

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN HABITÁCULO MODULAR DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DE UNA EDIFICACIÓN RESIDENCIAL EN EL ECUADOR

MEDINA BRAVO MARCO POLO

DIRECTOR: ING. CARLOS NARANJO, M.Sc.

CO - DIRECTOR: ING. CARLOS SUNTAXI, M.Sc.

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO MECÁNICO**

3 de mayo de 2016

DECLARACIÓN

Yo Medina Bravo Marco Polo, declaro 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. La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Medina Bravo Marco Polo

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Medina Bravo Marco Polo bajo mi supervisión.

Ing. Carlos Naranjo, M.Sc.
DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Carlos Sntaxi, M.Sc.
CO-DIRECTOR DEL PROYECTO

Agradezco a Dios que me da la fuerza para seguir adelante, a mi familia por su apoyo incondicional y a los Ingenieros Carlos Naranjo, Carlos Suntaxi, Freddy Ordóñez y Ricardo Soto por permitir, apoyar y ayudar al desarrollo del proyecto.

Marco Medina

Quiero dedicarle esta tesis especialmente a mi padre Guillermo Medina, porque él ha dado razón a mi vida, por sus consejos, su apoyo incondicional, su paciencia, su moral, sus esfuerzos económicos, por haberme enseñado que con esfuerzo, trabajo y constancia todo se consigue, y que en esta vida nadie regala nada. También por cada día hacerme ver la vida de una forma diferente y a confiar en mis decisiones. A toda mi familia que es lo mejor y más valiosa que dios me ha dado. A dios que siempre me guió y me dio la sabiduría para seguir adelante en mis estudios.

Marco Medina

Contenido

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 6 |
| 1.1. OBJETIVOS | 7 |
| 1.2. ALCANCE | 8 |
| 1.3. METODOLOGÍA | 8 |
| 2. BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA | 10 |
| 2.1. CONFORT TÉRMICO | 10 |
| 2.2. DISEÑO EFICIENTE DE UNA EDIFICACIÓN | 11 |
| 2.3. DEMANDA Y CONSUMO ENERGÉTICO EN EL ECUADOR | 12 |
| 2.4. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE UNA EDIFICACIÓN | 12 |
| 2.4.1. FACTORES PASIVOS | 12 |
| 2.4.2. EJEMPLOS DE SISTEMAS PASIVOS | 16 |
| 2.4.3. GANANCIAS INTERNAS | 19 |
| 2.5. BANCO DE PRUEBAS | 21 |
| 2.6. FACTORES DE DISEÑO QUE INFLUYEN EN EL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE UNA EDIFICACIÓN | 21 |
| 2.6.1. PORTABILIDAD | 22 |
| 2.6.2. DESMONTABILIDAD | 22 |
| 2.6.3. PORCENTAJE DE ACRISTALAMIENTO | 22 |
| 2.6.4. ROTACIÓN | 22 |
| 2.6.5. AISLAMIENTO TÉRMICO EN EL TECHO | 22 |
| 2.6.6. SUELO RADIANTE Y AISLADO | 22 |
| 2.6.7. PROTECCIONES SOLARES | 23 |
| 2.6.8. PESO | 23 |
| 2.7. ESTUDIOS SIMILARES | 23 |
| 2.7.1. CÁMARA CLIMÁTICA LOBSTER (KIT) | 23 |
| 2.7.2. CENTRO DE CIENCIA PARA EDIFICACIONES DE EXCELENCIA | 24 |
| 2.7.3. CENTRO DE PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA HUMEDAD, CLACKMAS | 27 |
| 3. DEFINICIÓN Y DISEÑO CONCEPTUAL | 30 |
| 3.1. ANÁLISIS FUNCIONAL | 30 |
| 3.1.1. DEFINICIÓN DEL ANÁLISIS FUNCIONAL | 30 |
| 3.1.2. DEFINICIÓN DE LOS MÓDULOS | 30 |
| 3.2. SOLUCIONES DE LOS MÓDULOS | 30 |
| 3.2.1. MÓDULO 1: ESTRUCTURA DE PAREDES | 30 |
| 3.2.2. MÓDULO 2: ESTRUCTURA DE TECHO | 37 |
| 3.2.3. MÓDULO 3: ESTRUCTURA DE SUELO | 39 |
| 3.2.4. MÓDULO 4: ROTACIÓN | 43 |
| 4. CÁLCULOS | 47 |
| 4.1. VIGAS PARA AISLANTE DEL TECHO | 47 |
| 4.2. VIGAS DEL TECHO | 49 |
| 4.3. COLUMNAS | 52 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 4.4. | VIGAS PARA TUBERÍA | 53 |
| 4.5. | VIGAS DE SOPORTE TOTAL | 55 |
| 4.6. | SOLDADURAS | 58 |
| 4.6.1. | SOLDADURA PARA APOYO DE LAS VIGAS DEL TECHO . | 58 |
| 4.6.2. | SOLDADURA PARA APOYO DE LAS VIGAS DEL AISLANTE | 59 |
| 4.6.3. | SOLDADURA PARA APOYO DE LAS VIGAS DE LA TUBERÍA | 60 |
| 4.6.4. | SOLDADURA PARA VIGAS DE SOPORTE TOTAL | 62 |
| 4.7. | PERNOS DE VIGAS DEL TECHO | 62 |
| 4.8. | ANÁLISIS ESTÁTICO | 63 |
| 4.9. | RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN | 66 |
| 4.10. | MONTAJE | 67 |
| 4.11. | ANÁLISIS DE COSTOS | 70 |
| 4.11.1. | MATERIALES | 71 |
| 4.11.2. | SOLDADURA | 71 |
| 4.11.3. | VIRUTAJE | 72 |
| 4.11.4. | RESUMEN DE COSTOS | 72 |
| 5. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 75 |
| 5.1. | CONCLUSIONES | 75 |
| 5.2. | RECOMENDACIONES | 76 |
| | REFERENCIAS | 77 |
| | ANEXOS | 79 |
| A. | PROPIEDADES MECÁNICAS DE PERFILES | 80 |
| A.1. | CORREAS G | 80 |
| A.2. | PERFILES DE CAJÓN G | 82 |
| B. | PROPIEDADES DE PERNOS Y SOLDADURA | 83 |
| B.1. | PERNOS | 83 |
| B.2. | SOLDADURA | 84 |
| C. | PLANOS | 85 |

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| 2.1. Rangos aceptables de temperatura y humedad operativas para espacios interiores | 11 |
| 2.2. Consumo energético del Ecuador | 13 |
| 2.3. Estrategias de sistemas pasivos | 18 |
| 2.4. Efectos del movimiento del aire en la ventilación natural, (a) Efecto negativo, (b) Efecto positivo | 19 |
| 2.5. Cámara Climática de LOBSTER | 24 |
| 2.6. Laboratorio de Medición de Propiedades Higrotérmicas, (BSCE) | 25 |
| 2.7. Instalación de Pruebas de la Envolvente del Edificio | 25 |
| 2.8. Instalación de Pruebas de la Envolvente del Edificio | 26 |
| 2.9. Laboratorio de Rendimiento Total de un Edificio | 27 |
| 2.10. Cámara para ensayo de resistencia a la infiltración de agua | 28 |
| 2.11. Manómetros utilizados para controlar la presión de agua aplicada a los elementos ensayados | 28 |
| 2.12. Cámara pequeña para experimentar con elementos individuales | 29 |
| 3.1. Ángulo perforado | 31 |
| 3.2. Placa perforada | 31 |
| 3.3. Estructura básica de sujeción de pared con ángulo y placas perforados | 32 |
| 3.4. Ángulo ranurado | 32 |
| 3.5. Placa ranurada | 33 |
| 3.6. Estructura básica de sujeción de pared con ángulo y placas ranurados | 33 |
| 3.7. Soporte deslizante | 34 |
| 3.8. Placa perforada | 34 |
| 3.9. Viga de soporte total | 35 |
| 3.10. Esquema de la alternativa 2 del Módulo 1 | 36 |
| 3.11. Correa G para soporte del aislante | 38 |
| 3.12. Detalle de la conexión entre las correas G | 38 |
| 3.13. Estructura del techo del banco de pruebas | 38 |
| 3.14. Esquema de la alternativa 1 del Módulo 2 | 39 |
| 3.15. Estructura del piso del banco de pruebas | 40 |
| 3.16. Correa G100x50x3 | 41 |
| 3.17. Detalle de la conexión entre las correas G 100x50x3 y los perfiles de cajón | 41 |
| 3.18. Correa G para soporte del aislante | 42 |
| 3.19. Detalle de la conexión entre las correas G y los perfiles de cajón | 42 |
| 3.20. Esquema de la alternativa 1 del módulo 3 | 43 |
| 3.21. Llantas | 44 |
| 3.22. Esquema de la alternativa 1 del módulo 4 | 45 |
| 3.23. Vista isométrica de la estructura del banco de pruebas | 46 |
| 3.24. Vista superior de la estructura del banco de pruebas | 46 |
| 3.25. Vista frontal de la estructura del banco de pruebas | 46 |
| 4.1. Viga simplemente apoyada | 47 |
| 4.2. Diagrama de fuerza cortante de la viga del techo | 48 |
| 4.3. Diagrama del momento flector de la viga del techo para el aislante | 48 |
| 4.4. Viga simplemente apoyada | 50 |
| 4.5. Diagrama de fuerza cortante de la viga del techo | 50 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.6. | Diagrama del momento flector de la viga del techo | 50 |
| 4.7. | a) Ambos extremos están pivotados o articulados; b) ambos extremos están empotrados; c) un extremo libre, un extremo empotrado; d) un extremo redondo y articulado, y un extremo empotrado | 52 |
| 4.8. | Viga simplemente apoyada | 53 |
| 4.9. | Diagrama de fuerza cortante de la viga del techo | 54 |
| 4.10. | Diagrama del momento flector de la viga del techo para el aislante | 54 |
| 4.11. | Viga simplemente apoyada | 56 |
| 4.12. | Diagrama de fuerza cortante de la viga del techo | 57 |
| 4.13. | Diagrama del momento flector de la viga del techo | 57 |
| 4.14. | Unión soldada entre las vigas del techo y un ángulo | 58 |
| 4.15. | Unión soldada entre las vigas del aislante y un ángulo | 59 |
| 4.16. | Unión soldada entre las vigas de la tubería y un ángulo | 60 |
| 4.17. | Soldadura del perfil de cajón utilizado como viga de soporte total | 62 |
| 4.18. | Disposición de la estructura en el software SAP2000 | 63 |
| 4.19. | Disposición de la estructura extruida en el software SAP2000 | 64 |
| 4.20. | Carga del aislante del piso | 64 |
| 4.21. | Carga del techo y aislante del techo | 65 |
| 4.22. | Carga del piso | 65 |
| 4.23. | Carga de las paredes | 66 |
| 4.24. | Resultados de la simulación en función de la relación demanda capacidad de la estructura en el software SAP2000 | 66 |
| 4.25. | Inicio del ensamble de la estructura | 67 |
| 4.26. | Ensamble de todos los perfiles del piso | 67 |
| 4.27. | Colocación del aislante en el piso | 68 |
| 4.28. | Colocación de la tubería | 68 |
| 4.29. | Colocación de las columnas | 68 |
| 4.30. | Colocación de las vigas del techo | 69 |
| 4.31. | Colocación de los paneles del piso | 69 |
| 4.32. | Colocación de los paneles de las paredes | 70 |
| 4.33. | Colocación de los paneles del techo y del aislante | 70 |
| A.1. | Propiedades mecánicas de la sección completa del perfil en C (correas G) en acabado negro o pintado (PHR). | 80 |
| A.2. | Propiedades mecánicas de la sección completa del perfil en C (correas G) en acabado negro o pintado (PHR) continuación. | 81 |
| A.3. | Propiedades mecánicas de la sección completa del perfil estructural cajón en acabado negro o pintado (PHR). | 82 |
| B.1. | Clase métricas de propiedades mecánicas de pernos, tornillos y birlos de acero. | 83 |
| B.2. | Propiedades flexionantes de las soldaduras de filete. | 84 |

Lista de Tablas

| | |
|---|----|
| 2.1. Materiales aislantes comunes: resistencia térmica (R), ventajas e inconvenientes | 17 |
| 2.2. Características de algunos tipos de lámparas | 20 |
| 2.3. Consumo metabólico según la actividad física | 21 |
| 3.1. Opciones del módulo 1 | 35 |
| 3.2. Evaluación de criterios | 36 |
| 3.3. Evaluación de soluciones respecto al montaje sencillo de la estructura | 36 |
| 3.4. Evaluación de soluciones respecto a la sencillez del mecanismo | 36 |
| 3.5. Evaluación de soluciones respecto a la fiabilidad de la fijación de los perfiles | 37 |
| 3.6. Tabla de conclusiones para el módulo 1 | 37 |
| 3.7. Opciones del módulo 2 | 39 |
| 3.8. Opciones del módulo 3 | 43 |
| 3.9. Opciones del módulo 4 | 45 |
| 4.1. Costos de materiales | 71 |
| 4.2. Material de aporte E6011 | 72 |
| 4.3. Material de aporte E7018 | 72 |
| 4.4. Costo de material de aporte y MIG alambre | 72 |
| 4.5. Costo de la mano de obra | 73 |
| 4.6. Costo de los taladros | 73 |
| 4.7. Costo de los cortes | 73 |
| 4.8. Resumen de costos | 74 |

ABSTRACT

The project establishes the design of the structure of a modular interior to study the energy performance of a residential building in Ecuador, on the fundamental design parameters according construction techniques of the country.

For this it began with a literature search about parameters influencing of the thermal behavior of a building in Ecuador was enhanced. Based on these parameters they were defined and prioritized the design parameters for the modular cockpit.

Thereafter selecting solutions for each of the modules in which the structure was split was performed, reaching a general solution. After that, the relevant calculations were performed for the constituent elements of the metal structure, and a simulation of it was done in the computer program SAP2000 as checking calculations already undertaken.

Finally, it was determined that the structure of the testbed will consist of beams and columns with bolted and welded connections, allowing portability.

This project is the first step towards the main objective of performing several tests linked to energy thermal behavior of a building, considering that the biggest beneficiary is the National Polytechnic School for having a new laboratory.

keywords: Structure, design, thermal behavior.

RESUMEN

El proyecto fue realizado para diseñar la estructura de un habitáculo modular desarmable para el estudio del comportamiento energético de una edificación residencial en el Ecuador, tomando en cuenta las técnicas constructivas del país.

El proyecto fue realizado para diseñar la estructura de un habitáculo modular desarmable para el estudio del comportamiento energético de una edificación residencial en el Ecuador, tomando en cuenta las técnicas constructivas del país.

Posteriormente se realizó la selección de soluciones para cada uno de los módulos en los cuales se dividió la estructura, llegando así a una solución general. Después se realizaron los cálculos pertinentes para los elementos constituyentes de la estructura metálica y se realizó una simulación de la misma en el programa computacional SAP2000 como comprobación de los cálculos ya realizados.

Finalmente, se determinó que la estructura del banco de pruebas estará principalmente constituida por vigas y columnas con conexiones empernadas y soldadas, lo que permite su portabilidad.

Este proyecto es el primer paso hacia el objetivo principal de realizar varias pruebas energéticas ligadas al comportamiento térmico de una edificación, teniendo en cuenta que el mayor beneficiario será la Escuela Politécnica Nacional por contar con un nuevo laboratorio.

Palabras clave: Estructura, diseño, comportamiento térmico.

NOMENCLATURA

Letras latinas

| | |
|-------------|--|
| A | área de la garganta mm^2 |
| A_p | área de la pared m^2 |
| A_T | área total m^2 |
| A_t | área de la tubería m^2 |
| c | distancia perpendicular desde la soldadura hasta la fuerza m |
| C_{rec} | constante de condición de extremos recomendada |
| d | distancia para el cálculo del área de la garganta. ver anexo 4 |
| E_a | módulo de elasticidad MPa |
| esp | espesor m |
| F | fuerza que soporte la soldadura N |
| FS | factor de seguridad |
| h | garganta de soldadura mm |
| h_p | altura de la pared m |
| I | segundo momento del área de la garganta de la soldadura m^4 |
| I_m | inercia del metal base m^4 |
| I_u | segundo momento del área unitaria m^4 |
| I_s | inercia m^4 |
| L_c | longitud de la columna m |
| l_p | longitud de la pared m |
| L_t | longitud de la tubería m |
| l_v | longitud de la viga m |
| M | momento producido por la fuerza que soportará la soldadura MPa |
| M_{max} | momento máximo MPa |
| P | fuerza a soportar por cada columna kN |
| P_{agua} | peso del agua kN |
| P_{aisl} | peso del aislante kN |
| P_{aislp} | peso del aislante del piso kN |
| P_{cr} | fuerza crítica kN |
| P_{losa} | peso de la losa de hormigón kN |
| P_{lya} | peso de la losa de hormigón y del aislante kN |
| P_p | peso de la pared kN |
| P_t | peso de la tubería N |
| P_{total} | peso total kN |
| P_{tubt} | peso de la tubería total N |
| r | distancia perpendicular desde la soldadura hasta la fuerza. m |
| R_A | reacción de la viga en el primer extremo N |
| R_B | reacción de la viga en el segundo extremo N |
| S_c | módulo de sección mm^3 |
| S_{sy} | esfuerzo permisible MPa |
| S_x | módulo de sección en el eje x mm^3 |
| S_Y | límite elástico MPa |
| V_a | volumen del aislante m^3 |
| V_{agua} | volumen del agua m^3 |
| V_h | volumen del hormigón m^3 |
| V_p | volumen de la pared m^3 |

| | |
|-------|---------------------------|
| w_1 | carga sobre la viga N/m |
| W_p | carga total N/m |

Letras griegas

| | |
|-----------------|--|
| δ_{max} | deflexión máxima mm |
| γ_{agua} | densidad del agua kg/m^3 |
| γ_c | densidad del corcho expandido, ligado con resinas o breas kg/m^3 |
| γ_h | densidad del hormigón kg/m^3 |
| γ_l | densidad del ladrillo kg/m^3 |
| σ | esfuerzo en el metal base MPa |
| σ_{adm} | esfuerzo normal admisible MPa |
| τ' | esfuerzo cortante primario MPa |
| τ'' | esfuerzo cortante secundario MPa |

GLOSARIO DE TÉRMINOS

1. Humedad Relativa (h.r.): expresa la relación porcentual entre la cantidad de vapor de agua que tiene una masa de aire y la máxima que podría tener.
2. Humedad Absoluta (h.a.): expresa la masa del vapor de agua en gramos contenidos en una unidad de volumen de aire en metros cúbicos.
3. Humedad Específica (h.e.): expresa la masa del vapor de agua en gramos por kilogramo de aire seco.
4. Punto de rocío: expresa la temperatura debajo de la cual el vapor de agua se condensa.
5. Temperatura del Bulbo Seco (t.b.s.): Es la temperatura del aire seco que se puede medir con un termómetro común.
6. Temperatura del Bulbo Húmedo (t.b.h.): Es la temperatura del aire medida con un termómetro común, cuyo bulbo de vidrio haya sido cubierto con una gasa húmeda.
7. Resistencia térmica (R): es la resistencia que ejerce un material determinado al flujo de calor.
8. Diseño pasivo: El diseño pasivo es una alternativa al diseño moderno, cuyo objetivo es garantizar el confort térmico de la vivienda a un menor o nulo costo energético dependiendo de la climatología del lugar.
9. Banco de pruebas: Un banco de pruebas es una cámara experimental dentro de la cual se encuentran varios instrumentos de medición en función de los estudios que se realizan.
10. Edificación: una edificación son todas aquellas construcciones realizadas artificialmente por el ser humano con un determinado fin.
11. Temperatura operativa: es la temperatura que está en función de la temperatura radiante media, de la temperatura del aire y de la velocidad del aire.
12. Nivel de arropamiento (clo): Es la unidad que expresa el aislamiento térmico generado por prendas de vestir, donde $1 \text{ clo} = 0.155 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$.
13. Tasa metabólica (MET): El MET es la unidad que mide el metabolismo de una persona en función de la actividad que se encuentre realizando. Un equivalente metabólico o "1 MET" es la cantidad de energía que el cuerpo utiliza cuando la persona se encuentra en un estado de tranquilidad.
14. Espectro óptico: Es producto de la descomposición de la radiación emitida por un cuerpo caliente a través de un prisma óptico. Esta descomposición da como producto distintas radiaciones electromagnéticas en función de su longitud de onda.

1. INTRODUCCIÓN

La diversidad de climatologías existentes en el Ecuador y la práctica moderna de construcción, que tiende a uniformizar la tipología del hábitat sin tomar en cuenta el clima, ha dado como consecuencia lo que se denomina como déficit cualitativo de viviendas (Funaro, 2011). Esto se traduce en altos consumos energéticos de las edificaciones o en reducción de los niveles de confort térmico de los ocupantes durante la vida útil del edificio. En consecuencia para garantizar niveles adecuados de confort se recurre al uso excesivo de sistemas convencionales (sistemas activos), los cuales consumen una gran cantidad de energía en refrigeración, calefacción, iluminación de la vivienda y demás. Es por eso que se genera la necesidad de modificar el sistema constructivo actual considerando los criterios del diseño pasivo o bioclimático con el fin de reducir consumos energético y mejorar los niveles de confort térmico (The World Business Council for Sustainable Development, 2009).

El diseño pasivo se plantea como una alternativa al diseño moderno, pues este tiene como objetivo garantizar el confort térmico de la vivienda a un menor o nulo costo energético dependiendo de la climatología (Al-Mofleh, Taib, Mujeebu, y Salah, 2009). Este objetivo se logra gracias a que el diseño en sí, se realiza de tal manera que las edificaciones, de ser posible, logren un acondicionamiento del medio interior de forma pasiva, es decir sin la necesidad de equipos mecánicos de acondicionamiento. Para ello se debe tener en cuenta factores como la orientación, los materiales de construcción, sistemas de iluminación natural y ventilación natural, etc. (CITEC, 2012). De esta manera, con el diseño pasivo se intenta obtener un ambiente interno de la edificación controlado en su mayoría por estrategias de calefacción o de refrigeración que no requieran de equipos mecánicos para su funcionamiento.

En el Ecuador, la mayoría de edificaciones residenciales se construyen sin tener en cuenta un apropiado diseño pasivo por varias razones, como la falta de capacitación del constructor o la falta de conocimiento del mismo. El Ecuador cuenta con una gran riqueza territorial teniendo cuatro regiones naturales bien delimitadas que son: la región insular en donde se encuentran las Islas Galápagos a 1000 kilómetros del continente, la región sierra o andina que se encuentra en la parte central del país, la costa que es todo el litoral bañado por el océano Pacífico y el oriente que abarca la Amazonía ecuatoriana. El clima del Ecuador debido a la influencia del mar, la cordillera de los Andes y por su ubicación tropical presenta dos estaciones: húmeda y seca. En la sierra la temperatura oscila entre los 8°C y los 26°C, mientras en la costa y el oriente la temperatura oscila entre los 20°C y 33°C durante todo el año. En la sierra la estación húmeda va desde noviembre hasta abril, en la costa se presenta entre los meses de diciembre y mayo, en la amazonia entre enero y septiembre. En Galápagos el clima es templado y su temperatura fluctúa entre los 22°C y 32°C (Proecuador, 2013).

En este contexto, es evidente que la diversidad de climatologías en el país genera una necesidad de tener diferentes sistemas constructivos acorde al clima. Por tal razón, es necesario estudiar la influencia de los diferentes parámetros térmicos y de diseño en el comportamiento térmico de las viviendas en Ecuador ya que hasta el momento no existe una línea base fundamentada y completa para todo el país en esta temática. Un

estudio extensivo requiere de un sinnúmero de estudios numéricos que deben ser validados experimentalmente. En consecuencia se propone la creación de un laboratorio, que, a mediano plazo permitirá realizar dichos estudios.

Para el desarrollo de este laboratorio se debe partir por el diseño estructural de un banco de pruebas que sirva para el estudio de diferentes parámetros de las viviendas que afecten o incidan sobre el comportamiento térmico de las mismas. Con el estudio de la influencia de los parámetros constructivos y de diseño en el comportamiento térmico de las viviendas en el Ecuador se procederá a determinar cuáles de estos parámetros son los más determinantes en el diseño de la estructura del habitáculo modular y así realizar el diseño del banco de pruebas en base a dichos parámetros, el cual deberá cumplir con ciertas restricciones y grados de libertad para que se puedan variar los parámetros más influyentes en el comportamiento térmico así obtener un banco de pruebas flexible que permitirá al usuario realizar estudios paramétricos de diferentes tipologías constructivas. La importancia de la implementación del banco de pruebas a largo plazo es que se podrán realizar experimentos a diferentes condiciones externas y diferentes tipologías constructivas lo cual permitirá llegar a conclusiones aplicables a futuras construcciones y a generar buenas prácticas constructivas prevaleciendo la eficiencia energética y el confort térmico de los ocupantes.

1.1. OBJETIVOS

Con estos antecedentes se propone el presente proyecto de titulación que tiene como objetivo principal diseñar la estructura de un habitáculo modular de un banco de pruebas para el estudio del comportamiento energético de una edificación residencial en el Ecuador.

Asimismo para cumplir con el objetivo principal, se proponen diferentes objetivos específicos que se irán cumpliendo por etapas durante la ejecución del proyecto. Los objetivos específicos se detallan a continuación:

- Delimitar los principales parámetros que influyen en el confort térmico de una edificación.
- Determinar los parámetros de diseño de la estructura del habitáculo modular que permitan estudiar las diferentes variables que intervienen en el comportamiento energético de un edificio residencial.
- Priorizar los parámetros de diseño de la estructura del habitáculo modular para el banco de pruebas.
- Determinar las condiciones críticas a las que estará sometida la estructura del habitáculo modular y los materiales adecuados de diseño.
- Diseñar la estructura del habitáculo modular que cumpla con los parámetros de diseño determinados.

- Dimensionar los elementos necesarios analíticamente y validar numéricamente a través de paquetes computarizados.

1.2. ALCANCE

Para cumplir con el objetivo del presente proyecto de titulación se debe inicialmente delimitar el alcance del proyecto. Para ello inicialmente, se realizará una revisión bibliográfica de los factores que influyen en el comportamiento energético de un edificio residencial en climas andinos y ecuatoriales. Esto ayudará a definir los principales parámetros en el diseño de la estructura del habitáculo modular para el banco de pruebas para este estudio. Es conocido que los factores climáticos en regiones ecuatoriales difieren mucho de las regiones de alta latitud, por lo tanto la investigación se centrará en identificar los parámetros que inciden en las bajas latitudes.

El banco de pruebas tendrá un tamaño representativo cuyo diseño estructural permitirá variar los factores más relevantes e influyentes en el comportamiento térmico de una edificación en el Ecuador como son los materiales constructivos, la orientación, uso de aislamiento térmico, la ubicación de puertas y ventanas, etc. Posteriormente se estimará un orden de prioridad de estos parámetros, a fin de establecer la mejor estrategia de diseño del banco de pruebas. El diseño deberá cumplir ciertos requerimientos previos como portabilidad, bajo peso, facilidad de manipulación. El habitáculo no tendrá ocupación por lo que los acabados arquitectónicos y de confort visual no serán primordiales en el diseño. Es importante mencionar que el tamaño del banco de prueba permitirá tener una respuesta estimada de edificaciones de mayores tamaños mediante estudios de escalabilidad que se integren a los resultados.

Finalmente, se realizará un modelo en tres dimensiones de la estructura del habitáculo con la ayuda del software computacional SolidWorks, realizando un ensamble estructural en el programa para de esta manera realizar un estudio estático a la estructura. Adicional a esto se realizará una verificación de los elementos críticos de la estructura mediante cálculo manual de diseño.

1.3. METODOLOGÍA

Para poder lograr los objetivos plantados anteriormente se propone seguir una metodología teórica y numérica que se expone a continuación:

- El proyecto iniciará con una búsqueda bibliográfica sobre la temática que incluya conceptos de confort térmico y los parámetros que influyen en el mismo como materiales, orientación, climatología, entre otros. Además, se realizará una búsqueda sobre edificaciones experimentales que se hayan realizado a nivel mundial cuyo objetivo sea estudiar el comportamiento térmico de edificaciones. La búsqueda bibliográfica debe incluir las estrategias de diseño que se emplean para este fin.
- Después de la búsqueda bibliográfica se determinarán los parámetros más influyentes en el comportamiento térmico en las edificaciones.

- Una vez determinados los parámetros más influyentes en el comportamiento térmico en las edificaciones en regiones de baja latitud, se priorizarán los mismos y se determinarán los parámetros de mayor importancia en el diseño de la edificación experimental. Luego se seguirá la metodología del diseño concurrente en cuanto a la modularidad y la selección de alternativas para proceder con el respectivo diseño de la estructura del banco de pruebas.
- Se procederá a realizar las diferentes alternativas para cada módulo de la estructura del habitáculo modular y el modelado en 3D de las mismas con ayuda del paquete informático SolidWorks. Además, se realizará el cálculo estructural de los elementos más críticos de forma manual para verificar la validez de la información obtenida mediante el paquete informático.
- Posteriormente se realizará la propuesta y selección de la mejor alternativa en cada uno de los módulos para obtener la solución general la cual será la adoptada como diseño final de la estructura del habitáculo modular.
- Finalmente se realizará un análisis estático de la estructura propuesta para garantizar un funcionamiento correcto y que soporte las exigencias a las cuales estará sometida.

2. BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA

El presente proyecto se enfoca en el diseño estructural de un habitáculo modular para un banco de pruebas que permita estudiar el comportamiento térmico de las edificaciones residenciales en el Ecuador. En este capítulo se expone la revisión bibliográfica sobre las variables que más inciden en el comportamiento térmico de las edificaciones residenciales en Ecuador, las cuales servirán para definir los parámetros de diseño del habitáculo modular del banco de pruebas.

2.1. CONFORT TÉRMICO

Dentro de la definición de la eficiencia energética en edificaciones se plantea como meta principal, garantizar una adecuada calidad de vida al menor consumo energético posible. La calidad de vida se ve influenciada en gran parte por el confort térmico de los ocupantes el cual se entiende como un conjunto de propiedades y características térmicas que permitan satisfacer las necesidades de los ocupantes de una determinada edificación (Czajkowski, Discoli, Rosenfeld, Gentile, y Moreno, 1999). Los criterios de confort térmico son muy influyentes al momento de definir estrategias de diseño de edificaciones acorde a la climatología (diseño bioclimático). Según Fuentes (Fuentes, 2014) los rangos aceptables de confort térmico se ven influenciados principalmente por las condiciones interiores de humedad relativa, temperatura operativa y velocidad del aire. Por otro lado, existen variables no ambientales que influyen en el confort térmico como la actividad de los ocupantes y el nivel de arropamiento (Kastillo y Beltrán, 2015)

las variables térmicas interiores de las edificaciones (temperatura operativa, humedad relativa y velocidad del viento interior) se encuentran influenciadas por parámetros propios de la edificación como actividad de los ocupantes, ganancias internas de equipos, materiales constructivos, etc. así como parámetros externos que no dependen del tipo de edificación (temperatura ambiente, humedad exterior, radiación solar, velocidad exterior del viento, etc.). Por otro lado, varias normativas como la ASHRAE 55 (ASHRAE, 2004), ISO 7730 (ISO, 2006), CIBSE Guide A (Humphreys y Nicol, 2006), entre otras han definido ciertos rangos aceptables de confort térmico para diferentes condiciones de edificación. De éstas, los rangos de confort propuestos por la normativa ASHRAE 55 (2004) son uno de los más aceptables a nivel mundial, al punto que son empleados por organismos internacionales de certificación ambiental de edificaciones como LEED (Portela, Viguera, Pastor, Huerta, y Otero, 2010) o BREEM (ATECOS, 1990).

En la Figura 2.1 se pueden apreciar los rangos aceptables interiores de temperatura operativa y humedad relativa para una velocidad del aire de 0.2 m/s. La gráfica indica los rangos aceptables para un nivel de arropamiento de 0.5 clo (típico en temperaturas altas) y de 1 clo (típico en temperaturas bajas).

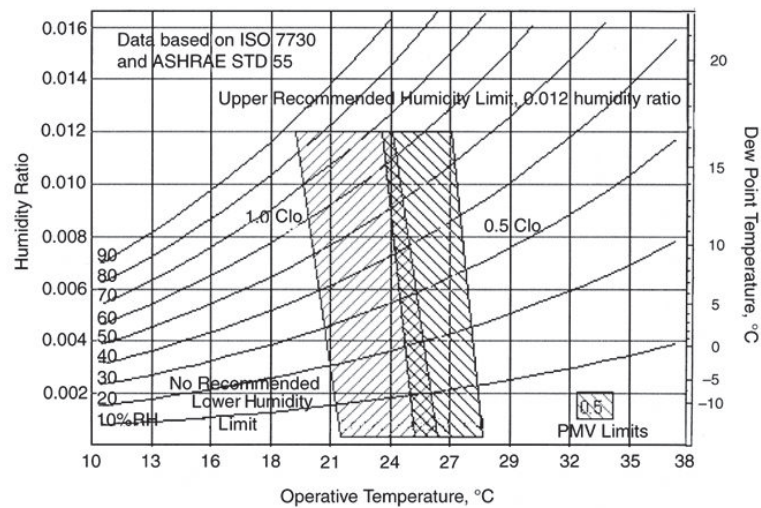


Figura 2.1: Rangos aceptables de temperatura y humedad operativas para espacios interiores (ASHRAE, 2004)

2.2. DISEÑO EFICIENTE DE UNA EDIFICACIÓN

El objetivo principal de la eficiencia energética en edificaciones es el reducir el consumo de energía primaria sin afectar de manera considerable las condiciones ambientales interiores, es decir garantizando el confort térmico de los ocupantes. Para cumplir este objetivo se requiere de una reducción del consumo energético por lo que es necesario entender que los diseños de las edificaciones se deben enfocar en minimizar los consumos energéticos aprovechando fuentes energéticas disponibles en los alrededores, sistemas óptimos de distribución energética, almacenamiento de energía, entre otros. Este objetivo debe cumplirse sin sacrificar otros aspectos de la construcción de una edificación como la estética, el peso y demás condiciones técnicas.

Para garantizar el confort térmico en las edificaciones, tradicionalmente se ha recurrido al uso de sistemas activos de calefacción o refrigeración (acondicionamiento de aire). Sin embargo, en muchos casos, cuando se parten de diseños de edificaciones ineficientes, los consumos de los equipos activos son muy elevados llegando a representar hasta el 68 % del consumo energético total de la edificación (Pérez, Ortiz, y Pout, 2008).

Por tal motivo, es notorio que en las últimas décadas se han hecho muchos esfuerzos en la reducción de consumos energéticos en el sector de las edificaciones. En consecuencia, se ha retomado en consideración criterios de diseño pasivo y el uso de materiales constructivos con mejoras en sus propiedades térmicas. Para ello es de gran importancia considerar la climatología donde se encuentra la edificación con el fin de identificar las estrategias constructivas que mejor se adapten a la misma.

En Ecuador, el confort térmico en edificaciones muy rara vez se lo garantiza porque no se lo estudia desde el diseño de edificaciones. Esto hace que cuando las edificaciones están terminadas se tenga que recurrir al uso improvisado de elementos externos a la edificación para mejorar las condiciones térmicas. Por otro lado, la veces que se hace

necesario garantizar el confort térmico, mayoritariamente se emplean sistemas activos de climatización.. Otro factor importante que influye en el comportamiento térmico es la climatología del lugar donde se encuentra la edificación, lo cual ayuda a definir las mejores estrategias constructivas (Manteca, 2012).

2.3. DEMANDA Y CONSUMO ENERGÉTICO EN EL ECUADOR

La demanda energética, de manera general, es la energía que se requiere para el funcionamiento de un determinado sistema. En una edificación, es la energía necesaria para cubrir las necesidades de los ocupantes. Esta energía es suministrada con una cierta eficiencia por lo que no necesariamente debe coincidir con la energía consumida. El consumo se ve representado por la siguiente fórmula:

$$\text{Consumo} = \frac{\text{Demanda}}{\text{Rendimiento}} \quad (2.1)$$

De esta relación se puede concluir que para reducir el consumo es necesario reducir la demanda y/o aumentar la eficiencia. Normalmente, las estrategias adecuadas de eficiencia energética inician con la reducción de la demanda y finalizan con la mejora de la eficiencia de los equipos. Esta metodología se emplea ya que es mucho más económica la reducción de la demanda de energía, se han evidenciado en varios estudios que con modificaciones menores en las edificaciones se pueden alcanzar ahorros energéticos considerables. En edificaciones residenciales, la energía consumida se emplea para cubrir principalmente necesidades eléctricas (iluminación, equipos, etc.) y térmicas (calentamiento de agua, acondicionamiento de aire, etc.). Sin embargo en edificaciones no residenciales los consumos más importante se relacionan con equipos eléctricos (Manteca, 2012).

Como se puede apreciar en la Figura 2.2, en el Ecuador el consumo de energía en el sector residencial es en su mayoría gas líquido de petróleo con un 56 % seguido por la electricidad con un 26 % y finalmente la leña con un 18 % de consumo (Alvarez, 2015).

Se puede apreciar fácilmente que el consumo de energía eléctrica es alto en el sector residencial, razón por la cual la implementación de sistemas pasivos en una residencia ayudará a disminuir en gran medida esta demanda de energía eléctrica.

2.4. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE UNA EDIFICACIÓN

2.4.1. FACTORES PASIVOS

1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

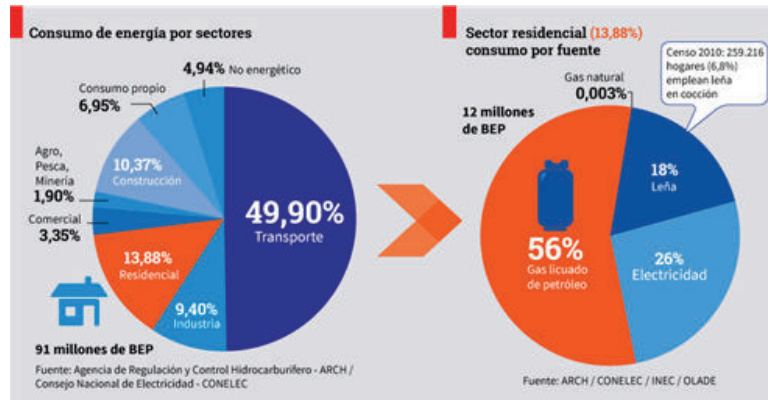


Figura 2.2: Consumo energético del Ecuador (Alvarez, 2015)

La ubicación geográfica o emplazamiento se refiere al lugar en donde se encuentra situada la edificación. Debido a la ubicación geográfica se pueden determinar características climatológicas que afectan al comportamiento térmico de una edificación. Estas características son de dos tipos: las macroclimáticas que son condiciones dependientes de la zona planetaria en donde se encuentre la edificación como: latitud, longitud, altitud y región; y las microclimáticas que son condiciones dependientes de la geografía del lugar en donde se encuentre la edificación, como las fallas geográficas, valles, topografía que modifica la dirección del viento, etc (Manteca, 2012).

2. ORIENTACIÓN

La orientación es la posición que tiene la edificación respecto a un determinado sistema de referencia. La orientación de una edificación influye directamente en el comportamiento térmico de la misma y por lo general este factor depende en gran medida de la disposición arquitectónica y geográfica del lugar de construcción. Con una correcta orientación de la edificación se pueden optimizar los sistemas pasivos de refrigeración y de calefacción en función de la incidencia de la radiación solar y el viento.

3. FORMA

La forma de la edificación es un factor primordial que influye en el comportamiento térmico del interior de la edificación, esta influye en la cantidad de calor que se gana o se pierde por la superficie en contacto con la radiación solar y el exterior (Coellar, 2013). La forma es una variable inherente del diseño de la propia edificación. De la forma de la edificación dependen otros factores como la densidad de ocupación y el contorno de la edificación que no es más que la forma geométrica del perímetro que delimita (Sgroi, 2011).

La compacidad es un factor que ayuda a comparar las la forma de las edificaciones y determinara las ventajas que existen en las mismas por medio de comparación; es la relación entre el volumen interior de una edificación y la superficie de la

envolvente de la misma. El factor de forma o también conocido como coeficiente de forma es el inverso de la compacidad por lo cual puede ser utilizado de la misma manera, como un factor de comparación (Naranjo, 2015).

Con la compacidad se pueden apreciar las limitaciones que se pueden tener al momento de construir una edificación con lo que se puede afrontar retos de mejor sostenibilidad de la edificación (Agencia de Ecología Urbana de Barcelona, 2013). Es una solución que se encuentra en el diseño de una residencia contra la discontinuidad, dispersión e interferencia urbana con lo que la calidad de vida se ve deteriorada. Para tener una buena compacidad se debe tener un determinado orden interno y forma (Del Valle y Peremiquel Lluçh, 2014).

La forma de una edificación también se puede determinar en función de la condición climática que tenga su ubicación. Lo recomendado para climas fríos es tener una forma maximizando el factor de compacidad, en climas templados tercer superficies alargadas, en climas cálidos-secos tener un alto factor de compacidad y en climas cálidos húmedos tener superficies alargadas (Olgyay, 2013).

4. ILUMINACIÓN NATURAL

La iluminación natural es aquella que proviene de fuentes naturales, siendo la más común la proveniente del sol. Una buena iluminación crea confort en las personas que se encuentren en un determinado espacio y más aún si esta iluminación es natural. Dependiendo de la actividad es aconsejable que esta se distribuya adecuadamente en el ambiente. La luz natural da una mejor calidad visual sobre los objetos ya que mantiene un mayor índice de reproducción cromática y mantiene la naturalidad de los colores (Coellar, 2013).

Para un correcto diseño, en cuanto a iluminación se refiere, es necesario tener en cuenta distintos aspectos como el lugar, la orientación, las dimensiones de la edificación, la selección de aberturas de penetración de luz artificial (superficie acristalada) y las superficies exteriores e interiores que rodean a la edificación (CEI, 2005).

5. MATERIALES DE LA ENVOLVENTE

La envolvente de la edificación comprende la superficie de la edificación que está en contacto con el exterior como el techo, paredes, ventanas, puertas, entre otras. En la etapa de construcción de una edificación la selección de materiales adecuados para la envolvente es vital con el fin de minimizar consumos energéticos y maximizar el confort térmico (Galindo, García, y Pérez, 2013).

En la construcción convencional de edificaciones en Ecuador, la mayoría de materiales utilizados tienen un alto costo medioambiental debido a que la obtención de estos demanda un gran gasto energético. Además que para mejorar sus características técnicas pierden cualidades biológicas lo cual afecta al medio ambiente.

■ LOCALIZACIÓN DE PUERTAS Y VENTANAS

La ubicación adecuada de aperturas como puertas y ventanas influye en la tasa de renovación del aire interior de la vivienda y así asegurar una condición saludable en el interior de la misma, y de igual manera ayuda al ahorro del consumo energético. Las ventanas ayudan para incrementar los niveles de iluminación interior de las edificaciones. Esto depende en gran medida del material de la ventana que comúnmente es vidrio el cual permite que la radiación sea absorbida en su gran mayoría, dependiendo del tipo de vidrio.

Para optimizar las ventajas que se pueden tener en función de las puertas y ventanas se debe ubicar las ventanas y las puertas de tal manera que exista una adecuada admisión y extracción de aire hacia y desde el interior de la vivienda. Se deben tener en cuenta soluciones de diseño como la variación de la altura de las ventanas, variación de las superficies de las aperturas, variación del ángulo de penetración del aire, etc. (Meiss y Feijó, 2011).

En climas muy extremos, donde las edificaciones están climatizadas, es recomendable utilizar para las ventanas y puertas, materiales de baja transmisividad térmica y baja emisividad con el fin de reflejar el calor al interior de la vivienda en invierno y poder mantener el mismo en el exterior en verano. También hay que tomar en cuenta la dirección del viento evitando la circulación cruzada para no perder el calor (Coellar, 2013).

■ PUENTES TÉRMICOS

La envolvente de una edificación no es homogénea por diversos aspectos y factores que influyen en su homogeneidad como los son la existencia de agujeros, uniones, etc. Estas heterogeneidades producen un cambio brusco de la transferencia de calor y difusión de vapor de agua entre el exterior y el interior de dicha edificación. Las uniones de la envolvente, al estar en contacto con el exterior y el interior, crean lo que se conoce como puente térmico.

Los puentes térmicos pueden ser causador por incrustaciones de materiales distintos al del cerramiento de la edificación, el ejemplo más común son las vigas y columnas metálicas en un cerramiento no metálico. (Díaz y Tenorio, 2005).

Los puentes térmicos alteran el comportamiento térmico de una edificación por el cambio de la transferencia de calor y a la eficiencia energética debido a que, en climas extremos, incrementan las pérdidas o ganancias de calor y por ende el consumo energético de dicha edificación (Paredes, 2011).

■ AISLAMIENTO TÉRMICO

La principal función de los elementos aislantes es reducir la transmisión

de calor hacia el exterior o interior en función de las temperaturas interior o exterior. Los materiales termo aislantes más comunes son: espuma de poliuretano, poliestireno expandido, fibra de vidrio, corcho, e incluso el mismo aire entre otros. En la Tabla 2.1 se indican las desventajas y ventajas que se tiene en los materiales aislantes más comunes (FAO, 2005).

En la actualidad, el hecho de calentar el aire de una edificación con sistemas no pasivos, en especial en invierno, da como resultado un alto consumo energético (Dylewski y Adamczyk, 2011).

El techo, las paredes y las puertas son elementos importantes que, con los materiales adecuados, permiten evitar pérdidas y ganancias de calor en edificaciones. Es importante que en la selección de materiales se consideren criterios no térmicos como la facilidad de instalación y el costo (Binici, Aksoğan, Bodur, Akca, y Kapur, 2007).

2.4.2. EJEMPLOS DE SISTEMAS PASIVOS

1. CALEFACCIÓN

La calefacción se refiere al hecho de aumentar la temperatura de un determinado lugar según las necesidades de los usuarios para que estos estén en una zona de confort térmico. Los sistemas pasivos de calefacción se deben utilizar en zonas con temperaturas medias o bajas y con un clima templado. Se debe tomar en cuenta el hecho de que la edificación no debe tener exceso de ganancias de calor internas para evitar un posible sobrecalentamiento en temporadas calurosas.

Los sistemas pasivos de calefacción se utilizan con mayor frecuencia en época de bajas temperaturas para poder aprovechar el asoleamiento y proteger al interior de la edificación de las bajas temperaturas como se observa en la Figura 2.3. Se debe tener en cuenta las cargas térmicas internas y externas a la edificación para poder establecer las estrategias de diseño adecuadas (CITEC, 2012).

Tabla 2.1: Materiales aislantes comunes: resistencia térmica (R), ventajas e inconvenientes (FAO, 2005)

| Material aislante | Ventajas | Desventajas |
|---|--|--|
| Poliuretano, en plancha | Puede usarse con resinas de fibra de vidrio | No es fácil de obtener; relativamente caro |
| Poliuretano, rociado | Puede usarse con resinas de fibra de vidrio; aplicación sencilla con equipo de rociado | No es fácil de obtener; caro; exige equipo especial de rociado |
| Poliuretano, vertido (mezcla química de dos componentes) | Puede usarse con resinas de fibra de vidrio; aplicación relativamente sencilla | No es fácil de obtener; caro; los volúmenes deben calcularse muy cuidadosamente |
| Poliestireno, en láminas (lisas), nombre comercial (Styrofoam) | Fácilmente disponible, bajo costo | No puede usarse con resinas de fibra de vidrio, a no ser que se proteja; se daña fácilmente |
| Poliestireno, expandido in situ y en perlas moldeadas expandidas. Conocido como Isopor, Polypor, etc. | Menor costo que las láminas de superficie lisa | No puede usarse con resinas de fibra de vidrio, a no ser que se proteja; se daña fácilmente |
| Plancha de corcho | Disponible en muchos mercados; costo razonable; puede recubrirse con fibra de vidrio | R menor que la del poliuretano para espumas de estireno |
| Rollos de lana de fibra de vidrio | Bajo costo; instalación fácil | Absorbe agua u otros líquidos con facilidad, y pierde capacidad aislante al mojarse |
| Rollos de lana mineral | Bajo costo; instalación fácil | Absorbe agua u otros líquidos con facilidad, y pierde capacidad aislante al mojarse |
| Virutas de madera | Fácilmente disponible; bajo costo | Absorbe humedad; se descompone |
| Serrín | Fácilmente disponible; bajo costo | Absorbe humedad y su R se reduce al mojarse; se compacta por efecto de las vibraciones |
| Paja | Fácilmente disponible; bajo costo | Absorbe humedad; alberga insectos, etc. |
| Espacio de aire | Costo nulo | Es necesario sellarlo completamente para evitar la circulación de aire que ocasiona la infiltración de calor |

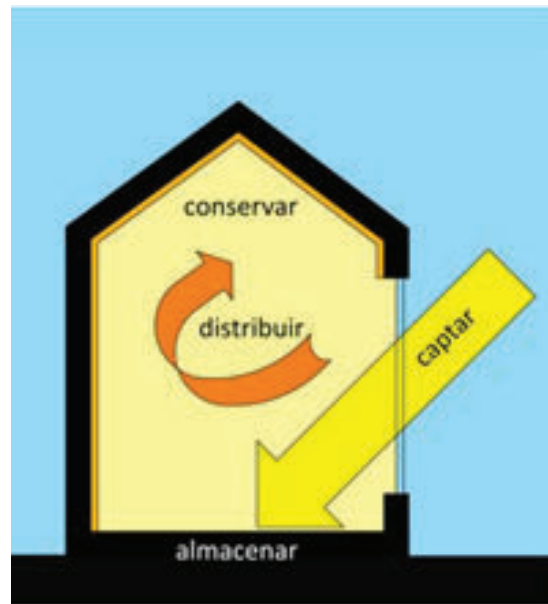


Figura 2.3: Estrategias de sistemas pasivos (CITEC, 2012)

2. REFRIGERACIÓN

La refrigeración tiene como objetivo principal el de reducir la temperatura de un determinado lugar para que los usuarios estén en una zona de confort térmico, ya sea por medios activos o pasivos. De forma general las estrategias de sistemas pasivos de refrigeración se requieren en zonas en donde se tengan altas temperaturas como por ejemplo los valles en la sierra o en general en la costa y el oriente ecuatoriano. Por otra parte se puede utilizar de igual manera sistema de enfriamiento pasivo para zonas en las cuales se requiere una mejor renovación de aire como por ejemplo en hospitales. Para utilizar de manera adecuada el diseño pasivo en refrigeración se deben tener en cuenta factores como los materiales, el uso y el clima (CITEC, 2012).

La refrigeración pasiva tiene como objetivo reducir la dependencia de sistemas activos de refrigeración, esta estrategia se debería utilizar solo en edificaciones en las cuales la refrigeración sea importante. Los factores más importantes al momento de planificar el sistema de enfriamiento pasivo son la humedad alta, el movimiento del aire (Figura 2.4) y la ganancia de energía solar (Base, 1993).

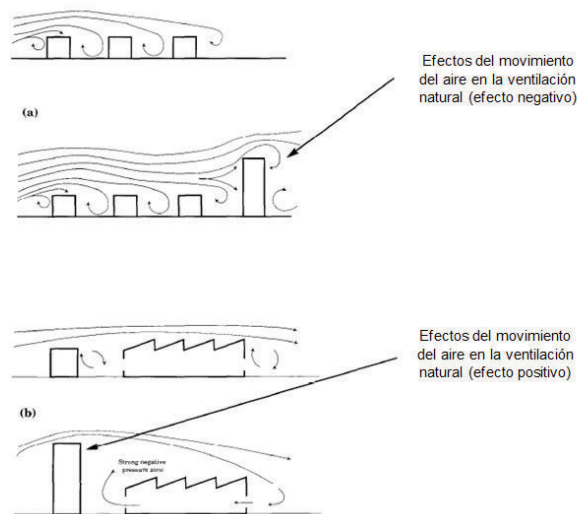


Figura 2.4: Efectos del movimiento del aire en la ventilación natural, (a) Efecto negativo, (b) Efecto positivo (Base, 1993)

2.4.3. GANANCIAS INTERNAS

1. GANANCIAS INTERNAS POR ILUMINACIÓN ARTIFICIAL

Existen varios factores que se deben considerar para tener una correcta iluminación artificial. Lo primero que se debe considerar es la iluminación natural (ventanas, domos, etc.) que tenga el lugar a iluminar artificialmente y el nivel de iluminación necesario con respecto a la utilidad o función de la edificación (oficina, sala de juegos, etc.).

La iluminación artificial se puede conseguir por diferentes medios. Por ejemplo: la luz incandescente se produce con una lámpara incandescente siendo una fuente tradicional de luz artificial en todo el mundo a pesar de que en ciertos países de Europa están prohibidas, el foco incandescente tiene muy poca eficiencia debido a que de todo a energía que consume solo el 15% de esta se convierte en luz y el resto se disipa en forma de calor lo cual supone un problema de sustentabilidad económica. Existe también la iluminación artificial por luces de halógeno cuyas luminarias representan la evolución de las lámparas incandescentes por su mayor eficiencia y rendimiento, otra de sus ventajas es el tamaño más compacto de los faros de este tipo. La luz fluorescente es otra manera de conseguir luz artificial, su eficiencia es muy alta en comparación con las luces incandescentes y halógenas. También se encuentra la tecnología de la luz artificial por LEDs (Luz por diodos emisores) siendo la última tendencia de iluminación artificial, por su eficiencia superior y su larga vida útil (Quijada, 2012).

Los principales tipos de lámparas que existen son las lámparas incandescentes, incandescentes halógena de tungsteno, de mercurio de baja presión, de mercurio de alta presión, de halogenuros metálicos entre otras (OSRAM, 2015). En la Tabla

2.2 se detallan las eficiencias de algunos de los tipos más comunes de lámparas.

Tabla 2.2: Características de algunos tipos de lámparas

| Tipo | Eficiencia nomina % | Vida útil (horas) | Temperatura de color K | Color |
|----------------------------------|------------------------|----------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Lámpara incandescente | 12-17 | 1000-2500 | 2700 | Blanco cálido (amarillento) |
| lámpara halógena | 16-23 | 3000-6000 | 3200 | Blanco cálido (amarillento) |
| Lámpara fluorescente compacta | 52-100 | 8000-20000 | 2700-5000 | Blanco (con tono verdoso) |
| Lámpara de haluro metálico | 50-115 | 6000-20000 | 3000-4500 | Blanco dorado |
| Lámpara de inducción | 80-100 | 50000-60000 | 2700-4000 | Blanco cálido |
| Sodio Alta Presión | 55-140 | 10000-40000 | 1800-2200 | Naranja rosáceo |
| Sodio Baja Presión | 100-200 | 18000-20000 | 1800 | Amarillo |

2. GANANCIA POR OCUPANTES

Las personas y su actividad dentro de la edificación generan una ganancia térmica dentro de la misma por su desenvolvimiento en función de la utilización de la edificación. Las personas que se encuentran dentro de un determinado espacio aportan con calor sensible y latente, razón por la cual la carga total de enfriamiento es aumentada.

La tasa de actividad metabólica de una persona se puede medir en distintas unidades como kilo calorías, kilo julios, entre otros. El MET es una de las formas de medir el metabolismo de una persona en función de la actividad que se encuentre realizando. Un equivalente metabólico o “1 MET” es la cantidad de energía que el cuerpo utiliza cuando la persona se encuentra en un estado de tranquilidad. A medida que la actividad física que realice el cuerpo se incrementa, también lo hará el nivel MET. Las actividades que se encuentran entre 3 y 6 MET son consideradas de intensidad moderada y si son mayores a 6 MET son consideradas de alta intensidad. En la Tabla 2.3 se especifica el nivel MET para ciertas actividades (el gasto de energía equivalente está en kcal para una persona de 30 kg que realiza la actividad durante 30 minutos) (Merino, Gonzales, y Aznar, 2006).

3. GANANCIAS INTERNAS POR EQUIPOS

Dejando de lado la iluminación artificial ya explicada con anterioridad, los equipos instalados dentro de un espacio determinado generan calor con su utilización, como los equipos de oficina, televisores, calefactores, electrodomésticos, entre otros. Estos equipos afectan a la carga total necesaria para enfriar el ambiente interior aumentando la misma.

Se considera que la ganancia de calor sensible por electrodoméstico especialmente en la zona de la cocina en de unos 1200 BTU/h lo cual es un valor razonable y permite el uso intermitente de los mismos (Pita, 1994).

Tabla 2.3: Consumo metabólico según la actividad física (Merino y cols., 2006)

| Actividad | Intensi- dad | MET | Gasto de energía |
|---|-----------------|------|---------------------|
| Planchar | Leve | 2.3 | 35 |
| Limpiar y quitar el polvo | Leve | 2.5 | 37 |
| Andar o pasear a 3-4 km/h | Leve | 2.5 | 37 |
| Pintar/Decorar | Moderada | 3.0 | 45 |
| Andar a 4-6 km/h | Moderada | 3.3 | 50 |
| Pasar la aspiradora | Moderada | 3.5 | 53 |
| Golf (caminando, sacando palos) | Moderada | 4.3 | 65 |
| Bádminton (por diversión) | Moderada | 4.5 | 68 |
| Tenis (dobles) | Moderada | 5.0 | 75 |
| Andar a paso ligero, a > 6 km/h | Moderada | 5.0 | 75 |
| Cortar el césped (andando, con cortacésped de gasolina) | Moderada | 5.5 | 83 |
| Ir en bicicleta a 16-19 km/h | Moderada | 6.0 | 90 |
| Baile aeróbico | Alta | 6.5 | 93 |
| Ir en bicicleta a 19-22 km/h | Alta | 8.0 | 120 |
| Nadar estilo crol lento, a 45 m/min | Alta | 8.0 | 120 |
| Tenis (individuales) | Alta | 8.0 | 120 |
| Correr a 9-10 km/h | Alta | 10.0 | 150 |
| Correr a 10-12 km/h | Alta | 11.5 | 173 |
| Correr a 12-14 km/h | Alta | 13.5 | 203 |

2.5. BANCO DE PRUEBAS

El objetivo principal del estudio de los factores que influyen en el comportamiento térmico de una edificación es tener las bases y la justificación adecuada para la realización de un banco de pruebas en el cual se puedan realizar experimentos en función de estos factores. Para poder lograr este objetivo es necesario también considerar factores de diseño, muchos de los cuales están en función de los estudios que se van a realizar con el mismo. Por esta razón, los factores que influyen en el comportamiento térmico de una edificación tienen un importante papel en el diseño del banco de pruebas y por ende en la estructura del mismo.

2.6. FACTORES DE DISEÑO QUE INFLUYEN EN EL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE UNA EDIFICACIÓN

En conclusión, de todos los factores que influyen en el comportamiento térmico de una edificación expuestos anteriormente se determinó los factores que influyen en el diseño de la estructura del habitáculo modular del banco de pruebas para el estudio energético del mismo.

2.6.1. PORTABILIDAD

Dado que la ubicación es un factor primordial al realizar cualquier estudio energético se debe garantizar que la estructura del habitáculo modular para el banco de pruebas se pueda movilizar con la mayor facilidad posible para asegurar la realización de las pruebas que se requieran hacer en diferentes lugares para poder comparar los resultados.

2.6.2. DESMONTABILIDAD

Para garantizar la realización de las distintas pruebas de comportamiento energético en el banco de pruebas en distintas ubicaciones según sea la necesidad del investigador, es necesario que este tenga facilidad de montaje y posterior desmontaje para su respectiva transportación.

2.6.3. PORCENTAJE DE ACRISTALAMIENTO

La localización de las ventanas y el porcentaje de acristalamiento son factores que influye en el comportamiento térmico de una edificación, de aquí la necesidad de variar el porcentaje de acristalamiento en las paredes del banco de pruebas, para lo cual la estructura deberá garantizar la localización generosa de las ventanas en las cuatro paredes del banco de pruebas, además de variar la posición de las misma en función de la necesidad que tenga el estudio a realizarse.

2.6.4. ROTACIÓN

La rotación de la estructura del habitáculo modular es importante ya que con este movimiento se puede cambiar la orientación del mismo para así tener diferente disposición de la radiación solar, dirección del viento y demás factores que depende de la orientación y que influyen en el comportamiento térmico de una edificación.

2.6.5. AISLAMIENTO TÉRMICO EN EL TECHO

Para poder simular el hecho de que las condiciones del banco de pruebas son de un piso residencial que se encuentre debajo de otro es necesario aislar el techo del banco de pruebas. En consecuencia, la estructura del habitáculo modular tendrá la opción de colocar material aislante en el techo, más una capa de aire antes del material final del mismo. De esta manera, se tiene la opción de aislar o no el techo dependiendo de la necesidad del estudio a realizarse.

2.6.6. SUELO RADIANTE Y AISLADO

Para poder simular el hecho de que las condiciones del banco de pruebas son de un piso residencial que se encuentre encima de otro es necesario aislar el piso del banco de pruebas. Por ende, la estructura del habitáculo modular tendrá la opción de colocar material aislante en el piso, más una capa de aire antes del material final del mismo. Asimismo, con el fin de simular condiciones de suelo a diferentes temperaturas (no aislado) se requiere colocar una tubería para simular transferencia de calor por radiación del suelo. Así se tiene la opción de aislar o no el piso dependiendo de la necesidad del estudio a realizarse.

2.6.7. PROTECCIONES SOLARES

La radiación incidente en las distintas fachadas del banco de pruebas influye directamente en su comportamiento térmico, razón por la cual se tendrá a disposición elementos de sombra en cada una de las paredes del banco de pruebas para disminuir o aumentar la incidencia de la radiación solar según la necesidad del estudio que se realice.

2.6.8. PESO

Por el mismo hecho de que la estructura del habitáculo modular y todo el banco de pruebas deben ser de fácil portabilidad, su peso debe ser el menor posible siempre y cuando soporte de manera eficiente y segura las diferentes cargas a las cuales estará sometido en los respectivos estudios que se realicen.

2.7. ESTUDIOS SIMILARES

En varias partes del mundo se han diseñado diferentes experimentos con diferentes pruebas experimentales para determinar distintos factores que influyen en el comportamiento térmico de una determinada edificación, dando como resultado diferentes conclusiones del estudio realizado.

2.7.1. CÁMARA CLIMÁTICA LOBSTER (KIT)

El proyecto de la cámara climática es realizado por LOBSTER en Alemania en Karlsruhe Institute of Technology (KIT) en el “Laboratorio de Comportamiento de los ocupantes, de satisfacción, confort térmico y de Investigación del Medio Ambiente”, su director es el Dr. Marcel Schweiker. Se pone a prueba la satisfacción del usuario con el ambiente de la oficina puesta a prueba mostrada en la Figura 2.5. El objetivo de este experimento es investigar el comportamiento de adaptación de los usuarios de una oficina y su repercusión en el confort térmico percibido bajo condiciones típicas de oficina.



Figura 2.5: Cámara Climática de LOBSTER (Lang, 2014)

En un caso ideal los usuarios deben conocer en comportamiento del ambiente en el que se encuentran pero esto no es fácil de lograr, siempre se tendrá una incertidumbre con el comportamiento humano, en conclusión LOBSTER pretende realizar experimentos para mejorar el ambiente interno de las oficinas y la satisfacción térmica de sus usuarios. El fin de este experimento es de terminar la satisfacción térmico que sienten los ocupantes en el interior de la oficina con respecto a distintas variables como la orientación, la utilización de equipos de ventilación o de ventanas o protección solar, variables que influyen en las ganancias térmicas de la oficina (Lang, 2014).

2.7.2. CENTRO DE CIENCIA PARA EDIFICACIONES DE EXCELENCIA

El Instituto de Tecnología de Colombia Británica, British Columbia Institute of Technology o BCIT por sus siglas en ingles tiene una iniciativa llamada Building Science Center of Excellence que es una escuela de construcción en función del medio ambiente. Los centros que poseen cuentan con instalaciones de alta tecnología capaces de realizar experimentos en ambientes controlados y en condiciones reales. Esta iniciativa posee varias instalaciones presentadas a continuación (Figura 2.6).

1. LABORATORIO DE MEDICIÓN DE PROPIEDADES HIGROTÉRMICAS

Este laboratorio se encuentra equipado para poder medir las propiedades higrotérmicas de materiales que se utilizan en la construcción, incluyendo la permeabilidad de vapor, absorción isotérmica, absorción de agua y conductividad térmica.



Figura 2.6: Laboratorio de Medición de Propiedades Higrotérmicas, (BSCE) (BCIT, 2012)

2. INSTALACIONES DE PRUEBAS DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO

Las instalaciones de Prueba de la Envolvente del Edificio, Building Envelope Test Facility (BETF) es un centro de investigación desarrollado para evaluar el comportamiento higrotérmico de conjuntos de construcción a escala natural en condición exterior ambiental e interiores reales y simuladas (Figura 2.7).



Figura 2.7: Instalación de Pruebas de la Envolvente del Edificio (BCIT, 2012)

Sus dimensiones son de 13.5 m por 8.6 m, tiene una estructura de dos pisos con la capacidad de albergar 62 paneles. Es de tipo modular, su estructura es mixta, de acero, madera y hormigón. Los paneles que se utilizan para este experimento van desde 10.16 m de ancho y 20.32 m de alto hasta 20.32 m de ancho por 40.64 m de alto. El diseño de esta instalación permite que se altere la geometría del techo y da la posibilidad de tener balcones.

En el interior de la instalación se encuentran dos sistemas mecánicos como se

muestra en la Figura 2.8 que permiten separar el ambiente interior horizontalmente, con estos sistemas se puede variar la temperatura interior dentro de un rango de 18 a 26°C con una tolerancia de 2°C y la humedad relativa entre un 40 y 80% con una tolerancia de 5%.

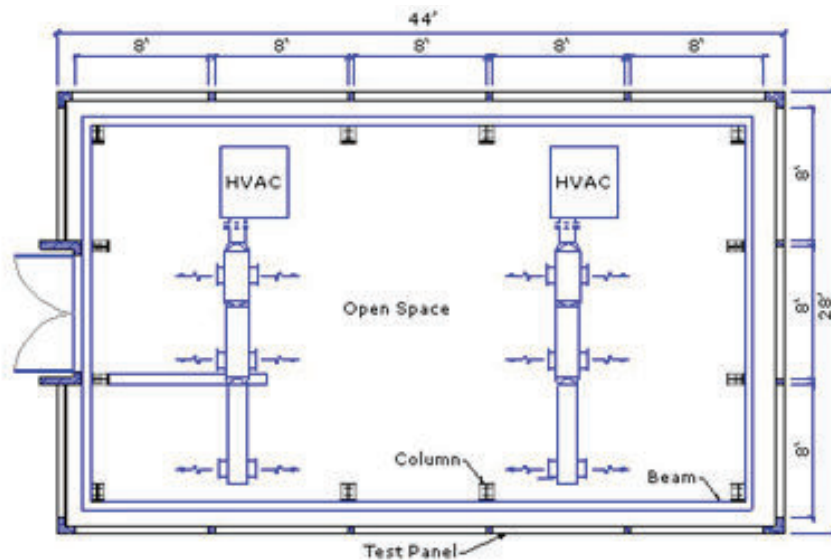


Figura 2.8: Instalación de Pruebas de la Envolvente del Edificio (BCIT, 2012)

Con esta instalación se desea investigar el conocimiento previo en la cuantificación de la lluvia impulsada por el viento, evaluar y desarrollar estrategias eficaces para el control de la lluvia, evaluar el comportamiento higrotérmico a largo plazo de los materiales de construcción e investigar el impacto de los materiales de construcción en ambientes interiores.

3. CÁMARA DE PRUEBA DE INFILTRACIÓN DE AGUA

Con esta instalación se realizan pruebas rudimentarias de estanqueidad al aire y la prueba de penetración del agua de ventanas y paredes. Normalmente es utilizada por arquitectos y estudiantes de ingeniería para proyectos a largo plazo.

4. CÁMARA AMBIENTAL

La Cámara Ambiental es un centro de pruebas para evaluar el desempeño de revestimientos utilizados comúnmente en construcciones de ambientes controlados.

5. LABORATORIO DE RENDIMIENTO TOTAL DE UNA CONSTRUCCIÓN

El Laboratorio de Rendimiento Total de un Edificio investiga las interacciones dinámicas entre los componentes de la envolvente del edificio, al ambiente interior y los sistemas mecánicos (Figura 2.9). Este laboratorio consta de dos edificios de 250 pies cuadrados que están expuestos a condiciones ambientales naturales. Los componentes de construcción, las paredes y el techo son desmontables. Cada edificio tiene sistemas mecánicos de calefacción, refrigeración, ventilación, humidificación y deshumidificación. Su objetivo es elegir parámetros de diseño que puedan reducir el consumo de energía mientras se mantiene un confort térmico aceptable en el interior del edificio (BCIT, 2012).



Figura 2.9: Laboratorio de Rendimiento Total de un Edificio (BCIT, 2012)

2.7.3. CENTRO DE PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA HUMEDAD, CLACKMAS

Este centro se encuentra ubicado en Portland, Oregon, en Estados Unidos. Proso es un fabricante de barreras resistentes al agua de aplicación líquida y desarrolló el Laboratorio Clackmas, que se encuentra bajo la dirección de Tom Schneider, para poner a prueba la resistencia a la humedad de sus productos de construcción como se muestra en la Figura 2.10 y 2.11. En las instalaciones de prueba de este laboratorio se puede variar la velocidad del viento así como la del agua simulando lluvia. Su objetivo es mostrar la calidad de los productos de Proso.



Figura 2.10: Cámara para ensayo de resistencia a la infiltración de agua (Wilson, 2014)



Figura 2.11: Manómetros utilizados para controlar la presión de agua aplicada a los elementos ensayados (Wilson, 2014)

En las instalaciones de prueba de este laboratorio se puede variar la velocidad del viento así como la del agua simulando lluvia. Su objetivo es mostrar la calidad de los productos de Prosoco. También se experimenta con materiales de manera individual con una cámara de experimentación más pequeña como se muestra en la Figura 2.12 (Wilson, 2014).

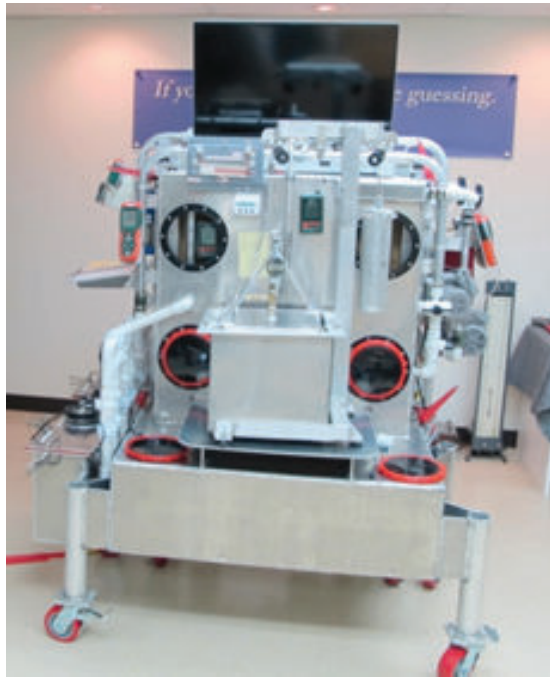


Figura 2.12: Cámara pequeña para experimentar con elementos individuales (Wilson, 2014)

3. DEFINICIÓN Y DISEÑO CONCEPTUAL

3.1. ANÁLISIS FUNCIONAL

En este capítulo se presentarán las diferentes alternativas de diseño para cada uno de los módulos pertinentes con sus respectivas funciones. Concluyendo así una solución para cada uno de los módulos la cual cumpla satisfactoriamente las funciones del mismo. Finalmente se presentará una solución general del diseño de la estructura tomando en cuenta cada solución seleccionada para cada módulo.

3.1.1. DEFINICIÓN DEL ANÁLISIS FUNCIONAL

El análisis funcional tiene como objetivo principal delimitar y separar las acciones de funcionamiento de un mecanismo a diseñar con el propósito de encontrar soluciones para dichas acciones y así mejorar la funcionalidad del mecanismo o estructura a diseñar (Yépez, 2012).

Para cumplir con el objetivo del análisis funcional es necesario delimitar las funciones más importantes del mecanismo o estructura, ponderando y clasificando estas funciones en principales y secundarias.

3.1.2. DEFINICIÓN DE LOS MÓDULOS

La estructura se ha dividido en cuatro módulos principales, detallados a continuación:

- Estructura de paredes: es necesaria para dar estabilidad a las paredes que se utilicen en el banco de pruebas.
- Estructura de techo: es necesaria para soportar el peso del material del cual esté hecho el techo que se quiera estudiar en el banco de pruebas.
- Estructura de piso: Es necesaria para soportar el peso del material del cual esté hecho el piso que se quiera estudiar en el banco de pruebas.
- Rotación: Es necesaria para poder cambiar la orientación del banco de pruebas.

3.2. SOLUCIONES DE LOS MÓDULOS

3.2.1. MÓDULO 1: ESTRUCTURA DE PAREDES

En las paredes del banco de pruebas es necesario que se puedan montar y desmontar con facilidad distintos paneles de distintos materiales los cuales puedan ser de distintas áreas con el fin de influir en el comportamiento térmico del banco de pruebas.

Las funciones de este módulo son:

- Variación del área de los paneles de las paredes del banco de pruebas.
-

- Sujetar los paneles que se utilizarán en la construcción de las paredes del banco de pruebas.

Para el presente módulo se presentan las soluciones para cada una de sus funciones:

1. VARIACIÓN DEL ÁREA DE LOS PANELES DE LAS PAREDES DEL BANCO DE PRUEBAS.

Es necesario variar el área de los diferentes paneles que se utilizarán en la construcción de las paredes del banco de pruebas, ya que de estos dependen varios factores que influyen en el confort térmico como la radiación solar incidente, el porcentaje de acristalamiento y puertas, entre otros. Para lograr este objetivo se presentan dos posibles soluciones:

- **ÁNGULO Y PLACAS PERFORADAS**

El ángulo perforado de la Figura 3.1 esta soldado a la columna principal como se muestra en la Figura 3.3 y debido a sus perforaciones sirve para posicionar de manera correcta las placas perforadas (Figura 3.2) en las cuales se apoyarán las paredes del banco de pruebas.

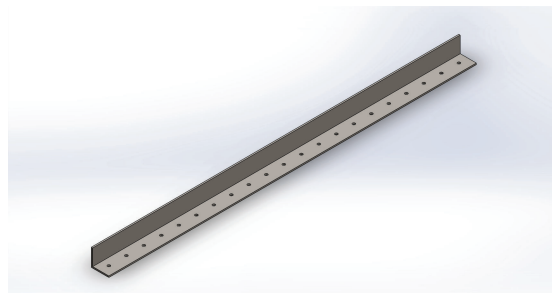


Figura 3.1: Ángulo perforado (Fuente propia)

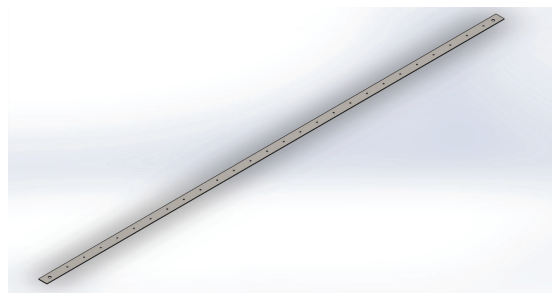


Figura 3.2: Placa perforada (Fuente propia)



Figura 3.3: Estructura básica de sujeción de pared con ángulo y placas perforados (Fuente propia)

Ventajas:

- Facilidad de mecanizado en cuanto a las perforaciones.
- Disponibilidad de los ángulos y de las placas en el mercado nacional.
- Facilidad de empernado entre el ángulo, el perfil en CG y las placas rectangulares.

Desventajas:

- Se requiere de una distancia mínima entre las perforaciones.

■ ÁNGULOS Y PLACAS RANURADAS

El ángulo ranurado de la Figura 3.4 está soldado a la columna principal como se muestra en la Figura 3.6 y debido a su ranura sirve para posicionar de la manera que se requiera las placas ranuradas (Figura 3.5) en las cuales se apoyarán las paredes del banco de pruebas.

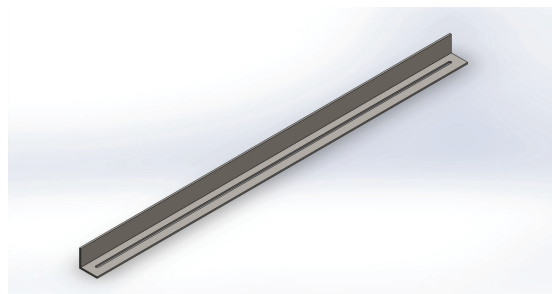


Figura 3.4: Ángulo ranurado (Fuente propia)

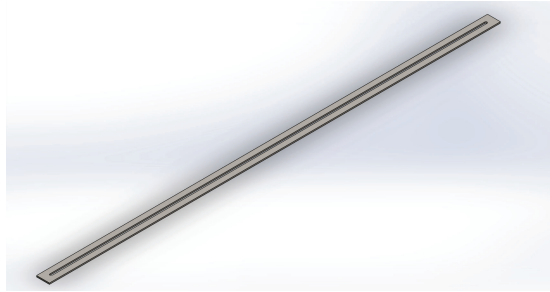


Figura 3.5: Placa ranurada (Fuente propia)

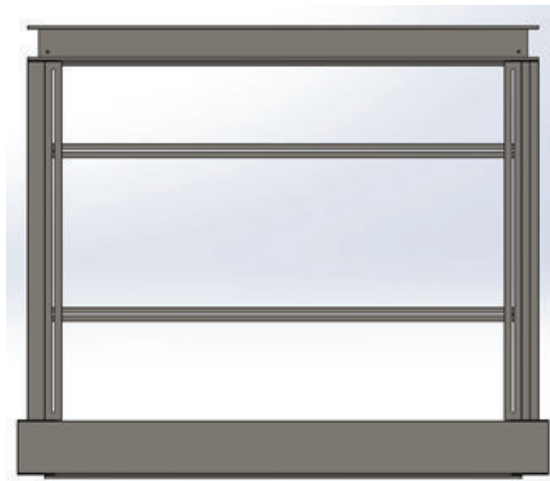


Figura 3.6: Estructura básica de sujeción de pared con ángulo y placas ranuradas (Fuente propia)

Ventajas:

- No existe distancia mínima para colocar un perno con respecto de otro.
- Disponibilidad de los ángulos y de las placas en el mercado nacional.

Desventajas:

- Mayor dificultad de sujeción del perfil en CG, perfil en L y placa rectangular por medio de pernos.
- Mayor dificultad de mecanizado con respecto a las perforaciones.

2. SUJECIÓN DE LOS PANELES DE LAS PAREDES DEL BANCO DE PRUEBAS.

Es necesario sujetar los diferentes paneles que se utilizarán en la construcción de las paredes del banco de pruebas para simular correctamente las técnicas constructivas típicas en Ecuador. Se presentan dos posibles soluciones:

- SOPORTE DESLIZANTE

Este soporte deslizante que se muestra en la Figura 3.7 se lo construye de acuerdo a las medidas internas de la correa G por la cual se deslizará, que se utiliza en la estructura de las paredes y su función principal es la de soportar a los paneles de las paredes del banco de pruebas.

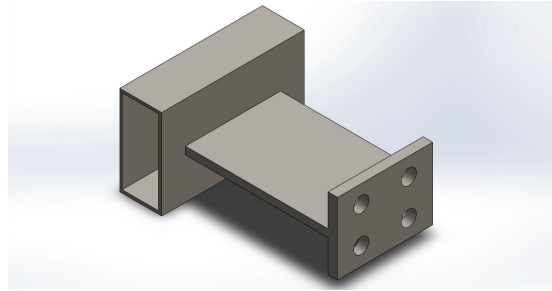


Figura 3.7: Soporte deslizante (Fuente propia)

Ventajas:

- Se puede colocar el número que sea necesario de soportes en las correas G.
- Disponibilidad de los materiales que conforman el soporte deslizante.

Desventajas:

- No existe un perfil rectangular con las medidas necesarias para su correcto funcionamiento.
- Dificultad de construcción.

■ VIGA DE SOPORTE TOTAL Y PLACA PERFORADA

Esta placa que se muestra en la Figura 3.8 servirá de soporte de las paredes del banco de pruebas estando en contacto directo con la pared sin necesidad de la ayuda de un elemento intermedio. El peso de la pared será soportado por la viga de soporte total o viga de piso mostrada en la Figura 3.9.

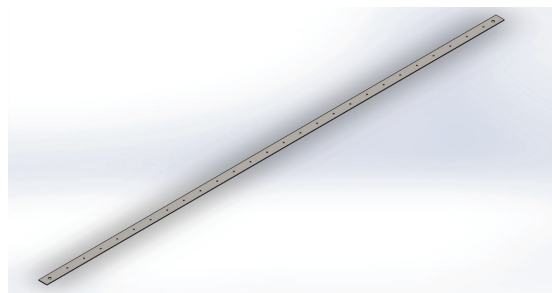


Figura 3.8: Placa perforada (Fuente propia)

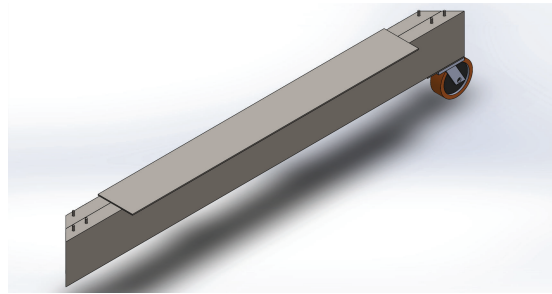


Figura 3.9: Viga de soporte total (Fuente propia)

Ventajas:

- Se apoya la pared directamente en la viga de soporte total.
- Disponibilidad de la placa metálica.
- Fácil mecanización.
- No se necesita un elemento intermedio para la sujeción de la pared del banco de pruebas.

Desventajas:

- Se requiere de una distancia mínima entre las perforaciones.

En la Tabla 3.1 se puede observar un resumen de las funciones con sus respectivas alternativas y las posibles soluciones para este módulo.

Tabla 3.1: Opciones del módulo 1 (Fuente propia)

| Función | Componente |
|--|---|
| Variación del área de los paneles de las paredes | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> ÁNGULOS Y PALCAS PERFORADAS </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> ÁNGULOS Y PLACAS RANURADAS </div> </div> |
| Sujeción de los paneles de las paredes | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> SOPORTE DESLIZANTE </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> VIGA PISO Y PLACA PERFORADA </div> </div> |

Solución 1 Solución 2 Solución 3

3. EVALUACIÓN DE LA SELECCIÓN DE MÓDULOS

Para determinar el módulo más conveniente se enlistan los criterios de valoración más determinantes utilizando el método ordinal corregido de criterios ponderados (Riba, 2002):

- Facilidad de montaje, para una fácil instalación.
- Mecanismo de funcionamiento sencillo, para permitir una fácil sujeción de las paredes del banco de pruebas.

- Fiabilidad en la fijación de los perfiles, para mantener en una posición correcta los paneles de las paredes.

En las Tablas 3.2, 3.3, 3.4 y 3.5 se detallan la evaluación de criterios y módulos.

Tabla 3.2: Evaluación de criterios (Fuente propia)

| | Montaje sencillo | Mecanismo sencillo | Fiabilidad | $\Sigma + 1$ | Ponderación |
|--|------------------|--------------------|------------|--------------|-------------|
| Montaje sencillo | | 0 | 0 | 1 | 0,167 |
| Mecanismo sencillo | 1 | | 0 | 2 | 0,333 |
| Fiabilidad | 1 | 1 | | 3 | 0,5 |
| | | | Suma | 6 | 1 |
| Fiabilidad > Mecanismo sencillo > Montaje sencillo | | | | | |

Tabla 3.3: Evaluación de soluciones respecto al montaje sencillo de la estructura (Fuente propia)

| Montaje sencillo | Solución 1 | Solución 2 | Solución 3 | $\Sigma + 1$ | Ponderación |
|--------------------------------------|------------|------------|------------|--------------|-------------|
| Solución 1 | | 0 | 0 | 1 | 0,167 |
| Solución 2 | 1 | | 1 | 3 | 0,5 |
| Solución 3 | 1 | 0 | | 2 | 0,333 |
| | | | Suma | 6 | 1 |
| Solución 2 > Solución 3 > Solución 1 | | | | | |

Tabla 3.4: Evaluación de soluciones respecto a la sencillez del mecanismo (Fuente propia)

| Mecanismo sencillo | Solución 1 | Solución 2 | Solución 3 | $\Sigma + 1$ | Ponderación |
|--------------------------------------|------------|------------|------------|--------------|-------------|
| Solución 1 | | 0 | 0 | 1 | 0,167 |
| Solución 2 | 1 | | 1 | 3 | 0,5 |
| Solución 3 | 1 | 0 | | 2 | 0,333 |
| | | | Suma | 6 | 1 |
| Solución 2 > Solución 3 > Solución 1 | | | | | |

En consecuencia, según la Tabla 3.6 la solución que más se ajusta a los criterios de evaluación propuestos es la número 2.



Figura 3.10: Esquema de la alternativa 2 del Módulo 1 (Fuente propia)

Tabla 3.5: Evaluación de soluciones respecto a la fiabilidad de la fijación de los perfiles (Fuente propia)

| Fiabilidad | Solución 1 | Solución 2 | Solución 3 | $\Sigma + 1$ | Ponderación |
|--------------------------------------|------------|------------|------------|--------------|-------------|
| Solución 1 | | 0 | 0,5 | 1,5 | 0,25 |
| Solución 2 | 1 | | 1 | 3 | 0,5 |
| Solución 3 | 0,5 | 0 | | 1,5 | 0,25 |
| | | | Suma | 6 | 1 |
| Solución 2 > Solución 3 = Solución 1 | | | | | |

Tabla 3.6: Tabla de conclusiones para el módulo 1 (Fuente propia)

| Conclusión | Montaje sencillo | Mecanismo sencillo | Fiabilidad | $\Sigma + 1$ | PPrioridad |
|------------|------------------|--------------------|------------|--------------|------------|
| Solución 1 | 0.028 | 0.056 | 0.125 | 0.208 | 3 |
| Solución 2 | 0.083 | 0.167 | 0.250 | 0.5 | 1 |
| Solución 3 | 0.056 | 0.111 | 0.125 | 0.292 | 2 |

3.2.2. MODULO 2: ESTRUCTURA DE TECHO

Las funciones de este módulo son:

- Soportar el aislante térmico y el techo del banco de pruebas.

Para el presente módulo se presentan las soluciones para cada una de sus funciones:

1. SOPORTE DEL AISLANTE TÉRMICO Y DEL TECHO DEL BANCO DE PRUEBAS

Es necesario aislar térmicamente el techo del banco de pruebas por diferentes motivos como simular la existencia de una edificación encima del banco de pruebas, mejorar las condiciones de confort térmico, disminuir las pérdidas de calor, entre otras. El aislante térmico se posicionará encima del techo. Para lograr este objetivo se presenta una solución:

- CORREAS G

Las correas G que se muestra en la Figura 3.11 soportarán todo el peso del aislante, el cual se ubicará encima del techo. Se colocaran seis correas G como se muestra en la Figura 3.13 entre los cuales se repartirá el peso del techo y del aislante. La conexión entre estas correas será empernada tal como lo presenta la Figura 3.12.

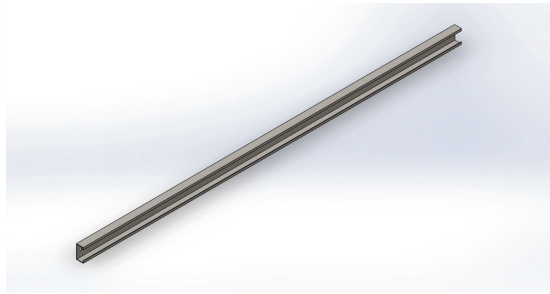


Figura 3.11: Correa G para soporte del aislante (Fuente propia)

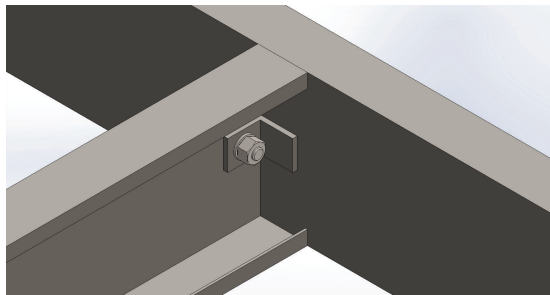


Figura 3.12: Detalle de la conexión entre las correas G (Fuente propia)

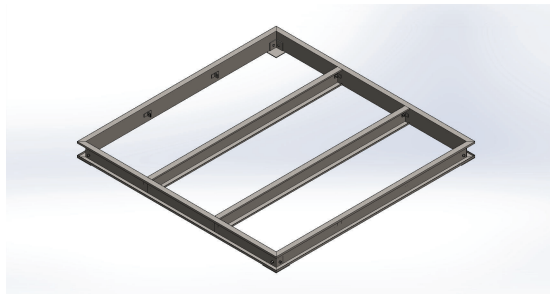


Figura 3.13: Estructura del techo del banco de pruebas (Fuente propia)

Ventajas:

- Disponibilidad de los perfiles en el mercado nacional.
- Facilidad de empernamiento entre las correas G.

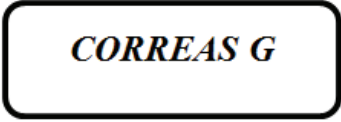
Desventajas:

- Se requiere de dos ángulos soldados en los perfiles estructurales de cajón para su correcto posicionamiento.

En la Tabla 3.7 se puede observar un resumen de las funciones con sus respectivas alternativas y las posibles soluciones para este módulo.

EVALUACIÓN DE LA SELECCIÓN DE MÓDULOS Para determinar el módulo que sea más conveniente se enlista los criterios de valoración más determinantes:

Tabla 3.7: Opciones del módulo 2 (Fuente propia)

| Función | Componente |
|---|--|
| Soporte del aislante térmico y Soporte del techo |  <p data-bbox="1024 491 1167 525">Solución 1</p> |

- Facilidad de montaje, para su fácil instalación.
- Mecanismo de funcionamiento sencillo, para permitir una fácil sujeción de las paredes del banco de pruebas.
- Fiabilidad en la fijación de los perfiles, para mantener en una posición correcta los paneles de las paredes.

Debido a que solo existe un posible solución para el modulo no se procede a realizar la evaluación de las posibles soluciones. En conclusión la alternativa 1 es la solución para el módulo 2 la cual se muestra en la Figura 3.14.

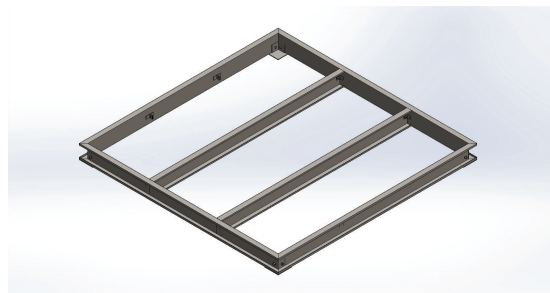


Figura 3.14: Esquema de la alternativa 1 del Módulo 2 (Fuente propia)

3.2.3. MODULO 3: ESTRUCTURA DE SUELO

Las funciones de este módulo son:

- Soportar el piso del banco de pruebas.
- Tubería para radiación del suelo.
- Soportar el aislante térmico.

Para el presente módulo se presentan las soluciones para cada una de sus funciones:

1. SOPORTE DEL PISO DEL BANCO DE PRUEBAS

Es necesario soportar el peso del piso del banco de pruebas. Para lograr este objetivo se presenta una solución:

■ PERFILES ESTRUCTURALES DE CAJÓN

Los perfiles estructurales de cajón soportarán el peso del piso del banco de pruebas. La carga del techo se dividirá entre los seis perfiles estructurales de cajón como se muestra en la Figura 3.15.

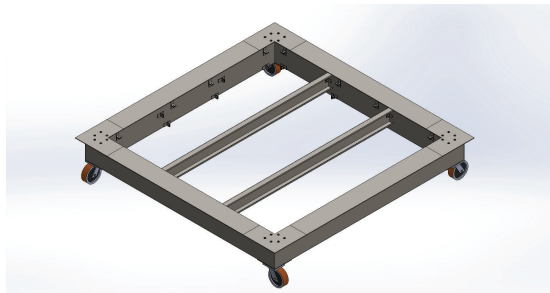


Figura 3.15: Estructura del piso del banco de pruebas (Fuente propia)

Ventajas:

- Fácil montaje y colocación de los perfiles.
- Disponibilidad de las correas G.

Desventajas:

- Mecanizado de los perfiles de cajón.

2. TUBERÍA PARA RADIACIÓN DEL SUELO

Con la tubería se pretende controlar la radiación del suelo. Para lograr este objetivo se presenta una solución:

■ CORREAS G

Estos perfiles mostrados en la Figura 3.16 soportarán el peso de la tubería que se colocará entre el piso y el aislante. La conexión entre los perfiles de cajón y las correas G de la tubería será empernada como se muestra en la Figura 3.17.

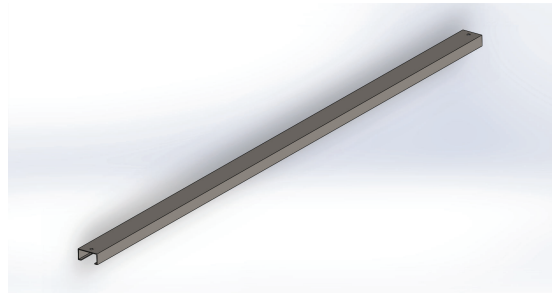


Figura 3.16: Correa G 100x50x3 (Fuente propia)

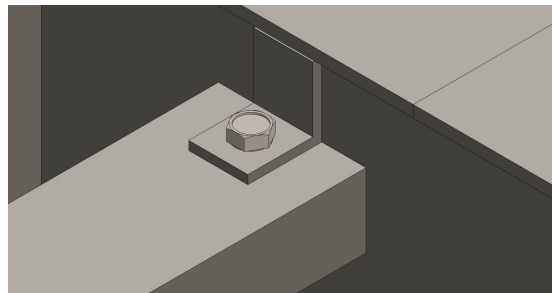


Figura 3.17: Detalle de la conexión entre las correas G 100x50x3 y los perfiles de cajón (Fuente propia)

Ventajas:

- Facilidad de mecanizado en cuanto a las perforaciones.
- Disponibilidad de las placas en el mercado nacional.
- Facilidad de empernamiento entre el perfil de cajón y las correas G.

Desventajas:

- Se requiere de un ángulo soldado en el perfil de cajón para su correcto posicionamiento.

3. SOPORTE DEL AISLANTE TÉRMICO

Es necesario aislar térmicamente el piso del banco de pruebas por diferentes motivos como mejorar el confort térmico, almacenar energía, disminuir la tasa de pérdida de calor, entre otras. Para lograr este objetivo se presenta una solución:

■ CORREAS G

Las correas G soportaran todo el peso del aislante, el cual se ubicará por debajo del piso. Se colocaran cuatro correas G mostrada en la Figura 3.18 entre los cuales se repartirá el peso del aislante utilizado. La conexión entre

los perfiles de cajón y las correas G del aislante será empernada como se muestra en la Figura 3.19.

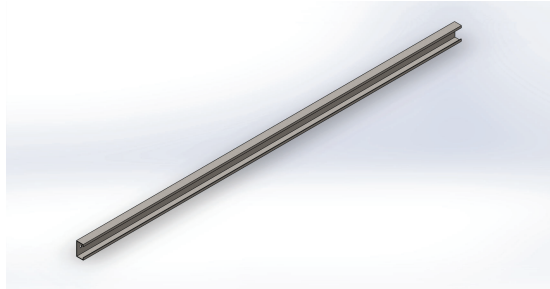


Figura 3.18: Correa G para soporte del aislante (Fuente propia)

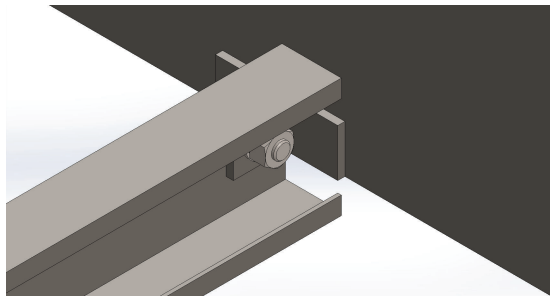


Figura 3.19: Detalle de la conexión entre las correas G y los perfiles de cajón (Fuente propia)

Ventajas:

- Disponibilidad de las placas en el mercado nacional.
- Facilidad de empernamiento entre la correa G y las vigas de cajón.

Desventajas:

- Se requiere de dos ángulos soldados en las vigas de cajón para su correcto posicionamiento.

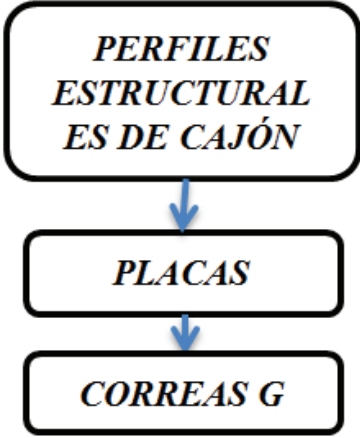
En la Tabla 3.8 se puede observar un resumen de las funciones con sus respectivas alternativas y las posibles soluciones para este módulo.

4. EVALUACIÓN DE LA SELECCIÓN DE MÓDULOS

Para determinar el módulo que sea más conveniente se enlista los criterios de valoración más determinantes:

- Facilidad de montaje, para su fácil instalación.

Tabla 3.8: Opciones del módulo 3 (Fuente propia)

| Función | Componente |
|----------------------------------|--|
| Soporte del piso |  |
| Tubería para radiación del suelo | |
| Soporte del aislante térmico | |
| Solución 1 | |

- Mecanismo de funcionamiento sencillo, para permitir una fácil sujeción de las paredes del banco de pruebas.
- Fiabilidad en la fijación de los perfiles, para mantener en una posición correcta los paneles de las paredes.

Debido a que solo existe un posible solución para el módulo no se procede a realizar la evaluación de las posibles soluciones. En conclusión la alternativa 1 es la solución para el módulo 3 mostrada en la Figura 3.20.

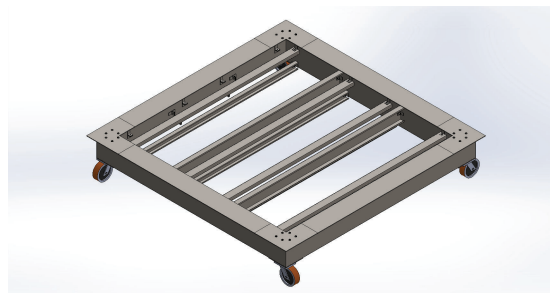


Figura 3.20: Esquema de la alternativa 1 del módulo 3 (Fuente propia)

3.2.4. MODULO 4: ROTACIÓN

Las funciones de este módulo son:

- Soportar toda la estructura del banco de pruebas.

- Rotación de 360° de la estructura del banco de pruebas.

Para el presente módulo se presentan las soluciones para cada una de sus funciones:

1. SOPORTE DE LA ESTRUCTURA DEL BANCO DE PRUEBAS Y ROTACIÓN DE LA MISMA

Es necesario tener un medio de soporte a la estructura ya que en este recaerá la estabilidad de la misma. La rotación del banco de pruebas es necesaria ya que es un factor que influye directamente en el confort térmico del mismo. Debido a que de la rotación depende la orientación. Para lograr estos objetivos se presenta una solución:

■ RUEDAS

Las ruedas mostradas en la Figura 3.21 se posicionarán en las esquinas de las vigas de soporte total y en la mitad de las mismas para brindar el soporte necesario para el banco de pruebas. Las ruedas serán del tipo giratorias para poder rotar la el banco de pruebas.

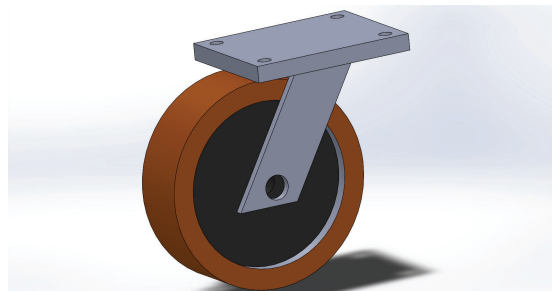


Figura 3.21: Llantas (Fuente propia)

Ventajas:

- Fácil montaje y colocación.
- Disponibilidad de las ruedas en el mercado nacional.

Desventajas:

- Costo de las ruedas.

En la Tabla 3.9 se puede observar un resumen de las funciones con sus respectivas alternativas y las posibles soluciones para este módulo.

2. EVALUACIÓN DE LA SELECCIÓN DE MÓDULOS Para determinar el módulo que sea más conveniente se enlista los criterios de valoración más determinantes:

Tabla 3.9: Opciones del módulo 4 (Fuente propia)

| Función | Componente |
|----------|---|
| ROTACIÓN | <div style="border: 2px solid black; border-radius: 15px; padding: 5px; display: inline-block;"> <i>RUEDAS.</i> </div> <p style="color: blue; margin-top: 5px;">Solución 1</p> |

- Facilidad de montaje, para su fácil instalación.
- Mecanismo de funcionamiento sencillo, para permitir una fácil sujeción de las paredes del banco de pruebas.
- Fiabilidad en la fijación de los perfiles, para mantener en una posición correcta los paneles de las paredes.

Debido a que solo existe una posible solución para el módulo no se procede a realizar la evaluación de las posibles soluciones. En conclusión la alternativa 1 es la solución para el módulo 4 mostrada en la Figura 3.22.

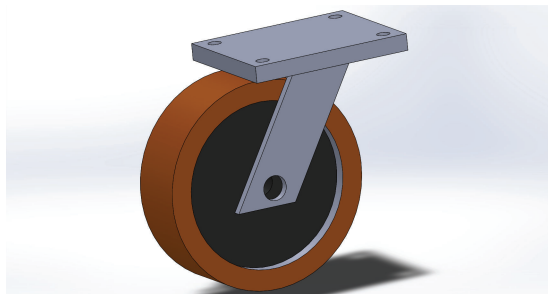


Figura 3.22: Esquema de la alternativa 1 del módulo 4 (Fuente propia)

Como conclusión general la maquina será la combinación de las alternativas que más se ajustan a los criterios de evaluación de cada módulo es (Figura 3.23, 3.24, 3.25):

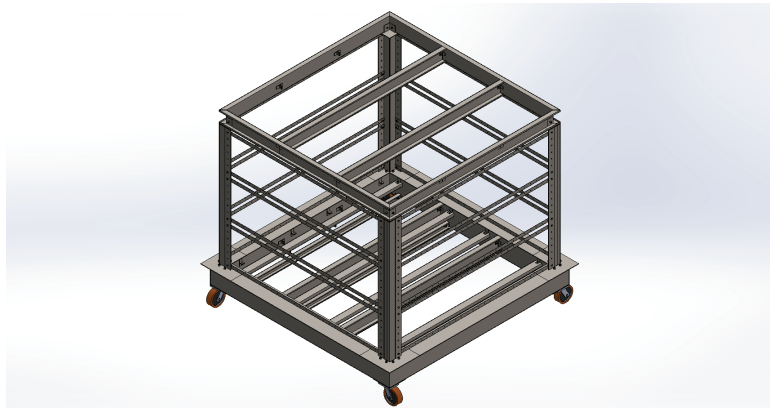


Figura 3.23: Vista isométrica de la estructura del banco de pruebas (Fuente propia)

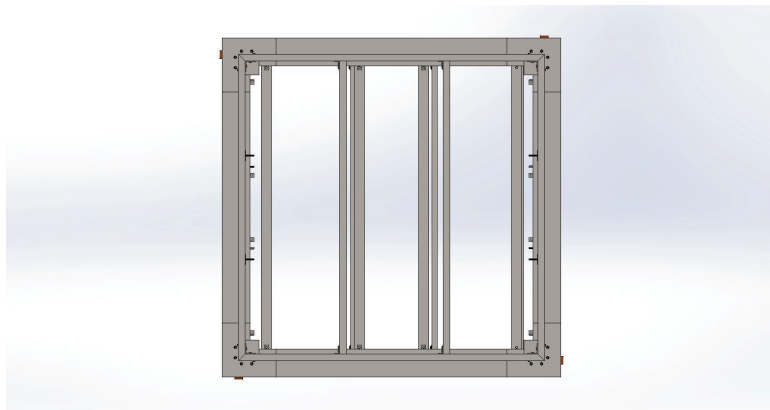


Figura 3.24: Vista superior de la estructura del banco de pruebas (Fuente propia)



Figura 3.25: Vista frontal de la estructura del banco de pruebas (Fuente propia)

4. CÁLCULOS

En este capítulo se escogen los diferentes elementos que conformarán la estructura metálica del banco de pruebas en base a los cálculos realizado para cada elemento. Posteriormente se realiza una comprobación de la estructura de manera simplificada en el programa computacional SAP2000, después de esto se da los pasos a seguir para el montaje de la estructura y finalmente se detallan los costos de la misma.

El material de las vigas fue escogido de acuerdo con la disponibilidad en el mercado nacional de las correas utilizadas y de sus medidas, razón por la cual algunas son de Acero ASTM A36 y otras de Acero ASTM A 1011 grado 50.

4.1. VIGAS PARA AISLANTE DEL TECHO

El caso crítico considerado para las vigas del aislante del piso es el peso de una capa de aislante de corcho expandido, ligado con resinas o brea de 180 mm de espesor en un área de 7.8 m^2 que será soportado por las cuatro vigas cruzadas. El peso del aislante se lo calcula conociendo su densidad y volumen (área y espesor) como se muestra a continuación.

$$\gamma_c = 250 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$A_T = 7,8 \text{m}^2$$

$$\text{esp} = 0,18 \text{m}$$

$$V_a = A_T * \text{esp} = 1,41 \text{m}^3 \quad (4.1)$$

$$P_{aisl} = V_a * \gamma_c = 3,46 \text{kN} \quad (4.2)$$

$$L_v = 2,8 \text{m}$$

$$W_1 = \frac{P_{aisl}}{4 * L_v} = 308,9 \frac{\text{N}}{\text{m}} \quad (4.3)$$

Cada una de las vigas se considerara como vigas simplemente apoyadas como se muestra en la Figura 4.1.

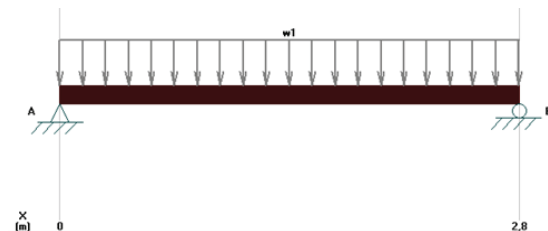


Figura 4.1: Viga simplemente apoyada (Fuente propia)

Se considera la carga $w_1 = 308,9 \text{N/m}$ como una carga distribuida sobre toda la viga. El peso de la viga se considera despreciable, en comparación con carga. El material seleccionado para la viga es de acero ASTM A36. Las reacciones son:

$$R_A = 432,5N$$

$$R_B = 432,5N$$

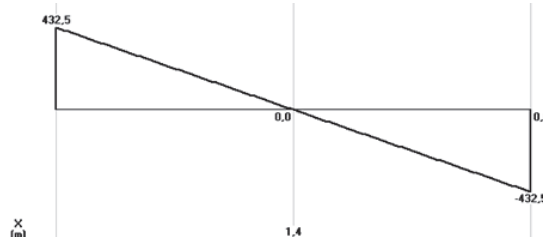


Figura 4.2: Diagrama de fuerza cortante de la viga (Fuente propia)

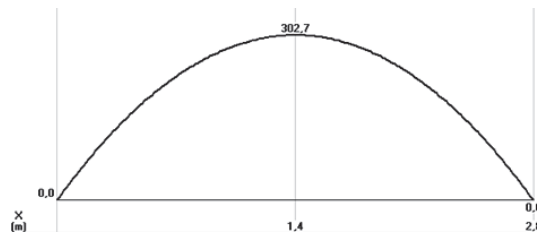


Figura 4.3: Diagrama del momento flector de la viga (Fuente propia)

El momento máximo es:

$$M_{max} = 302,7N.m$$

Se utiliza un criterio de diseño a flexión:

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{FS}$$

Considerando un factor de seguridad de 1.5 y el límite de fluencia del material igual a 250 MPa (AHMSA, 2013) se tiene:

$$\sigma_{adm} = \frac{250MPa}{1,5} = 167MPa$$

Se determina el módulo de sección necesario en la viga que es:

$$S_c = \frac{M_{max}}{\sigma_{adm}} = \frac{302,7N.m}{167MPa} = 1816mm^3$$

En función del módulo de sección calculado se escoge un perfil estructural tipo C PHR 100 x 50 x 3 mm cuyas propiedades se encuentran en el Anexo A1. Su módulo de sección de:

$$S_x = 19056mm^3$$

La deflexión máxima con el perfil PHC C 100 X 50 x 3 mm es:

$$E_a = 200GPa$$

$$I_s = 952813mm^4$$

$$\delta_{max} = \frac{5}{384} \frac{w_v L_v^4}{E_a I_s} = 1,3mm$$

Razón por la cual se procede a escoger dicho perfil cuya deflexión máxima es menor a 1/360 de la longitud de la viga, es decir, 8 mm según recomienda la AISC para miembros estructurales horizontales como vigas (ASCE STANDARD, 2010).

4.2. VIGAS DEL TECHO

El caso crítico considerado para las vigas del techo es el peso de una losa de hormigón de 50 mm de espesor en un área de $9.73 m^2$ que será soportado y la capa de aislante del techo cuyo peso es el de una capa de aislante de corcho expandido, ligado con resinas o breas de 180 mm de espesor en un área de $9.73 m^2$ que será soportado por las cuatro vigas.

- Capa de hormigón:

$$\gamma_h = 2200 \frac{kg}{m^3}$$

$$A_T = 9,6m^2$$

$$esp = 0,05m$$

$$V_h = A_T * esp = 0,5m^3 \quad (4.4)$$

$$P_{losa} = V_h * \gamma_h = 10,5kN \quad (4.5)$$

- Capa de aislante:

$$\gamma_c = 250 \frac{kg}{m^3}$$

$$A_T = 9,73m^2$$

$$esp = 0,18m$$

$$V_a = A_T * esp = 1,18m^3 \quad (4.6)$$

$$P_{aisl} = V_a * \gamma_c = 4,3kN \quad (4.7)$$

- Capa de aislante:

$$P_{lya} = P_{losa} + P_{aisl} = 10,5 + 4,3 = 14,8kN \quad (4.8)$$

$$L_v = 2,866m$$

$$W_1 = \frac{P_{lya}}{4 * L_v} = 1290,1 \frac{N}{m} \quad (4.9)$$

Cada una de las cuatro vigas se considerará como vigas simplemente apoyadas como se muestra en la Figura 4.4.

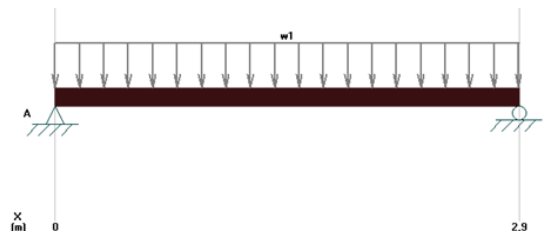


Figura 4.4: Viga simplemente apoyada (Fuente propia)

Se considera $w_1 = 1051,8N/m$ como una carga distribuida sobre toda la viga. El peso de la viga se considera despreciable, en comparación con carga. El material seleccionado para la viga es de acero ASTM A 1011 grado 50. Las reacciones son:

$$R_A = 1848,7N$$

$$R_B = 1848,7N$$

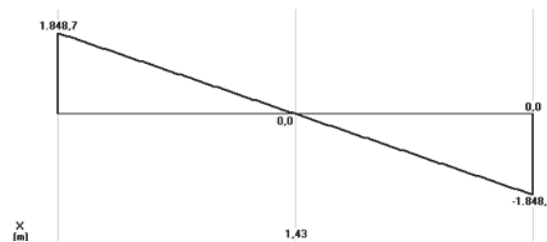


Figura 4.5: Diagrama de fuerza cortante de la viga (Fuente propia)



Figura 4.6: Diagrama del momento flector de la viga (Fuente propia)

El momento máximo es:

$$M_{max} = 1324,6N.m$$

Se utiliza un criterio de diseño a flexión:

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{FS} \quad (4.10)$$

Considerando un factor de seguridad de 1.5 y el límite de fluencia del material igual a 350 MPa (ACESCO, 2015) se tiene:

$$\sigma_{adm} = \frac{350MPa}{1,5} = 233MPa$$

Se determina el módulo de sección necesario en la viga que es:

$$S_c = \frac{M_{max}}{\sigma_{adm}} = \frac{1324,6N.m}{233MPa} = 5676,8mm^3 \quad (4.11)$$

En función del módulo de sección calculado se escoge un perfil estructural en C PHR C 100 x 50 x 3 mm cuyas propiedades se encuentran en el Anexo A1. Su módulo de sección de:

$$S_x = 19056mm^3$$

La deflexión máxima con el perfil PHC C 100 X 50 x 3 mm es:

$$\begin{aligned} E_a &= 200GPa \\ I_s &= 952813mm^4 \\ \sigma_{max} &= \frac{5}{384} \frac{w_v L_v^4}{E_a I_s} = 5,9mm \end{aligned} \quad (4.12)$$

Razón por la cual se procede a escoger dicho perfil cuya deflexión máxima es menor a 1/360 de la longitud de la viga, es decir, 8 mm según recomienda la AISC para miembros estructurales horizontales como vigas (ASCE STANDARD, 2010). El nuevo perfil de cajón escogido es: PHR C 203 x 67 x 3 mm, siendo su deflexión máxima:

$$\begin{aligned} E_a &= 200GPa \\ I_s &= 6377136mm^4 \\ \delta_{max} &= \frac{5}{384} \frac{w_v L_v^4}{E_a I_s} = 0,9mm \end{aligned}$$

4.3. COLUMNAS

Las columnas del banco de pruebas serán consideradas con extremos empotrados – empotrados porque su comportamiento será de este tipo debido que las paredes del banco de pruebas restringirán su movimiento dando como resultado estas condiciones en los extremos de las colimnas como se muestra en la Figura 4.7b.

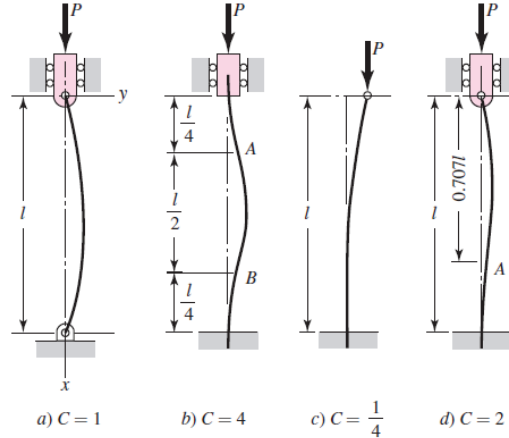


Figura 4.7: a) Ambos extremos están pivoteados o articulados; b) ambos extremos están empotrados; c) un extremo libre, un extremo empotrado; d) un extremo redondo y articulado, y un extremo empotrado (Budynas y Nisbett, 2014)

Las columnas de la estructura del banco de pruebas serán perfiles estructurales tipo cajón de acero ASTM A36 PHR C 100 x 50 x 3 mm cuyas propiedades se encuentran en el Anexo A1. Sus propiedades mecánicas más importantes son:

$$E_a = 200GPa$$

$$I_s = 1905627mm^4$$

$$L_c = 2,1m$$

$$C_{rec} = 1,2m$$

La fuerza crítica de la columna es:

$$P_{cr} = \frac{C_{rec}E_aI_s\pi^2}{L_c^2} = 1024kN \quad (4.13)$$

La fuerza que debe soportar cada columna es:

$$P = \frac{P_{lya}}{4} = \frac{14,8}{4} = 3,7kN \quad (4.14)$$

Por lo que es factor de seguridad en la columna es:

$$FS = \frac{P_{cr}}{P} = \frac{1024kN}{3,7kN} = 276,75 \quad (4.15)$$

4.4. VIGAS PARA TUBERÍA

El caso crítico a consideración para las vigas de la tubería es el peso de una tubería de 25 mm de diámetro y de 12 m de largo tomando en cuenta que está llena de agua. Este peso será soportado por las cuatro vigas cruzadas.

$$L_t = 12m$$

$$P_t = 2,5 \frac{kg}{m} * 12m * 9,8 \frac{m}{s^2} = 294N$$

A este peso de la tubería misma se le suma el peso del agua dentro de la misma:

$$A_t = \pi * 0,01332^2 = 5,57 * 10^{-4}m^2$$

$$L_t = 12m$$

$$V_{agua} = A_t * L_t = 0,0067m^3 \quad (4.16)$$

$$\gamma_{agua} = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

$$P_{agua} = V_{agua} * \gamma_{agua} = 65,55N \quad (4.17)$$

$$P_{tubt} = P_t * P_{agua} = 360N \quad (4.18)$$

$$w_1 = \frac{P_{tubt}}{4 * L_v} = 32,1 \frac{N}{m} \quad (4.19)$$

Cada una de las vigas se considerara como vigas simplemente apoyadas como se muestra en la Figura 4.8.

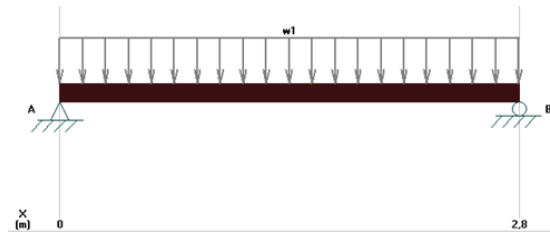


Figura 4.8: Viga simplemente apoyada (Fuente propia)

Se considera la carga $w_1 = 32,1N/m$ como una carga distribuida sobre toda la viga. El peso de la viga se considera despreciable, en comparación con carga. El material seleccionado para la viga es de acero ASTM A36. Las reacciones son:

$$R_A = 432,5N$$

$$R_B = 432,5N$$

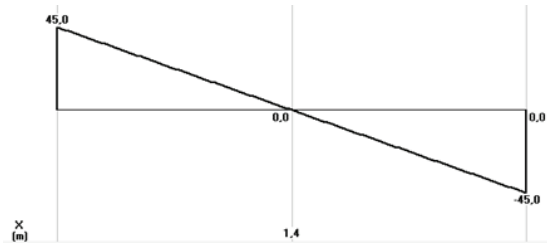


Figura 4.9: Diagrama de fuerza cortante de la viga (Fuente propia)

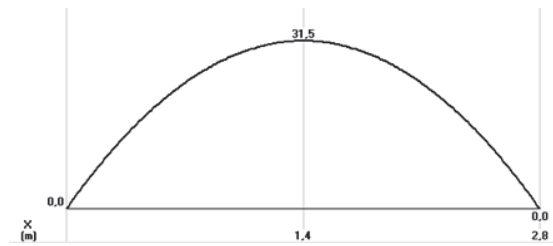


Figura 4.10: Diagrama del momento flector de la viga (Fuente propia)

El momento máximo es:

$$M_{max} = 31,5 N.m$$

Se utiliza un criterio de diseño a flexión:

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{FS}$$

Considerando un factor de seguridad de 1.5 y el límite de fluencia del material igual a 250 MPa se tiene:

$$\sigma_{adm} = \frac{250 MPa}{1,5} = 167 MPa$$

Se determina el módulo de sección necesario en la viga que es:

$$S_c = \frac{M_{max}}{\sigma_{adm}} = \frac{31,5 N.m}{167 MPa} = 188,8 mm^3$$

En función del módulo de sección calculado se escoge un perfil estructural tipo C PHR 100 x 50 x 3 mm cuyas propiedades se encuentran en el Anexo A1. Su módulo de sección de:

$$S_x = 19056 mm^3$$

La deflexión máxima con el perfil PHC C 100 X 50 x 3 mm es:

$$E_a = 200 GPa$$

$$I_s = 198665 mm^4$$

$$\delta_{max} = \frac{5}{384} \frac{w_v L_v^4}{E_a I_s} = 0,6 mm$$

Razón por la cual se procede a escoger dicho perfil cuya deflexión máxima es menor a 1/360 de la longitud de la viga, es decir, 8 mm según recomienda la AISC para miembros estructurales horizontales como vigas (ASCE STANDARD, 2010).

4.5. VIGAS DE SOPORTE TOTAL

El caso crítico considerado para las vigas del piso o de soporte total es el peso de toda la estructura incluyendo las paredes, cuyo caso crítico es de una pared de ladrillo de 6 cm de espesor en un área de 7.08 m^2 que será soportado por las cuatro vigas del piso.

- La carga por las paredes es:

$$\gamma_h = 2000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$h_p = 2,269\text{m}$$

$$l_p = 3,12\text{m}$$

$$A_p = h_p * l_p = 7,08\text{m}^2$$

$$esp = 0,06\text{m}$$

$$V_p = A_p * esp = 0,5\text{m}^3 \quad (4.20)$$

$$P_p = 4 * V_p * \gamma_l = 33,3\text{kN} \quad (4.21)$$

- Capa de hormigón:

$$\gamma_h = 2200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$A_T = 9,6\text{m}^2$$

$$esp = 0,05\text{m}$$

$$V_h = A_T * esp = 0,5\text{m}^3 \quad (4.22)$$

$$P_{losa} = V_h * \gamma_h = 10,5\text{kN} \quad (4.23)$$

- Capa de aislante del techo:

$$\gamma_c = 250 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$A_T = 9,73\text{m}^2$$

$$esp = 0,18\text{m}$$

$$V_a = A_T * esp = 1,18m^3 \quad (4.24)$$

$$P_{aisl} = V_a * \gamma_c = 4,3kN \quad (4.25)$$

- Capa de aislante del piso:

$$\gamma_c = 250 \frac{kg}{m^3}$$

$$A_T = 7,8m^2$$

$$esp = 0,18m$$

$$V_a = A_T * esp = 1,41m^3 \quad (4.26)$$

$$P_{aisl} = V_a * \gamma_c = 3,46kN \quad (4.27)$$

- Tubería:

$$P_{tubt} = P_t * P_{agua} = 360N \quad (4.28)$$

- Sumando todas las cargas anteriormente expuestas se obtiene el peso total que soportarán las vigas de piso o soporte total:

$$P_{total} = P_p + (2 * P_{losa}) + P_{aislat} + P_{aislp} + P_{tubt} = 33,3 + 21 + 4,3 + 3,46 + 0,36 = 62,42kN \quad (4.29)$$

$$W_p = \frac{P_{total}}{4 * L_v} = 5003,8 \frac{N}{m} \quad (4.30)$$

Cada una de las dos vigas se considerara como vigas simplemente apoyadas como se muestra en la Figura 4.11.

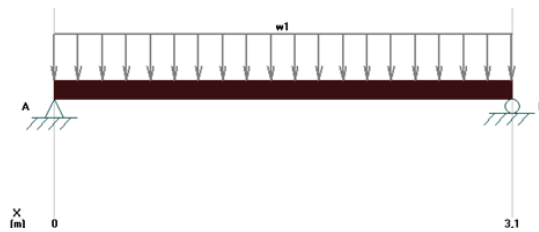


Figura 4.11: Viga simplemente apoyada (Fuente propia)

Se considera $w_1 = 5003,8N/m$ como una carga distribuida sobre toda la viga. El peso de la viga se considera despreciable, en comparación con carga. El material seleccionado para la viga es de acero ASTM A 1011 grado 50. Las reacciones son:

$$R_A = 7215,3N$$

$$R_B = 7215,3N$$

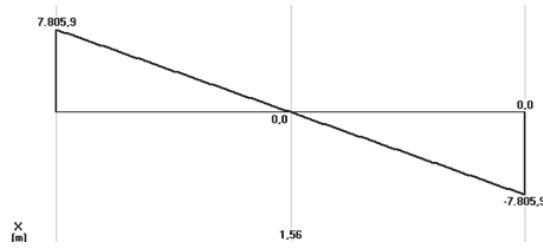


Figura 4.12: Diagrama de fuerza cortante de la viga (Fuente propia)

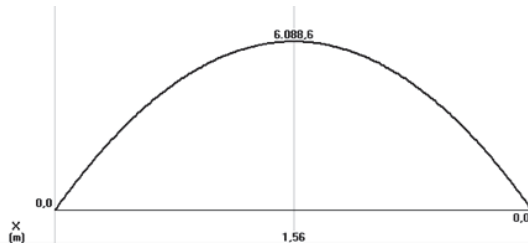


Figura 4.13: Diagrama del momento flector de la viga (Fuente propia)

El momento máximo es:

$$M_{max} = 7215,3 N.m$$

Se utiliza un criterio de diseño a flexión:

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{FS} \quad (4.31)$$

Considerando un factor de seguridad de 1.5 y el límite de fluencia del material igual a 350 [MPa] se tiene:

$$\sigma_{adm} = \frac{350 MPa}{1,5} = 233 MPa$$

Se determina el módulo de sección necesario en la viga que es:

$$S_c = \frac{M_{max}}{\sigma_{adm}} = \frac{6088,6 N.m}{233 MPa} = 26094 mm^3 \quad (4.32)$$

En función del módulo de sección calculado se escoge un perfil estructural tipo cajón de acero PHR C 305 x 80 x 3 mm que tiene un módulo de sección de:

$$S_x = 254288 mm^3$$

La deflexión máxima con el perfil PHC C 100 X 50 x 3 mm es:

$$\begin{aligned} E_a &= 200 GPa \\ I_s &= 38778916 mm^4 \\ \delta_{max} &= \frac{5}{384} \frac{w_v L_v^4}{E_a I_s} = 0,8 mm \end{aligned} \quad (4.33)$$

Razón por la cual se procede a escoger dicho perfil cuya deflexión máxima es menor a 1/360 de la longitud de la viga, es decir, 8 mm según recomienda la AISC para miembros estructurales horizontales como vigas (ASCE STANDARD, 2010).

4.6. SOLDADURAS

4.6.1. SOLDADURA PARA APOYO DE LAS VIGAS DEL TECHO

Para el posicionamiento de las correas G de las vigas para el aislante es necesario soldar ángulos en las vigas principales del techo como se muestra en la Figura 4.14. La soldadura en cuestión se encuentra a flexión y sus propiedades se encuentran en el Anexo B2.

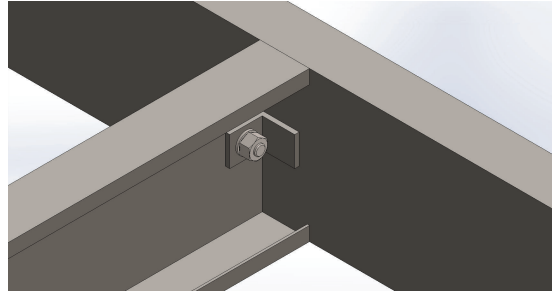


Figura 4.14: Unión soldada entre las vigas del techo y un ángulo (Fuente propia)

Se procede a calcular el factor de seguridad de la soldadura y del metal base con un electrodo E6011 de 4mm:

$$h = 4mm$$

$$A = 1,414hd = 1,414 * 0,004 * 0,04 = 2,2624 * 10^{-4}m^2 \quad (4.34)$$

$$I_u = \frac{d^3}{6} = \frac{0,004^3}{6} = 1,067 * 10^{-5}m^3 \quad (4.35)$$

$$I = 0,707hI_u = 0,707 * 0,004 * (1,067 * 10^{-5}) = 3,02 * 10^{-8}m^4 \quad (4.36)$$

- Esfuerzo cortante primario:

$$\tau' = \frac{F}{A} = \frac{1848,7}{2,26 * 10^{-4}} = 8MPa \quad (4.37)$$

- Esfuerzo cortante secundario:

$$\tau'' = \frac{Mr}{I} = \frac{1848,7 * 0,025 * 0,02}{3,02 * 10^{-8}} = 30,6MPa \quad (4.38)$$

- El esfuerzo cortante resultante se da por la ecuación de Pitágoras:

$$\tau = \sqrt{\tau'^2 + \tau''^2} = \sqrt{8^2 + 30,6^2} = 31,7MPa \quad (4.39)$$

- En base a la resistencia mínima S_y y al criterio de energía de distorsión, el factor de seguridad es:

$$FS = \frac{S_{sy}}{\tau} = \frac{0,577 * 345}{31,67} = 6,28 \quad (4.40)$$

- Para al metal base:

$$\sigma = \frac{M}{\frac{I}{c}} = \frac{1848,7 * 0,04}{\frac{0,0004 * 0,04^2}{6}} = 69MPa \quad (4.41)$$

$$FS = \frac{S_{sy}}{\sigma} = \frac{250}{69,32} = 3,6 \quad (4.42)$$

En conclusión todas las soldaduras de este tipo serán satisfactorias debido a que el factor de seguridad obtenido es mucho mayor a 1.

4.6.2. SOLDADURA PARA APOYO DE LAS VIGAS DEL AISLANTE

Para el posicionamiento de las correas G de las vigas para el aislante es necesario soldar ángulos en las vigas principales del techo como se muestra en la Figura 4.15. La soldadura en cuestión se encuentra a flexión y sus propiedades se encuentran en el Anexo B2.

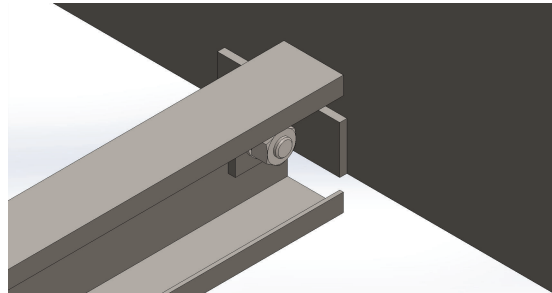


Figura 4.15: Unión soldada entre las vigas del aislante y un ángulo (Fuente propia)

Se procede a calcular el factor de seguridad de la soldadura y del metal base con un electrodo E6011 de 4mm:

$$h = 4mm$$

$$A = 1,414hd = 1,414 * 0,004 * 0,04 = 2,2624 * 10^{-4}m^2 \quad (4.43)$$

$$I_u = \frac{d^3}{6} = \frac{0,004^3}{6} = 1,067 * 10^{-5}m^3 \quad (4.44)$$

$$I = 0,707hI_u = 0,707 * 0,004 * (1,067 * 10^{-5}) = 3,02 * 10^{-8}m^4 \quad (4.45)$$

- Esfuerzo cortante primario:

$$\tau' = \frac{F}{A} = \frac{432,5}{2,26 * 10^{-4}} = 2MPa \quad (4.46)$$

- Esfuerzo cortante secundario:

$$\tau'' = \frac{Mr}{I} = \frac{432,5 * 0,025 * 0,02}{3,02 * 10^{-8}} = 7,16 MPa \quad (4.47)$$

- El esfuerzo cortante resultante se da por la ecuación de Pitágoras:

$$\tau = \sqrt{\tau'^2 + \tau''^2} = \sqrt{2^2 + 7,16^2} = 7,41 MPa \quad (4.48)$$

- En base a la resistencia mínima S_y y al criterio de energía de distorsión, el factor de seguridad es:

$$FS = \frac{S_{sy}}{\tau} = \frac{0,577 * 345}{7,41} = 26,86 \quad (4.49)$$

- Para al metal base:

$$\sigma = \frac{M}{\frac{I}{c}} = \frac{432,5 * 0,04}{\frac{0,0004 * 0,04^2}{6}} = 16,21 MPa \quad (4.50)$$

$$FS = \frac{S_{sy}}{\sigma} = \frac{250}{69,32} = 15,42 \quad (4.51)$$

En conclusión todas las soldaduras de este tipo serán satisfactorias debido a que el factor de seguridad obtenido es mucho mayor a 1.

4.6.3. SOLDADURA PARA APOYO DE LAS VIGAS DE LA TUBERÍA

Para el posicionamiento de las correas G de las vigas para el aislante es necesario soldar ángulos en las vigas principales del techo como se muestra en la Figura 4.16. La soldadura en cuestión se encuentra a flexión y sus propiedades se encuentran en el Anexo B2.

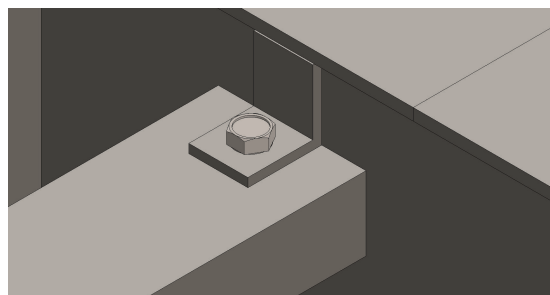


Figura 4.16: Unión soldada entre las vigas de la tubería y un ángulo (Fuente propia)

Se procede a calcular el factor de seguridad de la soldadura y del metal base con un electrodo E6011 de 4mm:

$$h = 4mm$$

$$A = 1,414hd = 1,414 * 0,004 * 0,04 = 2,2624 * 10^{-4}m^2 \quad (4.52)$$

$$I_u = \frac{bd^2}{2} = \frac{0,04 * 0,103^2}{2} = 2,1218 * 10^{-4}m^3 \quad (4.53)$$

$$I = 0,707hI_u = 0,707 * 0,004 * (2,1218 * 10^{-4}) = 2,1218 * 10^{-7}m^4 \quad (4.54)$$

- Esfuerzo cortante primario:

$$\tau' = \frac{F}{A} = \frac{45}{2,26 * 10^{-4}} = 0,19MPa \quad (4.55)$$

- Esfuerzo cortante secundario:

$$\tau'' = \frac{Mr}{I} = \frac{45 * 0,025 * 0,02}{6 * 10^{-7}} = 0,0375MPa \quad (4.56)$$

- El esfuerzo cortante resultante se da por la ecuación de Pitágoras:

$$\tau = \sqrt{\tau'^2 + \tau''^2} = \sqrt{0,19^2 + 0,0375^2} = 0,19MPa \quad (4.57)$$

- En base a la resistencia mínima S_y y al criterio de energía de distorsión, el factor de seguridad es:

$$FS = \frac{S_{sy}}{\tau} = \frac{0,577 * 345}{0,36} = 1047,71 \quad (4.58)$$

- Para al metal base:

$$\sigma = \frac{M}{\frac{I}{c}} = \frac{45 * 0,04}{\frac{0,0004 * 0,04^2}{6}} = 10,54MPa \quad (4.59)$$

$$FS = \frac{S_{sy}}{\sigma} = \frac{250}{10,54} = 23,71 \quad (4.60)$$

En conclusión todas las soldaduras de este tipo serán satisfactorias debido a que el factor de seguridad obtenido es mucho mayor a 1.

4.6.4. SOLDADURA PARA VIGAS DE SOPORTE TOTAL

Para el ensamble de los perfiles de cajón se utilizará electrodo E7018 de 1/8" cuya soldadura se realizará de 5 centímetros en intervalos de 30 centímetros (Figura 4.17) según especifica el fabricante (Rooftec, 2015).

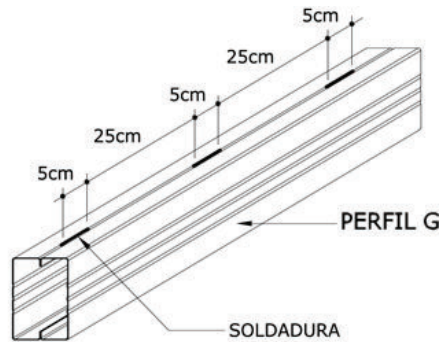


Figura 4.17: Soldadura del perfil de cajón utilizado como viga de soporte total (Rooftec, 2015)

4.7. PERNOS DE VIGAS DEL TECHO

Los pernos que posicionan y sujetan las vigas del aislante tanto en el techo como en el piso trabajan a corte. Las propiedades métricas de los pernos se encuentran en el Anexo B1.

- Aplastamiento de los pernos cargados:

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{FS} = \frac{225}{1,5} = 150 MPa \quad (4.61)$$

$$\sigma = \frac{F}{de} = \frac{1848,7}{0,015 * 0,003} = 22 MPa \leq \sigma_{adm} \quad (4.62)$$

- Aplastamiento a los elementos del perno activo:

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{FS} = \frac{250}{1,5} = 167 MPa \quad (4.63)$$

$$\sigma = \frac{F}{de} = \frac{1848,7}{0,015 * 0,003} = 22 MPa \leq \sigma_{adm} \quad (4.64)$$

- Esfuerzo cortante del perno:

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{FS} = \frac{225}{1,5} = 150 MPa$$

$$\tau = \frac{F}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{1848,7}{\frac{\pi * 0,015^2}{4}} = 12 MPa \leq \sigma_{adm} \quad (4.65)$$

En conclusión, los pernos de acero son capaces de soportar satisfactoriamente las cargas a las que estarán sometidos debido a que ningún esfuerzo supera el esfuerzo admisible.

4.8. ANÁLISIS ESTÁTICO

Con ayuda del programa SAP 2000 se procede a verificar si la estructura cumple satisfactoriamente con las cargas previamente calculadas sobre cada uno de sus miembros. Los diferentes miembros que están sometidos a las distintas cargas son: las vigas del techo, las vigas del piso, las columnas y las vigas del aislante como se muestra en la Figura 4.18 y en la Figura 4.19 se muestra la estructura simplificada extruida:

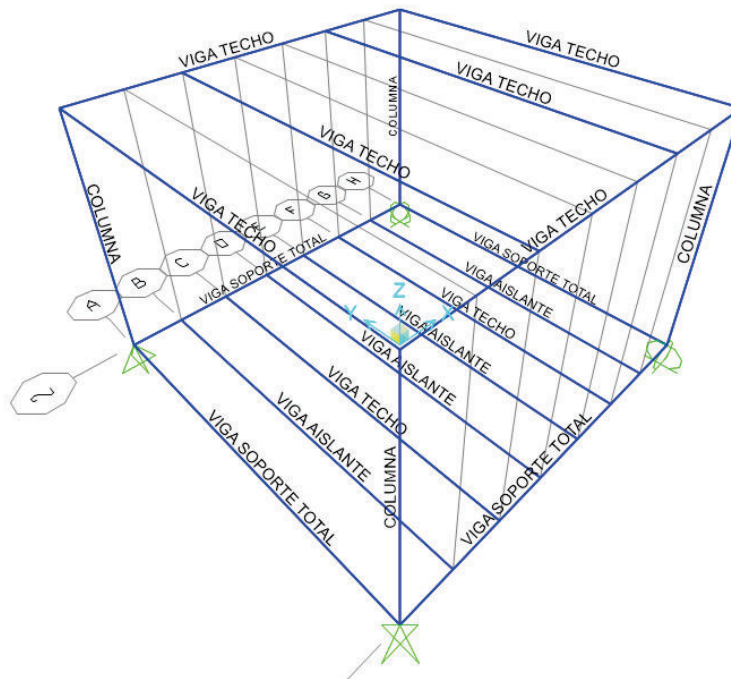


Figura 4.18: Disposición de la estructura en el software SAP2000 (Fuente propia)

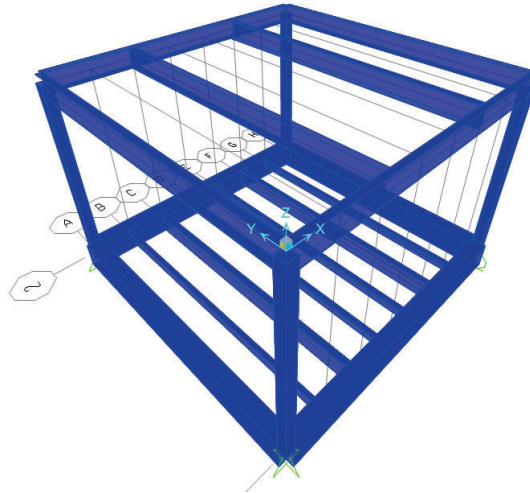


Figura 4.19: Disposición de la estructura extruida en el software SAP2000 (Fuente propia)

- Carga del aislante del piso: La carga de $308,9N/m$ es la carga que soportaran las correas G de $100 \times 50 \times 3$ mm colocados entre las vigas del techo y del piso como se muestra en la Figura 4.20:

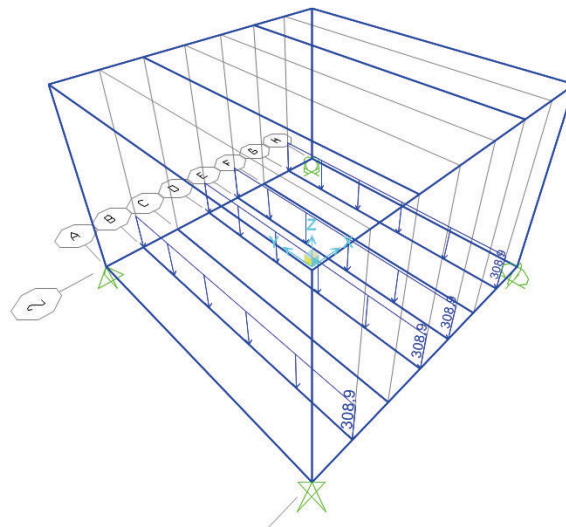


Figura 4.20: Carga del aislante del piso (Fuente propia)

- Carga del techo: La carga de $1290,1N/m$ es la carga que soportaran las correas G de $203 \times 67 \times 3$ mm colocados en la parte superior de la estructura como se muestra en la Figura 4.21:

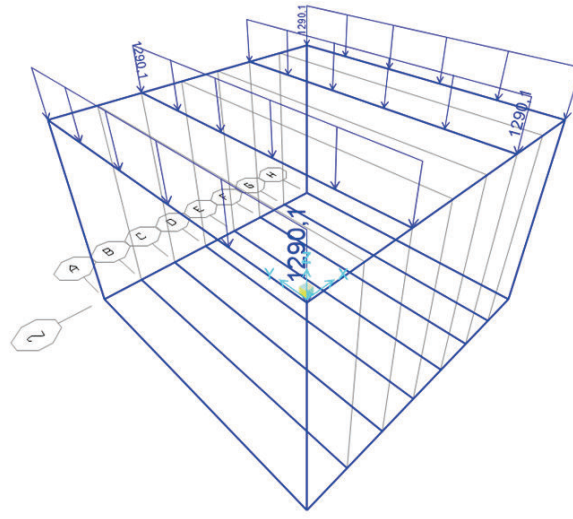


Figura 4.21: Carga del techo y aislante del techo (Fuente propia)

- Carga del piso: La carga de $937,5\text{N/m}$, tomado en cuenta solo la losa de hormigón, es la carga que soportaran las correas G de $203\times 67\times 3\text{ mm}$ y los perfilen de cajón de $305\times 80\times 3\text{ mm}$ colocados en la parte inferior de la estructura como se muestra en la Figura 4.22:

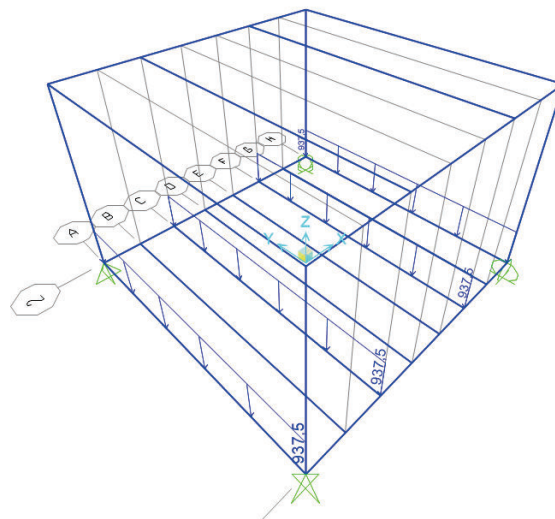


Figura 4.22: Carga del piso (Fuente propia)

- Carga de las paredes: La carga de $2668,3\text{N/m}$ es la carga que soportaran los perfilen de cajón de $305\times 80\times 3\text{ mm}$ colocados en la parte superior de la estructura como se muestra en la Figura 4.23:

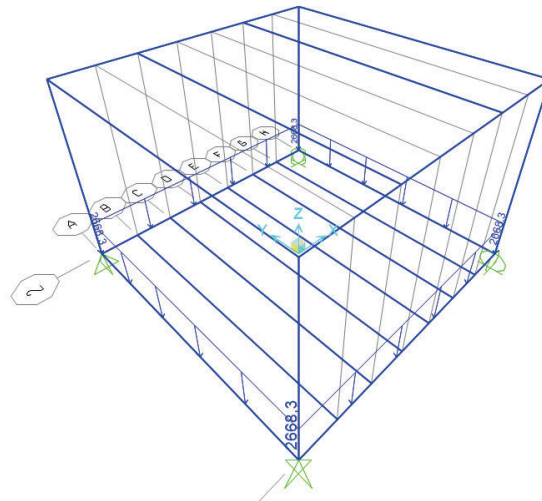


Figura 4.23: Carga de las paredes (Fuente propia)

4.9. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Una vez delimitadas las cargas y las secciones de cada miembro se ejecuta la simulación. El resultado muestra una la relación entre demanda y capacidad máxima de 0.401 entre todos los miembros, lo que indica que ninguno de los miembros de la estructura se encuentra con sobrecarga como se muestra en la Figura 4.24. Por este motivo se concluye que los elementos utilizados para la estructura del banco de pruebas están correctamente seleccionados.

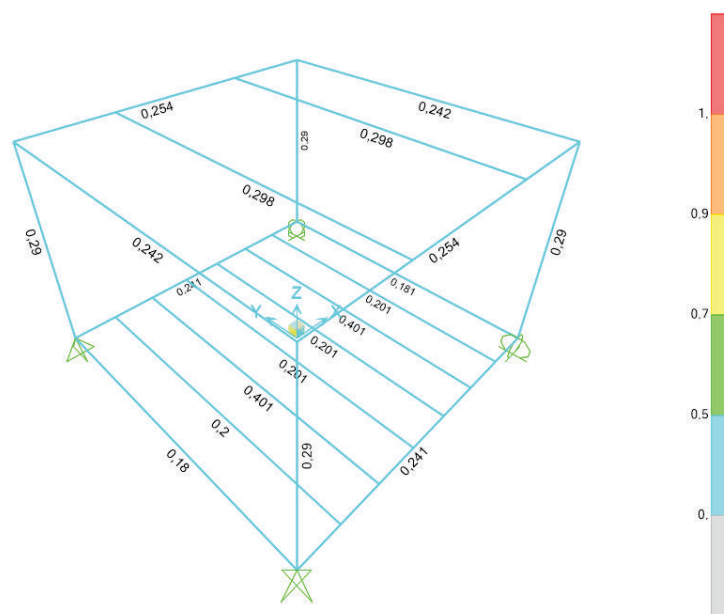


Figura 4.24: Resultados de la simulación en función de la relación demanda capacidad de la estructura en el software SAP2000 (Fuente propia)

Debido a los cálculos realizados y la comprobación de los mismos con la ayuda del programa SAP2000 se concluye que los componentes más críticos que se utilizarán en la construcción de la estructura del banco de pruebas son los de mayor relación entre demanda y capacidad. Estos elementos son las correas G 203x64x3 que actúan de soporte del piso del banco de pruebas.

4.10. MONTAJE

Debido a la cantidad de componentes que posee la estructura del banco de pruebas es necesario especificar como ensamblar la misma.

1. Colocar las cuatro vigas del aislante del piso entre tres de las cuatro vigas de soporte total en su posición final (Figura 4.25):

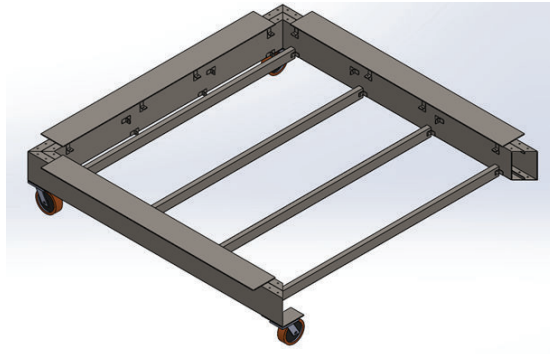


Figura 4.25: Inicio del ensamblaje de la estructura (Fuente propia)

2. Colocar las dos vigas intermedias de soporte de la loza del piso y las cuatro vigas de la tubería. Ensamblando todo esto con la cuarta y última viga de soporte total (Figura 4.26).

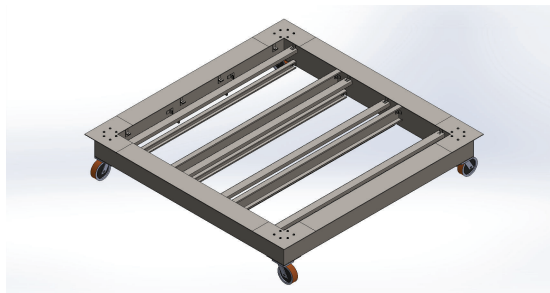


Figura 4.26: Ensamblaje de todos los perfiles del piso (Fuente propia)

3. Colocar la capa de aislante según la necesidad (Figura 4.27).

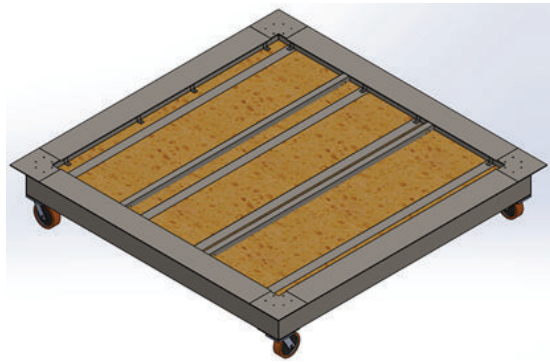


Figura 4.27: Colocación del aislante en el piso (Fuente propia)

4. Colocar la tubería sobre las vigas destinada a este fin (Figura 4.28).

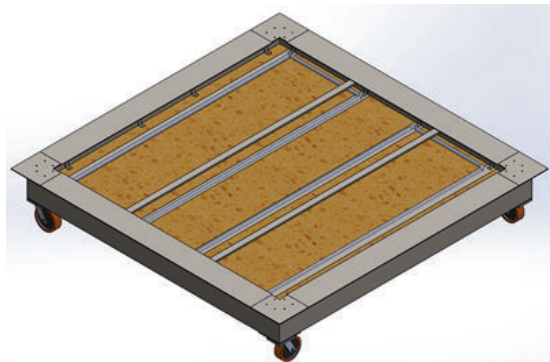


Figura 4.28: Colocación de la tubería (Fuente propia)

5. Colocar las 4 columnas en las esquinas de las vigas de soporte total (Figura 4.29).

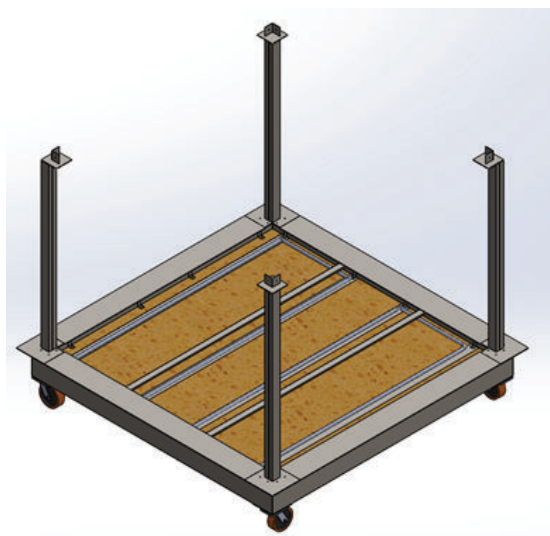


Figura 4.29: Colocación de las columnas (Fuente propia)

- Colocar las 4 vigas principales del techo y las 2 vigas cruzadas en el mismo (Figura 4.30).

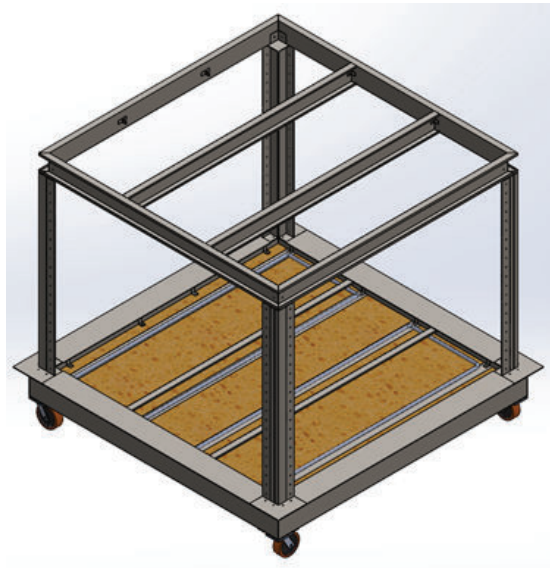


Figura 4.30: Colocación de las vigas del techo (Fuente propia)

- Colocar los paneles del piso del banco de pruebas (Figura 4.31).

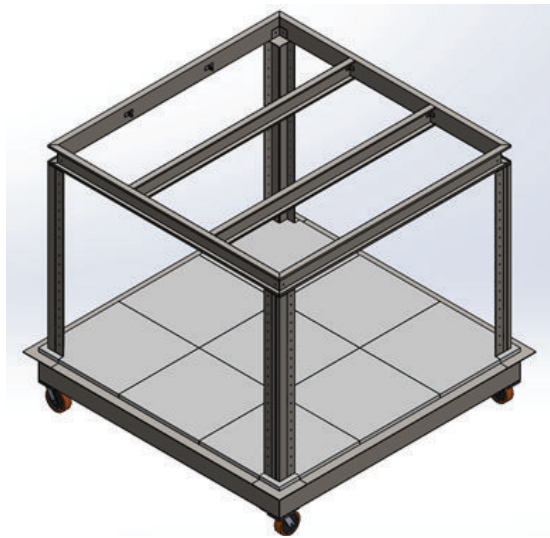


Figura 4.31: Colocación de los paneles del piso (Fuente propia)

- Colocar todos los paneles de las paredes del banco de pruebas asegurándolos con tornillos de acuerdo al número de paneles que se disponga (Figura 4.32).

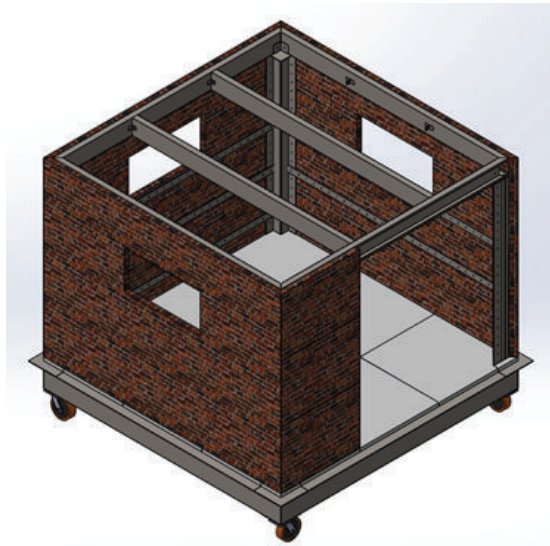


Figura 4.32: Colocación de los paneles de las paredes (Fuente propia)

9. Colocar los paneles de la loza del techo y sobre estos el aislante respectivo (Figura 4.33).



Figura 4.33: Colocación de los paneles del techo y del aislante (Fuente propia)

4.11. ANÁLISIS DE COSTOS

Como continuación del proceso de diseño del banco de pruebas es necesario realizar un estudio de costos de la estructura para su posterior construcción.

Los criterios que se tomarán en cuenta para el estudio económico son:

- Costo de los materiales y elementos normalizados (perfiles, pernos, etc.)

- Mano de obra.

4.11.1. MATERIALES

Para la construcción de la estructura del banco de pruebas es necesario obtener todos los elementos normalizados que se requieren (correas en G, los ángulos, las placas, pernos, etc.). En la Tabla 4.1 se detallan estos elementos y su respectivo costo.

Tabla 4.1: Costos de materiales (Fuente propia)

| ELE- MEN- TO | DESCRIP- CIÓN | MATE- RIAL | UNI- DAD | LON- GI- TUD m | PESO POR METRO kg/m | CAN- TI- DAD | COSTO POR KILO- GRAMO \$/kg | COSTO UNITA- RIO \$/u | COS- TO TO- TAL \$ |
|--------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|-------------|-------------------------|------------------------------|--------------------|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| CO- RREA ROOF G | 305 X 89 X 25 X 3 mm | ASTM A 1011 GRADO 50 | m | 3.12 | 12.25 | | 0.75 | | 229.32 |
| CO- RREA ROOF G | 203 X 64 X 20 X 3 mm | ASTM A 1011 GRADO 50 | m | 3 | 8.562 | 8 | 0.75 | | 154.12 |
| CO- RREA G | 100 X 50 X 15 X 3 mm | ASTM A36 | m | 6 | | 8 | | 21 | 168 |
| ÁNGU- LO | 50 X 6 mm | ASTM A36 | m | 6 | | 1 | | 22.8 | 22.8 |
| ÁNGU- LO | 100 X 8 mm | ASTM A36 | m | 6 | | 1 | | 66 | 66 |
| PLA- CA | 1020 X 2240 X 8 mm | ASTM A36 | m^2 | | | 2 | | 100 | 200 |
| PLA- TINA | 50 X 3 mm | ASTM A36 | m | 6 | | 12 | | 6.06 | 72.72 |
| PER- NOS | HEXAGO- NAL M14 X 35 mm | ACERO MEDIO CARBONO | u | | | 102 | | 0.28 | 28.56 |
| ARAN- DELAS | ARANDE- LAS PLANAS USS 9/16" | ACERO MEDIO CARBONO | u | | | 102 | | 0.1 | 10.2 |
| TUER- CAS | TUERCA GRADO 8.8 M14 | ACERO MEDIO CARBONO | u | | | 102 | | 0.19 | 19.38 |
| TOR- NI- LLOS | 5 mm | 10x50 | u | | | 144 | | 0.09 | 1.96 |
| RUE- DAS | 12 PULGADAS | NYLON CON POLIURE- TANO | u | | | 4 | | 227.88 | 911.52 |
| TOTAL | | | | | | | | | 1895.58 |

4.11.2. SOLDADURA

Para la construcción de la estructura del banco de pruebas es necesario soldar algunos elementos de acuerdo con el diseño realizado (entre algunas correas en G y ángulos, placas y correas en G, etc.).

Material de aporte E6011 y E7018. En las Tablas 4.2, 4.3, y 4.4 se detallan los costos.

Tabla 4.2: Material de aporte E6011 (Fuente propia)

| COSTOS DE MATERIAL DE APOORTE E6011 5/32" | | |
|--|--------|----------|
| | UNIDAD | |
| ÁREA DE SOLDADURA METROS CUADRADOS | 0.0001 | m^2 |
| LONGITUD DE SOLDADURA | 17 | m |
| VOLUMEN DE LA SOLDADURA | 0.0017 | m^3 |
| DENSIDAD DE ACERO | 7850 | kg/m^3 |
| PESO TOTAL | 18.68 | kg |

Tabla 4.3: Material de aporte E7018 (Fuente propia)

| COSTOS DE MATERIAL DE APOORTE E7018 1/8" | | |
|---|--------|----------|
| | UNIDAD | |
| MIG ALAMBRE ER70S-6 | 15 | kg |
| MIG ALAMBRE ER70S-6 | 49.47 | \$ |
| ÁREA DE SOLDADURA METROS CUADRADOS | 0.0001 | m^2 |
| LONGITUD DE SOLDADURA | 9 | m |
| VOLUMEN DE LA SOLDADURA | 0.0009 | m^3 |
| DENSIDAD DE ACERO | 7850 | kg/m^3 |
| PESO TOTAL | 9.891 | kg |

Tabla 4.4: Costo de material de aporte y MIG alambre (Fuente propia)

| ELEMENTO | UNIDAD | CANTIDAD | COSTO UNITARIO \$/u | COSTO TOTAL \$ |
|----------------------------|--------|----------|---------------------|----------------|
| MATERIAL DE APOORTE E 6011 | kg | 19 | 4.84 | 90.43 |
| MATERIAL DE APOORTE E 7018 | kg | 10 | 5.12 | 50.64 |
| MIG ALAMBRE ER70S-6 | kg | 1 | 49.47 | 49.47 |
| TOTAL | | | | 190.54 |

Mano de obra (Tabla 4.5):

4.11.3. VIRUTAJE

Para la construcción de la estructura del banco de pruebas es necesario realizar varias operaciones de mecanizado como cortes y perforaciones (en correas en G, los ángulos, las placas, etc.). En las Tablas 4.6 y 4.7 se detallan estas operaciones y su respectivo costo.

4.11.4. RESUMEN DE COSTOS

Para el costo total de la construcción de la estructura del banco de pruebas es necesario sumar todos los costos anteriores más un costo de diseño que tendrá influencia solo en

Tabla 4.5: Costo de la mano de obra (Fuente propia)

| COSTO MANO DE OBRA | | |
|-----------------------------|--------------|-----------|
| | | UNIDAD |
| DOLARES POR DIA | 30 | \$/día |
| VELOCIDAD DE SOLDADURA | 1.2 | m/hora |
| HORAS DE TRABAJO | 5 | horas |
| LONGITUD DE SOLDADURA TOTAL | 2 | m |
| TIEMPO DE TRABAJO | 31.2 | horas |
| DIAS DE TRABAJO | 6.24 | días |
| COSTO TOTAL | 187.2 | \$ |

Tabla 4.6: Costo de los taladros (Fuente propia)

| TALADRADOS | | | | | |
|-------------------|-------------------|------------|---------|------------------|----------------|
| AGUJERO | COSTO POR AGUJERO | \$/agujero | UNIDAD | NÚMERO DE CORTES | COSTO TOTAL \$ |
| ≥16mm | 0.7 | | dólares | 404 | 282.8 |
| 7mm | 0.4 | | dólares | 624 | 249.6 |
| TOTAL | | | | | 532.4 |

Tabla 4.7: Costo de los cortes (Fuente propia)

| CORTES | | | | | | |
|----------------------|----------------------|------------------|---------------------|--------------------------|-------------------------------|----------------|
| PERFIL | DESCRIPCIÓN | NÚMERO DE CORTES | LONGITUD DE CORTE m | COSTO POR CORTE \$/corte | COSTO POR METRO (PLASMA) \$/m | COSTO TOTAL \$ |
| CORREA ROOF G | 305 X 89 X 25 X 3 mm | 16 | | 0.5 | | 8.0 |
| CORREA ROOF G | 203 X 64 X 20 X 3 mm | 8 | | 0.5 | | 4.0 |
| CORREA G | 100 X 50 X 15 X 3 mm | 32 | | 0.5 | | 16.0 |
| ÁNGULO | 50 X 6 mm | | | | | 0.0 |
| ÁNGULO | 100 X 8 mm | | 0.4 | | 7 | 2.8 |
| PLACA | 1020 X 2240 X 8 mm | | 16 | | 7 | 112.0 |
| PLATINA | 50 X 3 mm | 5 | | 0.5 | | 2.5 |
| TOTAL | | | | | | 145.3 |

la primera estructura que se construya, disminuyendo el costo de las demás estructuras que se realicen. También se adiciona un costo del 15 % del costo total para posibles imprevistos que se puedan presentar al momento de construcción de la estructura del banco de pruebas (Tabla 4.8).

Tabla 4.8: Resumen de costos (Fuente propia)

| RUBRO | COSTO \$ |
|--------------------|-----------------|
| Materiales | 1895.58 |
| Soldadura | 377.7 |
| Virutaje | 677.7 |
| Diseño | 800.0 |
| Imprevistos (15 %) | 442.7 |
| TOTAL | 4273.7 |

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

1. Los principales parámetros que influyen en el confort térmico de una edificación en Ecuador son: la ubicación geográfica, la orientación, la forma, la iluminación natural y los materiales de la envolvente de la edificación como factores pasivos. Y como factor activo es la ganancia interna, la cual se genera debido a la iluminación artificial, el metabolismo de los ocupantes de la edificación y el calor producido por el uso de equipos instalados dentro de la edificación.
 2. Debido a los parámetros que influyen en el comportamiento térmico de una edificación y en función de las necesidades de diseño se encontró que los factores de diseño más importantes son: la portabilidad del banco de pruebas para poder cambiar su ubicación, su desmontabilidad y peso para garantizar la fácil movilización del banco de pruebas, el porcentaje de acristalamiento, el aislante térmico de techo y suelo, el suelo radiante que influye directamente en el comportamiento térmico del banco de pruebas y finalmente su rotación para poder cambiar la orientación.
 3. Las condiciones críticas a las que la estructura del banco de pruebas estará sometida son: una carga de 1.3 kN/m en las del techo resultado del peso de la loza de hormigón y del aislante de corcho expandido, ligado con resinas o brea, una carga de 3.7 kN en cada columna producto del peso total del techo, una carga de 308.9 N/m en las vigas que soprta el aislante del piso producidas por el peso del aislante de corcho expandido, ligado con resinas o brea, una carga de 32.1 N/m en las vigas que sostienen la tubería del piso producidas por el peso de la misma y finamente una carga de 5 kN/m en las vigas del piso o de soporte total producidas por el peso total de la estructura.
 4. El costo de la estructura del banco de pruebas es de 4274 dólares americanos dentro de los cuales se incluyen los costos por lo materiales, la soldadura, los procesos de virutaje, el transporte de los materiales, el costo ingenieril por el diseño y un porcentaje para cualquier imprevisto. Cabe recalcar que para la construcción de futuras estructuras ya no se tomará en cuenta el costo de ingeniería el cual solo está vigente en la primera construcción. El rubro más costoso es de materiales, que representa el 43 %, especialmente por el costo de las ruedas de la estructura, seguido por el costo de ingeniería en el diseño de la estructura.
 5. El peso de la estructura es de 1.3 toneladas. La estructura está soportada por ruedas que soportaran todo el peso de la misma que incluye todos los componentes del banco de pruebas que son: los paneles de las paredes, del piso, del techo, el aislante del piso y del techo y los instrumentos de medida que se utilizarán para la medición de las propiedades que se deseen estudiar.
 6. Para el diseño de todas las vigas de la estructura del banco de pruebas se utilizó un factor de seguridad (FS) de 1.5 para garantizarla integridad de la misma cuando se aplique la carga crítica que se ha previsto en cada una de ellas. Con la simulación realizada de la estructura de manera simplificada con la ayuda del
-

programa computacional SAP2000 se determinó que la que la máxima relación entre demanda y capacidad es de 0.4. Esta relación se cumple en las vigas de soporte de los paneles del piso. La estructura del banco de prueba es capaz de soportar correctamente las cargas impuestas en los cálculos con los elementos escogidos.

5.2. RECOMENDACIONES

1. Al momento del montaje de la estructura del banco de pruebas es recomendable seguir el procedimiento descrito en el capítulo 4.8 para facilitar el mismo y prevenir pérdidas innecesarias de tiempo de mano de obra. Al seguir este procedimiento es necesario tomar en cuenta la disposición de los elementos constituyentes de la estructura, es decir la manera en los que se ensambla debido a que dicha estructura va a soportar varios paneles en el piso, techo y en las paredes los cuales estarán soportados sobre el espesor de cada viga correspondiente a cada sección de la estructura.
2. Para tener un mejor entendimiento del diseño de la estructura metálica del banco de pruebas es necesario observar los planos anexados de los diferentes elementos de dicha estructura, en los cuales se tienen los planos de taller que son los planos de cada elemento de la estructura con el mecanizado necesario en cada uno de estos y los planos de montaje en donde se especifican el montaje de dos elementos que constituyen la estructura metálica del banco de pruebas.
3. Para seguir con la realización del banco de pruebas es recomendable revisar detenidamente los planos de la estructura metálica del mismo con el fin de tener una idea clara de lo que se va a construir para asegurar la funcionalidad y el cumplimiento de todos los parámetros de diseño previsto para la estructura metálica del banco de pruebas.

REFERENCIAS

- ACESCO. (2015). Manual de Perfiles.
- AHMSA. (2013). Manual de Diseño para la Construcción con Acero.
- Al-Mofleh, A., Taib, S., Mujeebu, M. A., y Salah, W. (2009, jun). Analysis of sectoral energy conservation in Malaysia. *Energy*, 34(6), 733–739.
- Alvarez, E. (2015). *Estudio de eficiencia energética en menús completos de la Sierra Elaborados en cocinas de inducción y GLP* (Vol. 1). Tesis Doctoral no publicada, Universidad Internacional del Ecuador.
- ASCE STANDARD. (2010). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*.
- ASHRAE. (2004). ANSI/ASHRAE Standard 55:2004 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. , 30.
- ATECOS. (1990). Certificación BREEAM. , 1–9.
- Base, K. (1993). *Passive Solar Handbook* (Vol. I). Disponible en <https://kirtlandafb.tlisolutions.net/sitedocs/PDFS/25\2521.PDF>
- BCIT. (2012). Building Science Centre of Excellence.
- Binici, H., Aksogan, O., Bodur, M. N., Akca, E., y Kapur, S. (2007). Thermal isolation and mechanical properties of fibre reinforced mud bricks as wall materials. *Construction and Building Materials*, 21(4), 901–906.
- Budynas, R., y Nisbett, K. (2014). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley* (n.º 1).
- CEI. (2005). *Guía Técnica Aprovechamiento de la luz natural de edificios*.
- CITEC. (2012). Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos. , 112.
- Coellar, F. (2013). *Diseño Arquitectónico Sostenible y Evaluación Energética de la Edificación*. Tesis Doctoral no publicada.
- Czajkowski, J., Discoli, C., Rosenfeld, E., Gentile, C., y Moreno, J. (1999). Hacia un Modelo de Confort Integral. Auditorías Ambientales en Viviendas. *ASADES*.
- Del Valle, T., y Peremiquel Lluch, F. (2014). *Compacidad, diversidad y flexibilidad en proyectos urbanos residenciales* (Vol. 16) (n.º 16). Universidad Nacional del Nordeste.
- Díaz, M., y Tenorio, J. (2005). Pérdidas de calor y formación de condensaciones en los puentes térmicos de los edificios. *Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja*, 1131–1153.
- Dylewski, R., y Adamczyk, J. (2011). Economic and environmental benefits of thermal insulation of building external walls. *Building and Environment*, 46(12), 2615–2623.
- FAO. (2005). *Materiales termoaislantes, características técnicas y criterios de selección*.
- Fuentes, C. (2014). Adaptabilidad higrotermica de la vivienda tradicional. , 77–98.
- Funaro, R. (2011). Ideas for Development in the Americas. *Research Department Publications*, 26, 1–16.
- Galindo, M., García, R., y Pérez, J. (2013). Guía para la Eficiencia Energética de Edificios Residenciales. , 114.
- Humphreys, M., y Nicol, F. (2006). *Environmental Design. Guide A. CIBSE*.
- ISO. (2006). Norma Española UNE-EN-ISO 7730.
- Kastillo, J., y Beltrán, R. (2015). *Optimización Energética para el Aprovechamiento*

- de Ventilación natural en Edificaciones en climas cálidos del Ecuador.* Tesis Doctoral no publicada, Escuela Politécnica Nacional.
- Lang, J. (2014). News – What’s happening in energy research. *Lobster News*.
- Manteca, F. (2012). *Diseño de edificios de elevada eficiencia energetica en Construcción sostenible.*
- Meiss, A., y Feijó, J. (2011). Influencia de la ubicación de las aberturas en la eficiencia de la ventilación en viviendas. *Informes de la Construcción*, 63(522), 53–60.
- Merino, B., Gonzales, E., y Aznar, S. (2006). Recomendaciones sobre Actividad Física para la infancia y la adolescencia. *Actividad física y salud en la infancia y la adolescencia. Guía para todas las personas que participan en su educación.*, 37 – 54.
- Naranjo, C. (2015). ESTRATEGIAS PASIVAS Clima, forma y orientación.
- Olgay, V. (2013). Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- OSRAM. (2015). Iluminación Artificial de Exteriores e Interiores.
- Paredes, A. (2011). *Influencia de los Puentes Térmicos en el Comportamiento Energético de la fachada del Edificio.* Tesis Doctoral no publicada, Universidad Politécnica de Madrid.
- Pérez, L., Ortiz, J., y Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, 40(3), 394–398.
- Pita, E. (1994). *Acondicionamiento del Aire.* Grupo Editorial Patria.
- Portela, J., Viguera, J., Pastor, a., Huerta, M., y Otero, M. (2010). La Certificación LEED , cómo cumplir con un conjunto de normas para la sostenibilidad en el proyecto de ingeniería. , 1–8.
- Proecuador. (2013). Guia Comercial de la República del Ecuador. *Proecuador*.
- Quijada, C. (2012). *Los tipos de luz artificial.*
- Riba, C. (2002). *Diseño concurrente.* EDICIONES UPC.
- Rooftec. (2015). *Perfiltec “G”.*
- Sgroi, A. (2011). Morfología urbana.
- The World Business Council for Sustainable Development. (2009). Energy efficiency in buildings – transforming the market. *Energy Efficiency Report*.
- Wilson, A. (2014). *Testing Building Assemblies for Moisture Resistance.*
- Yépez, A. (2012). *Análisis de la arquitectura vernácula del Ecuador : Propuestas de una arquitectura contemporánea sustentable.*

ANEXOS

A. PROPIEDADES MECÁNICAS DE PERFILES

A.1. CORREAS G

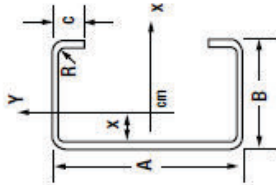
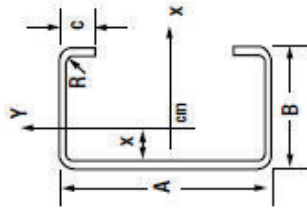


Tabla 1.4. Propiedades mecánicas de la sección completa del perfil estructural C en acabado negro o pintado (PHR)

| Referencia Perfil | Espesor (mm) | Calibre # | A (mm) | B (mm) | C (mm) | Peso (kg/m) | Área (mm ²) | X cent. (mm) | Xo cent. (mm) | St Verant (mm ²) | Wrapping Cw (mm ²) | J tors. (mm ⁴) | Momento de Inercia Ix (mm ⁴) | Iy (mm ⁴) | Sx (mm ³) | Sy (mm ³) | Módulo de Sección Zx (mm ³) | Zy (mm ³) | Radio de Giro rx (mm) | ry (mm) | ro (mm) |
|------------------------|--------------|-----------|--------|--------|--------|-------------|-------------------------|--------------|---------------|------------------------------|--------------------------------|----------------------------|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---|-----------------------|-----------------------|---------|---------|
| PHR C100 x 50 - 3.0 mm | 3.0 | 11 | 100 | 50 | 15 | 5.06 | 620.52 | 17.047 | -38.787 | 1861.60 | 4.1136E+08 | 58.615 | 952.813 | 198.665 | 19.056 | 6.029 | 39.185 | 17.893 | 57.966 | | |
| PHR C100 x 50 - 2.5 mm | 2.5 | 12 | 100 | 50 | 15 | 4.22 | 523.17 | 17.066 | -39.400 | 1089.90 | 3.6259E+08 | 59.100 | 813.395 | 171.906 | 16.268 | 5.218 | 39.430 | 18.127 | 50.614 | | |
| PHR C100 x 50 - 2.0 mm | 2.0 | 14 | 100 | 50 | 15 | 3.38 | 423.40 | 17.064 | -40.011 | 564.53 | 3.0657E+08 | 59.585 | 666.448 | 142.748 | 13.329 | 4.334 | 39.674 | 18.962 | 59.263 | | |
| PHR C100 x 50 - 1.5 mm | 1.5 | 16 | 100 | 50 | 15 | 2.53 | 321.19 | 17.073 | -40.621 | 240.89 | 2.4281E+08 | 60.069 | 511.822 | 111.085 | 10.236 | 3.374 | 39.919 | 18.597 | 59.912 | | |
| PHR C100 x 50 - 1.2 mm | 1.2 | 18 | 100 | 50 | 15 | 2.03 | 258.70 | 17.077 | -40.986 | 124.18 | 2.0063E+08 | 60.360 | 415.282 | 90.841 | 8.306 | 2.759 | 40.066 | 18.739 | 60.301 | | |
| PHR C120 x 60 - 3.0 mm | 3.0 | 11 | 120 | 60 | 15 | 6.12 | 740.52 | 19.609 | -45.129 | 2221.60 | 9.4671E+13 | 70.769 | 1.671.544 | 335.164 | 27.859 | 8.298 | 47.511 | 21.275 | 60.894 | | |
| PHR C120 x 60 - 2.5 mm | 2.5 | 12 | 120 | 60 | 15 | 5.10 | 623.17 | 19.620 | -45.742 | 1298.30 | 8.2709E+08 | 71.241 | 1.431.339 | 288.454 | 23.689 | 7.143 | 47.758 | 21.515 | 69.542 | | |
| PHR C120 x 60 - 2.0 mm | 2.0 | 14 | 120 | 60 | 15 | 4.08 | 503.40 | 19.630 | -46.354 | 671.20 | 6.9328E+08 | 71.713 | 1.160.070 | 238.253 | 19.334 | 5.902 | 48.005 | 21.755 | 70.189 | | |
| PHR C120 x 60 - 1.5 mm | 1.5 | 16 | 120 | 60 | 15 | 3.06 | 381.19 | 19.641 | -46.965 | 285.90 | 5.4448E+08 | 72.186 | 897.521 | 184.436 | 14.792 | 4.570 | 48.252 | 21.996 | 70.837 | | |
| PHR C120 x 60 - 1.2 mm | 1.2 | 18 | 120 | 60 | 15 | 2.45 | 306.70 | 19.647 | -47.331 | 147.22 | 4.4768E+08 | 72.469 | 718.487 | 150.357 | 11.875 | 3.726 | 48.401 | 22.141 | 71.226 | | |
| PHR C150 x 50 - 3.0 mm | 3.0 | 11 | 150 | 50 | 17 | 6.31 | 782.52 | 14.549 | -34.450 | 2347.60 | 1.0776E+14 | 78.430 | 2.536.912 | 262.032 | 33.825 | 6.827 | 56.938 | 17.587 | 68.834 | | |
| PHR C150 x 50 - 2.5 mm | 2.5 | 12 | 150 | 50 | 17 | 5.26 | 658.17 | 14.535 | -35.022 | 1371.20 | 9.4222E+08 | 78.658 | 2.154.637 | 209.069 | 28.728 | 5.895 | 57.216 | 17.823 | 69.411 | | |
| PHR C150 x 50 - 2.0 mm | 2.0 | 14 | 150 | 50 | 17 | 4.21 | 531.40 | 14.522 | -35.594 | 708.50 | 7.9038E+08 | 78.889 | 1.756.495 | 173.314 | 23.420 | 4.885 | 57.493 | 18.060 | 69.989 | | |
| PHR C150 x 60 - 1.5 mm | 1.5 | 16 | 150 | 50 | 17 | 3.16 | 402.19 | 14.509 | -36.165 | 301.60 | 6.2118E+08 | 79.123 | 1.342.224 | 134.651 | 17.896 | 3.794 | 57.769 | 18.297 | 70.569 | | |
| PHR C150 x 50 - 1.2 mm | 1.2 | 18 | 150 | 50 | 17 | 2.52 | 323.50 | 14.501 | -36.507 | 155.30 | 5.1094E+08 | 79.265 | 1.085.811 | 110.007 | 14.477 | 3.099 | 57.935 | 18.440 | 70.917 | | |
| PHR C160 x 60 - 3.0 mm | 3.0 | 11 | 160 | 60 | 20 | 7.16 | 890.52 | 18.479 | -43.970 | 2671.60 | 2.1911E+14 | 84.968 | 3.400.208 | 418.866 | 42.503 | 10.088 | 61.792 | 21.688 | 78.879 | | |
| PHR C160 x 60 - 2.5 mm | 2.5 | 12 | 160 | 60 | 20 | 5.97 | 748.17 | 18.472 | -44.551 | 1598.70 | 1.9017E+14 | 85.299 | 2.881.149 | 359.557 | 36.014 | 8.658 | 62.056 | 21.922 | 79.475 | | |
| PHR C160 x 60 - 2.0 mm | 2.0 | 14 | 160 | 60 | 20 | 4.77 | 603.40 | 18.465 | -45.131 | 804.50 | 1.5838E+14 | 85.631 | 2.343.414 | 296.234 | 29.293 | 7.132 | 62.319 | 22.157 | 80.071 | | |
| PHR C160 x 60 - 1.5 mm | 1.5 | 16 | 160 | 60 | 20 | 3.58 | 456.19 | 18.459 | -45.711 | 342.10 | 1.2561E+14 | 85.965 | 1.786.715 | 229.757 | 22.334 | 5.507 | 62.583 | 22.393 | 80.669 | | |
| PHR C160 x 60 - 1.2 mm | 1.2 | 18 | 160 | 60 | 20 | 2.86 | 366.70 | 18.455 | -46.058 | 176.00 | 1.0128E+14 | 86.166 | 1.443.477 | 186.220 | 18.043 | 4.482 | 62.740 | 22.535 | 81.028 | | |

Figura A.1: Propiedades mecánicas de la sección completa del perfil en C (correas G) en acabado negro o pintado (PHR) (ACESCO, 2015).



(CONTINUACIÓN) Propiedades mecánicas de la sección completa del perfil estructural C en acabado negro o pintado (PHR)

| Referencia Perfil | Espesor (mm) | Calibre # | A (mm) | B (mm) | C (mm) | Peso (kgf/m) | Área (mm ²) | X cent. (mm) | Xo corte (mm) | St Vasant (mm ²) | Warping Cw (mm ²) | J tons. (mm) | Momento de Inercia | | Módulo de Sección | | Radio de Giro | | |
|--------------------------|--------------|-----------|--------|--------|--------|--------------|-------------------------|--------------|---------------|------------------------------|-------------------------------|--------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------|---------|---------|
| | | | | | | | | | | | | | Ix (mm ⁴) | Iy (mm ⁴) | Sx (mm ³) | Sy (mm ³) | rx (mm) | ry (mm) | rx (mm) |
| PHR C 203 x 67 - 3.0 mm | 3.0 | 11 | 203 | 67 | 19 | 8.43 | 1055.50 | 18.49 | -44.87 | 3166.6 | 4.6014E+13 | 107.97 | 6,377,136 | 579,848 | 62,829 | 11,954 | 77.73 | 23.44 | 92.76 |
| PHR C 203 x 67 - 2.5 mm | 2.5 | 12 | 203 | 67 | 19 | 7.03 | 885.67 | 18.48 | -45.44 | 1845.2 | 3.9743E+13 | 108.16 | 5,389,788 | 496,620 | 53,101 | 10,225 | 78.01 | 23.68 | 93.33 |
| PHR C 203 x 67 - 2.0 mm | 2.0 | 14 | 203 | 67 | 19 | 5.62 | 713.40 | 18.47 | -46.00 | 951.2 | 3.2941E+13 | 108.35 | 4,372,715 | 408,242 | 43,081 | 8,412 | 78.29 | 23.92 | 93.90 |
| PHR C 203 x 67 - 1.5 mm | 1.5 | 16 | 203 | 67 | 19 | 4.22 | 538.69 | 18.45 | -46.57 | 404.0 | 2.5597E+13 | 108.54 | 3,355,560 | 314,554 | 32,764 | 6,479 | 78.57 | 24.16 | 94.48 |
| PHR C 203 x 67 - 1.2 mm | 1.2 | 18 | 203 | 67 | 19 | 3.37 | 432.70 | 18.45 | -46.91 | 207.7 | 2.0901E+13 | 108.66 | 2,682,677 | 255,725 | 26,430 | 5,267 | 78.74 | 24.31 | 94.82 |
| PHR C 220 x 80 - 3.0 mm | 3.0 | 11 | 220 | 80 | 20 | 9.56 | 1190.50 | 22.540 | -54.720 | 3571.60 | 8.7236E+14 | 118.590 | 8,690,372 | 943,603 | 79,003 | 16,421 | 85.440 | 26.150 | 105.290 |
| PHR C 220 x 80 - 2.5 mm | 2.5 | 12 | 220 | 80 | 20 | 7.97 | 998.17 | 22.530 | -55.300 | 2079.50 | 7.4984E+14 | 118.850 | 7,333,024 | 804,923 | 66,664 | 14,006 | 85.710 | 26.400 | 105.880 |
| PHR C 220 x 80 - 2.0 mm | 2.0 | 14 | 220 | 80 | 20 | 6.37 | 803.40 | 22.520 | -55.880 | 1071.20 | 6.1858E+14 | 119.120 | 5,939,783 | 659,059 | 53,998 | 11,467 | 85.980 | 26.640 | 106.470 |
| PHR C 220 x 80 - 1.5 mm | 1.5 | 16 | 220 | 80 | 20 | 4.78 | 606.19 | 22.520 | -56.450 | 454.60 | 4.7828E+14 | 119.390 | 4,510,252 | 505,823 | 41,002 | 8,800 | 86.260 | 26.890 | 107.060 |
| PHR C 220 x 80 - 1.2 mm | 1.2 | 18 | 220 | 80 | 20 | 3.82 | 486.70 | 22.510 | -56.800 | 233.60 | 3.8963E+14 | 119.550 | 3,634,953 | 410,265 | 33,045 | 7,137 | 86.420 | 29.030 | 107.410 |
| PHR C 254 x 67 - 3.0 mm | 3.0 | 11 | 254 | 67 | 18 | 9.56 | 1202.50 | 16.1 | -39.96 | 3607.6 | 7.3463E+13 | 140.97 | 10,800,953 | 603,975 | 85,293 | 11,865 | 94.9 | 22.41 | 105.39 |
| PHR C 254 x 67 - 2.5 mm | 2.5 | 12 | 254 | 67 | 18 | 7.97 | 1008.20 | 16.07 | -40.50 | 2100.4 | 6.3348E+13 | 140.83 | 9,140,007 | 517,490 | 71,969 | 10,160 | 95.21 | 22.66 | 105.92 |
| PHR C 254 x 67 - 2.0 mm | 2.0 | 14 | 254 | 67 | 18 | 6.37 | 811.40 | 16.04 | -41.05 | 1081.9 | 5.2423E+13 | 140.70 | 7,403,970 | 425,564 | 58,299 | 8,350 | 95.52 | 22.90 | 106.46 |
| PHR C 254 x 67 - 1.5 mm | 1.5 | 16 | 254 | 67 | 18 | 4.78 | 612.19 | 16.01 | -41.59 | 459.1 | 4.0658E+13 | 140.58 | 5,622,388 | 328,026 | 44,271 | 6,433 | 95.83 | 23.15 | 107.00 |
| PHR C 305 x 80 - 3.0 mm | 3.0 | 11 | 305 | 80 | 25 | 11.73 | 1475.50 | 20.040 | -50.510 | 4427.00 | 2.0674E+15 | 166.070 | 19,389,458 | 1,141,419 | 127,144 | 19,036 | 114.630 | 27.810 | 128.320 |
| PHR C 305 x 80 - 2.5 mm | 2.5 | 12 | 305 | 80 | 25 | 9.77 | 1235.70 | 20.010 | -51.050 | 2574.00 | 1.7708E+15 | 165.990 | 16,323,594 | 972,436 | 107,040 | 16,210 | 114.940 | 28.050 | 128.850 |
| PHR C 305 x 80 - 2.0 mm | 2.0 | 14 | 305 | 80 | 25 | 7.82 | 993.40 | 19.980 | -51.590 | 1324.50 | 1.4553E+15 | 165.910 | 13,192,153 | 795,229 | 86,506 | 13,249 | 115.740 | 28.290 | 129.360 |
| PHR C 305 x 80 - 1.5 mm | 1.5 | 16 | 305 | 80 | 25 | 5.86 | 748.69 | 19.950 | -52.130 | 561.50 | 1.1212E+15 | 165.840 | 9,994,609 | 609,596 | 65,538 | 10,151 | 115.540 | 28.530 | 129.930 |
| PHR C 355 x 110 - 3.0 mm | 3.0 | 11 | 355 | 110 | 25 | 14.25 | 1805.50 | 27.890 | -70.210 | 5417.00 | 6.2055E+15 | 192.300 | 33,354,588 | 2,613,640 | 189,040 | 31,830 | 136.320 | 38.050 | 157.990 |
| PHR C 355 x 110 - 2.5 mm | 2.5 | 12 | 355 | 110 | 25 | 11.87 | 1510.70 | 27.870 | -70.770 | 3147.00 | 5.2631E+15 | 192.470 | 28,195,212 | 2,215,429 | 158,846 | 26,975 | 136.620 | 38.300 | 158.550 |
| PHR C 355 x 110 - 2.0 mm | 2.0 | 14 | 355 | 110 | 25 | 9.50 | 1213.40 | 27.850 | -71.330 | 1618.00 | 4.3172E+15 | 192.560 | 22,744,964 | 1,802,626 | 128,132 | 21,944 | 136.910 | 38.540 | 159.110 |

Figura A.2: Propiedades mecánicas de la sección completa del perfil en C (correas G) en acabado negro o pintado (PHR) continuación (ACESCO, 2015).

A.2. PERFILES DE CAJÓN G

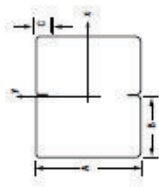


Tabla 19. Propiedades mecánicas de la sección completa del perfil estructural cajón en acabado galvanizado (PAG)

| Referencia Perfil | Espesor (mm) | Calibre # | A (mm) | B (mm) | C (mm) | Peso (kgf/m) | Área (mm ²) | X cent. (mm) | Y cent. (mm) | Momento de Inercia | | Módulo de Sección | | Radio de Giro | | |
|--------------------------|--------------|-----------|--------|--------|--------|--------------|-------------------------|--------------|--------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------|---------|---------|
| | | | | | | | | | | Ix (mm ⁴) | Iy (mm ⁴) | Sx (mm ³) | Sy (mm ³) | rx (mm) | ry (mm) | ro (mm) |
| PAG C 100 x 50 - 2.0 mm | 2.0 | 14 | 100 | 50 | 15 | 6.84 | 846.80 | 50.00 | 50.00 | 1,332,895 | 1,204,072 | 26,658 | 24,081 | 39.67 | 37.71 | 54.74 |
| PAG C 100 x 50 - 1.5 mm | 1.5 | 16 | 100 | 50 | 15 | 5.14 | 642.38 | 50.00 | 50.00 | 1,023,644 | 918,656 | 20,473 | 18,373 | 39.92 | 37.82 | 54.99 |
| PAG C 100 x 50 - 1.2 mm | 1.2 | 18 | 100 | 50 | 15 | 4.12 | 517.41 | 50.00 | 50.00 | 830,564 | 742,497 | 16,611 | 14,850 | 40.07 | 37.88 | 55.14 |
| PAG C 120 x 60 - 2.0 mm | 2.0 | 14 | 120 | 60 | 15 | 8.26 | 1,006.80 | 60.00 | 60.00 | 2,320,140 | 2,117,281 | 38,669 | 35,288 | 48.01 | 45.86 | 66.39 |
| PAG C 120 x 60 - 1.5 mm | 1.5 | 16 | 120 | 60 | 15 | 6.22 | 762.38 | 60.00 | 60.00 | 1,775,043 | 1,610,678 | 29,584 | 26,845 | 48.25 | 45.96 | 66.64 |
| PAG C 120 x 60 - 1.2 mm | 1.2 | 18 | 120 | 60 | 15 | 5.00 | 613.41 | 60.00 | 60.00 | 1,436,975 | 1,299,546 | 23,950 | 21,659 | 48.40 | 46.03 | 66.79 |
| PAG C 150 x 50 - 2.0 mm | 2.0 | 14 | 150 | 50 | 17 | 8.52 | 1,062.80 | 50.00 | 75.00 | 3,512,990 | 1,684,360 | 46,840 | 33,687 | 57.49 | 39.81 | 69.93 |
| PAG C 150 x 50 - 1.5 mm | 1.5 | 16 | 150 | 50 | 17 | 6.40 | 804.38 | 50.00 | 75.00 | 2,684,448 | 1,282,528 | 35,793 | 25,651 | 57.77 | 39.93 | 70.23 |
| PAG C 150 x 50 - 1.2 mm | 1.2 | 18 | 150 | 50 | 17 | 5.14 | 647.01 | 50.00 | 75.00 | 2,171,621 | 1,035,360 | 28,955 | 20,707 | 57.93 | 40.00 | 70.40 |
| PAG C 160 x 60 - 2.0 mm | 2.0 | 14 | 160 | 60 | 20 | 9.66 | 1,206.80 | 60.00 | 80.00 | 4,686,828 | 2,674,347 | 58,585 | 44,572 | 62.32 | 47.08 | 78.10 |
| PAG C 160 x 60 - 1.5 mm | 1.5 | 16 | 160 | 60 | 20 | 7.28 | 912.38 | 60.00 | 80.00 | 3,573,431 | 2,031,990 | 44,668 | 33,867 | 62.58 | 47.19 | 78.38 |
| PAG C 160 x 60 - 1.2 mm | 1.2 | 18 | 160 | 60 | 20 | 5.84 | 733.41 | 60.00 | 80.00 | 2,886,954 | 1,638,292 | 36,087 | 27,305 | 62.74 | 47.26 | 78.55 |
| PAG C 203 x 67 - 2.0mm | 2.0 | 14 | 203 | 67 | 19 | 11.38 | 1,426.80 | 67.00 | 101.50 | 8,745,429 | 4,177,329 | 86,162 | 62,348 | 78.29 | 54.11 | 95.17 |
| PAG C 203 x 67 - 1.5 mm | 1.5 | 16 | 203 | 67 | 19 | 8.56 | 1,077.40 | 67.00 | 101.5 | 6,651,120 | 3,168,286 | 65,528 | 47,288 | 78.57 | 54.23 | 95.47 |
| PAG C 203 x 67 - 1.2 mm | 1.2 | 18 | 203 | 67 | 19 | 6.88 | 865.41 | 67.00 | 101.5 | 5,365,353 | 2,551,693 | 52,861 | 38,085 | 78.74 | 54.30 | 95.65 |
| PAG C 220 x 80 - 2.0 mm | 2.0 | 14 | 220 | 80 | 20 | 12.90 | 1,606.80 | 80.00 | 110.00 | 11,879,564 | 6,626,110 | 107,996 | 82,826 | 85.98 | 64.22 | 107.32 |
| PAG C 220 x 80 - 1.5 mm | 1.5 | 16 | 220 | 80 | 20 | 9.70 | 1,212.40 | 80.00 | 110.00 | 9,020,504 | 5,017,594 | 82,005 | 62,720 | 86.26 | 64.33 | 107.61 |
| PAG C 220 x 80 - 1.2 mm | 1.2 | 18 | 220 | 80 | 20 | 7.80 | 973.41 | 80.00 | 110.00 | 7,269,906 | 4,037,266 | 66,090 | 50,466 | 86.42 | 64.40 | 107.78 |
| PAG C 254 x 67 - 2.0 mm | 2.0 | 14 | 254 | 67 | 18 | 12.90 | 1,622.80 | 67.00 | 127.00 | 14,807,938 | 5,066,012 | 116,598 | 75,612 | 95.52 | 55.87 | 110.66 |
| PAG C 254 x 67 - 1.5 mm | 1.5 | 16 | 254 | 67 | 18 | 9.70 | 1,224.40 | 67.00 | 127.00 | 11,244,775 | 3,839,837 | 88,542 | 57,311 | 95.83 | 56.00 | 111.00 |
| PAG C 305 x 80 - 2.0 mm | 2.0 | 14 | 305 | 80 | 25 | 15.82 | 1,986.80 | 80.00 | 152.50 | 26,384,306 | 8,748,217 | 173,012 | 109,353 | 115.24 | 66.36 | 132.98 |
| PAG C 305 x 80 - 1.5 mm | 1.5 | 16 | 305 | 80 | 25 | 11.90 | 1,497.40 | 80.00 | 152.50 | 19,989,218 | 6,619,208 | 131,077 | 82,740 | 115.54 | 66.49 | 133.30 |
| PAG C 355 x 110 - 2.0 mm | 2.0 | 14 | 355 | 110 | 25 | 19.22 | 2,426.80 | 110.00 | 177.50 | 45,486,912 | 19,981,550 | 256,264 | 181,650 | 136.91 | 90.74 | 164.25 |

Figura A.3: Propiedades mecánicas de la sección completa del perfil estructural cajón en acabado negro o pintado (PHR) (ACESCO, 2015).

B. PROPIEDADES DE PERNOS Y SOLDADURA

B.1. PERNOS








| Clase de propiedad | Intervalo de tamaños, inclusive | Resistencia de prueba mínima, [†] MPa | Resistencia mínima a la tensión, [†] MPa | Resistencia mínima a la fluencia, [†] MPa | Material | Marca en la cabeza |
|--------------------|---------------------------------|--|---|--|---|---|
| 4.6 | M5-M36 | 225 | 400 | 240 | Acero de bajo o medio carbono |  |
| 4.8 | M1.6-M16 | 310 | 420 | 340 | Acero de bajo o medio carbono |  |
| 5.8 | M5-M24 | 380 | 520 | 420 | Acero de bajo o medio carbono |  |
| 8.8 | M16-M36 | 600 | 830 | 660 | Acero de medio carbono, T y R |  |
| 9.8 | M1.6-M16 | 650 | 900 | 720 | Acero de medio carbono, T y R |  |
| 10.9 | M5-M36 | 830 | 1 040 | 940 | Acero martensítico de bajo carbono, T y R |  |
| 12.9 | M1.6-M36 | 970 | 1 220 | 1 100 | Acero aleado, T y R |  |

Figura B.1: Clase métricas de propiedades mecánicas de pernos, tornillos y birlos de acero (Budynas y Nisbett, 2014).

B.2. SOLDADURA


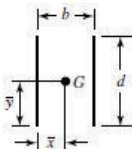
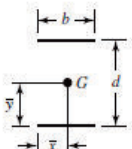
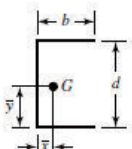
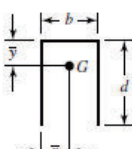
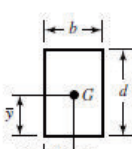
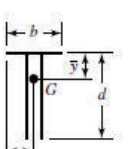
| Soldadura | Área de la garganta | Ubicación de G | Segundo momento unitario del área |
|---|----------------------|---|--|
|  | $A = 0.707hd$ | $\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$ | $I_u = \frac{d^3}{12}$ |
|  | $A = 1.414hd$ | $\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$ | $I_u = \frac{d^3}{6}$ |
|  | $A = 1.414hd$ | $\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$ | $I_u = \frac{bd^2}{2}$ |
|  | $A = 0.707h(2b + d)$ | $\bar{x} = \frac{b^2}{2b + d}$ $\bar{y} = d/2$ | $I_u = \frac{d^2}{12}(6b + d)$ |
|  | $A = 0.707h(b + 2d)$ | $\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = \frac{d^2}{b + 2d}$ | $I_u = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b + 2d)\bar{y}^2$ |
|  | $A = 1.414h(b + d)$ | $\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$ | $I_u = \frac{d^2}{6}(3b + d)$ |
|  | $A = 0.707h(b + 2d)$ | $\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = \frac{d^2}{b + 2d}$ | $I_u = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b + 2d)\bar{y}^2$ |

Figura B.2: Propiedades flexionantes de las soldaduras de filete (Budynas y Nisbett, 2014).

C. PLANOS