



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

**ACONDICIONAMIENTO CLIMÁTICO DE UN
INVERNADERO PARA EL CULTIVO DE JITOMATES
EN SANTIAGO TEPALCATLALPAN, XOCHIMILCO,
CIUDAD DE MÉXICO.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERÍA MECÁNICA

P R E S E N T A:

IVAN SALVADOR REBOLLO CORTES.



**DIRECTOR DE TESIS:
Q.F.B. CATARINA TAFOLLA RANGEL
2016**

Nezahualcóyotl, Estado de México



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	5
INTRODUCCIÓN.....	6
CAPITULO 1. PSICROMETRÍA.....	8
1. PSICROMETRÍA.....	9
Temperatura.....	10
El Calor.....	11
Calor sensible.....	11
Calor Latente.....	12
Volumen Específico.....	13
Aire.....	13
Humedad (vapor de agua).....	15
Aire saturado con humedad.....	16
Humedad Relativa.....	16
Humedad Absoluta.....	17
Punto de Rocío.....	17
Entalpía.....	18
Entalpia de las mezclas de aire y vapor de agua.....	19
Confort humano.....	20
CAPITULO 2. INVERNADEROS.....	22
2. INVERNADEROS.....	23
Definición y objetivos de un invernadero.....	23
Tipos de invernadero.....	24
Tipos de invernaderos de acuerdo al clima.....	24
Invernaderos fríos.....	24
Invernaderos frescos.....	24
Invernaderos templados.....	25
Invernaderos cálidos.....	25
Tipos de invernaderos de acuerdo a su estructura.....	25
Invernadero plano o tipo parral.....	26
Invernadero en raspa y amagado.....	27
Invernadero asimétrico o inacrál.....	27
Invernadero de capilla.....	28
Invernadero de doble capilla.....	28
Invernadero túnel o semicilíndrico.....	29
Invernaderos de cristal o tipo venlo.....	30
Elección del invernadero.....	30
2.1 <i>Espacios climatizados para la producción de alimentos.....</i>	<i>31</i>
Futuro de la producción de alimentos en invernaderos.....	34
2.2 <i>Nivel de infraestructura en México de espacios climatizados para la producción de alimentos.....</i>	<i>35</i>
Estructuras.....	36
Épocas de Producción.....	37
2.3 <i>Potenciales para espacios con climatización en la producción de alimentos en México.....</i>	<i>38</i>
Áreas de oportunidad en México.....	39
Cultivos cubiertos.....	41
2.4 <i>Papel del ingeniero mecánico en la implementación de espacios climatizados para la producción de alimentos.....</i>	<i>44</i>
CAPITULO 3. OBJETIVO.....	48
3. OBJETIVO.....	49
Objetivo general.....	49
Objetivos particulares.....	49
3.1 <i>Delimitación del problema.....</i>	<i>49</i>
Aspectos generales del cultivo de jitomate.....	50
Requerimientos Climáticos.....	50
CAPITULO 4. CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA.....	51
4. CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA.....	52

4.1 Descripción ocular del invernadero.....	52
4.2 Características del aire atmosférico en Santiago Tepalcatlalpan, Xochimilco, Ciudad de México.	53
4.3 Características climáticas del invernadero.....	53
4.4 Cálculos unitarios de calor agregado y humedad agregada.....	53
Condiciones psicrométricas del lugar (Xochimilco).....	54
4.5 Inspección física del invernadero.....	55
Características del invernadero.....	55
4.6 Cálculos.....	56
4.6.1 Área.....	57
4.6.2 Coeficientes de transferencia de calor.....	61
4.6.3 Cálculos de carga térmica.....	62
Invierno.....	62
Cálculos de flujo de aire en invierno.....	66
Verano.....	69
Cálculos de flujo de aire en verano.....	73
CAPITULO 5. SELECCIÓN DE EQUIPO.....	76
5. SELECCIÓN DE EQUIPO.....	77
5.1 Equipo de calefacción.....	77
5.2 Equipo de ventilación.....	78
5.3 Criterio de selección.....	80
Equipo de calefacción.....	80
Equipo de ventilación.....	80
5.4 Ubicación del equipo.....	81
Equipo de calefacción.....	81
Equipo de ventilación.....	81
CAPITULO 6. COSTOS.....	83
6. COSTOS.....	84
CAPITULO 7. MATRIZ FODA.....	85
7. MATRIZ FODA.....	86
CAPITULO 8. CONCLUSIONES.....	88
8. CONCLUSIONES.....	89
CAPITULO 9. BIBLIOGRAFÍA.....	90
9. BIBLIOGRAFÍA.....	91
FIGURA 1.1. CAMBIO DE FASE. FUENTE: WWW.FISICAIDEUED.BLOGSPOT.COM	12
FIGURA 2.4.1. MEDIDAS DEL INVERNADERO.....	52
FIGURA 3.4.5. DIMENSIONES DEL INVERNADERO Y ORIENTACIÓN.....	56
FIGURA 4.4.6. NUMERO DE PAREDES DEL INVERNADERO.....	56
FIGURA 5.4.6.1. PARED ESTE-OESTE.....	57
FIGURA 6.4.6.1. ÁREA DE LA PARTE CIRCULAR DE LA PARED ESTE-OESTE.....	57
FIGURA 7.4.6.1. ÁREA A DE LA PARED ESTE-OESTE.....	58
FIGURA 8.4.6.1. ÁREA B PARED ESTE-OESTE.....	59
FIGURA 9.4.6.1. ÁREA DE LA PARED NORTE-SUR.....	59
FIGURA 10.4.6.1. ÁREA DEL PISO.....	60
FIGURA 11.4.6.1. ÁREA DEL TECHO.....	61
FIGURA 12.4.6.3. NUMERO DE PAREDES DEL INVERNADERO.....	62
FIGURA 13.5.1. EQUIPO DE CALEFACCIÓN. FUENTE: HYDROENVIRONMENT.....	77
FIGURA 14.5.2. EQUIPO DE VENTILACIÓN VISTA FRONTAL. FUENTE: WWW.EXTRACTORDEAIRE.COM.MX.....	78
FIGURA 15.5.2. EQUIPO DE VENTILACIÓN VISTA LATERAL. FUENTE: WWW.EXTRACTORDEAIRE.COM.MX.	79
FIGURA 16.5.3. VOLUMEN DEL INVERNADERO.....	80
FIGURA 17.5.4. UBICACIÓN DEL EQUIPO DE VENTILACIÓN.....	81
FIGURA 18.5.4. UBICACIÓN DEL EQUIPO DE CALEFACCIÓN.....	82

TABLA 1.2.2. NÚMERO DE HECTÁREAS DE AGRICULTURA PROTEGIDA EN MÉXICO. 2014.	37
TABLA 2.2.3. LOCALIZACIÓN DE INVERNADEROS EN MÉXICO. 2015.	44
TABLA 3.4.4. TEMPERATURAS MÍNIMAS DEL LUGAR. 2015.	53
TABLA 4.4.4. TEMPERATURAS MÁXIMAS DEL LUGAR. 2015.	54
TABLA 5.4.4. CONDICIONES PSICROMÉTRICAS PROMEDIO DEL LUGAR. 2015.	54
TABLA 6.4.4. CONDICIONES PSICROMÉTRICAS ESTABLECIDAS EN EL INVERNADERO. 2015.	55
TABLA 7.4.6.3. EN ESTA TABLA SE MUESTRAN LOS RESULTADOS OBTENIDOS PARA EL INVIERNO.	68
TABLA 8.4.6.3. EN ESTA TABLA SE MUESTRAN LOS RESULTADOS OBTENIDOS PARA EL VERANO.	75
TABLA 9.5.1. CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO DE CALEFACCIÓN.	77
TABLA 10.5.1. CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO DE CALEFACCIÓN.	78
TABLA 11.5.2. CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO DE VENTILACIÓN.	79
TABLA 12.5.2. CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO DE VENTILACIÓN.	79
TABLA 13.6. COSTOS DE EQUIPO DE CALEFACCIÓN.	84
TABLA 14.6. COSTOS DE EQUIPO DE VENTILACIÓN.	84
TABLA 15.7. MATRIZ FODA.	86
GRAFICA 1.2.3. CULTIVO PROTEGIDO HAS/AÑO. FUENTE: AMHPAC.	42
GRAFICA 2.2.3. CULTIVO PROTEGIDO HAS/INVERNADERO. FUENTE: AMHPAC.	43
GRAFICA 3.2.3. CULTIVO PROTEGIDO HAS/MALLA SOMBRA. FUENTE: AMHPAC.	43

INTRODUCCIÓN.

Introducción.

El presente proyecto tiene como propósito elegir los equipos que generen los requerimientos climáticos ideales en un invernadero destinado para el cultivo de jitomate en la delegación Xochimilco, Ciudad de México, y permitir su cultivo durante todo el año y que éste no dependa del clima del lugar. Esto es debido a que por años se ha buscado cultivar diferentes tipos de hortalizas en este invernadero pero no se ha podido lograr con éxito ya que las temperaturas bajas hacen que el cultivo se quemara o por el exceso de calor y humedad durante el día fomenten la aparición de hongos, ocasionando que el cultivo perezca. Sabiendo esto y teniendo como objetivo el de implementar un cultivo de jitomate se empezó a desarrollar este proyecto. La elección del equipo consta de una unidad de calefacción de acuerdo al cálculo de la carga térmica y la elección de ventiladores para la circulación, inyección y extracción del aire.

Se empezara presentando el marco teórico, en el cual se definirá qué es la psicometría, para qué sirve y cómo podemos utilizarla para la solución de problemas; así como también se definirán las variables termodinámicas que se estudian en esta ciencia como: temperatura, calor y humedad, así como otras definiciones relacionadas con esta ciencia como: volumen, aire, entalpia, punto de rocío y confort humano. También se podrá comprender cómo controlar dichas variables para generar climas con condiciones específicas de determinada área.

Se definirá qué es un invernadero, cuáles son sus objetivos y algunos tipos de invernaderos que se encuentran hoy en día; clasificándolos de acuerdo al clima y a la estructura, las principales características de algunos citando algunas de sus ventajas y desventajas; esto con el objeto de dar algunas pautas para la elección de un invernadero y los factores que son necesarios tomar en cuenta como: ubicación, orientación y dimensiones.

Más adelante se describirán algunas de las ventajas de los espacios climatizados, así como los principios para que esta forma de cultivo fuera establecida; dentro de las ventajas explicaremos la intensificación de la producción, productos fuera de temporada, entre otros. En resumen, se otorgará la explicación de la importancia de los espacios climatizados y su futuro.

También se dará a conocer el nivel de infraestructura que tenemos en México en cuanto a agricultura protegida destinada a la horticultura. De igual forma se conocerán cuáles son algunas de las asociaciones mexicanas de horticultura bajo invernaderos; conociendo el tipo de estructuras y su distribución en nuestro país para el desarrollo y fortalecimiento de esta área; analizando las oportunidades nacionales que se tienen y las oportunidades con las que se cuentan para implementar estos proyectos en México, la magnitud que se puede alcanzar con estos, analizando el desarrollo de este tipo de agricultura en diferentes lugares dentro del país, la cantidad de hectáreas, nivel de tecnología con el que se cuenta y oportunidades de desarrollo.

Se citará el papel del ingeniero mecánico en la implementación de este tipo de proyectos comprendiendo que tan necesario y oportuno es que estos proyectos sean implementados con técnicas de ingeniería, mostrando que los resultados obtenidos serán más satisfactorios y oportunos, cumpliendo con los objetivos planteados en el proyecto reduciendo posibles errores.

Posteriormente se plantearán los objetivos de este proyecto particularmente, delimitando el problema en el cual analizaremos las condiciones climáticas del lugar y los requerimientos del espacio a climatizar, tomando en cuenta los datos que se recopilaron al realizar una inspección ocular en el lugar y con ésta información se calculó la carga térmica, comenzando por obtener las condiciones psicométricas del lugar y del invernadero, finalizando con la obtención de carga térmica en BTU y Toneladas de calefacción, obteniéndolas tanto para verano, como para invierno, siendo las condiciones más extremas del lugar y proporcionando los límites de temperatura y humedad. Con ésta información entonces se elegirá el equipo más conveniente con base en criterios de selección propios de cada equipo, también se ubicará el equipo en el invernadero según sea lo más conveniente, obteniendo los costos de instalación, operación y mantenimiento de dichos equipos.

En el último capítulo se presentará una matriz de análisis del proyecto de acuerdo a sus fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas; con este análisis se generaran las conclusiones pertinentes del proyecto.

CAPITULO 1. PSICROMETRÍA.

1. Psicrometría.

Se puede decir que Psicrometría es una palabra que impresiona, y se define como la medición del contenido de humedad en el aire.

Ampliando la definición a términos más técnicos, psicrometría es la ciencia que involucra las propiedades termodinámicas del aire húmedo, y el efecto de la humedad atmosférica sobre los materiales y el confort humano.

Profundizando más, se incluirá el método de acondicionar el aire, controlando las propiedades térmicas del aire húmedo. Lo anterior, se puede llevar a cabo a través del uso de tablas psicrométricas o de la Carta Psicrométrica.

La ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers) define el acondicionamiento del aire como: “El proceso de tratar el aire, de tal manera, que se controle simultáneamente su temperatura, humedad, limpieza y distribución, para que cumpla con los requisitos del espacio acondicionado”

Como se indica en la definición, las acciones importantes involucradas en la operación de un sistema de aire acondicionado son:

- Control de la temperatura.
- Control de la humedad.
- Filtración, limpieza y purificación del aire.
- Circulación y movimiento del aire.

El acondicionamiento completo de aire, proporciona el control automático de estas condiciones, tanto como para el verano como para el invierno. El control de temperatura en verano se logra mediante un sistema de refrigeración, y en invierno, mediante una fuente de calor. El control de humedad en verano requiere de deshumidificadores, lo que se hace normalmente al pasar el aire sobre la superficie fría del evaporador. En el invierno, se requiere de humidificadores, para agregarle humedad al aire en el sistema de calentamiento. La filtración del aire, en general, es la misma en verano que en invierno.

El acondicionamiento de aire en casas, edificios o en industrias, se hace por dos razones principales: proporcionar confort humano, y para tener un control más completo del proceso de manufactura; el control de la temperatura y la humedad, mejora la calidad del producto terminado. Así también para la producción, procesado y almacenamiento de alimentos, y en todos los procesos industriales que demanden un fuerte control del contenido de vapor de agua en el aire.

Para acondicionar aire en un espacio, se requiere tener conocimientos básicos de las propiedades del aire y la humedad, dentro de las cuales encontramos parámetros como: temperatura, humedad relativa, humedad absoluta, punto de rocío, entalpía específica o calor total, calor sensible, calor latente y volumen específico del aire; así como también se requiere del manejo de las tablas o carta psicrométrica, para el cálculo de calentamiento y de enfriamiento, además del conocimiento para manejar instrumentos tales, como termómetros de bulbo

seco y de bulbo húmedo (psicrómetro), el higrómetro, tubo de pitot, registradores, manómetros y barómetros.

Temperatura.

Los átomos y moléculas en una sustancia no siempre se mueven a la misma velocidad. Esto significa que hay un rango de energía (energía cinética) en las moléculas. En un gas, por ejemplo, las moléculas se mueven en direcciones aleatorias y a diferentes velocidades algunas se mueven rápido y otras más lentamente.

Del latín temperatura, la temperatura es una magnitud o propiedad física que refleja la cantidad de calor, ya sea de un cuerpo, de un objeto o del ambiente. Dicha magnitud está vinculada a la noción de frío (menor temperatura) y caliente (mayor temperatura).

La temperatura está relacionada con la energía interior de los sistemas termodinámicos, de acuerdo al movimiento de sus partículas (energía cinética), y cuantifica la actividad de las moléculas de la materia: a mayor energía sensible, más temperatura.

Cuando dos cuerpos que se encuentran a distinta temperatura y se ponen en contacto, se produce una transferencia de energía en forma de calor, desde el cuerpo caliente al frío, esto ocurre hasta que las temperaturas de ambos cuerpos se igualan (balance térmico). En este sentido, la temperatura es un indicador de la dirección que toma la energía en su tránsito de unos cuerpos a otros.

Tres escalas sirven comúnmente para medir la temperatura. Las escalas de Celsius y de Fahrenheit son las más comunes. La escala de Kelvin es primordialmente usada en experimentos científicos.

Escala Celsius.

La escala Celsius fue inventada en 1742 por el astrónomo sueco Andrés Celsius. Esta escala divide el rango entre las temperaturas de congelación y de ebullición del agua en 100 partes iguales. Esta escala es encontrada e identificada en ocasiones como escala centígrada. Las temperaturas en la escala Celsius son conocidas como grados Celsius (°C).

Escala Fahrenheit.

La escala Fahrenheit fue establecida por el físico holandés-alemán Gabriel Daniel Fahrenheit, en 1724. Aun cuando muchos países están usando ya la escala Celsius, la escala Fahrenheit es ampliamente usada en los Estados Unidos. Esta escala divide la diferencia entre los puntos de fusión y de ebullición del agua en 180 intervalos iguales. Las temperaturas en la escala Fahrenheit son conocidas como grados Fahrenheit (°F).

Escala de Kelvin.

La escala de Kelvin lleva el nombre de William Thompson Kelvin, un físico británico que la diseñó en 1848. Prolonga la escala Celsius hasta el cero

absoluto, una temperatura hipotética caracterizada por una ausencia completa de energía calórica. Las temperaturas en esta escala son llamadas Kélvines (K).

El Calor.

El calor es una manifestación de la energía provocada por el movimiento molecular. Al calentarse un cuerpo, aumenta la energía cinética de las moléculas, produciéndose choques más o menos violentos, según la cantidad de calor entregada.

El calor es susceptible de medir; lo que se efectúa teniendo en cuenta dos magnitudes fundamentales: intensidad de calor y cantidad de calor.

1ª La intensidad de calor está relacionada con la velocidad del movimiento molecular estableciéndose para medirla una práctica que da una idea del grado o nivel del calor que tiene un cuerpo determinado. Arbitrariamente se fijan parámetros comparativos que permiten determinar dicho nivel de calor, al que se denomina temperatura. Se dice que un cuerpo con gran velocidad molecular tiene más temperatura o más nivel de calor que otro.

2ª La cantidad de calor de un cuerpo representa la suma de las energías térmicas de todas las moléculas que lo componen. Es decir que mientras la intensidad de calor o temperatura indica el grado de movimiento molecular o el nivel de calor de un cuerpo, esta magnitud señala su contenido total de calor.

Se demuestra que la cantidad de calor de un cuerpo está en función de la masa del cuerpo y de su temperatura, o lo que es lo mismo, del número de moléculas que lo componen y de su nivel de intensidad térmica o velocidad molecular.

Para determinar la cantidad de calor se ha establecido un valor característico, que depende de las particularidades de cada cuerpo, que se denomina "calor específico". El calor específico se define como la cantidad de calor necesario para elevar en 1 °C la temperatura de la unidad de masa de una sustancia. Como unidad se usa el agua a presión atmosférica normal, considerándose una temperatura normal de 15 °C que está dentro del entorno de las aplicaciones prácticas.

De esa manera, el calor específico igual a 1, sería la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de 1 kg de agua en 1 °C (14,5 a 15,5) a presión atmosférica normal. A esta cantidad de calor se le denomina (Kcal) kilocaloría, y sería entonces la unidad de cantidad de calor.

Para ello, la unidad de calor específico valdrá:

$$C_e = \text{Kcal/Kg}^\circ\text{C}$$

La unidad de calor es el Joule. La equivalencia es la siguiente:

$$1 \text{ Kcal} = 4185.5 \text{ joule (J)}$$

Calor sensible.

Cuando definimos la unidad de calor, mencionamos que el agregado de dicha energía provoca un aumento de la temperatura, a ese estado calórico cuya

variación de nivel puede determinarse mediante un termómetro, que es sensible a ella, se denomina calor sensible.

Calor sensible es aquel que recibe un cuerpo y hace que aumente su temperatura sin afectar su estructura molecular y por lo tanto su estado. En general, se ha observado experimentalmente que la cantidad de calor necesaria para calentar o enfriar un cuerpo es directamente proporcional a la masa del cuerpo y a la diferencia de temperaturas. La constante de proporcionalidad recibe el nombre de calor específico.

Se representa por la fórmula:

$$(1.1) Q = mc_e (t_f - t_i)$$

Q, es la cantidad de calor entregada o recibida por un cuerpo (Kcal)

M, es la masa del cuerpo (Kg)

C_e, es el calor específico de la sustancia (Kcal/Kg°C)

T[°]_i, es la temperatura inicial del cuerpo (°C)

T[°]_f, es la temperatura final del cuerpo (°C)

Calor Latente.

Cuando se produce un cambio de fase, la sustancia debe absorber o ceder una cierta cantidad de calor para que tenga lugar. Este calor será positivo (absorbido) cuando el cambio de fase se produce de izquierda a derecha en la figura, y negativo (cedido) cuando la transición de fase tiene lugar de derecha a izquierda.

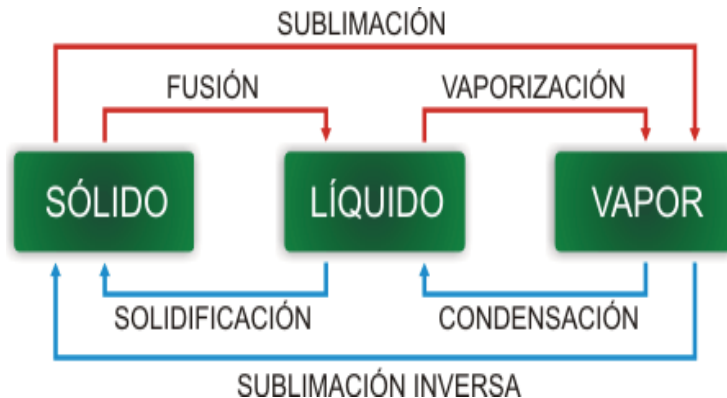


FIGURA 1.1. Cambio de fase. Fuente: www.fisicaideued.blogspot.com

El calor absorbido o cedido en un cambio de fase no se traduce en un cambio de temperatura, ya que la energía suministrada o extraída de la sustancia se emplea en cambiar el estado de agregación de la materia. Este calor se denomina calor latente.

Latente en latín quiere decir escondido, y se llama así porque, al no cambiar la temperatura durante el cambio de estado, a pesar de añadir calor, éste se quedaba escondido sin traducirse en un cambio de temperatura.

Calor latente (L) o calor de cambio de estado, es la energía absorbida o cedida por unidad de masa de sustancia al cambiar de estado. De sólido a líquido este

calor se denomina calor latente de fusión, de líquido a vapor calor latente de vaporización y de sólido a vapor calor latente de sublimación.

El calor latente para los procesos inversos (representados en azul en la figura anterior) tiene el mismo valor en “valor absoluto”, pero serán negativos porque en este caso se trata de un calor cedido.

En el Sistema Internacional, el calor latente se mide en J/kg.

La cantidad de calor que absorbe o cede una cantidad m de sustancia para cambiar de fase viene dada por:

$$(2.1) Q = mL$$

Este calor será positivo o negativo dependiendo del cambio de fase que haya tenido lugar.

Por ejemplo, si se tiene agua en ebullición, durante todo el proceso que éste dura, la temperatura se mantiene constante en los 100 °C, aunque se le agregue calor continuamente.

A ese calor que se ha agregado a una sustancia no origina cambio de nivel térmico o temperatura, se le denomina calor latente, por tanto, como su nombre lo indica, ese calor se encuentra latente, y se consume en la acción de transformación física.

$$(3.1) Q = mC_{v1}$$

Donde:

C_{v1} , Es el calor latente de vaporización (Kcal/kg)

El calor latente de vaporización del agua (100 °C) es 539 Kcal/kg

El calor latente de fusión del agua (0 °C) es 80 Kcal/kg

Volumen Específico.

El volumen específico (ν) es el volumen ocupado por unidad de masa de un material. Es el inverso de la densidad, por lo cual no dependen de la cantidad de materia. Ejemplos: dos pedazos de hierro de distinto tamaño tienen diferente peso y volumen pero el peso específico de ambos será igual. Este es independiente de la cantidad de materia que es considerada para calcularlo.

$$(4.1) \nu = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho}$$

Donde, V es el volumen, m es la masa y ρ es la densidad del material.

Se expresa en unidades de volumen sobre unidades de masa.

Ejemplo:

$$\frac{m^3}{kg} \quad \frac{ft^3}{lb}$$

Aire.

El aire es una mezcla de gases incolora, inodora, y sinsabor que rodea la Tierra, este aire que envuelve a la Tierra se conoce como atmosfera, se extiende hasta una altura de aproximadamente 645 km y se divide en varias capas.

El aire tiene peso y es sorprendentemente pesado. Su densidad (o peso por metro cubico) varia, siendo mayor a nivel del mar (donde es comprimido por todo el aire encima del mismo) que en la cima de una montaña. Es más denso en el fondo, y se vuelve más delgado y ligero al ir hacia arriba. Todo este peso del aire ejerce una presión de 101.325 kPa (1.033 kg/cm²) al nivel del mar, pero ésta presión disminuye progresivamente, a medida que se incrementa la altitud.

El aire no es vapor saturado que esté cercano a temperaturas donde pueda ser condensado. Es siempre un gas altamente sobrecalentado, más preciso, es una mezcla de gases altamente sobrecalentados.

Así, cuando calentamos o enfiamos aire seco, solamente estamos agregando o quitando calor sensible.

Podemos enfriar o calentar el aire, limpiarlo y moverlo, ya que, los relativamente pequeños cambios de temperatura que se realicen, sólo causan mínimos cambios en el volumen y en la densidad.

Si el aire seco se calienta se expande y su densidad disminuye cuando la presión permanece constante; inversamente, si se enfría el aire seco aumenta su densidad.

El aire atmosférico es una mezcla de oxígeno, nitrógeno, bióxido de carbono, hidrógeno, vapor de agua y un porcentaje muy pequeño de gases, tanto en peso, como en volumen, para el aire seco (sin vapor).

Cada uno de estos gases que componen el aire se comporta de acuerdo a la Ley de Dalton.

Brevemente, esta ley dice que una mezcla de dos o más gases, pueden ocupar el mismo espacio al mismo tiempo, y que cada uno actúa independientemente de los otros, como si los otros no estuvieran presentes. Cada uno tiene su propia densidad, su propia presión (presión parcial), y cada uno responde a los cambios de volumen y temperatura a su propia manera.

Realmente el aire seco no es un gas puro, ya que es una mezcla como se mencionó anteriormente y por lo tanto no se comporta conforme a la ley de los gases, pero los que lo componen son verdaderos gases; así que para el propósito práctico, se considera a esta mezcla de gases (aire seco sin vapor de agua) como un solo compuesto, que sigue la ley de los gases.

El aire como se mencionó, tiene peso, densidad, temperatura, calor específico y además cuando está en movimiento tiene momento e inercia, también retiene sustancias en suspensión y en solución.

Dentro de las propiedades del aire se la tiene conductividad térmica, pero esta es muy baja.

Debido a que el aire tiene peso, se requiere energía para moverlo, una vez en movimiento, el aire posee energía propia (cinética). La energía cinética del aire en movimiento, es igual a la mitad de su masa, multiplicada por el cuadrado de su velocidad. De acuerdo a la ecuación de Bernoulli, al aumentar la velocidad disminuye la presión. La densidad del aire, varía con la presión atmosférica y la humedad.

El calor específico del aire, es la cantidad de calor que se requiere para aumentar la temperatura de un kilogramo de aire en un grado centígrado.

Humedad (vapor de agua).

La humedad es un término utilizado para describir la presencia de vapor de agua en el aire, ya sea a la intemperie, o dentro de un espacio.

La humedad esta en el aire solamente en el sentido de que los dos, aire y vapor de agua, existen juntos en un espacio dado al mismo tiempo. Ambos son independientes uno del otro y no responden de la misma forma a los cambios de condiciones, especialmente a los cambios de temperatura.

Las palabras vapor y gas comúnmente se usan para referirse a lo mismo pero en realidad un gas es un vapor altamente sobrecalentado, muy lejos de su temperatura de saturación, como el aire. Un vapor esta en sus condiciones de saturación o no muy lejos de ellas, como el vapor de agua. Así pues, el vapor de agua o "humedad" en un espacio puede estar en una condición de saturación o ligeramente arriba de ella. Si lo enfriamos unos cuantos grados, hacemos que se condense, y si le aplicamos calor, lo sobrecalentamos.

La tierra está cubierta por agua en forma de: océanos, lagos y ríos, de los cuales se desprende el vapor de agua. Las nubes, también producto de esta evaporación, contribuyen a la humedad del ambiente al condensarse y precipitarse en forma de lluvia. Lo anterior sucede a la intemperie, dentro de una casa, edificio, fabrica o lugar cerrado, el vapor de agua proviene de las maquinas, depósitos de agua o materia orgánica que estén dentro de estos lugares como personas, animales o plantas. Por lo tanto la cantidad de humedad en el aire en un lugar y tiempo determinados puede variar considerablemente.

El vapor de agua es producido por el agua, a cualquier temperatura (aun por el hielo). El agua no tiene que estar en ebullición, aunque sí lo está, el vapor de agua es producido con mayor rapidez.

El vapor ejerce una presión definida encima del agua, la cual es determinada solamente por la temperatura del agua misma, independientemente de si el agua está o no en ebullición o de si el espacio por encima del agua contiene aire; tampoco la presión de aire causa efecto alguno sobre la presión del vapor.

Por otro lado se conoce como vapor saturado a todo el vapor de agua que puede contenerse en un espacio determinado a una temperatura determinada, sin que afecte si hay o no aire en ese espacio; la presión del vapor de agua será la misma, ya que esta depende totalmente de la temperatura del agua.

Cuando nos referimos a presión atmosférica o barométrica, estamos incluyendo la presión del aire y la presión de vapor de agua que este contiene.

El volumen específico del vapor de agua nos indica el volumen en m^3 , que ocupa un kilogramo de agua en forma de vapor saturado; cabe mencionar que el volumen específico es la inversa de la densidad y viceversa.

La cantidad de vapor de agua que contiene el aire es tan pequeño, que para fines prácticos, se utiliza gramos en lugar de kilogramos o granos en lugar de libras. El grano es una unidad comúnmente utilizada para cálculos psicrométricos en aire acondicionado. (1 kg = 15,415 granos)

De acuerdo a la Ley de Boyle se sabe que el volumen de un gas varía inversamente con la presión, si la temperatura permanece constante.

Aire saturado con humedad.

Cuando un lugar determinado se encuentra cerrado y está lleno de aire seco y éste se mezcla con vapor de agua, se obtiene una mezcla a la cual en esta condición se le puede nombrar "aire seco saturado con humedad", o en ocasiones solamente "aire saturado"; ninguno de estos términos es correcto, porque el aire en si permanece seco solamente está mezclado con el vapor de agua saturado. Pero estos términos son convenientes, y pueden usarse si se tiene en mente la verdadera condición que representan.

Si en un lugar determinado a una temperatura específica con una mezcla de aire saturado se requiere aumentar su temperatura se necesitará un abastecimiento de agua para que la mezcla pueda continuar saturada de vapor de agua, este aumento de temperatura generaría que una parte del agua se evapore y sature más la mezcla de vapor de agua, lo que se podría ver como un aumento en la densidad del vapor de agua y aumento de la presión ya que la parte de la mezcla que es aire seco, por ser un gas altamente sobrecalentado se expandiría al ser calentado; este aumento de la presión en el lugar generaría que una parte de la mezcla escapara debido a la acumulación de presión; si se deja de aplicar calor, el aire, el agua y el vapor se enfriarían gradualmente, el aire disminuiría su volumen, así que, algo de aire exterior entraría al lugar para compensar la diferencia; la densidad y presión del vapor de agua disminuirá gradualmente y una parte de este se condensará en agua líquida hasta llegar al punto en el cual se comenzó a aumentar su temperatura reduciendo la cantidad de saturación de vapor de agua de la mezcla.

Humedad Relativa.

La humedad relativa (HR) es un término utilizado para expresar la cantidad de humedad en una muestra dada de aire en comparación con la cantidad de humedad que el aire tendría estando totalmente saturado y a la misma temperatura de la muestra.

De acuerdo a la ASHARE una definición más técnica de HR, sería la relación de la fracción mol del vapor de agua presente en el aire con la fracción mol del vapor de agua presente en el aire saturado a la misma temperatura y presión. La humedad relativa se expresa en porciento.

La presión de vapor es la que realmente determina la velocidad de la evaporización, y por lo tanto, en el acondicionamiento del aire es lo que directamente afecta el confort, la conservación de alimentos y la mayoría de los demás procesos.

La humedad relativa está basada en las presiones, las cuales son afectadas por la temperatura y el volumen.

En Psicrometría, el volumen específico son los metros cúbicos de aire húmedo que corresponden a un kilogramo de aire seco y es utilizado para el estudio del aire húmedo en el dimensionamiento de sistemas de aire acondicionado.

Humedad Absoluta.

El término “humedad absoluta” (ha), se refiere al peso del vapor de agua por unidad de volumen, esta unidad de volumen generalmente es un espacio de un metro cubico (o un pie cubico), en este espacio normalmente hay aire también, aunque no necesariamente. La humedad relativa está basada en la humedad absoluta bajo las condiciones establecidas, es decir, la humedad relativa es una comparación con la humedad absoluta a la misma temperatura si el vapor de agua está saturado.

Tanto la humedad absoluta, como la relativa, están basadas en el peso del vapor de agua en un volumen dado.

Por lo tanto cuando el aire está saturado con humedad la humedad relativa es del 100%, pero al calentar el aire sin que se le proporcione un abastecimiento de agua (humedad), su humedad relativa disminuye y si se sigue calentando el aire, su humedad relativa se vuelve a un menor y así sucesivamente hasta que el aire se convierte en “aire seco”. Se dice que el aire esta “más seco”, ya que a mayor temperatura se incrementa su capacidad de absorber más y más agua, pero la cantidad real de vapor de agua por metro cubico (su humedad absoluta) no ha cambiado, como tampoco ha cambiado su presión de vapor.

Punto de Rocío.

El punto de rocío se define como: la temperatura bajo de la cual el vapor de agua en el aire comienza a condensarse, también es el punto de 100% de

humedad; la humedad relativa de una muestra de aire puede determinarse por su punto de rocío.

Si se enfría el ambiente o el aire de un lugar determinado su humedad relativa disminuye gradualmente, pero su presión de vapor permanece igual hasta llegar al punto donde la humedad relativa será de 100% y estará en su punto de saturación, si se trata de enfriarlo más, encontramos que la humedad empieza a condensarse. La temperatura a la que esto sucede se le llama "punto de rocío", ya que en la naturaleza a la humedad que se condensa se le llama rocío; si se continúa enfriando el aire por debajo de su punto de rocío, la humedad continuará condensándose y la presión de vapor se reducirá también.

Al enfriar el aire cierta cantidad de vapor de agua se condensa, separándose de la mezcla de aire y vapor, de alguna manera se ha secado el aire, sin embargo sigue siendo saturado y su humedad relativa es de 100%, aunque en realidad se haya secado no puede absorber más humedad a menos que se caliente y así reduzca su humedad relativa.

Por tanto arriba del punto de rocío la humedad relativa siempre es menor al 100%, se puede calentar para que relativamente este más seco, o enfriarse, para que relativamente este más húmedo, pero mientras se mantenga arriba del punto de rocío, con enfriarlo o calentarlo, no se le quita ni tampoco se le agrega nada.

No se remueve humedad del aire, a menos que se enfríe por abajo del punto de rocío; lo demás es cierto pero sólo cuando se refiere al volumen completo del aire, se puede remover humedad si una parte de ese volumen de aire, entra en contacto con un objeto más frío que el punto de rocío, así que, cualquier objeto a una temperatura menor a la del punto de rocío del aire, condensará algo de agua de ese aire.

Cuando se habla de la temperatura de punto de rocío del aire generalmente se refiere a su temperatura promedio. Si a una pequeña porción de aire se le remueve calor (se calienta o se enfría), el contenido total de la humedad y su temperatura promedio, eventualmente se verán afectadas después que la circulación del aire lo haya mezclado de nuevo.

Entalpía.

Entalpía (del griego ἐνθάλπω [enthálpō], 'agregar calor'; formado por ἐν [en], 'en' y θάλπω [thálpō], 'calentar') es una magnitud termodinámica, simbolizada con la letra H mayúscula, cuya variación expresa una medida de la cantidad de energía absorbida o cedida por un sistema termodinámico, es decir, la cantidad de energía que un sistema intercambia con su entorno.

Los primeros escritos en contener el concepto de entalpía no aparecieron hasta 1875, cuando Josiah Willard Gibbs presentó "una función de calor a la presión constante". Sin embargo, Gibbs no hizo uso de la palabra "entalpía" en sus escritos. La palabra real aparece por primera vez en la literatura científica en

una publicación de 1909 por JP Dalton. Según esa publicación, Heike Kamerlingh Onnesen realmente acuñó la palabra.

La entalpía se define como una medida de la energía total de un sistema termodinámico. Se incluye la energía interna, que es la energía necesaria para crear un sistema, y la cantidad de energía necesaria para hacer espacio mediante el desplazamiento de su medio ambiente y el establecimiento de su volumen y la presión.

La entalpía es un potencial termodinámico. Es una función de estado y una propiedad extensiva de la materia. La unidad de medida de la entalpía en el Sistema Internacional de Unidades es el joule, pero las unidades convencionales históricas todavía están en uso, tales como la unidad térmica británica y las calorías.

La entalpía es la expresión que nos señala los cambios de energía de un sistema.

La entalpía total representada por "H", de un sistema no puede medirse directamente. Por lo tanto, el cambio en entalpía, H , es una cantidad más útil que su valor absoluto. El cambio de H es positivo en las reacciones endotérmicas, y negativos (liberación de calor) en procesos exotérmicos.

H de un sistema es igual a la suma de trabajo no mecánico realizado sobre el mismo y el calor suministrado al mismo.

Para procesos bajo presión constante, H es igual al cambio en la energía interna del sistema, más el trabajo que el sistema ha hecho en su entorno. Esto significa que el cambio de entalpía en tales condiciones es el calor absorbido por el material a través de una reacción química o por transferencia de calor externo.

Entalpía de las mezclas de aire y vapor de agua.

Se ha tratado con cantidades y presiones de aire y vapor de agua a diferentes temperaturas, también se han mencionado los efectos de aumentar y disminuirla temperatura, para lo cual se deberá agregar o restar calor.

Ahora se deberá encontrar cuánto calor hay que agregar o quitar para efectuar los cambios en las condiciones del aire.

De la misma forma que es necesario saber cuánta humedad y aire hay en las diferentes mezclas, también es necesario saber cuánto calentamiento o enfriamiento se requiere para hacer los cambios correspondientes en las condiciones de las mezclas de aire humedad. Esto es tan necesario para las temperaturas en refrigeración (conservación y congelación), como lo es para las temperaturas de aire acondicionado para el confort humano condiciones de vida óptimas de los animales o plantas.

En la mayoría de las aplicaciones donde el aire y la humedad tengan que calentarse o enfriarse, algo del vapor de agua se vuelve líquido (condensado), o el agua líquida se evapora. Cuando el vapor de agua se condensa libera energía en forma de calor, (Kcal) misma que debe de absorber el equipo de

enfriamiento; de forma inversa pasa cuando se evapora el agua, debe agregarse energía en forma de calor (Kcal), la cual debe ser suministrada por el equipo de calefacción.

Confort humano.

Puede definirse como confort higrotérmico, o más propiamente comodidad higrotérmica (CH), como la ausencia de malestar térmico. En fisiología se dice que hay confort higrotérmico cuando no tienen que intervenir los mecanismos termorreguladores del cuerpo para una actividad sedentaria y con un ligero arropamiento. Esta situación puede registrarse mediante índices que no deben ser sobrepasados para que no se pongan en funcionamiento los sistemas termorreguladores (metabolismo, sudoración y otros).

El cuerpo humano está preparado para reaccionar ante los cambios climáticos, pero estas reacciones le hacen consumir energía metabólica. La sensación de comodidad surge de la generación de un microclima que evita la reacción del cuerpo ahorrando gastos de energía, que se denomina termorregulación natural en oposición al abrigo que es un fenómeno de termorregulación artificial.

La temperatura normal del cuerpo es de 37 °C. En las enfermedades puede elevarse hasta los 41 °C o 42 °C (hipertermia) donde se hace peligrosa. El cuerpo humano es muy sensible a los aumentos de la temperatura interior y solo 5 o 6 grados de más pueden causar daños muy importantes y hasta la muerte. Se toleran aún menos las bajas temperaturas y a los 35 °C (hipotermia) se comienza a sentir somnolencia hasta caer en un profundo letargo.

Sentados en una habitación con ropas livianas y realizando una actividad ligera, la sensación de satisfacción térmica se alcanza entre los 21 °C y 25 °C. La humedad relativa (HR), a la que usualmente se le atribuye como causa de la incomodidad, es menos significativa ya que la tolerancia del cuerpo es grande, admitiendo límites entre 20% y 75%.

El cuerpo es muy sensible a los cambios de radiación. Si la temperatura es inferior a 18 °C pero hay buen sol, de inmediato se siente que la sensación de que el CH aumenta. Este principio es usado por la calefacción tipo losa radiante, piso radiante y por el sistema de radiadores. Pero así como es agradable que el sol ingrese por una ventana en invierno, se vuelve desagradable en el verano.

Para comprender qué condiciona el bienestar y su relación con la arquitectura debe asumirse que el cuerpo humano produce calor y lo intercambia con el ambiente que lo rodea.

Así un organismo debe mantenerse en una temperatura constante, para evitar enfriamientos o calentamientos, con este fin posee mecanismos de evacuación del calor residual que son los normales de intercambio de calor.

Estos son los siguientes:

Convección: Es la transmisión de calor de la piel al fluido ambiente o a la inversa. El flujo de calor es proporcional a un coeficiente de convección y a la diferencia de temperatura entre el aire y la piel; la velocidad del aire (viento) acelera la convección (si se hace mediante un ventilador, se llama forzada o asistida).

Conducción: Es la transmisión de calor entre la superficie del cuerpo y los elementos de contacto. Este flujo de calor depende del coeficiente de conductividad térmica de estos elementos.

Radiación: Es la transmisión de calor a través del medio ambiente, principalmente por radiación (infrarroja). Este flujo de calor es proporcional a la constante universal de radiación, al poder de absorción de la piel (que es muy elevado) y a la diferencia de temperatura entre la piel y las paredes radiantes.

Evaporación: Es la transmisión de calor unidireccional del organismo hacia el aire ambiente por la evaporación cutánea y respiratoria. Esta pérdida de calor del organismo depende de la cantidad de sudor (agua) evaporada y la evaporación depende de la velocidad del aire ambiente, de su temperatura y de la presión parcial de vapor de agua.

Mientras las tres primeras formas de transmisión se refieren al calor sensible, la evaporación se refiere al calor latente.

A fin de que la temperatura interna del hombre permanezca constante, el balance térmico que contempla aportes y pérdidas de calor por convección, conducción, radiación y evaporación debe permanecer constante.

La sensación de CH no depende únicamente de la temperatura del aire.

El CH depende de:

- La radiación (o falta de ella) de los materiales circundantes y principalmente de las paredes de la envolvente del edificio, es decir, también su temperatura y su capacidad calorífica.
- La temperatura ambiente del aire.
- La velocidad del aire.
- La presión parcial de vapor de agua o tensión de vapor del aire ambiente.

CAPITULO 2. INVERNADEROS.

2. Invernaderos.

Definición y objetivos de un invernadero.

Es una construcción agrícola cerrada, estática y accesible a pie, usada para el cultivo y protección de plantas, con una cubierta exterior translúcida de vidrio o plástico que permite el control de la temperatura, la humedad y otros factores ambientales generando un acondicionamiento del aire para favorecer el desarrollo de las plantas, esta película plástica traslúcida no permite el paso de la lluvia al interior y tiene por objetivo reproducir o simular las condiciones climáticas más adecuadas para el crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas en su interior, con cierta independencia del medio exterior y cuyas dimensiones posibilitan el trabajo de las personas en el interior, aprovecha el efecto producido por la radiación solar, que al atravesar un vidrio u otro material traslúcido, calienta los objetos que hay adentro, estos a su vez, emiten radiación infrarroja, con una longitud de onda mayor que la solar por lo cual no pueden atravesar la cubierta translúcida a su regreso quedando atrapados y produciendo el calentamiento; es decir está cubierta translúcida en un invernadero trabaja como medio selectivo de la transmisión para diversas frecuencias espectrales y su efecto es atrapar energía dentro del invernadero y pueda calentar su interior. Esto da como resultado y sirve para evitar la pérdida de calor por convección. La presencia de los cristales o plásticos impide el transporte del calor acumulado hacia el exterior por convección y obstruye la salida de una parte de la radiación infrarroja dando el calentamiento interno del invernadero. El efecto neto es la acumulación de calor y el aumento de la temperatura del recinto.

Como ya se ha visto este es un sistema más económico y simple para captar energía solar a favor de los cultivos propiciando un microclima óptimo para ellos, pero también podemos propiciar este microclima por medios artificiales.

Con los invernaderos agrícolas se pretende obtener un alto rendimiento en la producción y calidad de los productos a desarrollar, aunque las condiciones ambientales exteriores sean desfavorables.

Los objetivos del empleo de invernaderos son:

- Maduración temprana los frutos.
- Aumento de la calidad y del rendimiento.
- Producción durante todo el año.
- Ahorro de agua y fertilizantes.
- Mejora en el control de insectos y enfermedades.
- Posibilidad de obtener más de un ciclo de cultivo al año.

Los materiales de las estructuras deben ser económicos, ligeros, resistentes y esbeltos; deben formar estructuras poco voluminosas, a fin de evitar sombras de las mismas sobre las plantas, de fácil construcción, mantenimiento y conservación, modificables, adaptables al crecimiento y expansión futura de estas estructuras.

Tipos de invernadero.

Los invernaderos son construcciones formadas por una estructura que puede ser de madera, metálica o de hormigón y cuya finalidad es servir de soporte a una cubierta de vidrio o plástico.

Un invernadero bien diseñado debe combinar varias cualidades: estar bien adaptado a los recursos locales, ser eficiente en el acondicionamiento del clima, ser técnicamente funcional de forma que las operaciones en su interior puedan ser ágiles y cómodas, conseguir un producto de calidad y estar bien orientado en su producción para la comercialización y el éxito en el mercado.

Para realizar la elección de un determinado tipo de invernadero en una zona concreta se deberá considerar en primer lugar las especies vegetales a cultivar; una vez realizada la elección el cultivo va a determinar las condiciones climáticas necesarias y por lo tanto el tipo de invernadero y el equipo a escoger.

De forma general se puede elegir entre invernaderos fríos, sin equipo de calefacción, sin grandes exigencias de aislamiento y con pocas posibilidades de control del clima interior; e invernaderos calientes, con equipo de calefacción y mayores posibilidades de control de las condiciones ambientales.

Existen varias formas de clasificar los tipos de invernaderos que existen dentro de las cuales tenemos:

Tipos de invernaderos de acuerdo al clima.

Invernaderos fríos.

Un invernadero frío es el más económico de mantener, ya que consiste en una estructura que sólo recibe el calor del sol; si es zona de inviernos fríos, la temperatura interior del invernadero será de aproximadamente 5°C por encima de la temperatura exterior.

Este tipo de invernaderos se usa para sembrar o almacenar plantas de semillero a finales de invierno o primavera (3 ó 4 semanas por delante de la época de plantación en el exterior), también se puede utilizar en verano y hasta principios de otoño para cultivar determinadas plantas; en una zona de inviernos fríos también se puede emplear para guardar las plantas de exterior semi-resistentes.

Invernaderos frescos.

Este tipo de invernaderos pueden mantener una temperatura mínima de 5 – 7°C estos se calentarían durante los meses de invierno en zonas de clima frío.

Pueden usarse para: proteger a las plantas sensibles a las heladas, cultivar plantas tres o cuatro semanas antes que el invierno frío empiece, para cultivos de estación templada durante el verano y también para cultivos de clima fresco durante el otoño e invierno.

Invernaderos templados.

Este tipo de invernaderos puede mantener una temperatura mínima de 13°C con calor adicional durante el día y la noche, dependiendo de su emplazamiento. Los costos de calefacción subirán a medida que baje la temperatura.

Ofrece unas buenas condiciones para el cultivo de hortalizas y de muchas plantas anuales.

Invernaderos cálidos.

Este tipo de invernadero resulta ser el más costoso en cuanto a su mantenimiento, ya que mantiene una temperatura mínima de 18°C con la ayuda de calor adicional. Aunque puede resultar demasiado sofocante para muchas hortalizas, puede destinarse al cultivo de plantas tropicales y subtropicales.

Tipos de invernaderos de acuerdo a su estructura.

Para la estructura pueden emplearse materiales como madera, acero, aluminio u hormigón.

Las estructuras de madera suelen ser más económicas. La desventaja principal es la poca resistencia de la madera lo cual obliga a colocar un gran número de soportes, produciendo sombreado y reduciendo la comodidad de las operaciones en el interior; la automatización de determinadas operaciones es difícil.

El hormigón produce estructuras muy pesadas y voluminosas, por lo que se utiliza menos que las estructuras metálicas. Además capta más radiación, lo que determina una menor iluminación.

Los invernaderos con estructura metálica son los de mayor evolución en los últimos años, especialmente los de acero galvanizado, estas estructuras permiten un buen aislamiento y la instalación de todo tipo de equipos, el aluminio se utiliza menos por su costo.

Se tienen:

- Planos o tipo parral.
- Tipo raspa y amagado.
- Asimétricos.
- Capilla (a dos aguas, a un agua).
- Doble capilla.

- Tipo túnel o semicilíndrico.
- De cristal o tipo Venlo.

Invernadero plano o tipo parral.

Este tipo de invernadero se utiliza en zonas poco lluviosas, aunque no es aconsejable su construcción. La estructura de estos invernaderos se encuentra constituida por dos partes claramente diferenciadas, una estructura vertical y otra horizontal:

La estructura vertical está constituida por soportes rígidos que se pueden diferenciar según sean perimetrales (soportes de cerco situados en las bandas y los esquineros) o interiores (pies derechos). Los pies derechos intermedios suelen estar separados unos 2m en sentido longitudinal y 4m en dirección transversal, aunque también se presentan separaciones de 2x2m y 3x4m. Los soportes perimetrales tienen una inclinación hacia el exterior de aproximadamente 30° con respecto a la vertical y junto con los vientos que sujetan su extremo superior sirven para tensar las cordadas de alambre de la cubierta. Estos apoyos generalmente tienen una separación de 2m aunque en algunos casos se utilizan distancias de 1.5m. Tanto los apoyos exteriores como interiores pueden ser rollizos de pino o eucalipto y tubos de acero galvanizado.

La estructura horizontal está constituida por dos mallas de alambre galvanizado superpuestas, implantadas manualmente de forma simultánea a la construcción del invernadero y que sirven para portar y sujetar la lámina de plástico. Los invernaderos planos tienen una altura de cubierta que varía entre 2.15m y 3.5m y la altura de las bandas oscila entre 2m y 2.7m. Los soportes del invernadero se apoyan en bloques troncos piramidales prefabricados de hormigón colocados sobre pequeños pozos de cimentación.

Ventajas:

- Economía de construcción.
- Se adapta a la geometría del terreno.
- Aprovechamiento del agua de lluvia en periodos secos.
- Presenta una gran uniformidad luminosa.

Desventajas:

- Poco volumen de aire.
- Mala ventilación.
- La instalación de ventanas cenitales es bastante difícil.
- Demasiada especialización en su construcción y conservación.
- Rápido envejecimiento de la instalación.
- Poco o nada aconsejable en los lugares lluviosos.
- Peligro de hundimiento por las bolsas de agua de lluvia que se forman en la lámina de plástico.

- Peligro de destrucción del plástico y de la instalación por su vulnerabilidad al viento.
- Dificil mecanización y dificultad en las labores de cultivo por el excesivo número de postes, alambre de los vientos, piedras de anclaje, etc.
- Poca protección al goteo del agua de lluvia y al aire ya que es preciso hacer orificios en el plástico para la unión de las dos mallas con el alambre, lo que favorece la proliferación de enfermedades en el cultivo.

Invernadero en raspa y amagado.

Su estructura es muy similar al tipo parral pero varía la forma de la cubierta. Se aumenta la altura máxima del invernadero en la cumbre, que oscila entre 3m y 4.2m, formando lo que se conoce como raspa, en la parte más baja, conocida como amagado, se unen las mallas de la cubierta al suelo mediante vientos y horquillas de hierro que permite colocar los canalones para el desagüe de las aguas pluviales, la altura del amagado oscila de 2m a 2.8 m, la de las bandas entre 2m y 2.5m.

La separación entre apoyos y los vientos del amagado es de 2mx4m y el ángulo de la cubierta oscila entre 6 y 20°, siendo este último el valor óptimo. La orientación recomendada es en dirección este-oeste.

Ventajas:

- Su economía de construcción.
- Tiene mayor volumen unitario y por tanto una mayor inercia térmica que aumenta la temperatura nocturna con respecto a los invernaderos planos.
- Presenta buena protección a la lluvia y al aire, lo que disminuye la humedad interior en periodos de lluvia.
- Presenta una mayor superficie libre de obstáculos.
- Permite la instalación de ventilación cenital situada a sotavento, junto a la arista de la cumbre.

Desventajas:

- Diferencias de luminosidad entre la vertiente sur y la norte del invernadero.
- No aprovecha las aguas pluviales.
- Se dificulta el cambio del plástico de la cubierta.
- Al tener mayor superficie desarrollada se aumentan las pérdidas de calor a través de la cubierta.

Invernadero asimétrico o inacral.

Difiere de los tipo raspa y amagado en el aumento de la superficie en la cara expuesta al sur, con objeto de aumentar su capacidad de captación de la radiación solar. Para ello el invernadero se orienta en sentido este-oeste, paralelo al recorrido aparente del sol. La inclinación de la cubierta debe ser aquella que permita que la radiación solar incida perpendicularmente sobre la

cubierta al mediodía solar durante el solsticio de invierno, época en la que el sol alcanza su punto más bajo. Este ángulo deberá ser próximo a 60° pero ocasiona grandes inconvenientes por la inestabilidad de la estructura a los fuertes vientos. Por ello se han tomado ángulos comprendidos entre los 8 y 11° en la cara sur y entre los 18 y 30° en la cara norte. La altura máxima de la cumbrera varía entre 3m y 5m , y su altura mínima de 2.3m a 3m . La altura de las bandas oscila entre 2.15m y 3m . La separación de los apoyos interiores suele ser de $2 \times 4\text{ m}$.

Ventajas:

- Buen aprovechamiento de la luz en la época invernal.
- Su economía.
- Elevada inercia térmica debido a su gran volumen unitario.
- Su protección a la entrada de lluvia y de aire.
- Buena ventilación debido a su elevada altura.
- Permite la instalación de ventilación cenital a sotavento.

Desventajas:

- No aprovecha el agua de lluvia.
- Se dificulta el cambio del plástico de la cubierta.
- Tiene más pérdidas de calor a través de la cubierta debido a su mayor superficie desarrollada en comparación con el tipo plano.

Invernadero de capilla.

Los invernaderos de capilla simple tienen la techumbre formando uno o dos planos inclinados, según sea a un agua o a dos aguas. Este tipo de invernadero se utiliza bastante. La anchura que suele darse a estos invernaderos es de 12m a 16m . La altura en cumbrera está comprendida entre 3.25m y 4m . Si la inclinación de los planos de la techumbre es mayor a 25° no ofrecen inconvenientes en la evacuación del agua de lluvia. La ventilación es por ventanas frontales y laterales. Cuando se trata de estructuras formadas por varias naves unidas la ausencia de ventanas cenitales dificulta la ventilación.

Invernadero de doble capilla.

Los invernaderos de doble capilla están formados por dos naves yuxtapuestas. Su ventilación es mejor que en otros tipos de invernadero, debido a la ventilación cenital que tienen en cumbrera de los dos escalones que forma la yuxtaposición de las dos naves; estas aberturas de ventilación suelen permanecer abiertas constantemente y suele ponerse en ellas malla mosquitera. Además también poseen ventilación vertical en las paredes frontales y laterales. Este tipo de invernadero no está muy extendido debido a que su construcción es más difícil y costosa que el tipo de invernadero capilla simple a dos aguas.

Ventajas:

- Es de fácil construcción y de fácil conservación.
- Es muy aceptable para la colocación de todo tipo de plástico en la cubierta.
- La ventilación vertical en paredes es muy fácil y se puede hacer de grandes superficies, con mecanización sencilla. También resulta fácil la instalación de ventanas cenitales.
- Tiene grandes facilidades para evacuar el agua de lluvia.
- Permite la unión de varias naves en conjuntos.

Desventajas:

- Alto costo en la inversión inicial.
- Dificultad y tiempo de instalación.

Invernadero túnel o semicilíndrico.

Se caracteriza por la forma de su cubierta y por su estructura totalmente metálica. El empleo de este tipo de invernadero se está extendiendo por su mayor capacidad para el control de los factores climáticos, su gran resistencia a fuertes vientos y su rapidez de instalación al ser estructuras prefabricadas. Los soportes son de tubos de hierro galvanizado y tienen una separación interior de 5mx8m o 3mx5m. La altura máxima de este tipo de invernaderos oscila entre 3.5m y 5m. En las bandas laterales se adoptan alturas de 2.5m a 4m. El ancho de estas naves está comprendido entre 6m y 9m que permiten la unión de varias naves en conjunto. La ventilación es mediante ventanas cenitales que se abren hacia el exterior del invernadero.

Ventajas:

- Instalación con pocos obstáculos en su estructura.
- Buena ventilación.
- Buena protección a la entrada de lluvia y de aire.
- Permite la instalación de ventilación cenital a sotavento y facilita su acondicionamiento mecanizado.
- Buen reparto de la luminosidad en el interior del invernadero.
- Fácil instalación.

Desventajas:

- Elevado costo.
- No aprovecha el agua de lluvia.

Invernaderos de cristal o tipo venlo.

Este tipo de invernadero, también llamado Venlo, es de estructura metálica prefabricada con cubierta de vidrio y se emplean generalmente en el Norte de Europa.

El techo de este invernadero industrial está formado por paneles de vidrio que descansan sobre los canales que recogen el agua de lluvia y sobre un conjunto de barras transversales. La anchura de cada módulo es de 3.2m, desde los canales hasta la cumbrera hay un solo panel de vidrio de una longitud de 1.65m y anchura que varía desde 0.75m hasta 1.6m, la separación entre columnas en la dirección paralela a las canales es de 3m en sentido transversal está separadas 3.2m si hay una línea de columnas debajo de cada canal, a 6.4m si se construye algún tipo de viga.

Ventajas:

- Buena hermeticidad lo que facilita una mejor climatización de los invernaderos.

Desventajas:

- La abundancia de elementos estructurales implica una menor transmisión de luz.
- Su elevado costo.
- Naves muy pequeñas debido a la complejidad de su estructura.

Elección del invernadero.

La elección de un tipo de invernadero se encuentra en función de una serie de factores o aspectos técnicos:

- Tipo de suelo. Se deben elegir suelos con buen drenaje y de alta calidad aunque con los sistemas modernos de riego es posible utilizar suelos pobres con buen drenaje o sustratos artificiales.
- Topografía. Son preferibles lugares con pequeña pendiente orientados de norte a sur.
- Vientos. Se tomará en cuenta la dirección, intensidad y velocidad de los vientos dominantes.
- Exigencias bioclimáticas de la especie en cultivo.
- Características climáticas de la zona o del área geográfica donde vaya a construirse el invernadero.
- Disponibilidad de mano de obra (factor humano).

- Recursos económicos locales (mercado y comercialización).

Entre los factores a tener en cuenta para la instalación se incluyen:

- Ubicación: en suelos sin limitantes agrícolas, protegido de los vientos dominantes, con disponibilidad de agua de riego de buena calidad y energía eléctrica, con la mayor luminosidad (aprovechamiento de la radiación solar durante el día, sin sombras que impidan este proceso) posible durante el ciclo de producción anual (alejado también de caminos o zonas polvorosas).
- Dimensiones: el ancho puede variar entre 6m y 20m y éste puede contar con posibilidades de ventilación. La relación superficie-volumen de aire del invernadero debe ser mayor a 0.33. La longitud es variable. Las pérdidas de calor son directamente proporcionales a su superficie expuesta, lo que varía significativamente con la relación largo/ancho de éste o del espacio de los invernaderos para una misma superficie cubierta.
- Orientación: depende del objetivo de producción, requerimientos del cultivo, época de producción, latitud, topografía del terreno, dirección de los vientos predominantes. Cuando el invernadero se utiliza para obtener productos de primicia (invierno) el objetivo es incrementar todo lo posible la temperatura dentro del mismo y la orientación debe ser Este-Oeste para que acumule la mayor radiación de onda corta a partir de la mayor superficie expuesta (la luz penetra por la cara lateral); en este caso las filas de cultivo deben tener una orientación Norte-Sur para evitar el sombreado entre plantas de filas contiguas. Por otro lado, cuando el invernadero se utiliza durante el período primavera -estival el problema principal es el exceso de temperatura, por lo que la orientación de la estructura debería ser Norte-Sur (se expone el frente), manteniendo las filas en la transecta Norte-Sur para evitar el sombreado entre ellas. Esto último tiene problemas de implementación práctica (uso de la maquinaria y baja eficiencia en el uso de la mano de obra) cuando se utilizan invernaderos aislados, pero se soluciona fácilmente cuando se utilizan bloques de 25m de frente.

2.1 Espacios climatizados para la producción de alimentos.

La producción en invernaderos, frecuentemente denominada, Agricultura con Ambiente Controlado (AAC), fue establecida totalmente hasta la introducción del polietileno, siendo que sus mayores avances han sido en los últimos 20 años.

En los EEUU el primer uso de polietileno como cubierta de invernadero fue en 1948, cuando el Profesor Emery Myers Emmert de la Universidad de Kentucky, usó este material más económico en lugar de vidrio que es mucho más costoso. El profesor Emmert es considerado como el padre de los plásticos en

los EEUU porque había desarrollado los principios de tecnología plástica con propósitos agrícolas a través de sus invernaderos de investigación y cubiertas de plástico.

Se encuentran varias ventajas de los espacios climatizados para la producción de alimentos, entre los que destacan:

- Intensificación de la producción.

Los invernaderos se consideran elementos de la agricultura intensiva por varias razones, en primer lugar debido a que es posible establecer las condiciones para el buen desarrollo de las plantas porque existe cierto aislamiento con el exterior, también porque se pueden colocar más plantas por unidad de superficie que en campo abierto y el último aspecto, también de relevancia, es la posibilidad de utilizar instalaciones de control climático que mejoran las condiciones del cultivo hasta un punto óptimo.

- Aumento de los rendimientos.

Se ha comprobado tras mucho tiempo de estudio que los rendimientos por unidad de superficie de un cultivo se ven aumentadas en su producción de 2 a 3 veces bajo invernadero, comparados con campo abierto, y si se utiliza hidroponía los rendimientos pueden ser varias veces los obtenidos a la intemperie, logrando llegar a ser 10 veces superior si se le da al cultivo el cuidado necesario.

- Menor riesgo de producción.

Si el cambio climático es natural o inducido por el hombre, que no es el caso a tratar aquí, pero si hay que reconocer que afecta a todo por igual, incluyendo la producción de cultivos; y es que al estar los cultivos protegidos por estructuras como lo son los invernaderos minimiza el daño que estos puedan sufrir debido a la presencia de los fenómenos naturales, que en campo abierto pueden llegar a representar pérdidas totales, tal cual como se ven el estado de Sinaloa, donde las heladas dañan cada año un alto porcentaje cultivos.

- Uso más eficiente de insumos.

Con técnicas como la fertirrigación y la hidroponía es posible brindarle a las plantas sólo los elementos que necesitan durante cada etapa de su desarrollo, por lo que sólo se gastan los fertilizantes necesarios minimizando el desperdicio, que al final significa pérdida de dinero. Lo mismo ocurre con el agua, ya que las instalaciones modernas de los sistemas de riego permiten su uso más eficiente, en este sentido se hace referencia al riego localizado o de precisión (por goteo, micro aspersion y nebulización).

- Mayor control de plagas, malezas y enfermedades.

Para que un invernadero facilite el control de plagas, enfermedades y malezas debe haber sido correctamente diseñado y construido, siendo en este sentido donde muchos de ellos fallan pues la hermeticidad del mismo es la clave de un control exitoso. Además, el cultivo en invernaderos facilita la programación de las aplicaciones, siendo que es factible controlar quien tiene acceso al cultivo.

- Posibilidad de cultivar todo el año.

Debido a que dentro del invernadero se tiene relativa independencia del medio exterior es posible tener producción en cualquier época del año, sin importar si el invierno es muy frío o el verano propicia altas temperaturas, pues para el primer caso se puede implementar calefacción y para el segundo ventilación y enfriamiento. De esta manera al utilizar invernaderos es factible producir sin interrupciones debidas a las condiciones climáticas.

- Obtención de productos fuera de temporada.

Como consecuencia de poder producir todo el año también se tiene la ventaja de obtener productos fuera de temporada, con lo que es posible encontrar mejores mercados de comercialización por la falta de competencia y porque los mercados no se encuentran saturados como ocurre en la temporada de mayor producción. Para esto es necesario conocer los tiempos que se manejan en los cultivos a campo abierto de manera que se comercialicen los productos evitando la alta competencia.

- Obtención de productos en regiones con condiciones restrictivas.

Las condiciones medioambientales no siempre son las adecuadas para el establecimiento de cultivos o restringen en gran medida las especies que se pueden cultivar, a sólo aquellas adaptadas a las condiciones del lugar. De esta manera con la ayuda de invernaderos es factible aprovechar las extensiones de tierra en donde la producción es muy difícil pues el agua se puede aprovechar al máximo y sólo se le da a las plantas los elementos necesarios para su desarrollo.

- Obtención de productos de alta calidad.

Dentro de un invernadero las plantas no están expuestas al desgaste físico producido por elementos ambientales como lluvias y vientos fuertes, granizadas o alta radiación solar, por lo cual la calidad de los productos obtenidos es mayor, demostrada tanto en su presentación al consumidor final como en su composición interna. Esto permite obtener mayores ganancias al momento de vender los productos, o encontrar mejores mercados pudiendo llegar a exportar si se obtiene una alta calidad.

- Mayor comodidad y seguridad para realizar el trabajo.

Dentro de un invernadero no sólo las plantas están protegidas, pues los trabajadores también encuentran protección de las inclemencias del tiempo, ya que a campo abierto es más factible sufrir por la radiación solar que provoca altas temperaturas, o en cualquier momento puede comenzar a llover y granizar. Dentro del invernadero se pueden cumplir las actividades de cultivo programadas con anterioridad sin que las condiciones climáticas sean un obstáculo para posponer las labores establecidas para otro día.

- Condiciones ideales para investigación.

Si se cuenta con un invernadero medianamente equipado con la tecnología necesaria se pueden manipular las condiciones del ambiente según el cultivo lo requiera, de igual forma se pueden hacer modificaciones dirigidas a las plantas a distintas condiciones para investigar y hacer conclusiones sobre que

es más favorable para el cultivo o bajo que situaciones se obtienen mejores características.

Balanceado contra el alto capital y los costos operacionales de los invernaderos, es la productividad significativamente más alta de tales sistemas en comparación con la agricultura a campo abierto (ACA).

Los retornos netos desde invernaderos para hortalizas deben ser altos. Esto se logra por los altos precios del producto y/o por los rendimientos altos. Sin embargo, existe un pequeño lugar para el error, es imperativo de que no haya pequeños cortes en el control ambiental, en el manejo competente y cualquier otro factor de producción.

Futuro de la producción de alimentos en invernaderos.

Parece que existe un tipo de manejo imperativo en el desarrollo tecnológico de la agricultura en invernaderos. Al igual que a nivel industrial, generalmente se mueve hacia tecnologías de punta, a mayor capital mayores soluciones a los problemas, esto es altamente productivo y apropiado para la automatización. Sin embargo, dadas las presentes circunstancias, parece no existir las bases racionales para anticipar una difusión más amplia y más rápida de la tecnología, que es lo que está ocurriendo en la actualidad. El crecimiento futuro de la agricultura en ambiente controlado depende, en gran medida, del desarrollo de sistemas de producción que sean competitivos en costos con aquellos de agricultura a campo abierto.

Por ejemplo, la continua investigación y desarrollo podría dirigir hacia estructuras y materiales de mayor costo/beneficio, de esta forma se reducirían los costos de la energía comprada y se generarían cultivos más apropiados para ambientes controlados, dando lugar a la implementación de sistemas mecanizados, los cuales permiten un mejor control de enfermedades y plagas (incluyendo resistencia mejorada de la planta).

Las perspectivas económicas para la AAC pueden cambiar si las instituciones gubernamentales determinan que en algunas circunstancias, políticamente los efectos deseables de la AAC merecen subsidios para el beneficio público. Tales efectos benéficos podrían incluir la conservación del agua en regiones de escasez o producción de alimentos en ambientes adversos, por estas razones que en el medio Este ha ocurrido el apoyo gubernamental; otro efecto social deseable puede ser la provisión de empleos ingreso productor para segmentos de la población crónicamente en desventaja, atrapados en regiones económicamente deprimidas, tales empleos producen impuestos así como ingresos personales, reduce el impacto sobre los roles de bienestar y mejora la calidad de vida.

La AAC es una realidad técnica, tales sistemas de producción están extendiendo las estaciones de crecimiento en muchas regiones del mundo y están produciendo cultivos hortícolas y donde hortalizas frescas y plantas ornamentales crecidas en campo no están disponibles en la mayor parte del año. El bienestar económico de muchas comunidades en todo el mundo ha sido mejorado por el desarrollo del uso de la AAC, dichos sistemas ofrecen

muchas nuevas alternativas y oportunidades para la población del mañana, nuevos sistemas que fortalecen la conservación y preservación del ambiente en vez de la explotación de la tierra y el agua.

2.2 Nivel de infraestructura en México de espacios climatizados para la producción de alimentos.

De acuerdo a los datos de La Asociación Mexicana de Horticultura Protegida AC (AMHPAC) este sector registra más de 2.2 millones de toneladas de hortalizas de alta calidad, inocuidad y un valor comercial de 22 mil 400 millones de pesos en el mercado nacional e internacional.

En México la agricultura protegida genera más de 150 mil empleos (directos e indirectos) y alrededor de seis mil empleos seguros de forma anual, por lo mismo contribuye a un mejoramiento en el bienestar de los productores del sector rural y un fuerte arraigo en el campo.

Es una industria nueva y de las de más amplio crecimiento en el país, acompañada de adelantos tecnológicos con buenas prácticas agrícolas y de manufactura.

Su ritmo de crecimiento a nivel nacional está a razón del 12 por ciento en infraestructura, actualmente en México se cuentan con más de 14 mil 500 hectáreas de agricultura con ambiente controlado.

Estos datos productivos y su impacto social en el subsector se dieron a conocer durante la inauguración del Centro Regional de Servicios Integrales para la Agricultura Protegida (CRESIAP), que atenderá la capacitación y generación de tecnología en diferentes modalidades y cultivos en beneficio de pequeños productores de las entidades federativas del Centro-Occidente (Aguascalientes, Colima, Guanajuato, Michoacán, Nayarit, Zacatecas y Jalisco).

La horticultura protegida en México se ha desarrollado bajo condiciones muy heterogéneas, desde costosos invernaderos de vidrio, con muy elevadas inversiones que superan los 100 USD/m², hasta económicas instalaciones como las denominadas “casas sombra” con costos de 7 a 8 USD/m².

Según los reportes de la Asociación Mexicana de Constructores de Invernaderos, se estima que en México existe una superficie en invernaderos, incluidas las casas sombra, mayor a las 8,934 hectáreas, esta cifra no contempla la superficie de invernaderos de flores ni los macro túneles, cuya superficie puede ascender a 850 y 2,000 respectivamente.

Las primeras instalaciones comerciales se iniciaron en 1990, sin embargo, fue hasta la primera década del siglo XXI que se dio franco crecimiento a esta industria. Las mayores tasas de crecimiento se dieron durante 2004 y 2005, y fueron cercanas al 20%, en los últimos dos años se dio un ligero descenso en la velocidad del incremento de esta industria, sin embargo, el crecimiento de la horticultura en México continua siendo muy significativo.

Destacan los estados del Noreste; Sinaloa y Baja California, quienes representan el 42%, y junto con Sonora, Baja California Sur y Jalisco representan un acumulado del 75%. La Zona Centro le sigue en importancia con el 29%, además de tener el crecimiento más acelerado. El Noreste cubre el 4% y el Sur de México no supera el 3%. El principal cultivo producido en invernadero es el tomate con el 75% de la superficie, seguido de pimiento (12%) y pepino (10%).

Es pertinente mencionar que el dato de superficie es muy dinámico, pues la tasa de crecimiento anual de esta industria en México puede llegar al 20%, estas cifras indican que México se está acercando rápidamente a la superficie que tiene la provincia de España más importante en horticultura protegida, que es Almería, con 25,983 hectáreas en producción. En México, a diferencia de España, existe una gran diversidad de regiones dispersas en el territorio nacional con diferentes climas, altitudes y condiciones meteorológicas contrastantes, en las que se podría producir bajo condiciones protegidas; también hay diferentes desarrollos de infraestructura, distancia a frontera, facilidades de mano de obra, apoyos gubernamentales y disponibilidad de gas natural (más económico que el gas propano). Si se aprovechan adecuadamente estas condiciones, se pueden lograr grandes avances en la horticultura protegida.

Estructuras.

Cada región tiene sus propias demandas de infraestructura, así por ejemplo, el estado de Sinaloa se distingue por su crecimiento en casas sombra, dado que las condiciones climáticas permiten producir en el invierno sin estructuras formales de protección, bajo condiciones de suelo y con bajos costos de producción. Es el mismo caso de Baja California, aprovecha la ventana comercial del verano y evita competir con Sinaloa. Estos estados se complementan muy bien para acceder al mercado de la Costa Oeste de los Estados Unidos. Es importante destacar que el uso de infraestructura más moderna está ampliando las ventanas de producción en ambas regiones; esta infraestructura incluye los denominados invernaderos híbridos, que consisten en invernaderos cubiertos con mallas y techos de plástico retráctiles que pueden destaparse provisionalmente mediante mecanismos manuales o automáticos, dejando la malla como protección para evitar el ingreso de insectos, estos techos de plástico se vuelven a recorrer para cubrir el invernadero cuando hay riesgo de lluvia o en noches frías. Por otro lado, en la región Central del país está creciendo el uso de invernaderos multitúnel, ya sea automatizado o manual, este sistema de producción opera bajo condiciones de suelo o sustrato.

Los ciclos que se manejan en México son el de invierno y el de verano. El ciclo de verano tiene la ventaja de ahorrar combustible, ya que cuando los precios de venta de la fruta son bajos, no alcanza para cubrir los gastos de la calefacción.

Épocas de Producción.

En las siembras de verano de la Zona Central del país, la plantación se realiza en el mes de febrero, con lo cual se reducen los costos de calefacción, al tiempo que se sale al mercado en mayo y junio, cuando se ha cerrado la ventana de Sinaloa y los precios del mercado nacional son atractivos; por otro lado, las plantaciones que se realizan en el mes de junio y julio en muchas regiones de México, son para salir al mercado en el mes de octubre a diciembre, época en que los precios llegan a ser atractivos para la exportación de tomate mexicano. Sinaloa, debido a sus condiciones climáticas, no puede aprovechar esa pequeña ventana de mercado de octubre a diciembre.

En el Centro y Norte de México existen regiones de clima desértico con baja precipitación en el verano, donde se han desarrollado mayormente las mallas o casas sombra, que tienen las ventajas de reducir la temperatura, aumentar la humedad relativa y por las condiciones desérticas, la lluvia apenas representa un mínimo riesgo para el cultivo. Es importante destacar que en las regiones lluviosas donde se han establecido mallas sombras, en la mayoría de los casos han sido un fracaso, debido a que se promueven las enfermedades. No así, en zonas desérticas, como ha ocurrido en las Bajas Californias, San Luis Potosí y en la Comarca Lagunera, donde con inversiones bajas ha sido posible incrementar la superficie de horticultura protegida.

En la siguiente tabla se muestra el número de instalaciones y hectáreas de agricultura protegida en México hasta el año 2014.

Tabla 1.2.2. Número de hectáreas de agricultura protegida en México. 2014.

Estado	Instalaciones	Superficie (Ha)
Aguascalientes	229	87.70
Baja California	1,247	2,647.07
Baja California Sur	321	797.65
Campeche	176	51.70
Chiapas	3,631	273.52
Chihuahua	257	1,495.92
Coahuila	284	353.99
Colima	347	403.60
Distrito Federal	2,527	152.10
Durango	355	74.55
Guanajuato	769	655.27
Guerrero	842	150.57
Hidalgo	2,276	233.69
Jalisco	2,777	3,310.16
Michoacán	859	1,004.06
Morelos	1,036	237.63
Nayarit	522	121.05
Nuevo León	278	106.64
Oaxaca	3,154	352.73
Puebla	2,933	1,045.20
Querétaro	563	240.61
Quintana Roo	144	52.02
San Luis Potosí	1,029	894.01
Sinaloa	1,057	4,743.72
Sonora	649	1,174.73
Tabasco	86	12.81
Tamaulipas	256	205.95
Tlaxcala	1,118	79.79
Veracruz	211	93.38
Yucatán	345	67.67
Zacatecas	654	411.04
Total	30,932	21,530.52

fuente: SIAVI SAGARPA

2.3 Potenciales para espacios con climatización en la producción de alimentos en México.

En algunos lugares, la situación del campo ha alcanzado niveles dramáticos, tan sólo en la Ciudad de México, en el 2011 llegó al nivel más bajo de valor de la producción agrícola registrada durante el sexenio. Las causas, según las autoridades locales, se deben a tres factores determinantes: la poca rentabilidad del campo en la zona, invasión a los suelos de conservación y los robos a la producción; y es que justo en la valoración que se realizó a finales del año pasado, el Consejo Nacional Agropecuario, destacó que sólo una tercera parte del presupuesto destinado al campo se encaminan a la producción e innovación en el sector.

Sin embargo, el panorama luce prometedor para quienes tienen la oportunidad de acceder a nuevas tecnologías. Una de las más promisorias de los negocios agrícolas se encuentra bajo techo. Alfredo Zonana lo sabe bien y por eso desde hace cuatro años, Hydrofoods, la compañía que dirige, se dedica a cultivar jitomates y pimientos, entre otras hortalizas, en invernaderos hidropónicos, un método utilizado para cultivar plantas usando soluciones minerales en vez de suelo agrícola.

Los huertos de Hydrofoods utilizan tecnología de punta adquirida en Holanda e Israel. Esta tecnología opera con enorme eficiencia y un alto nivel de sofisticación, en una extensión de 40 hectáreas, ubicada en Agro-park, un parque agroindustrial en el estado de Querétaro.

En estas instalaciones la producción consume apenas una cuarta parte del agua utilizada en cada kilo de cultivo producido a cielo abierto, evita los pesticidas y logra una calidad constante. Se trata de gigantescas naves de vidrio donde por medio de sistemas computarizados se controlan la temperatura, luminosidad, niveles de agua, clima y los nutrientes que las plantas reciben.

Adentro, se cultiva con un sistema de riego por goteo, con dosificadores automatizados de agua y fertilizantes, de acuerdo al crecimiento y necesidades de cada planta. El sistema es tan eficiente que recicla el agua que la planta no absorbe, la trata y la reutiliza; de tal forma que 95% del líquido extraído del subsuelo se aprovecha.

El resultado es la cosecha, en términos de kilogramos por metro cuadrado, es ocho veces superior al de técnicas convencionales de cultivo. Además, este ambiente controlado vuelve irrelevante la estacionalidad de las cosechas.

“Invirtiendo en invernaderos casi garantizas que vas a poder entregar productos 365 días del año”, dice Zonana.¹

¹www.soyentrepreneur.com; La nueva era del campo Mexicano, 2013.

Para sus jitomates, Hydrofoods utiliza un método para cultivar árboles de jitomate nuevos de forma simultánea con los que ya generan fruto. Así, cuando los segundos llegan a una etapa de maduración y son retirados por trabajadores, los primeros ya están listos para la cosecha. De este modo, se evitan tiempos muertos y se logra una alta productividad.

Desde el punto de vista comercial, la compañía, que da empleo a 250 personas, ha conseguido el volumen y la calidad para proveer a cadenas de supermercados en Estados Unidos y Canadá el destino del grueso de su producción.

Como es de suponerse, en el caso de un invernadero de alta tecnología cuyo rendimiento alcanza 600 toneladas al año por hectárea, su costo representa inversiones por varios millones de dólares. En 2007, cuando se instaló en Agro-park, Levarht, la empresa comercializadora de vegetales de origen holandés que produce en el país bajo la marca Freshmex, invirtió \$1.5 millones de dólares por hectárea, trajo un invernadero completo de vidrio y todo el equipo necesario para su operación desde Holanda.

En el mismo parque, conformado por 800 hectáreas, también se han instalado jóvenes emprendedores apoyados por Hydrofoods y el Fondo de Capitalización e Inversión del Sector Rural (Focir). Ellos optaron por invernaderos con cubiertas de plástico, para reducir costos sin sacrificar funcionalidad. Su costo ronda los \$800,000 dólares por hectárea.

El perfil de algunos empresarios involucrados en Hydrofoods (el finado Pedro Dondisch, Alfredo Achar, Mayer Zaga, Marcos Zaga, Elías Romano y el propio Zonana) es indicio de la inversión necesaria para lanzar este tipo de operaciones.

Áreas de oportunidad en México.

No obstante, México tiene el potencial para producir frutas y verduras a gran escala utilizando la agricultura protegida, en instalaciones tanto de alta como de media y baja tecnología. El país, gracias a su condición geográfica, tiene algunas ventajas como el clima y la altitud de algunas zonas, “lo que permite una producción durante todo el año, sin tanto gasto energético”, considera Merle Jensen, profesor del Centro de Agricultura en Ambiente Controlado (CEAC, por sus siglas en inglés) de la Universidad de Arizona. En Estados Unidos, donde la mayor parte del territorio es muy frío, “se requiere mucha energía para operar estos ambientes cerrados”.

Un invernadero hidropónico necesita mantener idealmente una temperatura constante de unos 16 grados centígrados, mientras mayor diferencia exista entre la temperatura interior de estos invernaderos y la exterior, se vuelve más complicado rentabilizar su operación.

Zonana asumió la dirección del proyecto desde sus inicios, antes de definir el modelo de negocios de Hydrofoods viajó a Israel y Holanda para analizar la tecnología disponible y estuvo en la Universidad de Arizona para obtener

capacitación en la materia. Durante un recorrido en Israel, acompañado por el secretario de Agricultura de ese país, se dio cuenta del potencial que los invernaderos hidropónicos tenían, “me quedé asombrado”, recuerda, “lo que han hecho en el desierto es impensable. Entonces dije: “pues si en el desierto se puede”, entonces en nuestro país (que no es desierto) mucho más”.

En términos comerciales, “la gran ventaja que México tiene es que al norte de su frontera tiene a Estados Unidos y Canadá; así que hay un gran mercado para muchas frutas y vegetales que pueden producirse, tanto en invernaderos como a cielo abierto, en el clima más moderado del país”, dice Guy Cardineau, quien colaboró con un grupo de investigación en la Universidad de Arizona, que ha desarrollado invernaderos hidropónicos de alta tecnología y ahora está al frente del Centro de Agro biotecnología del Tecnológico de Monterrey, especializado en técnicas de modificación genética y ubicado en la capital del estado de Nuevo León.

De hecho, prácticamente todos los vegetales que México exporta se destinan a Estados Unidos, según un estudio sobre horticultura protegida mexicana publicado por la Universidad de Wageningen, la universidad agrícola de Holanda, una de las más importantes del mundo en su ramo.

El valor de estas exportaciones fue de US\$4,324 millones. De estos, 95% tuvo como destino Estados Unidos, seguido de Canadá con casi 1% y España (0.7%). Los productos agrícolas tienen alrededor de 21 días de vida en anaquel. Por ello, la cercanía y capacidad de transportar ágilmente el producto hasta el consumidor final es crucial y México, dada su vecindad con Estados Unidos y su relativa cercanía a Canadá, posee una ventaja sobre otros países para exportar este tipo de mercancías.

Por otro lado, los invernaderos, donde pueden cultivarse distintas variedades de vegetales y frutas, hoy son más atractivos porque el valor de estos cultivos se ha incrementado de forma considerable desde las décadas de 1980 y 1990, y es actualmente superior a la de los granos.

Para Javier Delgado, director de Focir, que promueve inversiones en los sectores rurales y de agro negocios, la realidad del sector agrícola mexicano requiere “un modelo intensivo, como el que ya se probó en Querétaro con Agro-park, de bajo riesgo y alta rentabilidad, y además, muy buena calidad de producto”.

Focir desarrollo un papel muy importante en el diseño y arranque de Agro-park, ubicado en Colón, Querétaro, a cinco minutos de Bernal. El predio era un rancho que llevaba sin producir más de una década y fue cedido por Sagarpa, que lo tenía bajo su custodia, para desarrollar un parque de agricultura protegida de alta tecnología en conjunto con la Embajada de Holanda, cuyo gobierno tenía interés en impulsar inversiones en dicho sector.

Holanda ofrece grandes lecciones agrícolas al mundo: con un tamaño similar al del estado de Guanajuato es el segundo exportador de agro productos por valor, luego de Estados Unidos. El plan de negocios del parque se desarrolló

en conjunto con la Universidad de Wageningen y su construcción arrancó a principios de 2007. Cinco años después, el parque ha vendido todos sus lotes. A causa de la escasez de agua y que México tiene 30 millones de hectáreas cultivables como máximo (de las cuales sólo una quinta parte es irrigable), el futuro agrícola del país está en la producción a través de invernaderos, con un consumo más racionado de agua, opina Delgado.

Por otro lado, pese al hecho de que la producción en invernaderos cuesta más que la producción a cielo abierto, el rendimiento potencial de una hectárea de invernadero, 700% más que a cielo abierto, es tan inmenso que justifica la inversión. Y todo indica que los empresarios agrícolas ya se dieron cuenta.

Cultivos cubiertos.

El uso de invernaderos en México ha crecido de 9,900 hectáreas a 14,800 hectáreas en 6 años, casi 50% en apenas dos años. Para 2014 había más de 20,000 hectáreas de producción en invernaderos, de acuerdo con NL Agency, una división del Ministerio de Economía holandés, en el documento México: Oportunidades de Negocio en Agro alimentos y Horticultura, publicado en junio del 2013 y que cita a fuentes oficiales mexicanas.

Delgado, de Focir², comenta por su parte que en el sector se calculaban unas 3,000 o 4,000 hectáreas de agricultura protegida en 2006 y que en la actualidad podría haber unas 19,000 hectáreas. Lo cierto es que se ha detonado la utilización de estas prácticas en el país. Un signo de ello es que nuestro país se convirtió en el primer destino de exportación de invernaderos holandeses en 2007, según la Universidad de Wageningen.

El aumento en el uso de agricultura protegida no es exclusivo de México; se trata de una tendencia mundial. Según Jensen, de la Universidad de Arizona, en China se pasó en el transcurso de casi tres décadas, de sólo 100 hectáreas de invernaderos a dos millones de hectáreas.

La oportunidad de negocio es clara y hay razones para pensar que el paisaje campirano del país realmente podría llenarse de invernaderos. "Nuestro modelo sería replicable en zonas del centro de la República", asegura el director de Hydrofoods.

Si bien para "manejar gente, organigramas, tecnologías, computadoras, mercados internacionales, logística para entrega en cadenas comerciales de Estados Unidos, sí tienes que poseer un perfil de empresario, pues el negocio puede ser en diferentes escalas", detalla Zonana.

"No importa el tamaño del productor", coincide Delgado, quien relata un caso que ejemplifica cómo la agricultura protegida puede funcionar a pequeña escala. En la Mixteca oaxaqueña, en el municipio de Huajuapán, existen unas 90 familias dueñas de casi 150 invernaderos pequeños de baja tecnología, donde la siembra es en tierra y que en conjunto no superan 20 hectáreas.

²www.focir.gob.mx, 2013

Hace dos años la producción de jitomate se vendía localmente. Organizadas por la Fundación Ayú, que preside el ex-gobernador Eladio Ramírez, apoyados por los Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA) y asesorados por Focir y Levarht, en un par de años estos productores aprovecharon economías de escala para conseguir un solo abastecedor de semilla y construir un centro de acopio. Hoy están en vías de desarrollar un empaque, son proveedores de Wal-Mart y “ya se compraron un tráiler refrigerado para llevar el producto”.

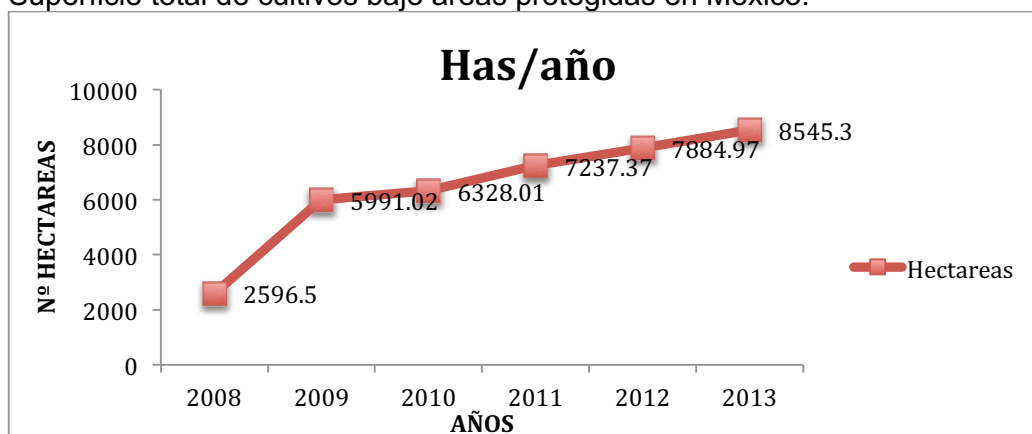
Además, hay interés en distintos estados por repetir la experiencia exitosa de Querétaro. En Aguascalientes está arrancando un agro parque en el Valle de Pabellón, al noroeste de la ciudad de Aguascalientes. Este proyecto incluye también un clúster, que implica la integración de distintas cadenas de producción, similar a los desarrollados por los holandeses.

Mientras tanto, para Hydrofoods el futuro pinta bien. Su plan es seguir creciendo con módulos más pequeños para tener productos especializados (por ejemplo, arúgula, fresas o moras). Su crecimiento será financiado con los recursos frescos que se obtengan en la Bolsa.

La empresa tiene claro el rumbo: “para llenar las expectativas del mercado americano y canadiense, a la velocidad que nosotros vamos, nos llevaría décadas. Si entramos en la Bolsa, podemos ir muy rápido”, asegura Alfredo Zonana.

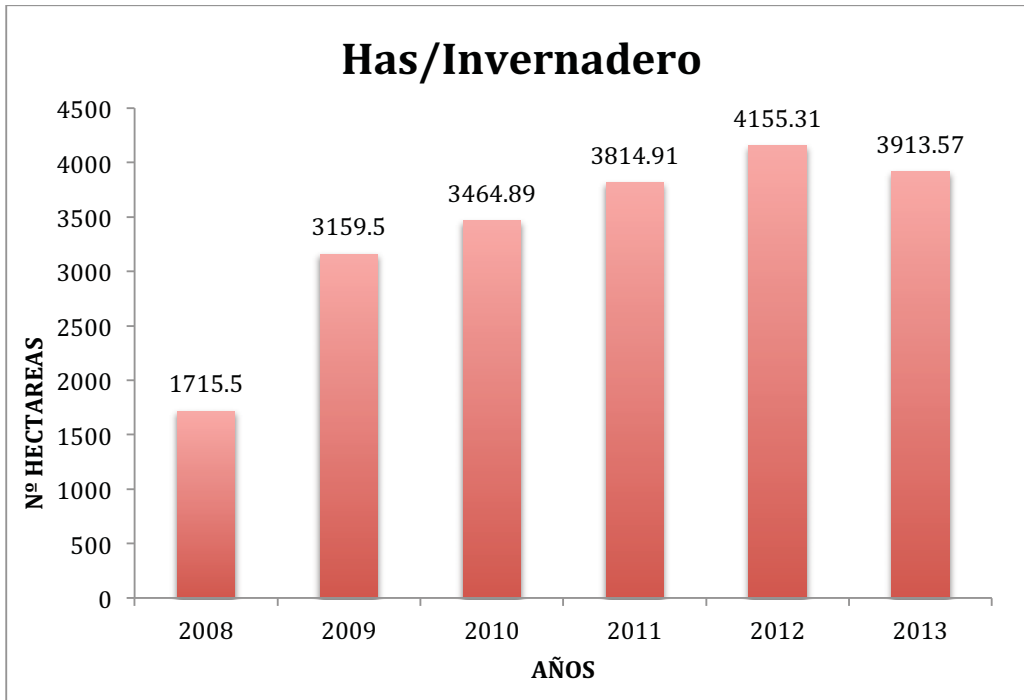
En la siguiente grafica se muestra el crecimiento de invernaderos en México en hectáreas hasta el 2013.

Superficie total de cultivos bajo áreas protegidas en México:

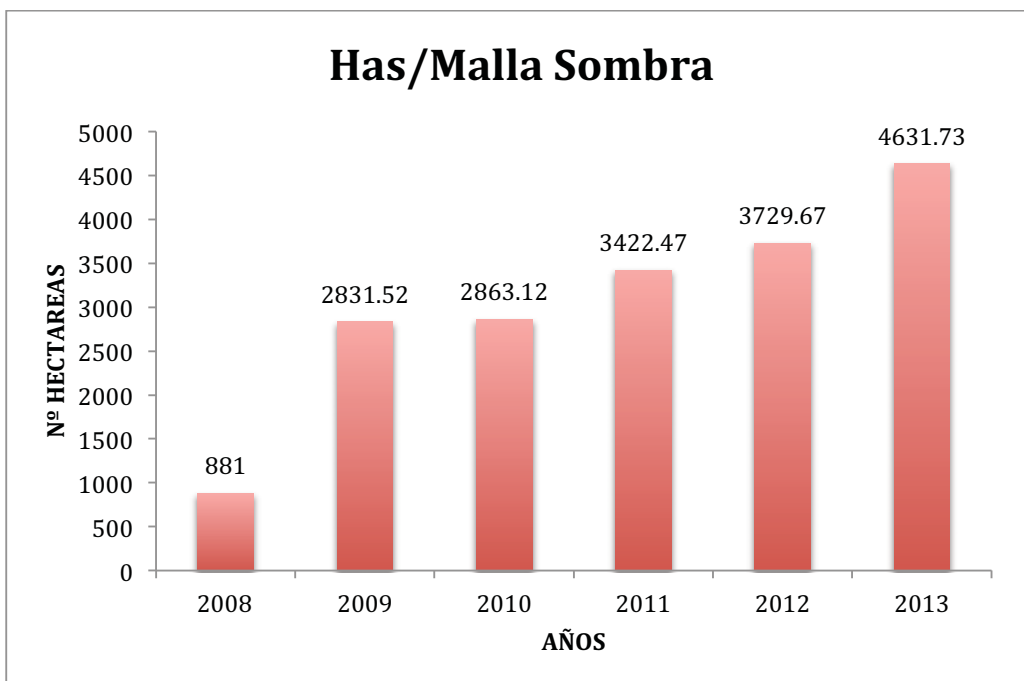


Grafica 1.2.3. Cultivo Protegido Has/año. FUENTE: AMHPAC.

De las cuales se dividen en dos principales infraestructuras, invernaderos y malla sombra, donde el nivel de crecimiento en cada una de ellas se muestra en las siguientes graficas:



Grafica 2.2.3. Cultivo Protegido Has/invernadero. FUENTE: AMHPAC.



Grafica 3.2.3. Cultivo Protegido Has/malla sombra. FUENTE: AMHPAC.

Estas instalaciones se encuentran clasificadas por la Asociación Mexicana de Horticultura Protegida (AMHPAC) en tres tipos, los cuales son:

- Tecnología activa: Tiene control climático (automatizado), de calderas, capacidad para sembrar en hidroponía, plástico y cristal entre otros.

- Tecnología Semi-Activa: Plástico, con sistemas semiautomatizados (calefacción, ventilación, riego y enfriamiento, etc.).
- Tecnología pasiva: No tiene automatización, es cubierta de plástico o malla, expuesta a los cambios climáticos.

En la siguiente tabla se muestra la distribución conforme a las zonas que se tienen registradas en el territorio nacional:

Localización por zonas de invernaderos registrados en México.

Tabla 2.2.3. Localización de Invernaderos en México. 2015.

Zona	% de Socios	Has	% de Hectáreas	Tipo de tecnología		
				Activa	Semi-Activa	Pasiva
Norte	24%	4952.7	58%	40.58%	46.38%	13.04%
Noreste	22%	1295.28	15%	22.22%	61.90%	15.87%
Centro	12%	234.15	3%	45.45%	48.48%	6.06%
Occidente	39%	1987.37	23%	37.27%	57.27%	5.45%
Sur	3%	76.8	1%	50%	25%	25%

FUENTE: AMHPAC

2.4 Papel del ingeniero mecánico en la implementación de espacios climatizados para la producción de alimentos.

Existen muchas acepciones que pretenden definir a la ingeniería, dentro de las cuales se nombraran las más precisas. De acuerdo con un reporte de la “Accreditation Board for Engineering and Technology” (ABET, 1994), la ingeniería es: “La profesión en la cual el conocimiento de la matemática y las ciencias naturales, la experiencia y la práctica es aplicado con juicio para desarrollar maneras de utilizar económicamente los materiales y las fuerzas naturales para el beneficio de la naturaleza humana. “

Como se observa, esta conceptualización de la profesión se relaciona de manera intrínseca con el ser humano, debido a que su fin último es la solución de problemas generados por el hombre. Sin embargo al tratarse de una disciplina de carácter tecnológico, se encuentra ligada al cambio, por lo que la concepción que se tenía de ella en el siglo pasado, no puede ser la misma que la actual. Por lo cual se debe adecuar al desarrollo tecnológico y para que aun mismo tiempo se incorpore a situaciones de problemáticas actuales como escasas de recursos y deterioro ambiental.

Así, la ingeniería, por ser una carrera de tipo tecnológico vinculada con el uso de recursos naturales y su posible aplicación a la solución de los problemas y necesidades del ser humano, requiere prestar especial atención a los aspectos ya mencionados.

Antes de que existiera la ingeniería mecánica como tal, eran los físicos que aplicaban teorías y realizaban diversos experimentos para tratar de resolver los problemas cotidianos de la humanidad. Poco a poco dichas pruebas

científicas derivaron en la construcción de máquinas relativamente simples, el ahorro de tiempo y de recursos que estas máquinas hacían posible hizo que la industria volteara sus ojos hacia ella y percibieran su gran utilidad, lo que detonó una creciente demanda de aparatos y dispositivos cada vez más complejos.

La dificultad inherente a la invención y utilización de máquinas más sofisticadas, trajo consigo la necesidad de una disciplina específica para ello, lo que dio origen a la Ingeniería Mecánica que basándose en los principios físicos de los primeros tiempos, permite la creación de soluciones útiles para las necesidades y problemáticas que tiene el ser humano.

Así, durante los siglos XIX y XX, el conocimiento científico se fue incrementando gracias a la inmensa distribución y obtención de información. Datos acerca de la estructura de la materia, de los fenómenos electromagnéticos, de los elementos químicos, conceptos termodinámicos, información entorno a las leyes del movimiento, a los procesos de transformación de la energía y muchos otros aspectos del mundo físico, se fueron divulgando y extendiendo, lo que dio lugar a una mayor especialización de la disciplina.

Entre las acepciones que hoy en día existen de esta disciplina, se encuentra la propuesta por Edward Krick, autor de numerosos textos relacionados con ella, tal como "Introducción a la Ingeniería y al Diseño en Ingeniería" donde establece que: "La Ingeniería Mecánica es aquella actividad profesional que se ocupa del diseño, construcción y operación de sistemas mediante los cuales se convierte la energía en formas mecánicas útiles como son las máquinas de vapor, motores de combustión interna, etc.; y los mecanismos necesarios para convertir la energía de salida de esas máquinas a la forma deseada."

De acuerdo con el presidente de la Sociedad Mexicana de la Ingeniería Mecánica, Jaime Cervantes de Gortari³, el papel de esta disciplina para los próximos 20 años deberá consistir en desarrollar nuevas tecnologías y técnicas que apoyen el crecimiento económico y promuevan el desarrollo sustentable de recursos como la energía y el agua.

En la actualidad hay una problemática que ha tomado más fuerza y ésta es la alimentación, ya que los gobiernos han fomentado una cultura de una alimentación sana, esto comienza a suceder por qué en los últimos años la población humana está presentando problemas de sobrepeso el cual está asociado a enfermedades cada vez más comunes entre la población, y esto es desencadenado por la forma de alimentación, ligada a la calidad y productos que se están consumiendo, esta cultura que los gobiernos quieren introducir a la vida humana incluyendo nuestro gobierno, consta de la introducción a la dieta diaria de los seres humanos más productos vegetales y aparte de esto, que estos productos cumplan con los estándares de calidad dados para el consumo humano, aunado a que la población demanda cada vez más de

³Cervantes de Gortari, J. (2008). El futuro de la ingeniería Mecánica. XIV Congreso Internacional anual, Cholula, Puebla.

manera imperativa que esos productos cumplan con esas normas dadas, es decir que estos productos tengan las mejores condiciones para su consumo tanto en valor nutricional, sabor, limpieza (libre de contaminantes químicos) y apariencia del producto.

Debido, a las condiciones climáticas actuales tales como: calentamiento global generado por el alto índice de contaminantes tanto en el aire, agua, y suelo, altos consumos de energía, explotación descontrolada de combustibles fósiles y recursos naturales no renovables, causan fenómenos como: efecto invernadero, lluvias ácidas y sobre todo el cambio climático (temporadas, lluvias, temperaturas y condiciones climáticas de determinado lugar); es por ello que surge la necesidad de modificar las condiciones de producción en el campo, ya que debido dichos cambios climáticos se han generado problemas de sequías, inundaciones, altas temperaturas, que en han afectado la producción agrícola, ya que en lugares que estaban destinados al cultivo de cierto producto dado a sus condiciones climáticas ya no se pueda llevar a cabo más, ya que estos cultivos dependen de estas condiciones climáticas específicas. Es necesario entonces buscar nuevas alternativas de producción para solucionar esta problemática, una de estas que tiene gran fuerza es la agricultura protegida con clima controlado, y esto se da por que los vegetales necesitan de condiciones específicas para su desarrollo y buena producción, una forma para cubrir esta necesidad es el uso de infraestructuras como invernaderos con climatización controlada, con esto se pueden controlar la mayoría de los parámetros necesarios para un crecimiento óptimo, eficiente y eficaz del producto de interés, generando un microclima con condiciones óptimas para este producto.

Otro aspecto en el cual este tipo de técnica ofrece una ventaja es en cuanto a cubrir la demanda esperada de acuerdo a lo impulsado por los gobiernos (dieta de la población), no siendo afectada por los cambios climáticos y a las consecuencias que generan en el cultivo de alimentos.

Sería muy dudosa la solución de esta problemática si se dejara en manos de cultivos trabajados bajo técnicas que no fueron previamente estudiadas y que son realizadas con técnicas tradicionales, ya que estas técnicas al depender en forma primordial de la naturaleza (clima y recursos), corren el riesgo de no cumplir en primer término con la demanda y después con la calidad de dicho producto.

Una vez mencionada la problemática anterior, el Ingeniero Mecánico comienza a tomar un papel muy importante en este rubro, ya que con sus conocimientos en ciencias exactas como control automatizado y Termodinámica, con mayor exactitud en conocimientos más específicos como son la psicrometría pueden ayudar a la implementación de espacios climatizados para la producción de alimentos, ya que con el pleno conocimiento de ciertos conceptos, puede llevarlos a la práctica con el control de aspectos que son involucrados en la climatización como son: temperatura, humedad, calor, entre otros, generando y administrando un control e implementación de sistemas que den como resultado el cubrimiento de la problemática antes mencionada, dentro de las

ventajas que se obtendrían, al controlar estos aspectos desde un punto de vista de la ingeniería son:

- Implementación de espacios óptimos con ambientes controlados, para que los cultivos puedan tener las condiciones necesarias para su crecimiento, desarrollo y producción, sin depender del clima y recursos dados por el lugar en donde se implementará este dispositivo.
- Poder asegurar y controlar su producción y calidad de cada uno de estos productos, esto se genera al tener un control de medidas que dan este resultado (temperatura, humedad, circulación de aire, etc.) y poderlas modificar de acuerdo a los requerimientos del cultivo; gracias al control del equipo instalado.
- Con el control de factores ambientales en estos espacios se puede hacer uso eficiente y eficaz de los recursos que son necesarios en el crecimiento, desarrollo y producción de estos cultivos según sea la etapa que se lleve a cabo en las plantas como: agua, nutrientes y energía; ya que se dotará a los vegetales con los aspectos exactos en medida y forma tomando en cuenta los requerimientos de estos de acuerdo a su ciclo biológico, evitando en gran medida desperdicios de recursos.
- Generar un control más técnico de aspectos involucrados en el cuidado de los vegetales como son el control de plagas y enfermedades específicas de cada cultivo por medio de una limpieza del ambiente y circulación del aire.
- Al ahorrar los recursos usados para el cultivo y acelerar la generación del producto final esto se verá reflejado en una mayor ganancia económica para el interesado a la vez que de manera social se puede proveer de productos de mayor calidad al consumidor logrando encontrar un balance entre precio del producto y calidad de este, sin dejar atrás que el ahorro y mejor uso de los recursos ayudan a generar un cuidado y conservación del medio ambiente, así también dejando espacios a cielo abierto para que se puedan restaurar, debido a que la producción que cubra la demanda comercial sea alcanzada en menos espacio se ayudara a no usar espacios de conservación natural para este tipo de actividad.

CAPITULO 3. OBJETIVO.

3. Objetivo.

Objetivo general.

Justificar la elección de equipos con base a los cálculos de carga térmica para alcanzar las condiciones climáticas requeridas para el cultivo de jitomate en un invernadero, ubicado en el pueblo de Santiago Tepalcatlalpan, delegación Xochimilco, Ciudad de México.

Objetivos particulares.

- a) Cálculo de la carga térmica en un invernadero.
- b) Selección de un equipo de aire acondicionado a partir del cálculo de la carga térmica.
- c) Análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas.

3.1 Delimitación del problema.

Hoy, la compañía ubicada en el pueblo de Santiago Tepalcatlalpan (lugar que desde tiempos prehispánicos producía hortalizas), vende a través de una comercializadora en cadenas comerciales como Comercial Mexicana, Soriana y City Market, que exigen altos parámetros de calidad y limpieza del producto.

Hace cuatro años la empresa, constituida como Sociedad Cooperativa de Responsabilidad Limitada y Capital Variable, inició la producción bajo invernadero con jitomate, pepino, brócoli y chile; sin embargo, al encontrarse en la zona alta del Distrito Federal, los fríos y heladas afectaba a estos cultivos.

En superficie los invernaderos crecieron, en cuatro años, de 2 mil 400 metros cuadrados a 10 mil metros, cambiando su cultivo a productos como fresa que es más resistente a las condiciones climáticas del lugar, actualmente el área productiva está compuesta de 15 módulos que varían de tamaño, debido a la irregularidad del terreno.

El potencial agrícola tan sólo en Santiago Tepalcatlalpan, es de unas mil hectáreas, pero en toda la delegación Xochimilco suman 15 mil hectáreas, ya que 90 por ciento del área cultivable está abandonada, incluyendo naves de invernadero, porque bajo el sistema convencional la actividad no es rentable.

Este invernadero el cual está destinado al cultivo de jitomate se pondrá a prueba bajo control climatizado por un año, buscando generar resultados positivos en producción y calidad convirtiendo este invernadero en un dispositivo para desarrollar un cultivo de jitomate exitoso; y se vuelva a impulsar la inversión de esta actividad en esta área.

Aspectos a controlar:

- Proveer a las plantas la humedad óptima y temperatura óptima bajo un control climático para que estas se desarrollen de manera eficaz y eficiente.
- Transpiración del vapor de agua óptimo en la planta, cuando la humedad y temperatura son las apropiadas.
- Respiración óptima del vegetal en un medio óptimo en oxígeno, en dióxido de carbono, temperatura, humedad y circulación del aire.
- Uso de la energía luminosa o radiación emitida por el Sol para ahorrar energía en la calefacción.

Aspectos generales del cultivo de jitomate.

Familia: solanácea.

Especie: *Lycopersicon esculentum*.

Origen. El jitomate es originario de la América del sur, de la región andina, particularmente de Perú, Ecuador, Bolivia y Chile. Sin embargo, su domesticación fue llevada a cabo en México. El nombre del Jitomate procede del náhuatl xictli, ombligo y tomatl, tomate, que significa tomate de ombligo.

Planta: Porte erecto o semierecto y arbustivo.

Fruto: El fruto es una baya ovalada, redonda o peli forme. Su tamaño va desde pequeños frutos del tamaño de una cereza, hasta enormes frutos de 750 gr.

Requerimientos Climáticos.

Temperatura: La temperatura óptima de desarrollo se sitúa en 23°C durante el día y entre 13 – 17°C durante la noche.

Humedad: La humedad relativa oscila entre un 60% y 80%.

Luminosidad: luz 100% 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad (Nivel de radiación diaria de $0.85 \frac{MJ}{m^2}$).

Suelo: La planta de tomate se puede cultivar en cualquier tipo de suelo. Pero se prefieren en suelos profundos y bien drenados.

CAPITULO 4. CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA.

4. Cálculo de carga térmica.

El concepto de carga térmica está asociado a sistemas de climatización (calefacción y refrigeración), en espacios delimitados. Se trata de la cantidad de energía térmica, en la unidad de tiempo (potencia térmica) que un edificio, o cualquier otro recinto cerrado, intercambia con el exterior debido a las diferentes condiciones higrotérmicas del interior y del exterior, considerando éstas, las exteriores, como las más desfavorables posibles. El cálculo de estas cargas permite disponer los sistemas adecuados de calefacción o refrigeración para compensarlas y desarrollar un ambiente óptimo para los seres humanos en edificios o casas, para alimentos en su almacenamiento (contenedores) o producción (invernaderos) y en algunos procesos de manufactura de materiales.

4.1 Descripción ocular del invernadero.

Tipo de invernadero: Invernadero Túnel o Semicilíndrico.⁴

Localización: México, Ciudad de México, Xochimilco, Santiago Tepalcatlalpan,
Coordenadas: (19°16'30"N) (99°08'20"O).

Altitud: 2240 msnm.

Orientación: De Este a Oeste a cielo abierto.

Dimensiones.

- Altura:
Punto central: 3.5m.
Laterales: 2m.
- Ancho: 15m.
- Largo: 20m.
- Disponibilidad para tener aberturas laterales de 0.5m × 20m a partir de una altura de 1.5m.

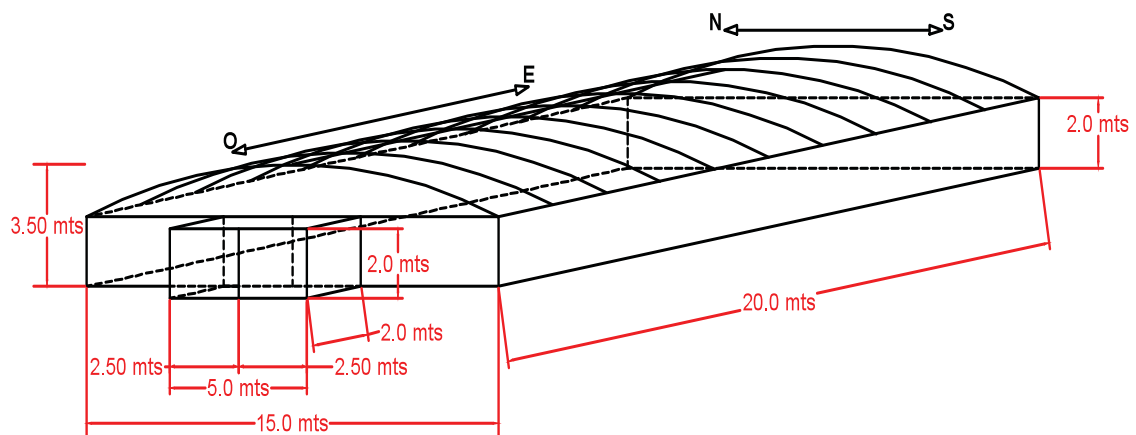


FIGURA 2.4.1. Medidas del invernadero.

⁴Este tipo de invernadero ya estaba establecido en el lugar.

- 14 hileras de plantas con 34 plantas cada hilera sumando en total de todo el cultivo 476 plantas.
- El suelo es de tierra.
- El material de la estructura es de acero galvanizado de 3/4" de diámetro hueco.
- El tipo de cubierta es de polietileno térmico con un espesor de 0.18mm.

4.2 Características del aire atmosférico en Santiago Tepalcatlalpan, Xochimilco, Ciudad de México.

Coordenadas: (19°16'30"N) (99°08'20"O).

Altitud: 2240 msnm.

Humedad relativa anual: 60%.

Velocidad de viento: 10 km/hr.

Xochimilco está dominada por el clima de estepa local. En invierno predomina la lluvia, no siendo así en el verano. La temperatura media anual en Xochimilco se encuentra a 18.1 °C La precipitación es de 586 mm al año.

4.3 Características climáticas del invernadero.

Temperatura: La temperatura óptima de desarrollo se sitúa en 23°C durante el día y entre 13 – 17°C durante la noche.

Humedad: La humedad relativa oscila entre un 60% y 80%.

Luminosidad: luz 100% 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad (Nivel de radiación diaria de 0.85 Mega Jules por metro cuadrado).

4.4 Cálculos unitarios de calor agregado y humedad agregada.

Temperatura atmosférica de Santiago Tepalcatlalpan, Xochimilco, Ciudad de México, México.

Tabla 3.4.4. Temperaturas mínimas del lugar. 2015.

TEMPERATURAS MÍNIMAS	
AÑO	TEMPERATURA PROMEDIO ANUAL (°C)
2012	10.6
2013	11.6
2014	11.5
2015	11.7

Fuente: <http://smn.cna.gob.mx/index.php?>

Temperatura mínima promedio:

$$t = \frac{10.6 + 11.6 + 11.5 + 11.7}{4} = 11.4 - 1^* = 10.4^{\circ}\text{C}$$

$$^{\circ}\text{F} = \left[\left(\frac{9}{5} \right) \times ^{\circ}\text{C} \right] + 32 \Rightarrow \left[\left(\frac{9}{5} \right) \times 10.4 \right] + 32 = 50.72^{\circ}\text{F}$$

Tabla 4.4.4. Temperaturas máximas del lugar. 2015.

TEMPERATURAS MÁXIMAS	
AÑO	TEMPERATURA PROMEDIO ANUAL ($^{\circ}\text{C}$)
2012	23.4
2013	24.6
2014	23.8
2015	23.8

*Fuente: <http://smn.cna.gob.mx/index.php? 1>

Temperatura máxima promedio:

$$t = \frac{23.4 + 24.6 + 23.8 + 23.8}{4} = 23.9 - 1^* = 22.9^{\circ}\text{C}$$

$$^{\circ}\text{F} = \left[\left(\frac{9}{5} \right) \times ^{\circ}\text{C} \right] + 32 \Rightarrow \left[\left(\frac{9}{5} \right) \times 22.9 \right] + 32 = 73.22^{\circ}\text{F}$$

* Se le resto un grado centígrado ya que son las temperaturas promedio de todas las delegaciones de la Ciudad de México y se considera la zona sur siempre más fría que el resto de las delegaciones en 1 grado centígrado.

Condiciones psicrométricas del lugar (Xochimilco).

Tabla 5.4.4. Condiciones Psicrométricas promedio del lugar. 2015.

CONDICIONES PSICROMÉTRICAS DEL AIRE EXTERIOR			
TEMPERATURA MÍNIMA		TEMPERATURA MÁXIMA	
VARIABLE	VALOR	VARIABLE	VALOR
Td	50.72 $^{\circ}\text{F}$	Td	73.22 $^{\circ}\text{F}$
Tw	44.8 $^{\circ}\text{F}$	Tw	64.5 $^{\circ}\text{F}$
Tr	37.62 $^{\circ}\text{F}$	Tr	58.31 $^{\circ}\text{F}$
HR	60%	HR	60%
Ws	0.0047 $\frac{\text{lb}^{\text{v}}_{\text{H}_2\text{O}}}{\text{lb}_{\text{a}_{\text{seco}}}}$	Ws	0.0103 $\frac{\text{lb}^{\text{v}}_{\text{H}_2\text{O}}}{\text{lb}_{\text{a}_{\text{seco}}}}$
V	12.87	V	13.65
ha	17.26 $\frac{\text{BTU}}{\text{lb}}$	ha	28.83 $\frac{\text{BTU}}{\text{lb}}$

FUENTE: Valores de Carta Psicrométrica

Tabla 6.4.4. Condiciones Psicrométricas establecidas en el invernadero. 2015.

CONDICIONES PSICROMÉTRICAS DEL AIRE INTERIOR	
TEMPERATURA OPTIMA DEL INVERNADERO	
VARIABLE	VALOR
Td	73.4°F
Tw	67.4°F
Tr	63.8°F
HR	70%
Ws	0.0126 lb _{vH₂O} / lb _{a_{seco}}
V	13.55
ha	32 BTU / lb

FUENTE: Valores de Carta Psicrométrica.

Humedad agregada (invierno)

$$(5.4.4) W_{s_{int}} - W_{s_{ext}} \Rightarrow (0.0126 - 0.0047) \text{ lb}_{vH_2O} / \text{lb}_{a_{seco}}$$

$$= 0.0079 \text{ lb}_{vH_2O} / \text{lb}_{a_{seco}}$$

Humedad agregada (verano)

$$W_{s_{int}} - W_{s_{ext}} \Rightarrow (0.0126 - 0.0103) \text{ lb}_{vH_2O} / \text{lb}_{a_{seco}} = 0.0023 \text{ lb}_{vH_2O} / \text{lb}_{a_{seco}}$$

Calor agregado (invierno)

$$(6.4.4) ha_{int} - ha_{ext} \Rightarrow (32 - 17.26) \text{ BTU} / \text{lb} = 14.74 \text{ BTU} / \text{lb}$$

Calor agregado (verano)

$$ha_{int} - ha_{ext} \Rightarrow 32 - 28.83) \text{ BTU} / \text{lb} = 14.6 \text{ BTU} / \text{lb}$$

4.5 Inspección física del invernadero.

Características del invernadero.

Localización:

Santiago Tepalcatlalpan, Xochimilco, Distrito Federal, México.

Coordenadas: (19°16'30"N) (99°08'20"O)

Altitud: 2240 msnm

Condiciones climáticas del lugar:

Humedad relativa anual: 60%

Velocidad de viento: 10 km/hr

Invierno.

$T_{d_{interior}} = 73.4^{\circ}\text{F}$; $T_{d_{exterior}} = 50.72^{\circ}\text{F}$

Verano

$T_{d_{interior}} = 73.4^{\circ}\text{F}$; $T_{d_{exterior}} = 73.22^{\circ}\text{F}$

Dimensiones del invernadero y orientación.

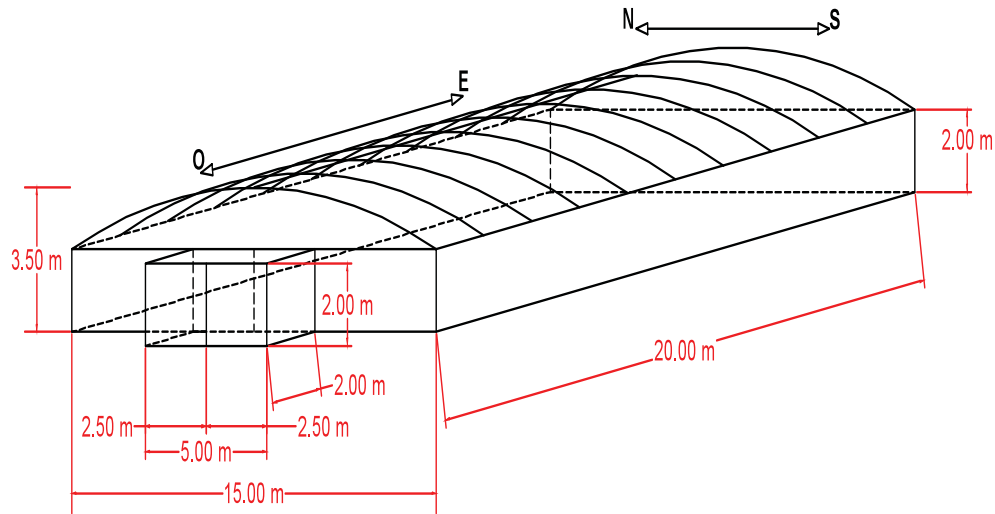


FIGURA 3.4.5. Dimensiones del invernadero y orientación.

Material de construcción:

- Paredes y Techo de Polietileno Térmico PET
- Piso de tierra
- Tubular circular de $\frac{3}{4}$ " (estructura)

4.6 Cálculos.

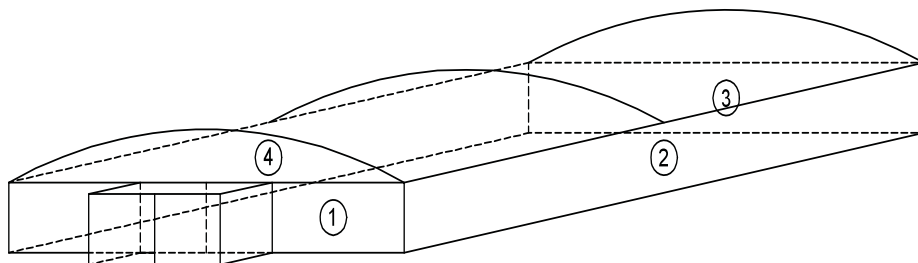


FIGURA 4.4.6. Numero de paredes del invernadero.

4.6.1 Área.

Se sacara el área de las paredes, techo y piso para hacer los cálculos de carga térmica por radiación solar. Estas áreas se sacaran con las formulas de figuras geométricas.

a) Paredes.

Pared 1) Área pared₁ (A_1) = Área_A + Área_B

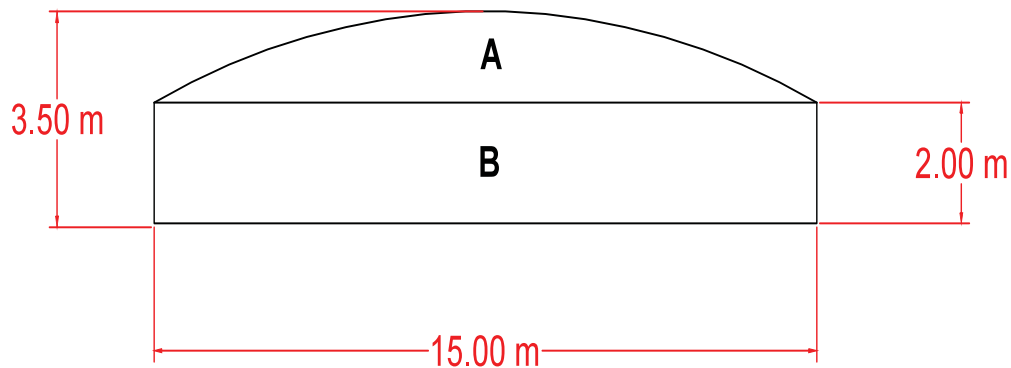


FIGURA 5.4.6.1. Pared Este-Oeste.

Conversión de unidades:

$$1) 2.00 \text{ m} \Rightarrow 2.00 \text{ m} \left(\frac{3.28 \text{ ft}}{1 \text{ m}} \right) = 6.56 \text{ ft}$$

$$2) 3.500 \text{ m} \Rightarrow 3.500 \text{ m} \left(\frac{3.28 \text{ ft}}{1 \text{ m}} \right) = 11.48 \text{ ft}$$

$$3) 15.00 \text{ m} \Rightarrow 15.00 \text{ m} \left(\frac{3.28 \text{ ft}}{1 \text{ m}} \right) = 49.20 \text{ ft}$$

Área_A

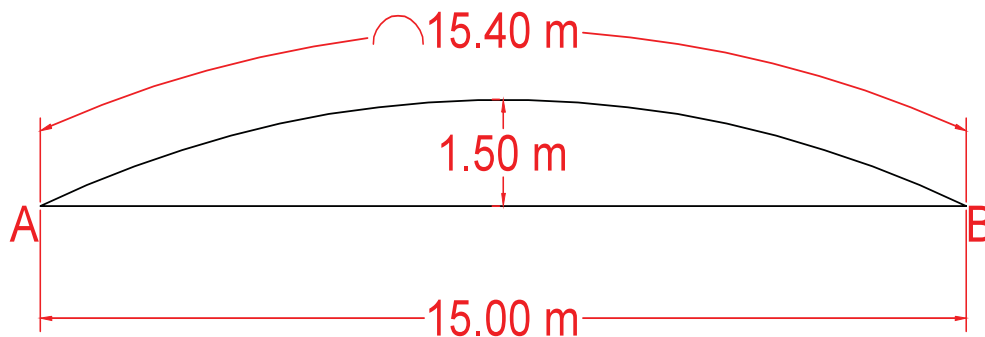


FIGURA 6.4.6.1. Área de la parte circular de la pared Este-Oeste.

Conversión de unidades:

$$4) 15.40 \text{ m} \Rightarrow 15.40 \text{ m} \left(\frac{3.28 \text{ ft}}{1 \text{ m}} \right) = 50.51 \text{ ft}$$

$$5) 1.50 \text{ m} \Rightarrow 1.50 \text{ m} \left(\frac{3.28 \text{ ft}}{1 \text{ m}} \right) = 4.92 \text{ ft}$$

$$6) 15.00 \text{ m} \Rightarrow 15.00 \text{ m} \left(\frac{3.28 \text{ ft}}{1 \text{ m}} \right) = 49.20 \text{ ft}$$

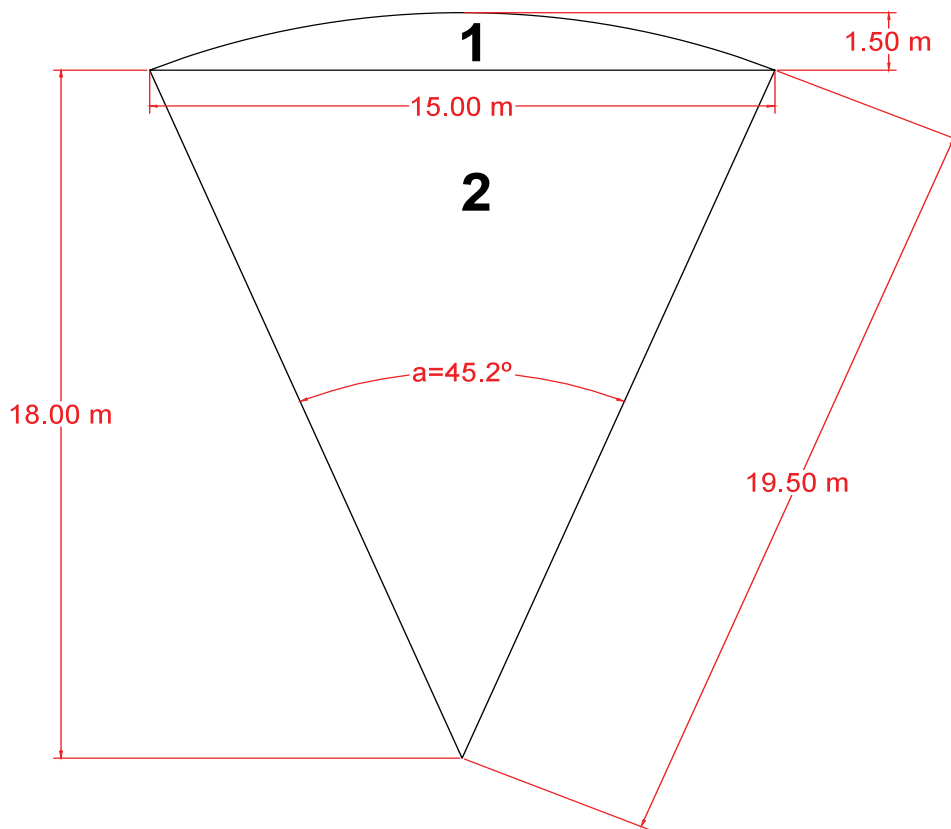


FIGURA 7.4.6.1. Área A de la pared Este-Oeste.

$$7) 1.50 \text{ m} \Rightarrow 1.50 \text{ m} \left(\frac{3.28 \text{ ft}}{1 \text{ m}} \right) = 4.92 \text{ ft}$$

$$8) 18.00 \text{ m} \Rightarrow 18.00 \text{ m} \left(\frac{3.28 \text{ ft}}{1 \text{ m}} \right) = 59.04 \text{ ft}$$

$$9) 19.50 \text{ m} \Rightarrow 19.50 \text{ m} \left(\frac{3.28 \text{ ft}}{1 \text{ m}} \right) = 63.96 \text{ ft}$$

$$\text{Área}_{1,2} = \frac{\pi r^2 \alpha}{360^\circ} = \frac{3.1416 \times (63.96 \text{ ft})^2 \times 45.20^\circ}{360^\circ} = 1613.63 \text{ ft}^2$$

$$\text{Área}_A = \text{Área}_{1,2} - \text{Área}_2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \text{Área}_2 = \frac{b \times h}{2} = \frac{49.20 \text{ ft} \times 59.04 \text{ ft}}{2} = 1452.38 \text{ ft}^2$$

$$\text{Área}_A = \text{Área}_{1,2} - \text{Área}_2 = 1613.63 \text{ ft}^2 - 1452.38 \text{ ft}^2 = 161.25 \text{ ft}^2$$

$$\text{Área}_B = b \times h$$

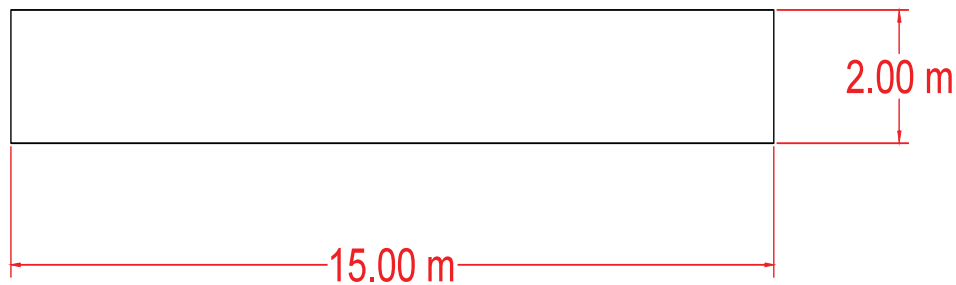


FIGURA 8.4.6.1. Área B pared Este-Oeste.

Conversión de unidades:

$$10) 2.00 \text{ m} \Rightarrow 2.00 \text{ m} \left(\frac{3.28 \text{ ft}}{1 \text{ m}} \right) = 6.56 \text{ ft}$$

$$11) 15.00 \text{ m} \Rightarrow 15.00 \text{ m} \left(\frac{3.28 \text{ ft}}{1 \text{ m}} \right) = 49.20 \text{ ft}$$

$$\text{Área}_B = b \times h = 49.20 \text{ ft} \times 6.56 \text{ ft} = 322.75 \text{ ft}^2$$

$$\text{Área pared}_1 (A_1) = \text{Área}_A + \text{Área}_B = 161.25 \text{ ft}^2 + 322.75 \text{ ft}^2 = 484.00 \text{ ft}^2$$

Pared 2. Área pared₂ = b × h

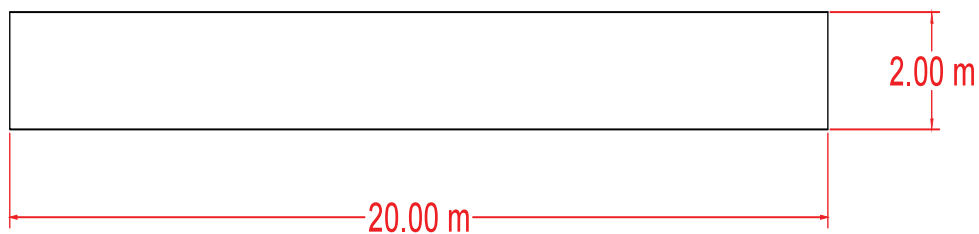


FIGURA 9.4.6.1. Área de la pared Norte-Sur.

Conversión de unidades:

$$12) 2.00 \text{ m} \Rightarrow 2.00 \text{ m} \left(\frac{3.28 \text{ ft}}{1 \text{ m}} \right) = 6.56 \text{ ft}$$

$$13) 20.00 \text{ m} \Rightarrow 20.00 \text{ m} \left(\frac{3.28 \text{ ft}}{1 \text{ m}} \right) = 65.60 \text{ ft}$$

$$\text{Área pared}_2 = b \times h = 65.60 \text{ ft} \times 6.56 \text{ ft} = 430.34 \text{ ft}^2$$

$$3. \text{Área pared}_3 = \text{Área pared}_1 = 484.00 \text{ ft}^2$$

$$4. \text{Área pared}_4 = \text{Área pared}_2 = 430.34 \text{ ft}^2$$

b) Piso.

$$\text{Área}_{\text{piso}} = \ell \times \ell$$

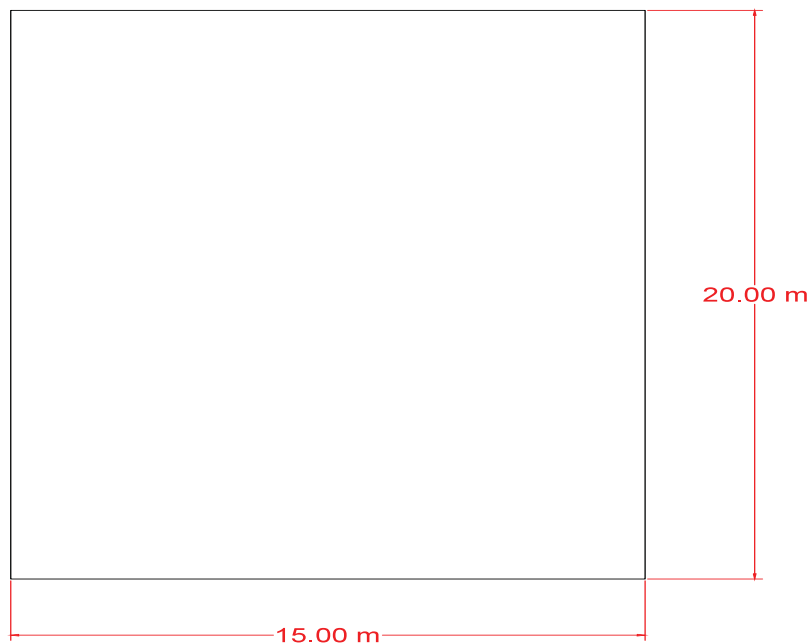


FIGURA 10.4.6.1. Área del piso.

Conversión de unidades:

$$14) 15.00 \text{ m} \Rightarrow 15.00 \text{ m} \left(\frac{3.28 \text{ ft}}{1 \text{ m}} \right) = 49.20 \text{ ft}$$

$$15) 20.00 \text{ m} \Rightarrow 20.00 \text{ m} \left(\frac{3.28 \text{ ft}}{1 \text{ m}} \right) = 65.60 \text{ ft}$$

$$\text{Área}_{\text{piso}} = \ell \times \ell = 65.60 \text{ ft} \times 49.20 \text{ ft} = 3227.52 \text{ ft}^2$$

c) Techo.

$$\text{Área}_{\text{techo}} = \ell \times \ell$$

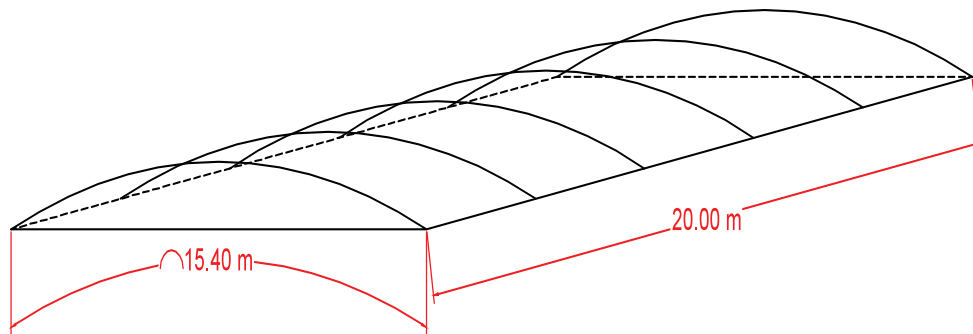


FIGURA 11.4.6.1. Área del techo.

Longitud del arco = 15.40 m (AutoCAD)

$$16) 15.400 \text{ m} \Rightarrow 15.40 \text{ m} \left(\frac{3.28 \text{ ft}}{1 \text{ m}} \right) = 50.51 \text{ ft}$$

$$17) 20.00 \text{ m} \Rightarrow 20.00 \text{ m} \left(\frac{3.28 \text{ ft}}{1 \text{ m}} \right) = 65.60 \text{ ft}$$

$$\text{Área}_{\text{techo}} = \ell \times \ell = 50.51 \text{ ft} \times 65.60 \text{ ft} = 3313.59 \text{ ft}^2$$

4.6.2 Coeficientes de transferencia de calor.

$$\text{Cubierta: Polietileno térmico PET} = (8.60 - 13) \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \text{promedio} = 10.80 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} \quad (\text{tabla } *)$$

$$\therefore \Rightarrow \left(10.80 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} \right) \left(\frac{3.416 \text{ BTU}}{1 \text{ W hr}} \right) \left(\frac{1 \text{ m}^2}{10.764 \text{ ft}^2} \right) \left(\frac{1 \text{ } ^\circ\text{C}}{33.8 \text{ } ^\circ\text{F}} \right) = .1014 \frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}$$

Piso: Arcilla Húmeda \Rightarrow

$$\Rightarrow k = (4.50 - 9.50) \frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}} \Rightarrow \text{promedio} = 7 \frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}} \quad (\text{tabla } *)$$

$$\frac{1}{k} = U \therefore U_1 = \frac{1}{7} = .1429 \frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}$$

4.6.3 Cálculos de carga térmica.

El cálculo de carga térmica se obtendrá a partir de las temperaturas externas e internas, coeficientes de calefacción de los materiales del invernadero, orientación, áreas que se obtuvieron del invernadero además será dividido en invierno y verano siendo las temperaturas mínimas y máximas a las cuales va a trabajar el invernadero.

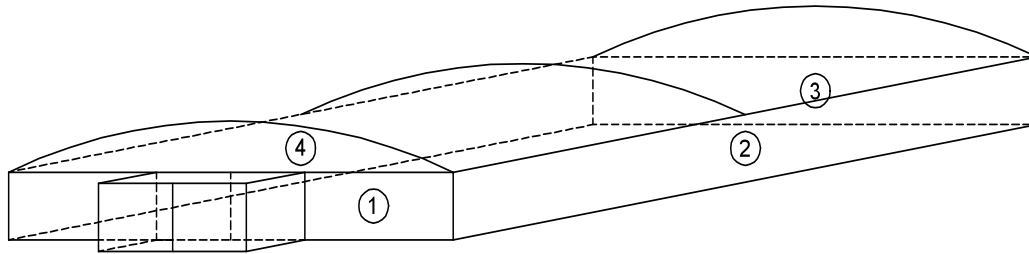


FIGURA 12.4.6.3. Numero de paredes del invernadero.

Invierno.

$$T_{d_{interior}} = 73.4^{\circ}\text{F}; T_{d_{exterior}} = 50.72^{\circ}\text{F}$$

a) Calor cedido por paredes = Q_{T1}

$$\Rightarrow Q_{T1} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

Donde:

- Q_1 = Calor cedido por la pared 1
- Q_2 = Calor cedido por la pared 2
- Q_3 = Calor cedido por la pared 3
- Q_4 = Calor cedido por la pared 4

$$\Rightarrow Q_N = A_N \times U_N \times \Delta T_{CN} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta T_{CN} = \Delta T_N + 2^{\circ}\text{F}(N - S)$$

$$\Rightarrow \Delta T_{CN} = \Delta T_N + 4^{\circ}\text{F}(E - O)$$

$$\Rightarrow \Delta T_N = t_{d_{int}} - t_{d_{ext}}$$

Q_1 = Calor cedido por la pared 1

$$\Rightarrow Q_1 = A_1 \times U_1 \times \Delta T_{C1}$$

- $A_1 = 484.00 \text{ ft}^2$
- $U_1 = .1014 \frac{\text{BTU}}{\text{hrft}^2\text{°F}}$
- $\Delta T_{C1} = \Delta T_{N1} + 4\text{°F}(E - O) \Rightarrow \Delta T_N = t_{d_{\text{int}}} - t_{d_{\text{ext}}}$

$$\therefore \Delta T_{C1} = t_{d_{\text{int}}} - t_{d_{\text{ext}}} + 4\text{°F}(E - O) = (73.40 - 50.72)\text{°F} + 4\text{°F} = 26.68\text{°F}$$

$$\Rightarrow Q_1 = (484.00 \text{ ft}^2) \left(.1014 \frac{\text{BTU}}{\text{hrft}^2\text{°F}} \right) (26.68\text{°F}) = 1309.39 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

$Q_2 =$ Calor cedido por la pared 2

$$\Rightarrow Q_2 = A_2 \times U_2 \times \Delta T_{C2}$$

- $A_2 = 430.34 \text{ ft}^2$
- $U_2 = .1014 \frac{\text{BTU}}{\text{hrft}^2\text{°F}}$
- $\Delta T_{C2} = \Delta T_{N1} + 2\text{°F}(N - S) \Rightarrow \Delta T_N = t_{d_{\text{int}}} - t_{d_{\text{ext}}}$

$$\therefore \Delta T_{C1} = t_{d_{\text{int}}} - t_{d_{\text{ext}}} + 2\text{°F}(N - S) = (73.40 - 50.72)\text{°F} + 2\text{°F} = 24.68\text{°F}$$

$$\Rightarrow Q_2 = (430.34 \text{ ft}^2) \left(.1014 \frac{\text{BTU}}{\text{hrft}^2\text{°F}} \right) (24.68\text{°F}) = 1076.95 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

$Q_3 =$ Calor cedido por la pared 3

$$Q_3 = Q_1 \Rightarrow Q_3 = 1309.39 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

$Q_4 =$ Calor cedido por la pared 4

$$Q_4 = Q_2 \Rightarrow Q_4 = 1076.95 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

$$\Rightarrow Q_{T1} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow Q_{T1} &= 1309.39 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} + 1076.95 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} + 1309.39 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} + 1076.95 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} = \\ &= 4772.68 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} \end{aligned}$$

b) Calor cedido por pisos y techos = Q_{T2}

$$\Rightarrow Q_{T2} = Q_{\text{piso}} + Q_{\text{techo}}$$

Donde:

$$\Rightarrow Q_{\text{piso}} = A_{\text{piso}} \times U_{\text{piso}} \times \Delta T_N \Rightarrow \Delta T_N = t_{d_{\text{int}}} - t_{d_{\text{ext}}}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow Q_{\text{techo}} &= A_{\text{techo}} \times U_{\text{techo}} \times \Delta T_{\text{Ctecho}} \Rightarrow \\ &\Rightarrow \Delta T_{\text{Ctecho}} = \Delta T_N + 15^\circ\text{F} \\ &\Rightarrow \Delta T_N = t_{d_{\text{int}}} - t_{d_{\text{ext}}} \end{aligned}$$

Q_1 = Calor cedido por el piso

$$\Rightarrow Q_{\text{piso}} = A_{\text{piso}} \times U_{\text{piso}} \times \Delta T_N$$

- $A_{\text{piso}} = 3227.52 \text{ ft}^2$
- $U_{\text{piso}} = .1429 \frac{\text{BTU}}{\text{hrft}^2^\circ\text{F}}$
- $\Delta T_N = t_{d_{\text{int}}} - t_{d_{\text{ext}}}$

$$\therefore \Delta T_N = (73.40 - 50.72)^\circ\text{F} = 22.68^\circ\text{F}$$

$$\Rightarrow Q_{\text{piso}} = (3227.52 \text{ ft}^2) \left(.1429 \frac{\text{BTU}}{\text{hrft}^2^\circ\text{F}} \right) (22.68^\circ\text{F}) = 10460.30 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

Q_{techo} = Calor cedido por el techo

$$\Rightarrow Q_{\text{techo}} = A_{\text{techo}} \times U_{\text{techo}} \times \Delta T_{\text{Ctecho}}$$

- $A_{\text{techo}} = 3313.59 \text{ ft}^2$
- $U_{\text{techo}} = .1014 \frac{\text{BTU}}{\text{hrft}^2^\circ\text{F}}$
- $\Delta T_{\text{Ctecho}} = \Delta T_N + 15^\circ\text{F} \Rightarrow \Delta T_N = t_{d_{\text{int}}} - t_{d_{\text{ext}}}$

$$\therefore \Delta T_{\text{C1}} = t_{d_{\text{int}}} - t_{d_{\text{ext}}} + 15^\circ\text{F} = (73.40 - 50.72)^\circ\text{F} + 15^\circ\text{F} = 37.68^\circ\text{F}$$

$$\Rightarrow Q_{\text{techo}} = (3313.59 \text{ ft}^2) \left(.1014 \frac{\text{BTU}}{\text{hrft}^2^\circ\text{F}} \right) (37.68^\circ\text{F}) = 12660.41 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

$$\Rightarrow Q_{\text{T2}} = Q_{\text{piso}} + Q_{\text{techo}} = 10460.30 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} + 12660.41 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} = 23120.71 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

c) Calor cedido por personas = Q_{T3}

$$\Rightarrow Q_{\text{T3}} = (\text{Numero}_{\text{personas}}) (Q_{\text{disipado}} / \text{persona})$$

Donde:

$$\Rightarrow Q_{\text{disipado}} / \text{persona} = 1000 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} \text{ (tabla *)}$$

$$\Rightarrow \text{Numero}_{\text{personas}} = 8 \text{ persona}$$

$$\Rightarrow Q_{\text{T3}} = (8 \text{ persona}) \left(1000 \frac{\text{BTU}}{\text{hr persona}} \right) = 8000 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

d) Calor cedido por iluminación = Q_{T4}

$$\Rightarrow Q_{T4} = (\text{Numero}_{\text{watts}})(\text{Numero}_{\text{lamparas}})$$

Donde:

$$\Rightarrow \text{Numero}_{\text{watts}_{\text{lampara}}} = 50 \frac{\text{watts}}{\text{lampara}}$$

$$\Rightarrow \text{Numero}_{\text{lamparas}} = 15 \text{ lampara}$$

$$\Rightarrow Q_{T4} = \left(50 \frac{\text{watts}}{\text{lampara}}\right) (15 \text{ lampara}) = 750 \text{ watts}$$

$$\therefore (750 \text{ watts}) \left(\frac{3.4164 \text{ BTU}}{1 \text{ watts hr}}\right) = 2562.30 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

e) Calor perdido por infiltración de aire = Q_{T5}

$$\Rightarrow Q_{T5} = 0 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

f) Calor generado por producto = Q_{T6}

$$\Rightarrow Q_{T6} = (W)(C_p)(\Delta T)$$

Donde:

$$\Rightarrow W = \text{Peso del cultivo} = (\text{Numero}_{\text{plantas}})(\text{Peso}_{\text{planta}})$$

$$\Rightarrow W = (476 \text{ planta}) \left(3 \frac{\text{kg}}{\text{planta}}\right) = 1428 \text{ kg}$$

$$\cdot 1428 \text{ kg} \left(\frac{2.205 \text{ lb}}{1 \text{ kg}}\right) = 3148.740 \text{ lb}$$

$$\Rightarrow C_p = \text{Calor especifico}_{\text{planta}} = .95 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}^\circ\text{F}}$$

$$\Rightarrow \Delta T = \text{Diferencia de temperatura}(\text{invernadero} - \text{exterior}) = \\ = t_{d_{\text{int}}} - t_{d_{\text{ext}}} = 73.40^\circ\text{F} - 50.72^\circ\text{F} = 22.68^\circ\text{F}$$

$$\therefore Q_{T6} = (3148.74 \text{ lb}) \left(.95 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}^\circ\text{F}}\right) (22.68^\circ\text{F}) = 67842.75 \frac{\text{BTU}}{\text{dia}}$$

$$\Rightarrow Q_{T6} = 67842.75 \frac{\text{BTU}}{\text{dia}} \left(\frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ hr}}\right) = 2826.78 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

g) $Q_T = \text{Calor Total} = Q_{T1} + Q_{T2} + Q_{T3} + Q_{T4} + Q_{T5} + Q_{T6}$

$$\Rightarrow Q_T = Q_{T1} + Q_{T2} + Q_{T3} + Q_{T4} + Q_{T5} + Q_{T6}$$

$$\rightarrow Q_{T1} = 4772.68 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

$$\rightarrow Q_{T2} = 23120.71 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

$$\rightarrow Q_{T3} = 8000 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

$$\rightarrow Q_{T4} = 2562.30 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

$$\rightarrow Q_{T5} = 0 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

$$\rightarrow Q_{T6} = 2826.78 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

$$\Rightarrow Q_T = 4772.68 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} + 23120.71 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} + 8000 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} + 2562.30 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} + 0 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} + 2826.78 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} = 41282.47 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

$$\Rightarrow Q_T = \frac{41282.47 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}}{12000 \frac{\text{BTU}}{\text{hr TON}}} = 3.44 \text{ TONCAL}$$

$$\Rightarrow Q_T = 3.44 \text{ TONCAL} + 10\% = 3.44 \text{ TONCAL} + .344 \text{ TONCAL} = 3.784 \text{ TONCAL}$$

Cálculos de flujo de aire en invierno.

$$\rightarrow \text{Flujo de inyección} = f_i = \left[\frac{\text{ft}^3}{\text{min}} \right] \text{ ó [pcm]}$$

$$\rightarrow \text{Flujo de extracción} = f_e = \left[\frac{\text{ft}^3}{\text{min}} \right] \text{ ó [pcm]}$$

$$\Rightarrow \text{Flujo de aire} = f = wv$$

$$\rightarrow w = \text{Peso del aire que se hara circular} = \left[\frac{\text{lb}}{\text{hr}} \right]$$

$$\rightarrow v = \text{Volumen especifico del aire} = \left[\frac{\text{ft}^3}{\text{lb}} \right]$$

$$\Rightarrow w = \frac{Q_T}{C_p(td_{\text{int}} - td_{\text{ext}})} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow w = \frac{41282.47 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}}{(.24 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}^{\circ}\text{F}})(73.40 - 50.72)^{\circ}\text{F}} = 7584.23 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}$$

$$\rightarrow Q_T = \text{Carga termica total} = \left[\frac{\text{BTU}}{\text{hr}} \right] = 41282.47$$

$$\rightarrow C_p = \text{Calor especifico del aire} = \left[\frac{\text{BTU}}{\text{lb } ^\circ\text{F}} \right] = .24$$

$$\rightarrow td_{\text{int}} = \text{Temperatura de bulbo seco interior} = [^\circ\text{F}] = 73.40$$

$$\rightarrow td_{\text{ext}} = \text{Temperatura de bulbo seco exterior} = [^\circ\text{F}] = 50.72$$

$$f_i = wv_i \Rightarrow$$

$$\rightarrow w = 7584.23 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}$$

$$\rightarrow v_i = 12.87 \frac{\text{ft}^3}{\text{lb}} \text{ (tabla *)}$$

$$f_i = \left(7584.23 \frac{\text{lb}}{\text{hr}} \right) \left(12.87 \frac{\text{ft}^3}{\text{lb}} \right) = 97609.04 \frac{\text{ft}^3}{\text{hr}}$$

$$\therefore f_i = \left(97609.04 \frac{\text{ft}^3}{\text{hr}} \right) \left(\frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} \right) = 1626.82 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}}$$

$$f_e = wv_e \Rightarrow$$

$$\rightarrow w = 7584.23 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}$$

$$\rightarrow v_e = 13.55 \frac{\text{ft}^3}{\text{lb}} \text{ (tabla *)}$$

$$f_e = \left(7584.23 \frac{\text{lb}}{\text{hr}} \right) \left(13.55 \frac{\text{ft}^3}{\text{lb}} \right) = 102766.32 \frac{\text{ft}^3}{\text{hr}}$$

$$\therefore f_e = \left(102766.32 \frac{\text{ft}^3}{\text{hr}} \right) \left(\frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} \right) = 1712.77 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}}$$

Tabla 7.4.6.3. En esta tabla se muestran los resultados obtenidos para el invierno.

NOMBRE DE LA FUENTE	FUENTE	CARGA
a) Calor cedido por paredes	a) Q_{T1}	$4772.68 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$
b) Calor cedido por techo y piso	b) Q_{T2}	$23120.71 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$
c) Calor cedido por personas	c) Q_{T3}	$8000 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$
d) Calor cedido por iluminación	d) Q_{T4}	$2562.30 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$
e) Calor perdido por infiltración de aire	e) Q_{T5}	$0 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$
f) Calor generado por producto	f) Q_{T6}	$2826.78 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$
g) Calor total	g) Q_T	3.784 TONCAL
Factor de calor sensible	Factor de calor sensible	.35
Flujo de aire de inyección	f_i	$1626.82 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}}$
Flujo de aire de extracción	f_e	$1712.77 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}}$
Cambios de aire por minuto	Cambios de aire	Un cambio cada 4.5 min

Verano.

$$T_{d_{interior}} = 73.4^{\circ}\text{F}; T_{d_{exterior}} = 73.22^{\circ}\text{F}$$

a) Calor cedido por paredes = Q_{T1}

$$\Rightarrow Q_{T1} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

Donde:

- Q_1 = Calor cedido por la pared 1
- Q_2 = Calor cedido por la pared 2
- Q_3 = Calor cedido por la pared 3
- Q_4 = Calor cedido por la pared 4

$$\Rightarrow Q_N = A_N \times U_N \times \Delta T_{CN} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta T_{CN} = \Delta T_N + 2^{\circ}\text{F}(N - S)$$

$$\Rightarrow \Delta T_{CN} = \Delta T_N + 4^{\circ}\text{F}(E - O)$$

$$\Rightarrow \Delta T_N = t_{d_{int}} - t_{d_{ext}}$$

Q_1 = Calor cedido por la pared 1

$$\Rightarrow Q_1 = A_1 \times U_1 \times \Delta T_{C1}$$

- $A_1 = 484.00 \text{ ft}^2$
- $U_1 = .1014 \frac{\text{BTU}}{\text{hrft}^2^{\circ}\text{F}}$
- $\Delta T_{C1} = \Delta T_{N1} + 4^{\circ}\text{F}(E - O) \Rightarrow \Delta T_N = t_{d_{int}} - t_{d_{ext}}$

$$\therefore \Delta T_{C1} = t_{d_{int}} - t_{d_{ext}} + 4^{\circ}\text{F}(E - O) = (73.40 - 73.22)^{\circ}\text{F} + 4^{\circ}\text{F} = 4.18^{\circ}\text{F}$$

$$\Rightarrow Q_1 = (484.00 \text{ ft}^2) \left(.1014 \frac{\text{BTU}}{\text{hrft}^2^{\circ}\text{F}} \right) (4.18^{\circ}\text{F}) = 205.14 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

Q_2 = Calor cedido por la pared 2

$$\Rightarrow Q_2 = A_2 \times U_2 \times \Delta T_{C2}$$

- $A_2 = 430.34 \text{ ft}^2$
- $U_2 = .1014 \frac{\text{BTU}}{\text{hrft}^2^{\circ}\text{F}}$
- $\Delta T_{C2} = \Delta T_{N1} + 2^{\circ}\text{F}(N - S) \Rightarrow \Delta T_N = t_{d_{int}} - t_{d_{ext}}$

$$\therefore \Delta T_{C1} = t_{d_{int}} - t_{d_{ext}} + 2^{\circ}\text{F}(N - S) = (73.40 - 73.22)^{\circ}\text{F} + 2^{\circ}\text{F} = 2.18^{\circ}\text{F}$$

$$\Rightarrow Q_2 = (430.34 \text{ ft}^2) \left(.1014 \frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}} \right) (2.18^\circ\text{F}) = 95.13 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

$Q_3 =$ Calor cedido por la pared 3

$$Q_3 = Q_1 \Rightarrow Q_3 = 205.14 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

$Q_4 =$ Calor cedido por la pared 4

$$Q_4 = Q_2 \Rightarrow Q_4 = 95.13 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

$$\Rightarrow Q_{T1} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow Q_{T1} &= 205.14 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} + 95.13 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} + 205.14 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} + 95.13 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} = \\ &= 600.54 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} \end{aligned}$$

b) Calor cedido por pisos y techos = Q_{T2}

$$\Rightarrow Q_{T2} = Q_{\text{piso}} + Q_{\text{techo}}$$

Donde:

$$\Rightarrow Q_{\text{piso}} = A_{\text{piso}} \times U_{\text{piso}} \times \Delta T_N \Rightarrow \Delta T_N = t_{d_{\text{int}}} - t_{d_{\text{ext}}}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow Q_{\text{techo}} &= A_{\text{techo}} \times U_{\text{techo}} \times \Delta T_{\text{Ctecho}} \Rightarrow \\ &\Rightarrow \Delta T_{\text{Ctecho}} = \Delta T_N + 15^\circ\text{F} \\ &\Rightarrow \Delta T_N = t_{d_{\text{int}}} - t_{d_{\text{ext}}} \end{aligned}$$

$Q_1 =$ Calor cedido por el piso

$$\Rightarrow Q_{\text{piso}} = A_{\text{piso}} \times U_{\text{piso}} \times \Delta T_N$$

- $A_{\text{piso}} = 3227.52 \text{ ft}^2$
- $U_{\text{piso}} = .1429 \frac{\text{BTU}}{\text{hrft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}$
- $\Delta T_N = t_{d_{\text{int}}} - t_{d_{\text{ext}}}$

$$\therefore \Delta T_N = (73.40 - 73.22)^\circ\text{F} = 0.18^\circ\text{F}$$

$$\Rightarrow Q_{\text{piso}} = (3227.52 \text{ ft}^2) \left(.1429 \frac{\text{BTU}}{\text{hrft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}} \right) (0.18^\circ\text{F}) = 83.02 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

$Q_{\text{techo}} = \text{Calor cedido por el techo}$

$$\Rightarrow Q_{\text{techo}} = A_{\text{techo}} \times U_{\text{techo}} \times \Delta T_{\text{Ctecho}}$$

- $A_{\text{techo}} = 3313.59 \text{ ft}^2$
- $U_{\text{techo}} = .1014 \frac{\text{BTU}}{\text{hrft}^2\text{°F}}$
- $\Delta T_{\text{Ctecho}} = \Delta T_{\text{N}} + 15\text{°F} \Rightarrow \Delta T_{\text{N}} = t_{\text{d}_{\text{int}}} - t_{\text{d}_{\text{ext}}}$

$$\therefore \Delta T_{\text{C1}} = t_{\text{d}_{\text{int}}} - t_{\text{d}_{\text{ext}}} + 15\text{°F} = (73.40 - 73.22)\text{°F} + 15\text{°F} = 15.18\text{°F}$$

$$\Rightarrow Q_{\text{techo}} = (3313.59 \text{ ft}^2) \left(.1014 \frac{\text{BTU}}{\text{hrft}^2\text{°F}} \right) (15.18\text{°F}) = 5100.45 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

$$\Rightarrow Q_{\text{T2}} = Q_{\text{piso}} + Q_{\text{techo}} = 83.02 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} + 5100.45 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} = 5183.47 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

c) Calor cedido por personas = Q_{T3}

$$\Rightarrow Q_{\text{T3}} = (\text{Numero}_{\text{personas}}) (Q_{\text{disipado}} / \text{persona})$$

Donde:

$$\Rightarrow Q_{\text{disipado}} / \text{persona} = 1000 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} \text{ (tabla *)}$$

$$\Rightarrow \text{Numero}_{\text{personas}} = 8 \text{ persona}$$

$$\Rightarrow Q_{\text{T3}} = (8 \text{ persona}) \left(1000 \frac{\text{BTU}}{\text{hr persona}} \right) = 8000 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

d) Calor cedido por iluminación = Q_{T4}

$$\Rightarrow Q_{\text{T4}} = (\text{Numero}_{\text{watts}}) (\text{Numero}_{\text{lamparas}})$$

Donde:

$$\Rightarrow \text{Numero}_{\text{watts}}_{\text{lampara}} = 50 \frac{\text{watts}}{\text{lampara}}$$

$$\Rightarrow \text{Numero}_{\text{lamparas}} = 15 \text{ lampara}$$

$$\Rightarrow Q_{\text{T4}} = \left(50 \frac{\text{watts}}{\text{lampara}} \right) (15 \text{ lampara}) = 750 \text{ watts}$$

$$\therefore (750 \text{ watts}) \left(\frac{3.4164 \text{ BTU}}{1 \text{ watts hr}} \right) = 2562.30 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

e) Calor perdido por infiltración de aire = Q_{T5}

$$\Rightarrow Q_{T5} = 0 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

f) Calor generado por producto = Q_{T6}

$$\Rightarrow Q_{T6} = (W)(C_p)(\Delta T)$$

Donde:

$$\Rightarrow W = \text{Peso del cultivo} = (\text{Numero}_{\text{plantas}})(\text{Peso}_{\text{planta}})$$

$$\Rightarrow W = (476 \text{ planta}) \left(3 \frac{\text{kg}}{\text{planta}} \right) = 1428 \text{ kg}$$

$$\cdot 1428 \text{ kg} \left(\frac{2.205 \text{ lb}}{1 \text{ kg}} \right) = 3148.740 \text{ lb}$$

$$\Rightarrow C_p = \text{Calor específico}_{\text{planta}} = .95 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}^\circ\text{F}}$$

$$\Rightarrow \Delta T = \text{Diferencia de temperatura}(\text{invernadero} - \text{exterior}) = \\ = t_{\text{int}} - t_{\text{ext}} = 73.40^\circ\text{F} - 73.22^\circ\text{F} = 0.18^\circ\text{F}$$

$$\therefore Q_{T6} = (3148.74 \text{ lb}) \left(.95 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}^\circ\text{F}} \right) (0.18^\circ\text{F}) = 538.43 \frac{\text{BTU}}{\text{dia}}$$

$$\Rightarrow Q_{T6} = 538.43 \frac{\text{BTU}}{\text{dia}} \left(\frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ hr}} \right) = 22.43 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

g) $Q_T = \text{Calor Total} = Q_{T1} + Q_{T2} + Q_{T3} + Q_{T4} + Q_{T5} + Q_{T6}$

$$\Rightarrow Q_T = Q_{T1} + Q_{T2} + Q_{T3} + Q_{T4} + Q_{T5} + Q_{T6}$$

$$\rightarrow Q_{T1} = 600.54 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

$$\rightarrow Q_{T2} = 5183.47 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

$$\rightarrow Q_{T3} = 8000 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

$$\rightarrow Q_{T4} = 2562.30 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

$$\rightarrow Q_{T5} = 0 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

$$\rightarrow Q_{T6} = 22.43 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

$$\Rightarrow Q_T = 600.54 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} + 5183.47 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} + 8000 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} + 2562.30 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} + 0 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} + 22.43 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} = 16368.74 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

$$\Rightarrow Q_T = \frac{16368.74 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}}{12000 \frac{\text{BTU}}{\text{hr TON}}} = 1.36 \text{ TONCAL}$$

$$\Rightarrow Q_T = 1.36 \text{ TONCAL} + 10\% = 1.36 \text{ TONCAL} + .136 \text{ TONCAL} = 1.496 \text{ TONCAL}$$

Cálculos de flujo de aire en verano.

$$\rightarrow \text{Flujo de inyección} = f_i = \left[\frac{\text{ft}^3}{\text{min}} \right] \text{ ó } [\text{pcm}]$$

$$\rightarrow \text{Flujo de extracción} = f_e = \left[\frac{\text{ft}^3}{\text{min}} \right] \text{ ó } [\text{pcm}]$$

$$\Rightarrow \text{Flujo de aire} = f = wu$$

$$\rightarrow w = \text{Peso del aire que se hara circular} = \left[\frac{\text{lb}}{\text{hr}} \right]$$

$$\rightarrow v = \text{Volumen especifico del aire} = \left[\frac{\text{ft}^3}{\text{lb}} \right]$$

$$\Rightarrow w = \frac{Q_T}{C_p (td_{\text{int}} - td_{\text{ext}})} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow w = \frac{16368.74 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}}{(.24 \frac{\text{BTU}}{\text{lb} \text{ } ^\circ\text{F}}) (73.40 - 73.22) \text{ } ^\circ\text{F}} = 378906.02 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}$$

$$\rightarrow Q_T = \text{Carga termica total} = \left[\frac{\text{BTU}}{\text{hr}} \right] = 16368.74$$

$$\rightarrow C_p = \text{Calor especifico del aire} = \left[\frac{\text{BTU}}{\text{lb } ^\circ\text{F}} \right] = .24$$

$$\rightarrow td_{\text{int}} = \text{Temperatura de bulbo seco interior} = [\text{ } ^\circ\text{F}] = 73.40$$

$$\rightarrow td_{\text{ext}} = \text{Temperatura de bulbo seco exterior} = [\text{ } ^\circ\text{F}] = 73.22$$

$$f_i = wv_i \Rightarrow$$

$$\rightarrow w = 378906.02 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}$$

$$\rightarrow v_i = 13.65 \frac{\text{ft}^3}{\text{lb}} \text{ (tabla *)}$$

$$f_i = \left(378906.02 \frac{\text{lb}}{\text{hr}} \right) \left(13.65 \frac{\text{ft}^3}{\text{lb}} \right) = 5172067.17 \frac{\text{ft}^3}{\text{hr}}$$

$$\therefore f_i = \left(5172067.17 \frac{\text{ft}^3}{\text{hr}} \right) \left(\frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} \right) = 86201.12 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}}$$

$$f_e = wv_e \Rightarrow$$

$$\rightarrow w = 378906.02 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}$$

$$\rightarrow v_e = 13.55 \frac{\text{ft}^3}{\text{lb}} \text{ (tabla *)}$$

$$f_e = \left(378906.02 \frac{\text{lb}}{\text{hr}} \right) \left(13.55 \frac{\text{ft}^3}{\text{lb}} \right) = 5134176.57 \frac{\text{ft}^3}{\text{hr}}$$

$$\therefore f_e = \left(5134176.57 \frac{\text{ft}^3}{\text{hr}} \right) \left(\frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} \right) = 85569.61 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}}$$

Tabla 8.4.6.3. En esta tabla se muestran los resultados obtenidos para el verano.

NOMBRE DE LA FUENTE	FUENTE	CARGA
a) Calor cedido por paredes	a) Q_{T1}	$600.54 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$
b) Calor cedido por techo y piso	b) Q_{T2}	$5183.47 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$
c) Calor cedido por personas	c) Q_{T3}	$8000 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$
d) Calor cedido por iluminación	d) Q_{T4}	$2562.30 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$
e) Calor perdido por infiltración de aire	e) Q_{T5}	$0 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$
f) Calor generado por producto	f) Q_{T6}	$22.43 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$
g) Calor total	g) Q_T	1.496 TONCAL
Factor de calor sensible	Factor de calor sensible	.35
Flujo de aire de inyección	f_i	$86201.12 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}}$
Flujo de aire de extracción	f_e	$85569.61 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}}$
Cambios de aire por minuto	Cambios de aire	Un cambio cada 4.5 min

CAPITULO 5. SELECCIÓN DE EQUIPO.

5. Selección de equipo.

En este capítulo se mostrara los equipos seleccionados tanto de calefacción como de ventilación de acuerdo a los cálculos hechos.

5.1 Equipo de calefacción.

Máximo requerimiento de calor (invierno):

$$41282.47 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} + 10\% = 45410.717 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

Distribuidor: HydroEnviroment. Dirección: Av. Toltecas #41 Col. San Javier, Tlalnepantla, Estado de México.

Modelo: Calefactor de Diesel ZOBOHEATER ZB-K70 de 70,000 BTU.



FIGURA 13.5.1. Equipo de calefacción. Fuente: HydroEnvironment.

Tabla 9.5.1. Características del Equipo de Calefacción.

CARACTERÍSTICAS	
FUENTE DE ALIMENTACIÓN	110 v/60 Hz
POTENCIA DE SALIDA DE CALOR	20 Kw/70000 Btu
COMBUSTIBLE	Diesel/Keroseno
CAPACIDAD DEL TANQUE DE COMBUSTIBLE	19 litros
CONSUMO DE COMBUSTIBLE	2 l/hr
ÁREA DE CALEFACCIÓN	166m ²
TIPO DE ENCENDIDO	Encendido de chispa continua
TERMOSTATO	Si
TAMAÑO DEL EQUIPO	77 cm x 29cm x 39.5 cm
TIEMPO ÚTIL	10 – 15 años

Tabla 10.5.1. Características del Equipo de Calefacción.

CARACTERÍSTICAS	<ul style="list-style-type: none"> • Muy resistente con una camisa del calentamiento de chapa de acero galvanizado y carcasa de chapa de acero inoxidable que también está protegida contra el sobrecalentamiento. • Es robusto pero con un diseño compacto y ligero. • Combustión eficiente sin color y sin humos. • Cámara de combustión de acero inoxidable. • Apagado seguro en el combustible, llama, fallo del ventilador y sobrecalentamiento. • Fácil mantenimiento. • 100% de eficiencia de calor. • Protección contra el sobrecalentamiento.
-----------------	--

CANTIDAD DE EQUIPOS: 1.
 COSTO POR EQUIPO: \$9163.00 M.N.
 ENVIÓ: Gratis
 COSTO TOTAL: \$9163.00 M.N.

5.2 Equipo de ventilación.

Requerimientos para los cambios de aire: $12000 \frac{m^3}{hr}$ (7063 pcm).

Distribuidor: www.extractordeaire.com.mx
 Modelo: AGD-30.

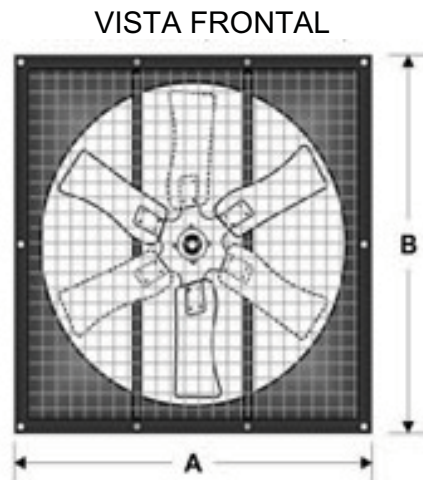


FIGURA 14.5.2. Equipo de ventilación vista frontal. Fuente: www.extractordeaire.com.mx.

VISTA LATERAL

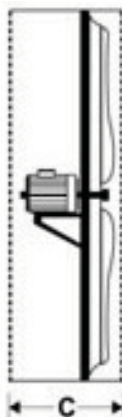


FIGURA 15.5.2. Equipo de ventilación vista lateral. Fuente: www.extractordeaire.com.mx.

Acoplamiento directo (AGD)

Tabla 11.5.2. Características del Equipo de Ventilación.

MODELO	PULGADAS		
	A	B	C
AGD-30	36	36	16
	CAUDAL ($\frac{m^3}{hr}$)	VELOCIDAD (RPM)	POTENCIA (Hp)
	13667	1075	1/2
	FUENTE DE ALIMENTACIÓN		
	110 v/60 Hz		
	TIEMPO ÚTIL		
	10 – 15 años		

Tabla 12.5.2. Características del Equipo de Ventilación.

CARACTERÍSTICAS	<ul style="list-style-type: none"> • Cuerpo y soporte del motor construido totalmente en acero galvanizado altamente resistente a la corrosión. • Hélice fabricada en lámina galvanizada de seis alabes en ángulo fijo dinámicamente balanceada, diseñada para alto flujo y mínimo nivel sonoro. • Accionado por acoplamiento directo con motores eléctricos totalmente cerrados para la protección contra el polvo y la humedad. • Protección de malla galvanizada en la succión y descarga.
-----------------	---

CANTIDAD DE EQUIPOS: 2.

COSTO POR EQUIPO: \$9840.00 M.N.

ENVIÓ: GRATIS

COSTO TOTAL: \$19680.00 M.N.

5.3 Criterio de selección.

Equipo de calefacción.

El equipo de calefacción se seleccionó de acuerdo al cálculo de carga térmica, se eligió un equipo 50% mayor ya que no había mucha diferencia en cuanto al costo pero si de acuerdo a las características siendo las más notables el termostato para el control de temperatura con encendido y apagado automático y la otra es que da la oportunidad a futuro para el crecimiento del cultivo y el invernadero en un 50%.

Equipo de ventilación.

El equipo de ventilación se seleccionó de acuerdo al cálculo de ventiladores siguiendo este procedimiento:

1. Cálculo del volumen del invernadero:

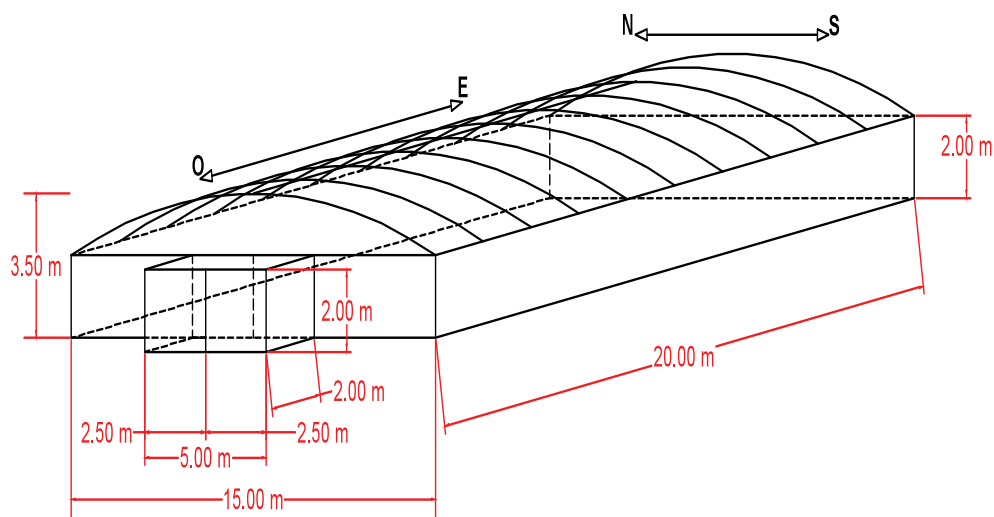


FIGURA 16.5.3. Volumen del invernadero.

- a) Se calcula la parte del prisma rectangular del invernadero correspondiente a la sección inferior:

$$20\text{m}=65.6\text{ft}, 2\text{m}=6.56\text{ft}, 15\text{m}=49.2\text{ft}$$

$$v = l \times a \times h = 65.6\text{ft} \times 6.56\text{ft} \times 49.2\text{ft} = 21172.53\text{ft}^3$$

- b) Se calcula el volumen correspondiente al túnel, correspondiente a la parte superior del invernadero:

$$\text{Área de la parte de la circunferencia} = 161.25\text{ft}^2; \text{ longitud} = 65.6\text{ft}$$

$$V = l \times A = 161.25\text{ft}^2 \times 65.6\text{ft} = 10578\text{ft}^3$$

- c) Sumamos ambos volúmenes y obtenemos el volumen total del invernadero:

$$V = 21172.53\text{ft}^3 + 10578\text{ft}^3 = 31750.53\text{ft}^3$$

2. Teniendo en cuenta cada cuantos minutos se necesita un cambio de aire se divide entre el volumen total del invernadero y se obtiene el caudal que se necesita en pcm para tener el cambio de aire cada 4.5 minutos; con este resultado se selecciona el ventilador para la extracción e inyección de aire más cercano a los pcm resultantes.

$$\text{Pcm} = V/\text{promedio de tiempo para el cambio de aire} = \\ = 31750.53 \text{ft}^3 / 4.5 = 7055.67 \text{ pcm}$$

Con este resultado se selecciono el ventilador y además fue seleccionado por su diseño específico para la industria agrícola protegida; observando que los materiales son de calidad necesaria para resistir las condiciones climáticas, además cuenta con una malla de protección de las aspas del ventilador para desperdicios sólidos de vegetación y fauna, ya que el invernadero se ubica en el campo por lo tanto está expuesto a estos, favoreciendo a el tiempo de vida del equipo.

5.4 Ubicación del equipo.

Equipo de calefacción.

Se propone que se coloque en el centro de la pared Este o en el centro del invernadero, pero como es un equipo movable se puede cambiar de lugar según sea necesario y/o sea conveniente; tomando en cuenta la salida del ventilador del equipo para no dañar ninguna planta.

Equipo de ventilación.

El equipo será instalado en el centro de la área cilíndrica de las paredes Este y Oeste del invernadero a 2.75 metros del suelo y en el centro del ancho del invernadero.

El equipo de inyección del aire se colocará en la pared Oeste en el lugar de entrada al invernadero y el equipo de extracción del aire será colocado en la pared Este en el lugar contrario a la entrada del invernadero.

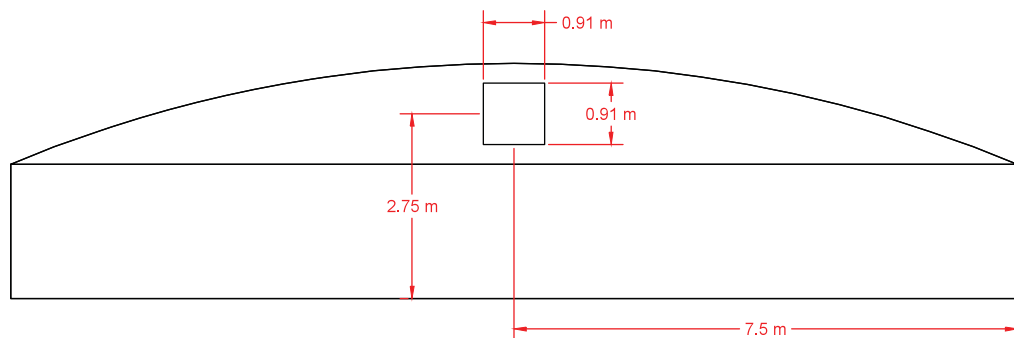


FIGURA 17.5.4. Ubicación del equipo de ventilación.

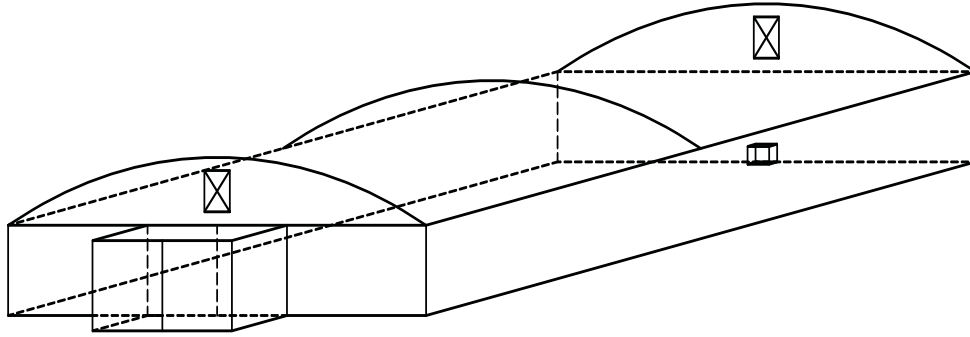


FIGURA 18.5.4. Ubicación del equipo de calefacción.

CAPITULO 6. COSTOS.

6. Costos.

Instalación, operación y mantenimiento.

Equipo de calefacción.

Tabla 13.6. Costos de Equipo de Calefacción.

INSTALACIÓN	<ul style="list-style-type: none">• Equipo: \$9163.00 M.N.• Al ser un equipo movible y de tamaño pequeño se reducen los costos de instalación al colocar un contacto eléctrico con un regulador de corriente para evitar variaciones eléctricas: \$400 M.N.• COMO TOTAL: \$10000.00 M.N.
OPERACIÓN	<ul style="list-style-type: none">• La operación es de 2l/hr por lo tanto se gastaría un promedio de \$275.00 M.N. por día trabajando un promedio de 10 horas. (precio diesel \$13.77.00 M.N.)
MANTENIMIENTO	<ul style="list-style-type: none">• Se hará un lavado de tanque de combustible cada 6 meses con un costo promedio de \$100.00 M.N.• Cambio de bujía y fusible cada 1 año según trabajo y condiciones de las refacciones con un costo de \$200.00 M.N.

Equipo de ventilación.

Tabla 14.6. Costos de Equipo de Ventilación

INSTALACIÓN	<ul style="list-style-type: none">• Equipo: 2 ventiladores \$19680.00 M.N.• 1 técnico (\$300.00 M.N), 2 trabajadores (\$200.00 por trabajador); por dos días: \$1000.00 M.N.
OPERACIÓN	<ul style="list-style-type: none">• Tarifa fija de \$400.00 M.N.
MANTENIMIENTO	<ul style="list-style-type: none">• Se hará una limpieza superficial del equipo cada 6 meses con un costo de \$200.00 M.N.

CAPITULO 7. MATRIZ FODA.

7. Matriz FODA.

En este capítulo se analizarán las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas del proyecto por medio de una matriz FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) con el fin de poder observar las áreas en que se puede tener oportunidad de desarrollo y en cuales se tendrá cuidado.

Tabla 15.7. Matriz FODA.

<p>FORTALEZAS</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Garantizar el cultivo todo el año independientemente de las condiciones climáticas del lugar. • Optimizar el crecimiento de las plantas aportando las condiciones climáticas necesarias y controladas. • Fomentar la absorción de nutrientes y luz condicionando el clima. • Reducir el tiempo de crecimiento y maduración en aproximadamente un 50%. • Asegurar la calidad de producto en cuanto a limpieza, tamaño y forma.
<p>OPORTUNIDADES</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Hacer crecer el invernadero en un 50%. • Aumentar la producción en un 50% en el mismo espacio y con el mismo equipo implementando un sistema de cultivo hidropónico. • Reducir el consumo eléctrico utilizando un sistema de ahorro de energía por celdas solares. • Mejorar el equipo de calefacción por medio de mangas térmicas ayudando a la distribución de calor. • Lugar para la construcción de una cisterna de almacenamiento para garantizar el abasto de agua. • Espacio para la construcción de una cámara de almacenamiento. • De acuerdo al espacio con el que se cuenta y la cercanía con la ciudad se puede acondicionar el lugar para transformarlo en un invernadero de investigación.
<p>DEBILIDADES</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Poco espacio plano para la construcción de más invernaderos. • Difícil acceso de transportes pesados. • Falta de espacio de almacenamiento. • No se garantiza el abastecimiento de agua por falta de cisternas. • El lugar de venta del producto se encuentra retirado. • Alta inversión inicial.

AMENAZAS	<ul style="list-style-type: none">• Falta de abastecimiento de agua.• Derrumbes.• Falta de espacio para garantizar mayor producción en caso de ser requerida.• No mantener el costo a causa de la poca producción.• Reducir el mercado de mayoreo a menudeo para abastecimiento local.
----------	--

CAPITULO 8. CONCLUSIONES.

8. Conclusiones.

- Al analizar los costos y recursos con los que se cuenta para la realización del proyecto concluimos que se podrá generar la producción necesaria para el abasto local como tiendas pequeñas o mercados, así mismo se podría destinar para el uso en programas de gobierno como ayuda a la comunidad cercana, realizar ventas a clientes que cuenten con transporte semipesado y que puedan acercarse al lugar.
- También se puede asegurar por el momento la producción de 1428 kg cada 2 meses durante todo el año, aumentándola a mediano plazo un 50% con el mismo equipo de climatización pero agrandando la estructura.
- Otro punto que se puede alcanzar es que se reducirán los riesgos de pérdida de producto por mal clima, garantizando la misma producción en temporada que no sea de jitomate.
- Se generarán empleos fijos para 3 personas y empleos temporales para 10 personas durante el periodo de cosecha y siembra.
- Este proyecto debido a su pequeña escala y su relativo bajo costo se puede implementar para propiciar programas para emprendedores ayudados por el gobierno y a su vez generando empleos.
- Estos invernaderos se pueden implementar en más zonas que cuenten con espacios pequeños, ubicando estos espacios cerca de las ciudades o aún dentro de las mismas ciudades de la República Mexicana reduciendo los gastos por transporte a los consumidores finales y por no depender de los diferentes climas.
- En caso que se implementen estos proyectos en más lugares se podrán agrupar por zonas y uniendo su producción formar sociedades más grandes que puedan alcanzar producciones a gran escala y poder exportar producto; además que se ayudaría a la reducción de deforestación a causa de establecer tierras de cultivo, asegurando mejor calidad de producto para los consumidores finales.
- Este proyecto es tan viable debido a sus dimensiones y capacidad de producción que se puede hacer incluso en hogares mexicanos alcanzando su propio abasto.
- Esta climatización es tan eficaz y eficiente que no sólo se puede aplicar al cultivo de jitomate sino a la mayoría de las hortalizas que forman la canasta básica de los mexicanos fomentando e introduciendo más vegetales a las dietas de las familias mexicanas.
- Al ser un proyecto de fácil administración se pueden capacitar personas para hacerlo después de su instalación.

CAPITULO 9. BIBLIOGRAFÍA.

9. Bibliografía.

- R.H. Jennings y S.R. Lewis; Aire Acondicionado y Refrigeración; Editorial CECSA.
- Roy J. Dossat; Principios de Refrigeración; Editorial CECSA; 6º Edición.
- José A. Manrique; Energía Solar. Fundamentos y Aplicaciones Fototermicas; Editorial Harla-Harper y Row Latinoamérica.
- Ángel L. Miranda; Fundamentos de Climatización. Psicrometría, Evaporación y Condensación; Editorial Marcombo.
- Carta Psicrométrica Carrier.
- www.smn.cna.gob.mx
- www.sagarpa.gob.mx
- www.entrepreneur.com
- www.amhpac.org
- www.infroagro.com
- www.hydroenv.com.mx
- www.fao.org
- www.hortalizas.com
- www.extractordeaire.com.mx
- www.ergosum.uaemex/pdfs/15_duran
- www.fisicaideued.blogspot.com
- www.segundogradociencias.blogspot.com