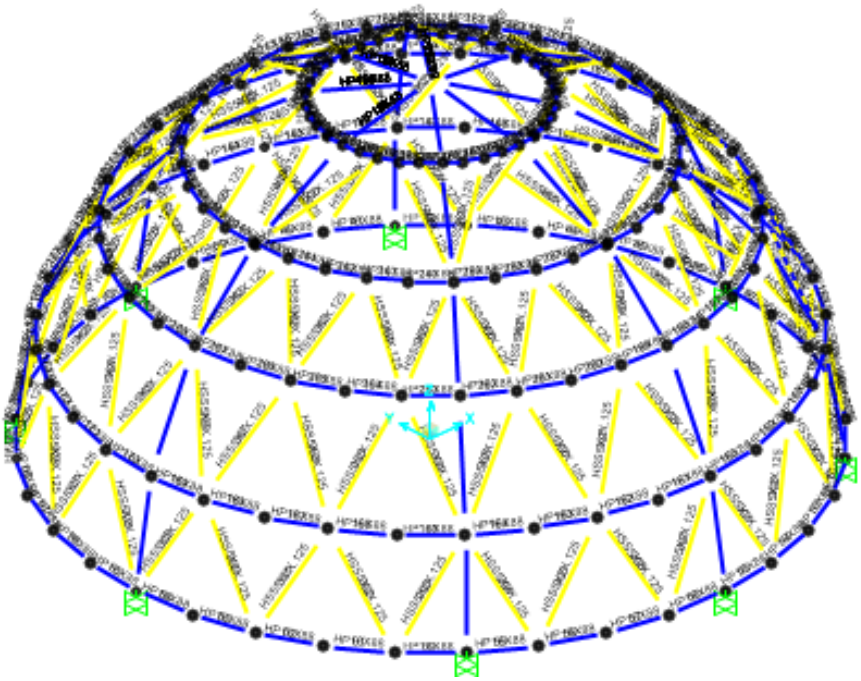
Observación
_____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____

Atentamente,

Interventor 1 **Interventor 2**

ANEXO 7

SIMULACION



ANEXO 8

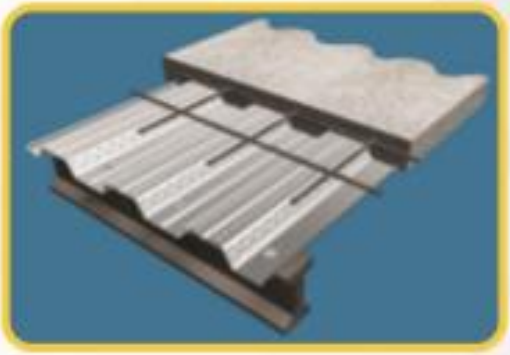
CATALOGOS

ACEROS

LOSA DIPAC

Especificaciones Generales:

Ancho útil:	1000mm
Largo:	Estándar y á medida
Espesores:	0.65 y 0.75mm
Acabados:	Galvanizado



Losa Dipac es una placa de acero galvanizado con resaltes en su superficie que es utilizada como losa metálica de entrepiso y terrazas.

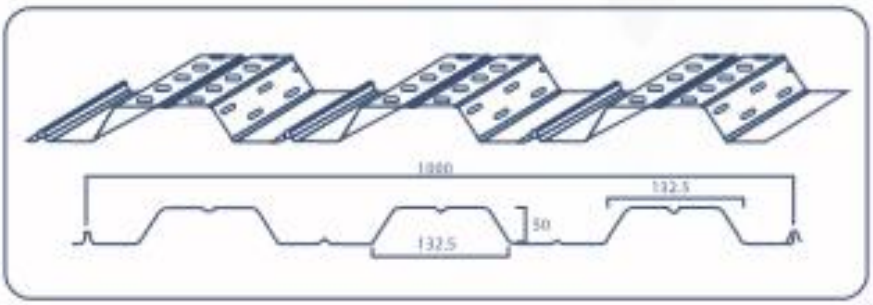
Características técnicas:

Losa Dipac se fabrica en acero galvanizado según la norma ASTM-653 en calidad estructural Grado 37.

Características generales:

Losa Dipac forma parte de un sistema cuyos componentes son:
-Lámina Galvanizada trapezoidal con resaltes: Fy=2600 kg/cm2
-Hormigón: fc= 210 kg/cm2
-Malla electrosoldada: refuerzo por temperatura
-Como complemento se puede utilizar conectores de cortante para lograr el efecto de viga compuesta o para aumentar la capacidad propia de la losa colaborante.

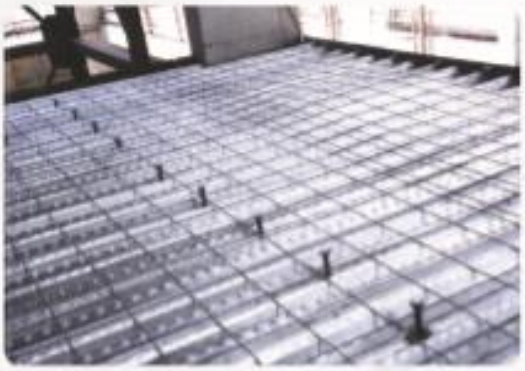
Geometría:



Epesor losa	Tipo de apoyo	5cm	6cm	8cm	10cm	12cm
0.65	simple	1.825	1.717	1.548	1.421	1.312
0.65	doble	2.061	1.956	1.787	1.655	1.548
0.65	triple	2.130	2.022	1.847	1.710	1.600
0.75	simple	1.990	1.872	1.689	1.550	1.441
0.75	doble	2.248	2.133	1.948	1.805	1.689
0.75	triple	2.323	2.205	2.014	1.865	1.745

Beneficios:

-Elimina la necesidad de colocar encofrado
-No requiere apuntalamiento temporal
-Facilita el montaje y es rápido para su instalación, lo que reduce costos de mano de obra.
-Reduce el volumen de hormigón permitiendo losas más livianas.
-Reduce el peso y por consiguiente su carga sísmica.
-Reemplaza al acero de refuerzo positivo
-Losa colaborante puede ser fabricada a medida, con lo que se evitan desperdicios.
-Puede unirse a la estructura mediante pernos autoperforantes, soldadura o clavo de disparo.
-Permite realizar perforaciones para el paso de instalaciones hidrosanitarias, eléctricas, etc.



Almacenaje:

-Bajo techo protegiéndolas de lluvia o interperie.
-En un lugar seco y ventilado.
-Sobre maderos distanciados a un metro aproximadamente.
-Nunca sober el piso
-Si se almacena en un lugar abierto deberá cubri el material con lona impermeable dejando un espacio libre en los extremos para permitir el paso de aire.
-Se podrán apilar paquetes que no deberán exceder de 1.500 kg.

NOTA:

La información presentada en este doumento es solamente informativa, por lo que DIPAC no se hace responsable del mal uso que se pudiera dar; se recomienda la asesoría de un profesional capacitado que verifique la

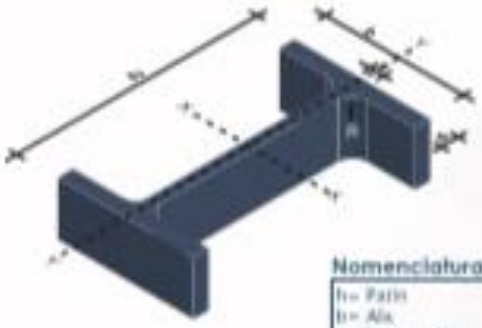
PERFILES LAMINADOS

IPE

Especificaciones Generales:

Norma:	NTE INEN 018
Calidad:	ASTM A36 / EN 235 JR / EN10025 /ASTM A 572 GR 50 / EN 355 J2
Largo Normal:	6.00mts y 12mts
Acabado:	Acero negro

*Otras calidades, otros largos y otros acabados previa consulta



Nomenclatura

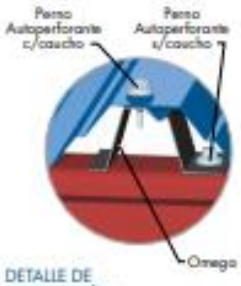
h= Patín
b= Ala
t= Espesor Alma
e= Espesor Ala
R= Radio Giro Alma

	DIMENSIONES					PROPIEDADES					
DENOMINACION	h	b	t	e	R	AREA SECCION	PESO	INERCIA cm4		MODULO cm3	
	mm	mm	mm	mm	mm	cm²	kg/mts	Eje x-x	Eje y-y	Eje x-x	Eje y-y
IPE 80	80	46	3,80	5,20	5	7,64	6,00	80	8,49	20,00	3,69
IPE 100	100	55	4,10	5,70	5	10,30	8,10	171	15,90	34,20	5,79
IPE 120	120	64	4,40	6,30	5	13,20	10,40	318	27,70	53,00	8,65
IPE 160	160	82	5,00	7,40	7	20,10	15,80	869	68,30	109,00	16,70
IPE 200	200	100	5,60	8,50	9	28,50	22,40	1940	142,00	194,00	28,50
IPE 220	220	110	5,90	9,20	9	33,40	26,20	2770	205,00	252,00	37,30
IPE 240	240	120	6,20	9,80	12	39,10	30,70	3890	284,00	324,00	47,30
IPE 300	300	150	7,10	10,70	15	53,80	42,20	8360	604,00	557,00	80,50
IPE 400	400	180	8,60	13,50	118	84,50	63,30	23130	1320,00	1160,00	146,00
IPE 450	450	190	9,40	14,60	21	98,80	77,70	33740	1680,00	1500,00	176,00
IPE 500	500	200	10,20	16,00	21	116,00	90,70	48200	2140,00	1930,00	214,00

PANEL AR - 2000

De la moderna línea ***Estilpanel***, el Panel ***AR - 2000*** es el que ha sido diseñado con el mejor desempeño mecánico y estructural.

Su exclusivo sello hidráulico, así como sus rigidizadores longitudinales, derarrollados con la más alta tecnología de Novacero hacen de éste un panel excepcional por sus atributos de hermeticidad, resistencia a cargas, accesibilidad y mayor ancho útil. La utilización del conector omega en la instalación de ***Estilpanel***, establece el principio de cubierta flotante; es decir, que se adapta a la contracción y dilatación del acero, por efecto de los cambios de temperatura.



DETALLE DE INSTALACIÓN

Este sistema está diseñado para soportar cargas de succión de viento y para absorber los desplazamientos producidos por los sismos.

AR - 2000						
Cuadro de espesores, peso y distancia máxima entre apoyos						
Espesor (mm)	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.60
Peso (Kg/m²)	2.70	3.15	3.60	4.05	4.50	5.40
Distancia (m)	1.20	1.60	1.80	2.10	2.40	2.60

SECCIÓN AR-2000

Ancho útil = 1040 mm.
Altura de onda = 37 mm.

USOS

Cubiertas y Paredes

LONGITUD

Según la necesidad del cliente

PENDIENTE MÍNIMA

4°

ACCESORIOS

Conectores Omega y Pernos Autoperforantes

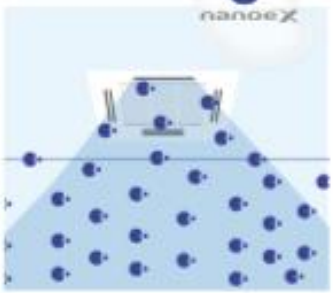
GENERACIÓN PACi CASSETTE 90X90

- Turboventilador de altas prestaciones, trayectoria a través del intercambiador de calor
- Nanoe™ X: la primera tecnología de purificador de aire en aire acondicionado comercial
- Menor nivel de ruido con el modo de ventilador lento
- Ligero y de fácil tendido
- Ecoavi: sensor inteligente que reduce la pérdida de energía
- Aplicación de herramienta de soporte simple datanavi con control remoto (CZ-RTC5B)

Aire siempre puro y limpio con nanoe™ X

Nanoe™ X funciona con la tecnología avanzada de aire acondicionado para estancias.

- El funcionamiento de purificación puede operar simultáneamente o independientemente del funcionamiento de calefacción/refrigeración.
- Previene determinados virus y bacterias y desodoriza (bacterias, hongos, polen, virus y humo de cigarrillos). Los radicales OH del sistema nanoe™ X extraen el hidrógeno de las bacterias para neutralizarlo y esterilizarlo.
- Limpieza interior a cargo de nanoe™ X + control de secado: el interior de la unidad interior se puede limpiar y secar mediante un circuito de funcionamiento corto con nanoe™ X.



Accesorio: CZ-RTC5B y CZ-CNS001 opcionales son necesarios para utilizar la función nanoe™ X.

Nanoe™X desodoriza e inhibe ciertas bacterias y virus:
El dispositivo nanoe™X integrado en un panel de cassette produce aproximadamente 4,8 trillones de radicales OH por segundo. Esos radicales OH del sistema nanoe™ extraen el hidrógeno de las bacterias y es desodorizado eficazmente, por ejemplo. Nanoe™X proporciona una mejor calidad del aire en sus aplicaciones comerciales.

3

https://www.panasonicproclub.com/uploads/ES/catalogues/EU%204P%20PACi%20R32%20PU%2018_2-enes-1807041-TREV1_LQP_v2.pdf?_ga=2.114089095.1276124670.1582578178-157866817.1582578178

Cassette PACi Panasonic

- SCOP A++ y SEER A+ optimizados (hasta 15 %)
- Máximo confort y ahorro energético gracias al sensor Econavi
- Sistema de purificación de aire nanoe™ X
- Funcionamiento supersilencioso desde 28 dB(A)

NUEVO PACi con gas refrigerante R32

Prepárate para el futuro:

La nueva generación de sistemas de calefacción y climatización de Panasonic ha sido diseñada para optimizar el funcionamiento con el refrigerante R32. El nuevo refrigerante R32 es más respetuoso con el medio ambiente que el R410A usado en los últimos años. Además, el R32 no afecta a la capa de ozono y tiene un impacto un 75 % menor en el calentamiento global comparado con el R410A.

Estos cassettes cuentan con Econavi y con el sistema de purificación nanoe™ X optimizados como accesorios para mejorar el confort, la salud y la eficiencia del entorno de la aplicación.

Datanavi, una nueva forma de conectarse. Herramienta de soporte simple y sencilla con tu smartphone.

Solo tienes que situar tu smartphone frente a la pantalla LED de un control remoto (CZ-RTC5B) para recibir información del sistema de climatización de forma muy rápida gracias a la tecnología Light ID de Panasonic. Datanavi también se conecta al Panasonic Cloud Server para visualizar los manuales con rapidez, guardando los datos recibidos mediante Light ID.

- Escanear y guardar la información del sistema de climatización
- Fácil acceso a la base de datos manual
- Puesta en marcha, historial de datos de comprobación de gas F

Exclusiva tecnología Light ID de Panasonic

¿Qué es la tecnología Light ID desarrollada por Panasonic? Tecnología de transmisión de luz visible que permite transmitir información mediante el parpadeo invisible a alta velocidad de una fuente de luz LED.

PROPIEDADES DE MATERIALES

TABLA A-6I

Propiedades de materiales aislantes (a una temperatura media de 75°F)

Material	Espesor, L in	Densidad, ρ lbm/ft³	Conductividad térmica, k Btu-in/h · ft² · °F	Calor específico, c_p Btu/lbm · R	Valor R (para los espesores de la lista, L/k), °F · h · ft²/Btu
Colcha y lámina					
Fibra mineral (forma fibrosa	~2 a 2¾ in	0.3-2.0	—	0.17-0.23	7
procesada a partir de roca,	~3 a 3½ in	0.3-2.0	—	0.17-0.23	11
escoria o vidrio)	~5¼ a 6½ in	0.3-2.0	—	0.17-0.23	19
Tablero y losa					
Vidrio celular		8.5	0.38	0.24	—
Fibra de vidrio (ligamento orgánico)		4-9	0.25	0.23	—
Poliestireno expandido (bolitas moldeadas)		1.0	0.28	0.29	—
Poliuretano expandido (R-11 expandido)		1.5	0.16	0.38	—
Perlita expandida (ligamento orgánico)		1.0	0.36	0.30	—
Caucho expandido (rígido)		4.5	0.22	0.40	—
Fibra mineral con aglomerante de resina		15	0.29	0.17	—
Corcho		7.5	0.27	0.43	—
Rociado o formado en el sitio					
Espuma de poliuretano		1.5-2.5	0.16-0.18	—	—
Fibra de vidrio		3.5-4.5	0.26-0.27	—	—
Uretano, mezcla de dos partes (espuma rígida)		4.4	0.18	0.25	—
Gránulos de lana mineral con aglomerantes de asbesto/inorgánico (rociado)		12	0.32	—	—

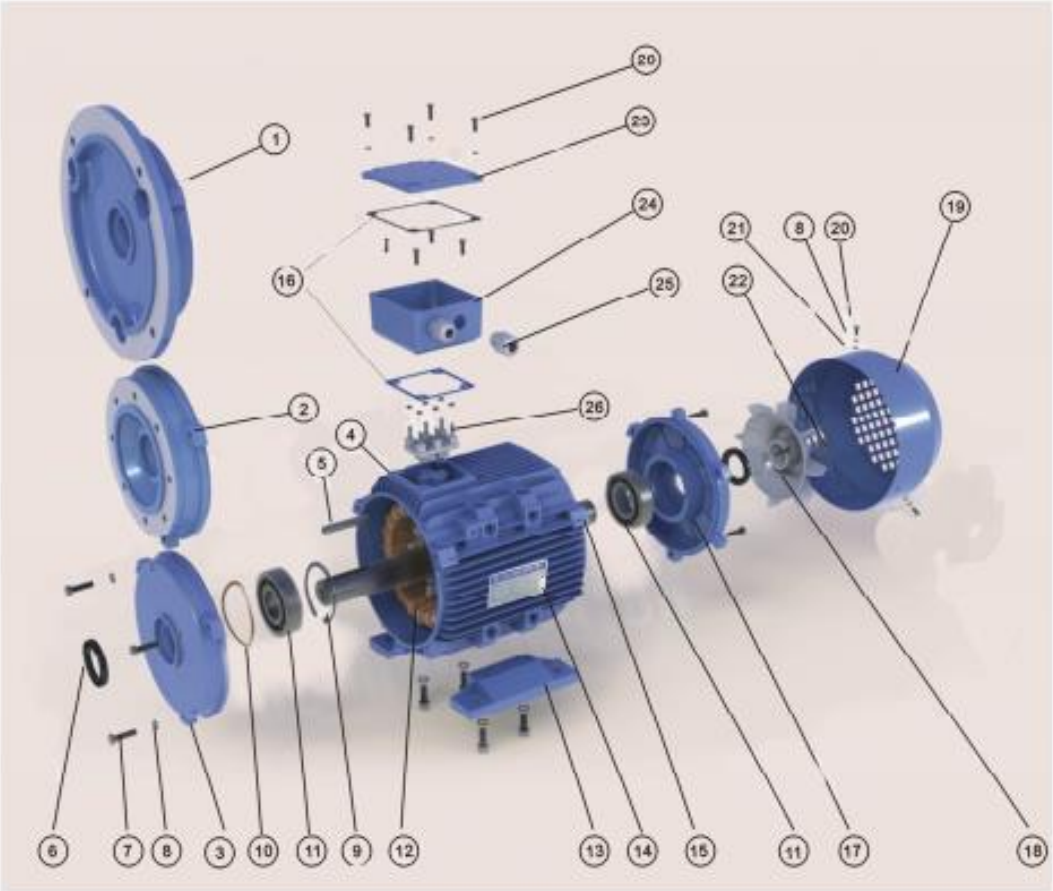
1391 R	145.1	0.75	0.229
1931 R	—	0.81	—
2471 R	—	0.81	—
Ladrillo de arcilla refractaria			
860 R	165.1	0.58	0.229
1660 R	—	0.87	—
2660 R	—	1.04	—
Magnesita			
860 R	—	2.20	0.270
1660 R	—	1.62	—
2660 R	—	1.10	—
Carne de pollo blanca (74.4% de contenido de agua)			
356 R	—	0.92	—
419 R	—	0.86	—
455 R	—	0.78	—
492 R	—	0.28	—
527 R	—	0.28	—
Arcilla seca	96.8	0.54	—
Arcilla mojada	93.3	0.97	—
Carbón mineral, antracita	84.3	0.15	0.301
Concreto (mezcla con piedra)	143.6	0.81	0.210
Corcho	5.37	0.028	0.485
Algodón	5.0	0.035	0.311
Grasa	—	0.10	—
Vidrio			
Lexan	74.9	0.11	0.301
Nylon	71.5	0.17	—
Polipropileno	56.8	0.069	0.388
Poliéster	87.1	0.087	0.279
PVC, vinilo	91.8	0.058	0.201
Porcelana	143.6	0.87	—
Caucho natural	71.8	0.16	—
Caucho			
Vulcanizado			
Blando	68.7	0.075	0.480
Duro	74.3	0.092	—
Arena	94.6	0.1-0.6	0.191
Nieve reciente	6.24	0.35	—
Nieve, 492 R	31.2	1.27	—
Suelo seco	93.6	0.58	0.454
Suelo mojado	118.6	1.16	0.525
Azúcar	99.9	0.34	—
Tejido humano			
Piel	—	0.21	—
Capa de grasa	—	0.12	—
Músculo	—	0.24	—
Vaselina	—	0.098	—
Madera, perpendicular a la fibra			
De balsa	8.74	0.032	—
Abeto	25.9	0.064	0.650
Roble	34.0	0.098	0.570
Pino blanco	27.2	0.064	—
Pino amarillo	40.0	0.087	0.670
Madera, radial			

CATÁLOGO MOTORES

INFORMACIÓN TÉCNICA de los motores IE1 e IE2

MOTORES DE 6 POLOS (1000 RPM/50Hz, 1200 RPM/60Hz) 400 V

	POTENCIA		RPM	A	Eff %	Cosφ	Par Arr/Par Nom	Corr Arr/Corr Nom	Par Máx/Par Nom	Nivel Sonoro(Lwdb(A))	Peso kg
	KW	CV									
TA711-6	0,18	0,25	910	0,7	56,0	0,66	2,0	4,0	1,9	51	7,7
TA712-6	0,25	0,34	915	0,9	59,0	0,68	2,0	4,0	1,9	52	7,9
TA801-6	0,37	0,50	920	1,17	62,0	0,70	2,0	4,7	1,9	53	12,0
TA802-6	0,55	0,75	920	1,6	65,0	0,72	2,1	4,7	1,9	55	13,0
MA90S-6	0,75	1,0	930	2,0	75,9	0,72	2,1	5,8	2,1	57	17,1
MA90L-6	1,1	1,5	930	2,8	78,1	0,73	2,1	5,9	2,1	57	18,8
MA100L1-6	1,5	2,0	930	3,7	79,8	0,74	2,1	6,0	2,1	61	25,3
MA100L2-6	2,2	3,0	945	5,2	81,8	0,74	2,1	6,0	2,1	65	31,0
MA132S-6	3	4,0	960	7,1	83,3	0,74	2,0	6,2	2,1	69	58,0
MA132M1-6	4	5,5	965	9,2	84,6	0,74	2,0	6,8	2,1	69	60,2
MA132M2-6	5,5	7,5	965	12,3	86,0	0,75	2	7,1	2,1	69	103
MG160M-6	7,5	10	970	15,9	87,2	0,78	2,1	6,7	2,1	73	105
MG160L-6	11	15	970	22,7	88,7	0,79	2,1	6,9	2,1	73	133
MG180L-6	15	20	980	29,8	89,7	0,81	2,0	7,2	2,1	73	175
MG200L1-6	18,5	25	980	36,5	90,4	0,81	2,1	7,2	2,1	73	190
MG200L2-6	22	30	980	42,6	90,9	0,82	2,1	7,3	2,1	73	220
MG225M-6	30	40	980	57,6	91,7	0,82	2,0	7,1	2,1	74	252
MG250M-6	37	50	980	69,0	92,2	0,84	2,1	7,1	2,1	76	358
MG280S-6	45	60	980	81,0	92,7	0,86	2,1	7,2	2,0	78	466
MG280M-6	55	75	980	99,0	93,1	0,86	2,1	7,2	2,0	78	525
MG315S-6	75	100	990	134	93,7	0,86	2,0	6,7	2,0	83	900
MG315M-6	90	125	990	161	94,0	0,86	2,0	6,7	2,0	83	990
MG315L1-6	110	150	990	196	94,3	0,86	2,0	6,7	2,0	83	1060
MG315L2-6	132	180	990	234	94,6	0,86	2,0	6,7	2,0	83	1120
MG355M1-6	160	220	990	280	94,8	0,87	2,0	6,7	2,0	85	1596
MG355M2-6	200	270	990	349	95,0	0,87	2,0	6,7	2,0	85	1920
MG355L-6	250	340	990	437	95,0	0,87	2,0	6,7	2,0	85	2765



1 Brida B5	8 Arandela de fijación	15 Rotor	22 Fijación ventilador
2 Brida B14	9 Circlip	16 Junta	23 Tapa caja bornas
3 Escudo del.	10 Arandela comp..	17 Escudo trasero	24 Base caja bornas
4 Cuerpo motor	11 Rodamientos	18 Ventilador	25 Prensa-estopas
5 Chaveta	12 Estator	19 Protección vent.	26 Placa bornas
6 Junta estanqueidad	13 Pata	20 Tornillo	
7 Cáncamo	14 Placa caract.	21 Arandela	

REDUCTOR

i	n2		n1 = 900							
			30	40	50	63	75	90	110	130
7,5	120	kw1	0,3	0,65	1,23	2,18	3,1	4,8	8	12,3
		M2	20	44	84	151	215	340	565	880
10	90	kw1	0,24	0,5	0,94	1,7	2,52	4	6,6	10,3
		M2	20	44	84	153	230	370	620	960
15	60	kw1	0,17	0,36	0,67	1,2	1,8	3,10	4,9	7,8
		M2	20	45	84	155	235	420	660	1060
20	45	kw1	0,13	0,28	0,48	0,91	1,4	2,3	3,6	5,8
		M2	20	44	77	148	235	390	630	1040
25	36	kw1	0,14	0,23	0,39	0,69	1,1	1,8	3,1	4,8
		M2	23	43	75	137	215	370	660	1050
30	30	kw1	0,11	0,23	0,42	0,79	1,1	1,9	3	4,7
		M2	21	49	90	175	260	460	730	1170
40	23	kw1	0,09	0,17	0,31	0,58	0,83	1,36	2,2	3,5
		M2	20	45	82	160	240	410	690	1100
50	18	kw1	0,07	0,14	0,25	0,45	0,65	1,1	1,8	2,8
		M2	18	42	77	145	220	390	680	1050
60	15	kw1	0,06	0,11	0,21	0,37	0,54	0,86	1,4	2,1
		M2	17	39	72	138	210	350	620	940
80	11	kw1	0,04	0,09	0,16	0,29	0,43	0,63	1	1,6
		M2	15	35	68	128	200	315	540	860
100	9	kw1		0,07	0,12	0,25	0,36	0,49	0,8	1,3
		M2		32	56	124	190	280	490	780

i	n2		n1 = 500							
			30	40	50	63	75	90	110	130
7,5	120	kw1	0,21	0,45	0,86	1,51	2,14	3,3	5,50	8,6
		M2	24	54	103	184	260	410	690	1080
10	90	kw1	0,16	0,4	0,67	1,18	1,7	2,7	4,6	7,1
		M2	24	54	103	185	270	435	740	1160
15	60	kw1	0,12	0,26	0,47	0,85	1,2	2,1	3,4	5,5
		M2	24	55	103	187	280	490	790	1300
20	45	kw1	0,09	0,19	0,33	0,63	0,98	1,6	2,5	4
		M2	23	52	93	178	285	470	750	1230
25	36	kw1	0,1	0,15	0,28	0,48	0,73	1,23	2,1	3,2
		M2	29	49	91	164	255	440	790	1200
30	30	kw1	0,08	0,16	0,29	0,54	0,77	1,4	2,1	3,4
		M2	26	58	108	200	300	550	870	1400
40	23	kw1	0,06	0,12	0,22	0,4	0,58	1	1,5	2,4
		M2	23	53	98	185	280	480	810	1300
50	18	kw1	0,05	0,1	0,17	0,32	0,44	0,75	1,3	1,9
		M2	21	49	91	173	250	450	800	1220
60	15	kw1	0,04	0,08	0,14	0,26	0,37	0,6	1	1,5
		M2	19	46	83	160	240	400	710	1070
80	11	kw1	0,03	0,06	0,11	0,19	0,29	0,5	0,7	1,1
		M2	17	40	75	137	215	365	60	970
100	9	kw1		0,05	0,09	0,16	0,24	0,35	0,6	0,9
		M2		36	65	128	210	330	570	860

https://sicoris-sa.com/pdf/catalogos/reductores-sinfin-catalogo.pdf

VARIADORES DE FRECUENCIA

(200...240 V AC ±10 %)	Corriente nominal continua A	Caract. motor W	Corriente nominal continua A	Caract. motor W
A	2.4	0.4	–	–
EFC3610-0K75-1P2- / EFC5610-0K75-1P2-	4.1	0.75	–	–
EFC3610-1K50-1P2- / EFC5610-1K50-1P2-	7.3	1.5	–	–
EFC3610-2K20-1P2- / EFC5610-2K20-1P2-	10.1	2.2	–	–

(3P 380...480 V AC -15 %/+10 %)	Corriente nominal continua A	Caract. motor kW	Corriente nominal continua A	Caract. motor kW
EFC3610-0K40-3P4- / EFC5610-0K40-3P4-	1.3	0.4	–	–
EFC3610-0K75-3P4- / EFC5610-0K75-3P4-	2.3	0.75	–	–
EFC3610-1K50-3P4- / EFC5610-1K50-3P4-	4	1.5	–	–
EFC3610-2K20-3P4- / EFC5610-2K20-3P4-	5.6	2.2	–	–
EFC3610-3K00-3P4- / EFC5610-3K00-3P4-	7.4	3	–	–
EFC3610-4K00-3P4- / EFC5610-4K00-3P4-	9.7	4	–	–
EFC3610-5K50-3P4- / EFC5610-5K50-3P4-	12.7	5.5	16.8[1)]	7.5[1)]
EFC3610-7K50-3P4- / EFC5610-7K50-3P4-	16.8	7.5	24.3[1)]	11[1)]
EFC3610-11K0-3P4- / EFC5610-11K0-3P4-	24.3	11	32.4[1)]	15[1)]
EFC3610-15K0-3P4- / EFC5610-15K0-3P4-	32.4	15	39.2[1)]	18.5[1)]
EFC3610-18K5-3P4- / EFC5610-18K5-3P4-	39.2	18.5	45[1)]	22[1)]

[1)] Disponible únicamente para EFC 3610

https://www.dbrautomation.com/doc/pdf/Noticias/Katalog_EFC_3610_5610_media_ES.pdf

ANEXO 9

ASHRAE

© ASHRAE (www.ashrae.org). For personal use only. Additional reproduction, distribution, or transmission in either print or digital form is not permitted without ASHRAE's prior written permission.

TABLE 6.5 Minimum Exhaust Rates

Occupancy Category	Exhaust Rate, cfm/unit	Exhaust Rate, cfm/ft^2	Notes	Exhaust Rate, L/s·unit	Exhaust Rate, L/s·m^2	Air Class
Arenas	—	0.50	B	—	—	1
Art classrooms	—	0.70		—	3.5	2
Auto repair rooms	—	1.50	A	—	7.5	2
Barber shops	—	0.50		—	2.5	2
Beauty and nail salons	—	0.60		—	3.0	2
Cells with toilet	—	1.00		—	5.0	2
Copy, printing rooms	—	0.50		—	2.5	2
Darkrooms	—	1.00		—	5.0	2
Educational science laboratories	—	1.00		—	5.0	2
Janitor closets, trash rooms, recycling	—	1.00		—	5.0	3
Kitchenettes	—	0.30		—	1.5	2
Kitchens—commercial	—	0.70		—	3.5	2
Locker/dressing rooms	—	0.25		—	1.25	2
Locker rooms	—	0.50		—	2.5	2
Paint spray booths	—	—	F	—	—	4
Parking garages	—	0.75	C	—	3.7	2
Pet shops (animal areas)	—	0.90		—	4.5	2
Refrigerating machinery rooms	—	—	F	—	—	3
Residential kitchens	50/100	—	G	25/50	—	2
Soiled laundry storage rooms	—	1.00	F	—	5.0	3
Storage rooms, chemical	—	1.50	F	—	7.5	4
Toilets—private	25/50	—	E, H	12.5/25	—	2
Toilets—public	50/70	—	D, H	25/35	—	2
Woodwork shop/classrooms	—	0.50		—	2.5	2

ANEXO 10

NORMA ILUMINACIÓN UNE 12464-1

Norma europea sobre iluminación

2. EDIFICIOS EDUCATIVOS

Nº REF	TIPO DE INTERIOR, TAREA ACTIVIDAD	$E_m$lux	UGR_L	R_a	OBSERVACIONES
2.1	AULAS, AULAS DE TUTORÍA	300	19	80	· La iluminación debería ser controlable.
2.2	AULAS PARA CLASES NOCTURNAS Y EDUCACIÓN DE ADULTOS	500	19	80	· La iluminación debería ser controlable.
2.3	SALA DE LECTURA	500	19	80	· La iluminación debería ser controlable.
2.4	PIZARRA	500	19	80	· Evitar reflexiones especulares.
2.5	MESA DE DEMOSTRACIONES	500	19	80	· En salas de lectura 750 lux.
2.6	AULAS DE ARTE	500	19	80	
2.7	AULAS DE ARTE EN ESCUELAS DE ARTE	750	19	90	· Tcp ≥ 5.000K.
2.8	AULAS DE DIBUJO TÉCNICO	750	16	80	
2.9	AULAS DE PRÁCTICAS Y LABORATORIOS	500	19	80	
2.10	AULAS DE MANUALIDADES	500	19	80	
2.11	TALLERES DE ENSEÑANZA	500	19	80	
2.12	AULAS DE PRÁCTICAS DE MÚSICA	300	19	80	
2.13	AULAS DE PRÁCTICAS DE INFORMÁTICA	300	19	80	
2.14	LABORATORIOS DE LENGUAS	300	19	80	
2.15	AULAS DE PREPARACIÓN Y TALLERES	500	22	80	
2.16	HALLS DE ENTRADA	200	22	80	
2.17	ÁREAS DE CIRCULACIÓN, PASILLOS	100	25	80	
2.18	ESCALERAS	150	25	80	
2.19	AULAS COMUNES DE ESTUDIO Y AULAS DE REUNIÓN	200	22	80	
2.20	SALAS DE PROFESORES	300	19	80	
2.21	BIBLIOTECA: ESTANTERÍAS	200	19	80	
2.22	BIBLIOTECA: SALAS DE LECTURA	500	19	80	
2.23	ALMACENES DE MATERIAL DE PROFESORES	100	25	80	· Para actividades más específicas, se deben usar los requisitos de la norma EN 12193
2.24	SALAS DE DEPORTE, GIMNASIOS, PISCINAS (USO GENERAL)	300	22	80	
2.25	CANTINAS ESCOLARES	200	22	80	
2.26	COCINA	500	22	80	

5

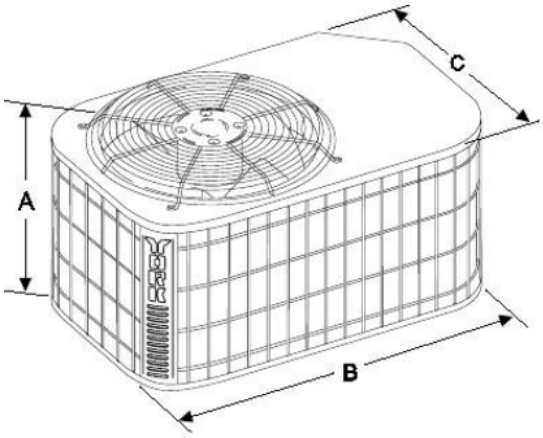
NORMATIVA

UNE 12464.1–Norma europea sobre la iluminación para interiores

ANEXO 11

HOJA DE DATOS DEL EQUIPO DE CLIMATIZACIÓN

https://www.manualslib.com/manual/197924/York-036-21103-003.html?page=2#manual



All dimensions are in inches. They are subject to change without notice. Certified dimensions will be provided upon request.

UNIT MODEL H1RA	DIMENSIONS (INCHES)			REFRIGERANT CONNECTION LINE SIZE	
	A[1]	B	C	Liquid	Vapor
018S78	17	35	23	3/8"	3/4"
024S78	17	35	23		
030S78	19	35	23		
036S78	19	35	23		
036S50	19	35	23		
048S50	27	37	27		7/8"
060S50	39	37	27		

1. Including fan guard

Unitary Products Group

Air On Evap. Coil		Temperature of Air on Condenser Coil 85°F								
CFM	WB (°F)	Tot. Cap.[1] (MBH)	Tot. Input[2] (kW)	Sensible Capacity (MBH)[1] Return Dry Bulb (°F)						
				86	83	80	77	74	71	68
3750	72	150	11.8	90	80	69	58	47	-	-
	67	140	11.5	115	104	94	83	72	61	51
	62	123	11.2	123	116	105	95	84	73	63
	57	118	11.3	118	116	105	95	84	73	63
4375	72	155	11.8	101	88	75	63	50	-	-
	67	145	11.5	128	115	102	90	77	64	52
	62	127	11.2	127	124	115	103	90	77	65
	57	122	11.3	122	121	115	103	90	77	65
5000	72	161	11.8	111	96	82	67	53	-	-
	67	150	11.5	140	126	111	97	82	67	53
	62	132	11.3	132	132	125	111	96	82	67
	57	126	11.3	126	126	125	111	96	82	67
5625	72	165	11.9	132	115	99	82	65	-	-
	67	153	11.6	149	141	134	118	101	84	68
	62	135	11.3	135	135	132	115	98	82	65
	57	129	11.4	129	129	129	112	96	79	62
6250	72	169	11.9	153	134	116	97	78	-	-
	67	157	11.6	157	157	157	138	120	101	83
	62	138	11.4	138	138	138	119	101	82	63
	57	133	11.4	133	133	133	114	95	77	58

CLIMAVER A2 PLUS

Conductos Autoportantes CLIMAVER

Panel rígido de Lana de Vidrio ISOVER de alta densidad, revestido por ambas caras con una lámina de aluminio reforzada con malla de vidrio, que actúa como barrera de vapor y otorga una mayor resistencia mecánica.
El canto macho está rebordeado por el complejo interior de aluminio. Incorpora un velo de vidrio en cada cara del panel para otorgar mayor rigidez. Por sus buenas prestaciones acústicas y su buen comportamiento térmico, ***CLIMAVER A2 PLUS***, es la mejor solución, capaz de satisfacer los más altos requisitos de reacción al fuego, para la instalación de redes de conductos autoportantes de distribución de aire en las instalaciones térmicas de Climatización de los edificios.

RITE Propiedades técnicas

Símbolo	Parámetro	Icono	Unidades	Valor	Norma
λ_D	Conductividad térmica declarada en función de la temperatura		W/m·K (ºC)	0,032 (10) 0,033 (20) 0,036 (40) 0,039 (60)	EN 12667 EN 12939
—	Reacción al fuego		Euroclase	A2-s1, d0	EN 13501-1 EN 15715
MU	Resistencia a la difusión de vapor de agua de la lana mineral, μ		—	1	EN 12086
Z	la difusión de vapor de vapor de agua del revestimiento		m²·h·Pa/mg	> 140	EN 12086
MV	Espesor de la capa de aire equivalente a la difusión del vapor de agua, Sd		m	100	EN 12086
DS	Estabilidad dimensional $\Delta\varepsilon$		%	< 1	EN 1604
—	Estanquidad		Clase	D	UNE-EN 13403 EN 12237
—	Resistencia a la presión		Pa	800	UNE-EN 13403

Condiciones de trabajo: velocidad de aire de hasta 18 m/s y temperatura de aire de circulación de hasta 90ºC.

Espesor d (mm)	Coeficiente ponderado de absorción acústica, AW, α_w	Clase de absorción acústica	Código de designación
EN 823	EN ISO 354 EN ISO 11654	UNE EN ISO 11654	EN 14303
25	0,30	D	MW-EN 14303-T5-MV1

Ensayos acústicos con plénum: ACS-01-99 I

	Frecuencia (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Espesor d, mm	Coeficiente práctico de absorción acústica, α_p EN ISO 354 / EN ISO 11654					
25	0,20	0,20	0,20	0,60	0,50	0,40
Sección, S mm²	Atenuación acústica, en un tramo recto, ΔL (DB/m)*					
200x200	2,21	2,21	2,21	10,27	7,96	5,82
300x400	1,29	1,29	1,29	5,99	4,64	3,40
400x500	0,99	0,99	0,99	4,62	3,58	2,62
400x700	0,87	0,87	0,87	4,04	3,13	2,29
500x1000	0,66	0,66	0,66	3,08	2,39	1,75

para potencia sonora de un ventilador con un caudal de 30000 m³/h, pérdida de carga 15mm ca.

Presentación

Espesor d (mm)	Largo l (m)	Ancho b (m)	m²/ bulto	m²/ palé	m²/ camión
25	3,00	1,19	21,42	299,98	2.399

Ventajas

- Rigidez, resistencia al desgarro y al punzonamiento.
- Máxima protección en caso de incendio.
- Máxima clase de estanqueidad definida por el RITE.
- Cierta mejora en la calidad del ambiente acústico.
- Resistencia a métodos de limpieza más agresivos, UNE 100012.
- Facilidad de limpieza. Superficie interior de acabado liso.
- Exclusivo marcado de líneas guía para corte por MTR.
- Exclusivo machihembrado de panelesy rebordeado del canto macho.
- No proliferación de mohos y bacterias, EN 13403.
- Producto sostenible. 100% reciclable. Material reciclado > 50%.

Certificados

Guía de instalación

Consultar Manual de Montaje de conductos *CLIMAVER*.
Información adicional disponible en: www.isover.es

I derecho a la modificación sin previo aviso, y de manera total puede garantizar la ausencia de errores involuntarios.

02-09-2019 • CLIMAVER A2 PLUS • ES saint Gobain Isover Ibérica, S.L. se reserva o parcial, de los datos contenidos en el presente documento. Asimismo,

www.Isover.es
ISOVERblog.es
@ISOVERes
ISOVERaIslamiento
ISOVERaIslamiento
ISOVERes
ISOVER AIslamiento
ISOVER AIslamiento

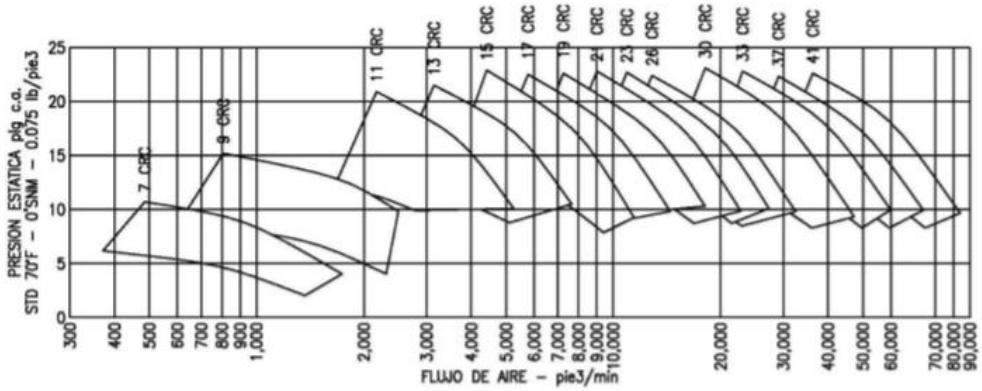
ISOVER SAINT-GOBAIN

TECNOLOGIA EN VENTILACION

MODELO CRC - CRA

VENTILADOR CENTRIFUGO PRESION MEDIA

MODELO CRC



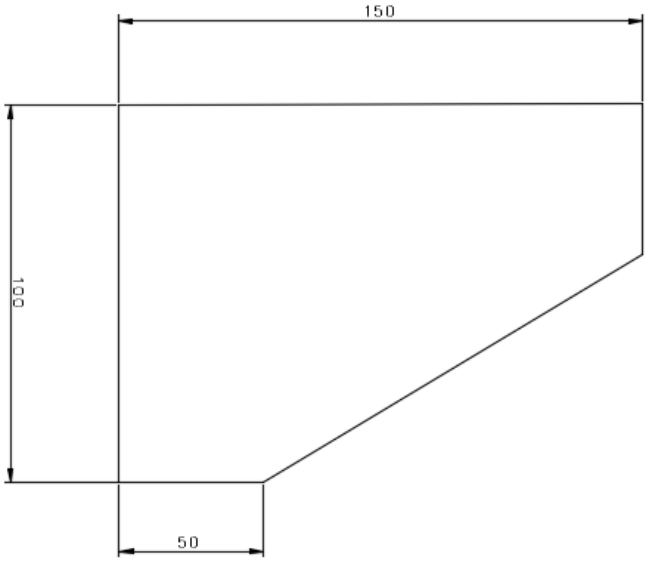
MODELO CRH

http://airtectv.com/catalogo/airtec-ventiladores-industriales-centrifugos-CRC.pdf

ANEXO 12

ANEXO HOJAS DE PROCESOS

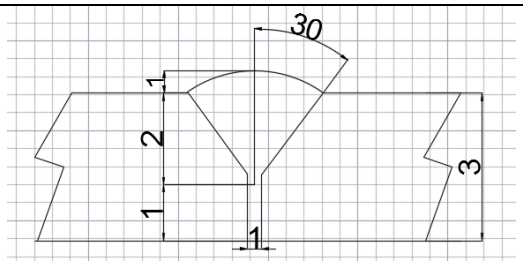
HOJA DE PROCESOS				NERVIO PARA COLUMNA A-588	
Tiempo total de duración:60 min					
Pos.	Cant.	Denominación	Material	Dim. En bruto	Obs.
	9	NERVIO	ACERO A 588	200x420 mm	Ninguna

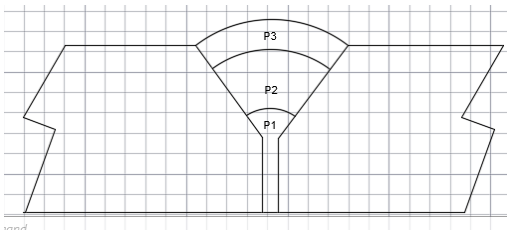


Fase	Operaciones	Velocidad en rpm	N pasadas	Profundidad (mm)	Tiempo estimado (min)
1	Trazar				5
2	Medir y cortar				15
4	Chaflanar a 45°	220	1	4	30

ANEXO 9 WPS

Nombre Compañía: E.P.N. PQR No.: 001 Según norma: AWS D 1.1	No. Identificación: EPN.001 Fecha: 01/12/2019 Realizado por: Ing. David Benalcázar Organización: Escuela Politécnica Nacional
Artículo I. Junta Utilizada Tipo de junta: Tope Abertura raíz: 1 mm Talón: 1 mm Ángulo de ranura: 30° Placa de respaldo: si [X] no [x] Prepara bisel: si [X] no [ ] Método: amolado	**Artículo II. Técnica de Soldadura** Proceso de soldadura: SMAW-INVERTER Tipo de soldadura: Manual [ ] Semiautomático [x] Automático [ ] Soldadura a: Un lado [X] Dos lados [ ] Cordón de respaldo: si [ ] no [X] Limpieza: Pase raíz: amoladora Pases siguientes: cepillo metálico y amoladora
Artículo III. Metal Base Especificación: Acero A-36 Espesor: mm	**Artículo V. Posición de soldadura** Posición de Soldadura: 1G Técnica: Un pase [ ] Varios pases [X]
Artículo IV. Metal de Aporte Denominación: E 7018 Casa comercial: AGA	Precalentamiento N/A Tiempo entre pases: 8 min **Artículo VI. Notas** • Verificar alineación de la junta • Asegurar la limpieza de las partes
Detalle de la junta:	





No de pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo [Voltaje]	Velocidad de avance [mm/min]	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro [mm]	Tipo y polaridad	Intensidad [Amperios]			Oscilado	Recto
1	E 6011	3.2	DC^+	80	30	93.58	X	
2	E 7018	3.2	DC^+	125	25	222.25	X	
3	E 7018	3.2	DC^+	134	25.5	164.17	X	

ANEXO 14

RESUMEN SAP 2000

License #STUDENT

SAP2000 Analysis Report

Autor: David Benalcázar

Model Name: DOMO 01012020.sdb

20 de mayo 2020

Model geometry

This section provides model geometry information, including items such as joint coordinates, joint restraints, and element connectivity.

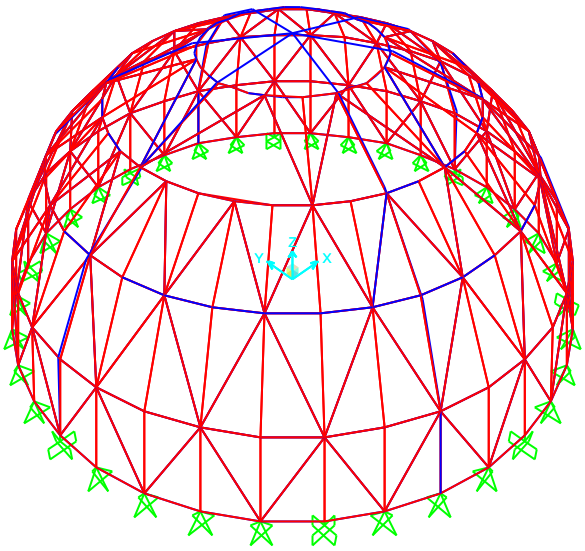


Figure 1: Finite element model

2. Material properties

This section provides material property information for materials used in the model.

Table 8: Material Properties 02 - Basic Mechanical Properties

Table 8: Material Properties 02 - Basic Mechanical Properties

Material	UnitWeight	UnitMass	E1	G12	U12	A1
	Kgf/m3	Kgf-s2/m4	Kgf/m2	Kgf/m2		1/C
4000Psi	2,4028E+03	2,4501E+02	2534563541	1056068142	0,200000	9,9000E-06
A36	7,8490E+03	8,0038E+02	2,039E+10	7841930445	0,300000	1,1700E-05
A992Fy50	7,8490E+03	8,0038E+02	2,039E+10	7841930445	0,300000	1,1700E-05

. Section properties

This section provides section property information for objects used in the model.

3.1. Frames

Table 11: Frame Section Properties 01 - General, Part 1 of 4

Table 11: Frame Section Properties 01 - General, Part 1 of 4

SectionName	Material	Shape	t3	t2	tf	tw	t2b	tfb
			m	m	m	m	m	m
FSEC1	A992Fy50	I/Wide Flange	0,304800	0,127000	0,009652	0,006350	0,127000	0,009652
HP16X88	A36	I/Wide Flange	0,388620	0,398780	0,013716	0,013716	0,398780	0,013716
HSS5X2X.125	A36	Box/Tube	0,127000	0,050800	0,002946	0,002946		
HSS5X5X.125	A992Fy50	Box/Tube	0,127000	0,127000	0,002946	0,002946		
M318X18.5	A36	I/Wide Flange	0,318000	0,095300	0,005790	0,003940	0,095300	0,005790
W10X12	A36	I/Wide Flange	0,250698	0,100584	0,005334	0,004826	0,100584	0,005334

Table 14: Load Pattern Definitions

Table 14: Load Pattern Definitions

LoadPat	DesignType	SelfWtMult	AutoLoad
DEAD	DEAD	1,000000	
CARGA NO ESTRUCTURAL	DEAD	0,000000	
VIVA	LIVE	0,000000	
VIENTO	WIND	0,000000	None
SISMO	QUAKE	0,000000	USER COEFF

Combination Definitions

Table 19: Combination Definitions

ComboName	ComboType	CaseName	ScaleFactor
UDSTL1	Linear Add	DEAD	1,400000
UDSTL1		CARGA NO ESTRUCTURAL	1,400000
UDSTL2	Linear Add	DEAD	1,200000
UDSTL2		CARGA NO ESTRUCTURAL	1,200000
UDSTL2		VIVA	1,600000
UDSTL3	Linear Add	DEAD	1,200000
UDSTL3		CARGA NO ESTRUCTURAL	1,200000
UDSTL3		VIVA	1,000000
UDSTL3		VIENTO	1,600000
UDSTL4	Linear Add	DEAD	1,200000
UDSTL4		CARGA NO ESTRUCTURAL	1,200000
UDSTL4		VIVA	1,000000
UDSTL4		VIENTO	-1,600000
UDSTL5	Linear Add	DEAD	1,200000
UDSTL5		CARGA NO ESTRUCTURAL	1,200000
UDSTL5		VIENTO	0,800000
UDSTL6	Linear Add	DEAD	1,200000
UDSTL6		CARGA NO ESTRUCTURAL	1,200000
UDSTL6		VIENTO	-0,800000
UDSTL7	Linear Add	DEAD	0,900000

Table 19: Combination Definitions

ComboName	ComboType	CaseName	ScaleFactor
UDSTL7		CARGA NO ESTRUCTURAL	0,900000
UDSTL7		VIENTO	1,600000
UDSTL8	Linear Add	DEAD	0,900000
UDSTL8		CARGA NO ESTRUCTURAL	0,900000
UDSTL8		VIENTO	-1,600000
UDSTL9	Linear Add	DEAD	1,300000
UDSTL9		CARGA NO ESTRUCTURAL	1,300000
UDSTL9		VIVA	1,000000
UDSTL9		SISMO	1,000000
UDSTL10	Linear Add	DEAD	1,300000
UDSTL10		CARGA NO ESTRUCTURAL	1,300000
UDSTL10		VIVA	1,000000
UDSTL10		SISMO	-1,000000
UDSTL11	Linear Add	DEAD	0,800000
UDSTL11		CARGA NO ESTRUCTURAL	0,800000
UDSTL11		SISMO	1,000000
UDSTL12	Linear Add	DEAD	0,800000
UDSTL12		CARGA NO ESTRUCTURAL	0,800000
UDSTL12		SISMO	-1,000000
UDSTL13	Linear Add	DEAD	1,000000
UDSTL13		CARGA NO ESTRUCTURAL	1,000000
UDSTL14	Linear Add	DEAD	1,000000
UDSTL14		CARGA NO ESTRUCTURAL	1,000000
UDSTL14		VIVA	1,000000
DSTL1	Linear Add	DEAD	1,400000
DSTL1		CARGA NO ESTRUCTURAL	1,400000
DSTL2	Linear Add	DEAD	1,200000
DSTL2		CARGA NO ESTRUCTURAL	1,200000
DSTL2		VIVA	1,600000
DSTL3	Linear Add	DEAD	1,200000
DSTL3		CARGA NO ESTRUCTURAL	1,200000
DSTL3		VIVA	1,000000
DSTL3		VIENTO	1,600000
DSTL4	Linear Add	DEAD	1,200000
DSTL4		CARGA NO ESTRUCTURAL	1,200000
DSTL4		VIVA	1,000000
DSTL4		VIENTO	-1,600000
DSTL5	Linear Add	DEAD	1,200000
DSTL5		CARGA NO ESTRUCTURAL	1,200000
DSTL5		VIENTO	0,800000
DSTL6	Linear Add	DEAD	1,200000
DSTL6		CARGA NO ESTRUCTURAL	1,200000
DSTL6		VIENTO	-0,800000
DSTL7	Linear Add	DEAD	0,900000

Table 19: Combination Definitions

ComboName	ComboType	CaseName	ScaleFactor
DSTL7		CARGA NO ESTRUCTURAL	0,900000
DSTL7		VIENTO	1,600000
DSTL8	Linear Add	DEAD	0,900000
DSTL8		CARGA NO ESTRUCTURAL	0,900000
DSTL8		VIENTO	-1,600000
DSTL9	Linear Add	DEAD	1,300000
DSTL9		CARGA NO ESTRUCTURAL	1,300000
DSTL9		VIVA	1,000000
DSTL9		SISMO	1,000000
DSTL10	Linear Add	DEAD	1,300000
DSTL10		CARGA NO ESTRUCTURAL	1,300000
DSTL10		VIVA	1,000000
DSTL10		SISMO	-1,000000
DSTL11	Linear Add	DEAD	0,800000
DSTL11		CARGA NO ESTRUCTURAL	0,800000
DSTL11		SISMO	1,000000
DSTL12	Linear Add	DEAD	0,800000
DSTL12		CARGA NO ESTRUCTURAL	0,800000
DSTL12		SISMO	-1,000000
DSTL13	Linear Add	DEAD	1,000000
DSTL13		CARGA NO ESTRUCTURAL	1,000000
DSTL14	Linear Add	DEAD	1,000000
DSTL14		CARGA NO ESTRUCTURAL	1,000000
DSTL14		VIVA	1,000000

Structure results

This section provides structure results, including items such as structural periods and base reactions.

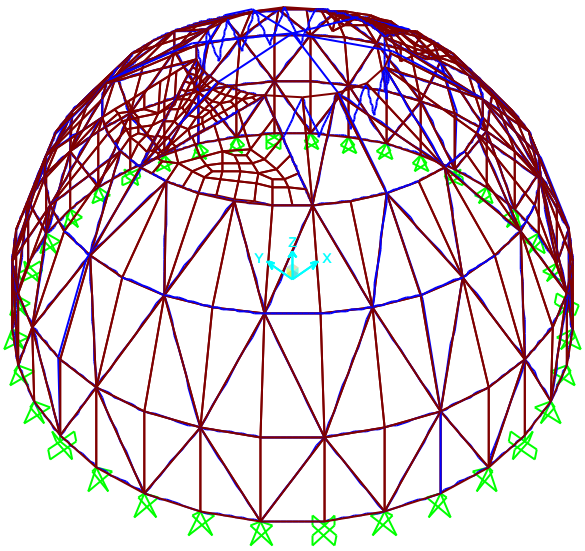


Figure 2: Deformed shape

7.1. Mass summary

Table 20: Assembled Joint Masses

Table 20: Assembled Joint Masses

Joint	MassSource	U1	U2	U3	R1	R2	R3
		Kgf-s2/m	Kgf-s2/m	Kgf-s2/m	Kgf-m-s2	Kgf-m-s2	Kgf-m-s2
39	MSSSRC1	1460,70	1460,70	1460,70	0,00	0,00	0,00
40	MSSSRC1	2809,78	2809,78	2809,78	0,00	0,00	0,00
41	MSSSRC1	1466,56	1466,56	1466,56	0,00	0,00	0,00
42	MSSSRC1	2809,78	2809,78	2809,78	0,00	0,00	0,00
43	MSSSRC1	1460,70	1460,70	1460,70	0,00	0,00	0,00
44	MSSSRC1	2809,78	2809,78	2809,78	0,00	0,00	0,00
45	MSSSRC1	1460,70	1460,70	1460,70	0,00	0,00	0,00
46	MSSSRC1	2809,78	2809,78	2809,78	0,00	0,00	0,00
47	MSSSRC1	1460,70	1460,70	1460,70	0,00	0,00	0,00
48	MSSSRC1	2815,64	2815,64	2815,64	0,00	0,00	0,00
49	MSSSRC1	1460,70	1460,70	1460,70	0,00	0,00	0,00
50	MSSSRC1	2809,78	2809,78	2809,78	0,00	0,00	0,00
51	MSSSRC1	1460,70	1460,70	1460,70	0,00	0,00	0,00
52	MSSSRC1	2809,78	2809,78	2809,78	0,00	0,00	0,00
53	MSSSRC1	1466,56	1466,56	1466,56	0,00	0,00	0,00
54	MSSSRC1	2809,78	2809,78	2809,78	0,00	0,00	0,00
55	MSSSRC1	1460,70	1460,70	1460,70	0,00	0,00	0,00
56	MSSSRC1	2809,78	2809,78	2809,78	0,00	0,00	0,00
57	MSSSRC1	1460,70	1460,70	1460,70	0,00	0,00	0,00
58	MSSSRC1	2809,78	2809,78	2809,78	0,00	0,00	0,00
59	MSSSRC1	1466,56	1466,56	1466,56	0,00	0,00	0,00
60	MSSSRC1	2809,78	2809,78	2809,78	0,00	0,00	0,00

Table 20: Assembled Joint Masses

Joint	MassSource	U1	U2	U3	R1	R2	R3
		Kgf-s2/m	Kgf-s2/m	Kgf-s2/m	Kgf-m-s2	Kgf-m-s2	Kgf-m-s2
61	MSSSRC1	1460,70	1460,70	1460,70	0,00	0,00	0,00
62	MSSSRC1	2809,78	2809,78	2809,78	0,00	0,00	0,00

. Material take-off

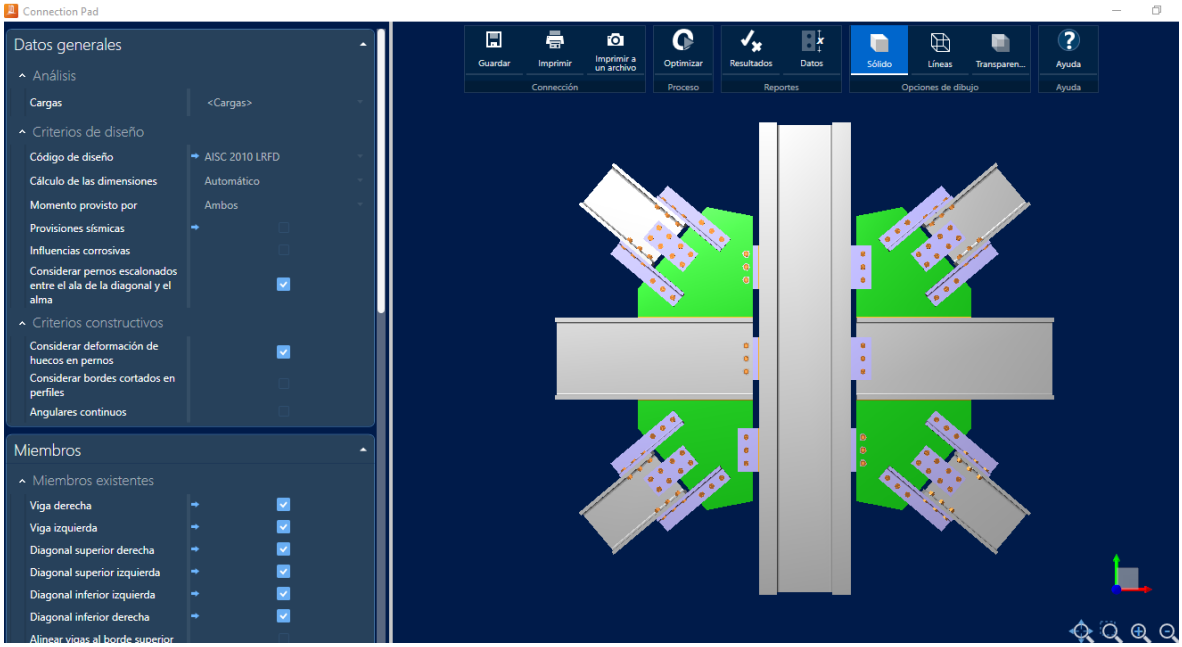
This section provides a material take-off.

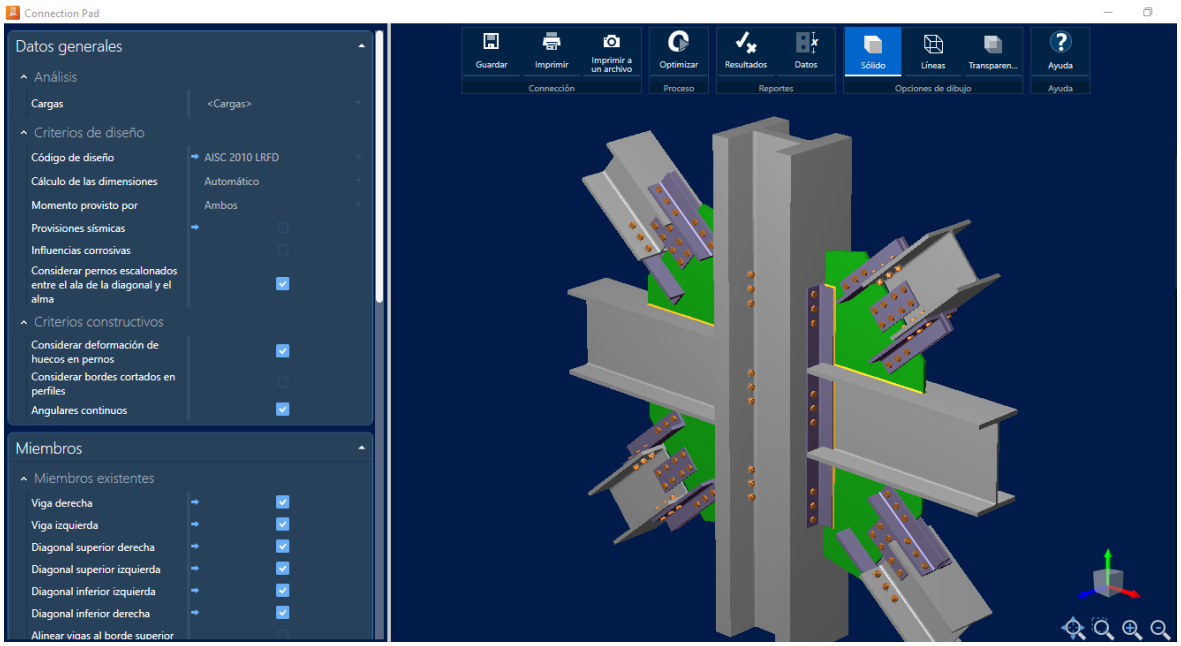
Table 27: Material List 2 - By Section Property

Table 27: Material List 2 - By Section Property

Section	ObjectType	NumPieces	TotalLength	TotalWeight
			m	Kgf
FSEC1	Frame	4	32,07300	1073,56
HP16X88	Frame	180	458,09058	59848,80
HSS5X2X.125	Frame	120	825,31123	6436,10
M318X18.5	Frame	3	187,72136	3447,84
planchas recubrimiento	Area			4642353,20

9.1 ANEXO 105 INFORME DE RAM CONEXTION





Current Date: 1/5/2020 0:00
Units system: English

Steel connections

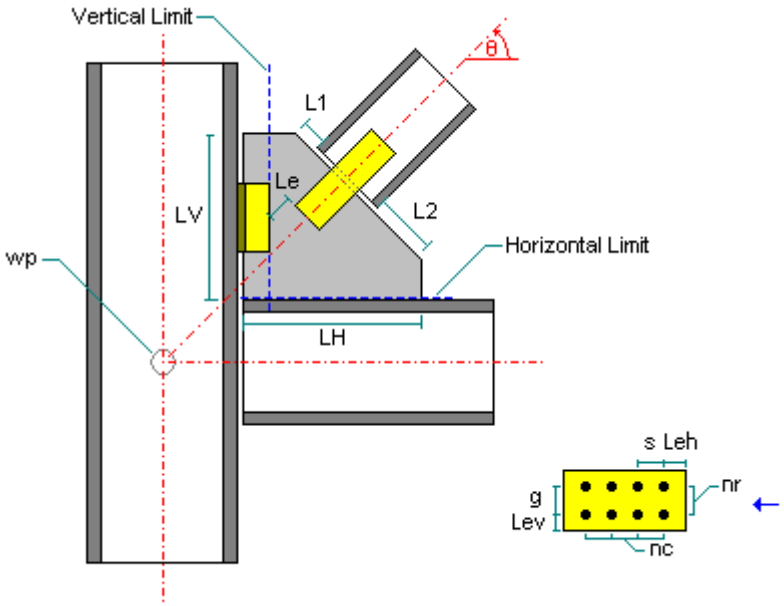
Data

Connection name	:	**CBB_DA**
Connection ID	:	**1**

Family: Columna - Vigas - Diagonales (CBB)
Type: Gusset

DATOS GENERALES

Conector



MIEMBROS

Miembros existentes

Viga derecha	:	Si
Viga izquierda	:	Si
Diagonal superior derecha	:	Si
Diagonal superior izquierda	:	Si
Diagonal inferior izquierda	:	Si
Diagonal inferior derecha	:	Si
Alinear vigas al borde superior	:	No

Columna

General

Sección de la columna	:	W 24X55
Material de la columna	:	A36
Orientación de la columna	:	Longitudinal
Es extremo de columna	:	No

Viga derecha

General

Sección	:	W 18X35
Material	:	A36

Copado

dct: Altura copado superior	:	0 in
ct: Largo copado superior	:	0 in
dcb: Altura copado inferior	:	0 in
cb: Largo copado inferior	:	0 in

Viga izquierda

General

Sección	:	W 18X35
Material	:	A36

Copado

dct: Altura copado superior	:	0 in
ct: Largo copado superior	:	0 in
dcb: Altura copado inferior	:	0 in
cb: Largo copado inferior	:	0 in

Diagonal superior derecha

General

Sección	:	W 10X12
Material	:	A36
Ángulo de inclinación vertical de diagonal (grados)	:	65

Datos geométricos adicionales

wpx: Desplazamiento horizontal del WP	:	0 in
wpy: Desplazamiento vertical del WP	:	0 in
Le: Distancia mínima a otros miembros	:	2 in
L1: Distancia izquierda	:	2 in
L2: Distancia derecha	:	2 in

Diagonal superior izquierda

General

Sección	:	W 10X12
Material	:	A36
Ángulo de inclinación vertical de diagonal (grados)	:	65

Datos geométricos adicionales

wpx: Desplazamiento horizontal del WP	:	0 in
wpy: Desplazamiento vertical del WP	:	0 in
Le: Distancia mínima a otros miembros	:	2 in
L1: Distancia izquierda	:	2 in
L2: Distancia derecha	:	2 in

Diagonal inferior izquierda

General

Sección	:	W 10X12
Material	:	A36
Ángulo de inclinación vertical de diagonal (grados)	:	65

Datos geométricos adicionales

wpx: Desplazamiento horizontal del WP	:	0 in
wpy: Desplazamiento vertical del WP	:	0 in
Le: Distancia mínima a otros miembros	:	2 in
L1: Distancia izquierda	:	2 in
L2: Distancia derecha	:	2 in

Diagonal inferior derecha

General

Sección	:	W 10X22
Material	:	A36
Ángulo de inclinación vertical de diagonal (grados)	:	65

Datos geométricos adicionales

wpx: Desplazamiento horizontal del WP	:	0 in
wpy: Desplazamiento vertical del WP	:	0 in
Le: Distancia mínima a otros miembros	:	2 in
L1: Distancia izquierda	:	2 in
L2: Distancia derecha	:	2 in

INTERFACES

Viga derecha

Unión Viga - Columna

Tipo de conexión a la columna	:	Angulares
sb: Holgura hacia la columna	:	0,5 in

Angulares

Sección de angular	:	L 4X4X1_2
Material	:	A36
El lado largo del angular está sobre la columna	:	Si
Excentricidad	:	0 in
L: Longitud de angular	:	9 in

Lado de la columna

Tipo de unión a la columna	:	Empernada

gc: Separación entre grupo de pernos	:	5,5 in
Pernos	:	3/4" A325 N
Tipo de hueco	:	Standard (STD)
nr: Filas de pernos	:	3
nc: Columnas de pernos	:	1
s: Separación longitudinal entre pernos	:	3 in
Lev: Distancia longitudinal al borde	:	1,5 in
Leh: Distancia transversal al borde	:	1,4 in
Lado de la viga		
Tipo de unión a la viga	:	Soldada
Soldadura a la viga	:	E70XX
D: Tamaño de soldadura (1/16 in)	:	3
Viga izquierda		
Unión Viga - Columna		
Tipo de conexión a la columna	:	Angulares
sb: Holgura hacia la columna	:	0,5 in
Angulares		
Sección de angular	:	L 4X4X1_2
Material	:	A36
El lado largo del angular está sobre la columna	:	Si
Excentricidad	:	0 in
L: Longitud de angular	:	9 in
Lado de la columna		
Tipo de unión a la columna	:	Empernada
gc: Separación entre grupo de pernos	:	5,5 in
Pernos	:	3/4" A325 N
Tipo de hueco	:	Standard (STD)
nr: Filas de pernos	:	3
nc: Columnas de pernos	:	1
s: Separación longitudinal entre pernos	:	3 in
Lev: Distancia longitudinal al borde	:	1,5 in
Leh: Distancia transversal al borde	:	1,4 in
Lado de la viga		
Tipo de unión a la viga	:	Soldada
Soldadura a la viga	:	E70XX
D: Tamaño de soldadura (1/16 in)	:	3
Diagonal superior derecha		
Cartela		
General		
tp: Espesor	:	0,75 in
Material	:	A36
LV: Longitud sobre la columna	:	52,42 in
LH: Longitud sobre la viga	:	6,1 in
Unión Cartela - Diagonal		
General		
sbB: Holgura de diagonal	:	0,5 in
Con angulares	:	Si
Con placas	:	Si
Angulares de ala		
Sección de angular	:	T2L 3-1_2X3-1_2X1_4
Material	:	A36
El lado largo del angular está sobre la cartela	:	Si
Pernos	:	3/4" A325 N
Tipo de hueco	:	Standard (STD)
nr: Filas de pernos	:	2
gt: Separación transversal entre grupo de pernos	:	5,5 in
s: Separación longitudinal entre pernos	:	3 in
Leh: Distancia longitudinal al borde	:	1,5 in
Lev: Distancia transversal al borde del angular	:	1,5 in
Placas de corte en alma		
Descripción	:	PL 1/4x5 1/2x11 1/2
Material	:	A36
Pernos	:	3/4" A325 N
Tipo de hueco	:	Standard (STD)
nc: Líneas de pernos transversales	:	2
nr: Líneas de pernos longitudinales	:	2
s: Separación longitudinal entre pernos	:	3 in
g: Separación transversal entre pernos	:	3 in
Leh: Distancia longitudinal al borde	:	1,25 in
Lev: Distancia transversal al borde	:	1,25 in
tp: Espesor de placa	:	0,25 in

Placa doble : Si
Excentricidad : 0 in

Unión Cartela - Columna

General

Tipo de conexión a la columna : Angulares
sc: Holgura hacia la columna : 1,5 in

Angulares

Sección de angular : L 3-1_2X3-1_2X1_2
Material : A36
El lado largo del angular está sobre la columna : Si
Excentricidad : 0 in
L: Longitud de angular : 27 in

Lado de la columna

Tipo de unión a la columna : Empernada
gc: Separación entre grupo de pernos : 5,5 in
Pernos : 3/4" A325 N
Tipo de hueco : Standard (STD)
nr: Filas de pernos : 9
nc: Columnas de pernos : 1
s: Separación longitudinal entre pernos : 3 in
Lev: Distancia longitudinal al borde : 1,5 in
Leh: Distancia transversal al borde : 1,13 in

Lado de la cartela

Tipo de unión a la cartela : Soldada
Soldadura a la cartela : E70XX
D: Tamaño de soldadura (1/16 in) : 3

Unión Cartela - Viga

General

Tipo de conexión a la viga : Directamente soldada

Directamente soldada

Soldadura a viga : E70XX
D: Tamaño de soldadura a viga (1/16 in) : 3

Diagonal superior izquierda

Cartela

General

tp: Espesor : 0,75 in
Material : A36
LV: Longitud sobre la columna : 52,42 in
LH: Longitud sobre la viga : 6,1 in

Unión Cartela - Diagonal

General

sbB: Holgura de diagonal : 0,5 in
Con angulares : Si
Con placas : Si

Angulares de ala

Sección de angular : T2L 3-1_2X3-1_2X1_4
Material : A36
El lado largo del angular está sobre la cartela : Si
Pernos : 3/4" A325 N
Tipo de hueco : Standard (STD)
nr: Filas de pernos : 2
gt: Separación transversal entre grupo de pernos : 5,5 in
s: Separación longitudinal entre pernos : 3 in
Leh: Distancia longitudinal al borde : 1,5 in
Lev: Distancia transversal al borde del angular : 1,5 in

Placas de corte en alma

Descripción : PL 1/4x5 1/2x11 1/2
Material : A36
Pernos : 3/4" A325 N
Tipo de hueco : Standard (STD)
nc: Líneas de pernos transversales : 2
nr: Líneas de pernos longitudinales : 2
s: Separación longitudinal entre pernos : 3 in
g: Separación transversal entre pernos : 3 in
Leh: Distancia longitudinal al borde : 1,25 in
Lev: Distancia transversal al borde : 1,25 in
tp: Espesor de placa : 0,25 in
Placa doble : Si
Excentricidad : 0 in

Unión Cartela - Columna

General

Tipo de conexión a la columna	:	Angulares
sc: Holgura hacia la columna	:	1,5 in
Angulares		
Sección de angular	:	L 3-1_2X3-1_2X1_2
Material	:	A36
El lado largo del angular está sobre la columna	:	Si
Excentricidad	:	0 in
L: Longitud de angular	:	27 in
Lado de la columna		
Tipo de unión a la columna	:	Empernada
gc: Separación entre grupo de pernos	:	5,5 in
Pernos	:	3/4" A325 N
Tipo de hueco	:	Standard (STD)
nr: Filas de pernos	:	9
nc: Columnas de pernos	:	1
s: Separación longitudinal entre pernos	:	3 in
Lev: Distancia longitudinal al borde	:	1,5 in
Leh: Distancia transversal al borde	:	1,13 in
Lado de la cartela		
Tipo de unión a la cartela	:	Soldada
Soldadura a la cartela	:	E70XX
D: Tamaño de soldadura (1/16 in)	:	3
Unión Cartela - Viga		
General		
Tipo de conexión a la viga	:	Directamente soldada
Directamente soldada		
Soldadura a viga	:	E70XX
D: Tamaño de soldadura a viga (1/16 in)	:	3
Diagonal inferior izquierda		
Cartela		
General		
tp: Espesor	:	0,75 in
Material	:	A36
LV: Longitud sobre la columna	:	52,42 in
LH: Longitud sobre la viga	:	6,1 in
Unión Cartela - Diagonal		
General		
sbB: Holgura de diagonal	:	0,5 in
Con angulares	:	Si
Con placas	:	Si
Angulares de ala		
Sección de angular	:	T2L 3-1_2X3-1_2X1_4
Material	:	A36
El lado largo del angular está sobre la cartela	:	Si
Pernos	:	3/4" A325 N
Tipo de hueco	:	Standard (STD)
nr: Filas de pernos	:	2
gt: Separación transversal entre grupo de pernos	:	5,5 in
s: Separación longitudinal entre pernos	:	3 in
Leh: Distancia longitudinal al borde	:	1,5 in
Lev: Distancia transversal al borde del angular	:	1,5 in
Placas de corte en alma		
Descripción	:	PL 1/4x5 1/2x11 1/2
Material	:	A36
Pernos	:	3/4" A325 N
Tipo de hueco	:	Standard (STD)
nc: Líneas de pernos transversales	:	2
nr: Líneas de pernos longitudinales	:	2
s: Separación longitudinal entre pernos	:	3 in
g: Separación transversal entre pernos	:	3 in
Leh: Distancia longitudinal al borde	:	1,25 in
Lev: Distancia transversal al borde	:	1,25 in
tp: Espesor de placa	:	0,25 in
Placa doble	:	Si
Excentricidad	:	0 in
Unión Cartela - Columna		
General		
Tipo de conexión a la columna	:	Angulares
sc: Holgura hacia la columna	:	1,5 in
Angulares		
Sección de angular	:	L 3-1_2X3-1_2X1_2

Material	:	A36
El lado largo del angular está sobre la columna	:	Si
Excentricidad	:	0 in
L: Longitud de angular	:	27 in
Lado de la columna		
Tipo de unión a la columna	:	Empernada
gc: Separación entre grupo de pernos	:	5,5 in
Pernos	:	3/4" A325 N
Tipo de hueco	:	Standard (STD)
nr: Filas de pernos	:	9
nc: Columnas de pernos	:	1
s: Separación longitudinal entre pernos	:	3 in
Lev: Distancia longitudinal al borde	:	1,5 in
Leh: Distancia transversal al borde	:	1,13 in
Lado de la cartela		
Tipo de unión a la cartela	:	Soldada
Soldadura a la cartela	:	E70XX
D: Tamaño de soldadura (1/16 in)	:	3
Unión Cartela - Viga		
General		
Tipo de conexión a la viga	:	Directamente soldada
Directamente soldada		
Soldadura a viga	:	E70XX
D: Tamaño de soldadura a viga (1/16 in)	:	3

Diagonal inferior derecha

Cartela		
General		
tp: Espesor	:	0,75 in
Material	:	A36
LV: Longitud sobre la columna	:	52,81 in
LH: Longitud sobre la viga	:	6,28 in
Unión Cartela - Diagonal		
General		
sbB: Holgura de diagonal	:	0,5 in
Con angulares	:	Si
Con placas	:	Si
Angulares de ala		
Sección de angular	:	T2L 3-1_2X3-1_2X1_4
Material	:	A36
El lado largo del angular está sobre la cartela	:	Si
Pernos	:	3/4" A325 N
Tipo de hueco	:	Standard (STD)
nr: Filas de pernos	:	2
gt: Separación transversal entre grupo de pernos	:	5,5 in
s: Separación longitudinal entre pernos	:	3 in
Leh: Distancia longitudinal al borde	:	1,5 in
Lev: Distancia transversal al borde del angular	:	1,5 in
Placas de corte en alma		
Descripción	:	PL 1/4x5 1/2x11 1/2
Material	:	A36
Pernos	:	3/4" A325 N
Tipo de hueco	:	Standard (STD)
nc: Líneas de pernos transversales	:	2
nr: Líneas de pernos longitudinales	:	2
s: Separación longitudinal entre pernos	:	3 in
g: Separación transversal entre pernos	:	3 in
Leh: Distancia longitudinal al borde	:	1,25 in
Lev: Distancia transversal al borde	:	1,25 in
tp: Espesor de placa	:	0,25 in
Placa doble	:	Si
Excentricidad	:	0 in
Unión Cartela - Columna		
General		
Tipo de conexión a la columna	:	Angulares
sc: Holgura hacia la columna	:	1,5 in
Angulares		
Sección de angular	:	L 3-1_2X3-1_2X1_2
Material	:	A36
El lado largo del angular está sobre la columna	:	Si
Excentricidad	:	0 in
L: Longitud de angular	:	27 in

Lado de la columna

Tipo de unión a la columna	:	Empernada
gc: Separación entre grupo de pernos	:	5,5 in
Pernos	:	3/4" A325 N
Tipo de hueco	:	Standard (STD)
nr: Filas de pernos	:	9
nc: Columnas de pernos	:	1
s: Separación longitudinal entre pernos	:	3 in
Lev: Distancia longitudinal al borde	:	1,5 in
Leh: Distancia transversal al borde	:	1,13 in

Lado de la cartela

Tipo de unión a la cartela	:	Soldada
Soldadura a la cartela	:	E70XX
D: Tamaño de soldadura (1/16 in)	:	3

Unión Cartela - Viga

General

Tipo de conexión a la viga	:	Directamente soldada

Directamente soldada

Soldadura a viga	:	E70XX
D: Tamaño de soldadura a viga (1/16 in)	:	3

ANEXO 16

PLANOS