

**DISEÑO E INGENIERÍA DE DETALLE DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN
PARA EL ACONDICIONAMIENTO DEL CUARTO DE MOLDEO EN LA
ELABORACIÓN DE PANELA PARA EL INGENIO MIELES SA.**

BRAYAN ANDRÉS MARÍN FAJARDO.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2019

**DISEÑO E INGENIERÍA DE DETALLE DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN
PARA EL ACONDICIONAMIENTO DEL CUARTO DE MOLDEO EN LA
ELABORACIÓN DE PANELA EN EL INGENIO MIELES SA.**

BRAYAN ANDRÉS MARÍN FAJARDO.

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Mecánico

**Director:
NÉSTOR RAÚL DCROZ TORRES
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2019

DEDICATORIA

*En primer lugar, dedico este gran logro a **Dios** padre todopoderoso, por guiarme y darme la fortaleza para superar los obstáculos que se me presentaron durante mi carrera, aprender de ellos y poder crecer profesional y personalmente.*

*A mi Madre **Nancy Orfilia Fajardo Marín**, quien siempre estuvo presente durante este gran reto, por siempre brindarme apoyo, motivación y por ser mi más grande inspiración, le dedico este gran triunfo.*

*A mi **esposa y a mi hijo**, fuente de amor y apoyo durante todo el transcurso de mi carrera, por su paciencia, por su comprensión, por esas largas esperas en casa cuando tenía que estudiar o trabajar.*

*A mis **abuelos** por apoyo, por su motivación, porque siempre han sido un gran ejemplo, porque día tras día me alentaban para alcanzar este gran sueño.*

*A **padre**, por permitirme soñar con ser ingeniero. Por guiarme, por enseñarme este camino, por enseñarme a esforzarme día a día y que las cosas no llegaran solas, que hay siempre que trabajar arduamente por ellas.*

*A mi **Hermano** Pipe por su apoyo, por toda la colaboración que me brindó durante mi carrera.*

*Al profesor **Nestor Raul Dcroz** por su tiempo, por el constante acompañamiento durante el desarrollo de este proyecto.*

*Al ingeniero **Oscar Javier Castañeda** por su colaboración en cada visita realizada al ingenio Miele SA, y por darme la confianza suficiente para entregarme este proyecto y culminarlo con éxito.*

*Al **CIMPA** por la colaboración brindada y el acompañamiento en cada visita que realice a su centro de investigación en Barbosa, Santander.*

Y a cada una de las personas que me acompañaron en estos años, amigos, profesores, colegas....

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.	19
2. OBJETIVOS.....	20
2.1 OBJETIVO GENERAL	20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
3. ACERCA DEL INGENIO MIELES S.A.	21
3.1 MISIÓN	21
3.2 VISIÓN.....	22
3.3 OBJETO SOCIAL	22
3.4 DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA DEL INGENIO.	22
3.5 CONDICIONES CLIMÁTICAS DEL INGENIO.	23
3.6 REGISTRO DE TEMPERATURAS SAN JOSÉ DE PARE 2017.....	23
4. MARCO DE REFERENCIA.....	25
4.1 ACERCA DE LA CAÑA DE AZÚCAR.	25
4.2 IMPORTANCIA SOCIOECONÓMICA DEL CULTIVO DE LA PANELA.....	26
4.3 PROCESAMIENTO DE LA CAÑA DE AZÚCAR PARA LA OBTENCIÓN DE PANELA.....	28
4.3.1 Extracción de la materia prima.....	29
4.3.1.1 Corte.	29
4.3.1.2 Alce y transporte de la caña de azúcar.	29
4.3.1.3 Pesaje de la caña.	30
4.3.1.4 Apronte de la caña.	30
4.3.2 Obtención de miel para la panela.	31
4.3.2.1 Extracción de jugos.....	31
4.3.2.2 Limpieza de los jugos.....	32
4.3.2.3 Pre-limpieza.	33

4.3.2.4 Clarificación.	33
4.3.2.5 Medición del pH de los jugos.	34
4.3.3 Evaporación.	35
4.3.4 Batido.	35
4.3.5 Moldeo.	36
4.3.6 Mapa del proceso.	38
4.4 FUENTES DE CARGA DE HUMEDAD.	39
4.4.1 Permeabilidad.	39
4.4.2 Evaporación de personas y respiración.	41
4.4.3 Productos.	43
4.4.4 Combustión.	44
4.4.5 Evaporación por superficies húmedas o tanques abiertos.	45
4.4.6 Aire infiltrado.	46
4.4.7 Infiltración de aire cuando se abren las puertas.	47
5. DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES ÓPTIMAS DE LA PANELA.	49
5.1 MODELO MATEMÁTICO MEDIANTE MÍNIMOS CUADRADOS.	51
5.1.1 Regresión lineal simple.	52
5.2 TÉCNICAS DE LINEALIZACIÓN.	54
5.2.1 Caso logarítmico.	54
5.2.2 Caso semilogarítmico.	55
5.3 DETERMINACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO PARA LOS DATOS OBTENIDOS.	56
5.4 DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES OPTIMAS DE LA PANELA.	61
6. ESTUDIO DEL CLIMA DEL CUARTO DE MOLDEO EN EL INGENIO MIELES SA.	62
6.1 ACERCA DEL EQUIPO.	62
6.2 REGISTRO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD EN EL CUARTO.	63
6.3 GRAFICA DE MAXIMOS DE HUMEDAD EN CADA DIA.	64
7. CÁLCULO DE CARGAS DE HUMEDAD.	65
7.1 DESCRIPCIÓN DEL CUARTO DE MOLDEO.	65

7.2 CONDICIONES DE DISEÑO.....	66
7.3 CARGA POR PERMEABILIDAD.	68
7.3.1 Pared 1.	68
7.3.1.1 Calculo permeabilidad a través de la construcción RBS.....	68
7.3.1.2 Calculo permeabilidad a través de las ventanas en la pared 1.	70
7.3.1.3 Calculo de permeabilidad a través de puertas en la pared 1.	70
7.3.2 Pared 2.	71
7.3.2.1 Calculo de permeabilidad a través de la construcción RBS para la pared 2.....	71
7.3.2.2 Calculo permeabilidad a través de las ventanas en la pared 2.	72
7.3.2.3 Calculo de permeabilidad a través de puertas en la pared 2.	72
7.3.3 Pared 3.	72
7.3.3.1 Calculo de permeabilidad a través de la construcción RBS.....	73
7.3.3.2 Calculo de permeabilidad a través de ventanas.	74
7.3.3.3 Calculo de permeabilidad a través de muro de ladrillo.....	74
7.3.4 Pared 4.	75
7.3.4.1 Calculo de permeabilidad a través de muro de ladrillo.....	75
7.4 CARGAS POR PERSONAS.	78
7.5 CARGA POR PRODUCTO.....	79
7.3 CARGAS POR APERTURA DE PUERTAS.....	81
7.4 CARGA POR FUENTES DE HUMEDAD EN CUARTO DE MOLDEO DEL INGENIO PANELERO MIELES S.A.	82
8. DISEÑO DEL SISTEMA DE DESHUMIDIFICACIÓN.	84
8.1 SELECCIÓN DEL EQUIPO DESHUMIDIFICANTE.....	84
8.1.1 Deshumidificadores desecantes MX2.....	84
8.2 SELECCIÓN DE LOS VENTILADORES EXTRACTORES.....	86
8.3. ANÁLISIS TERMODINÁMICO DEL SISTEMA.....	85
8.4 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DEL AIRE.	929
8.5 CÁLCULO DE DIÁMETRO DE TUBERÍA.....	90
8.6 SELECCIÓN DE LOS DIFUSORES.	91

8.7 CÁLCULO DE PERDIDAS DE PRESIÓN EN EL SISTEMA.....	98
8.8 SOPORTES DE LOS DUCTOS.....	103
9. SIMULACIÓN COMPUTACIONAL MEDIANTE EL FLOW SIMULATION ANALYSIS.	105
9.1 ACERCA DEL SOFTWARE.....	105
9.2 DESCRIPCIÓN DE LA INTERFAZ DEL PROGRAMA.	106
9.3 RESULTADOS DE LA SIMULACION.	109
10. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA CERCHA.....	112
10.1 CALCULO DE LA CARGA DEBIDO AL PESO DEL DUCTO.	112
10.2 ANÁLISIS DE LA CERCHA.	114
11. CONCLUSIONES.	116
BIBLIOGRAFIA.....	118
ANEXOS.....	120

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Planta industrial del ingenio Mieles S.A	19
Figura 2. Zona de extracción de jugos	21
Figura 3. Ubicación del ingenio Mieles S.A.....	23
Figura 4. Aplicaciones industriales de la caña de azúcar.	27
Figura 5. Indicadores de sacarosa en la caña de azúcar.....	29
Figura 6. Zona frontal de descarga ingenio mieles SA.	30
Figura 7. Zona de báscula ingenio Mieles SA.....	30
Figura 8. Zona trasera de descarga ingenio Mieles SA.	31
Figura 9. Zona de molinos ingenio Mieles SA.....	32
Figura 10. Proceso de limpieza de jugo de caña.	32
Figura 11. Tanques de prelimpieza.....	33
Figura 12. Medidor electrónico de PH utilizado en el ingenio Mieles SA.	34
Figura 13. Taches de punteo en los cuales ocurre el proceso de evaporación.	35
Figura 14. Descarga de miel a tanque de depósito.....	36
Figura 15. Cuarto de moldeo del ingenio Mieles SA.	36
Figura 16. Mapa del proceso de producción de panela en el ingenio Mieles SA. ..	38
Figura 17. Permeabilidad como Fuente de carga de humedad.	39
Figura 18. Evaporación de personas y respiración como carga de humedad.	41
Figura 19. Factor de evaporación para personas en diferentes actividades.....	43
Figura 20. Combustion como fuente de carga de humedad.	44
Figura 21. Evaporación como fuente de carga de humedad.	45
Figura 22. Centro de investigación del CIMPA-CORPOICA, ubicado en la ciudad de Barbosa, Santander.	49
Figura 23. Horno y cámara climática para el control de humedad y temperatura en los ensayos con las muestras de panela en el CIMPA.	50

Figura 24. Programación linealización de función en matlab	56
Figura 25. Ecuación lineal de la forma $y=m \cdot x+b$	57
Figura 26. Ecuación semi logarítmica de la forma $x=a \cdot n^y$	57
Figura 27. Ecuación semi logarítmica de la forma $y=a \cdot n^x$	58
Figura 28. $y=a \cdot x^m$	58
Figura 29. Isotermas de humedad de equilibrio para la panela a diferentes humedades relativas.	61
Figura 30. Equipo Fluke 971 Temperature and Humidity Meter	62
Figura 31. Puntos de geométricos de medición en el cuarto del moldeo.	63
Figura 32. Grafica de máximos de humedad en cada día.	64
Figura 33. Sistema constructivo integral RBS.	65
Figura 34. Proceso psicométrico en el proceso.	67
Figura 35. Pared Sistema constructivo RBS	68
Figura 36. Propiedades físicas pared 1.	69
Figura 37. Esquema constructivo pared 1.	70
Figura 38. Propiedades físicas pared 2.	71
Figura 39. Esquemmatización pared 3	73
Figura 40. Propiedades físicas pared 3.	73
Figura 41. Esquema constructivo pared 3.	74
Figura 42. Propiedades físicas del muro de ladrillo en la pared 3.	75
Figura 43. Propiedades físicas pared 4.	76
Figura 44.	78
Figura 45. Carga de humedad debido al proceso de elaboración de panela.	79
Figura 46. Cantidad de humedad agregada al cuarto por molienda.	80
Figura 47. Vista frontal cuarto de moldeo del ingenio Miele SA.	81
Figura 48. Deshumidificador desecante MX2 60	85
Figura 49. Curva característica del extractor HCBT/04-355H	86
Figura 50. Ubicación de los extractores en la pared 3 del cuarto.	87
Figura 51. Esquema sistema de distribución de aire.	93
Figura 52. Difusores Koolair de descarga vertical.	95

Figura 53. Cálculo de pérdida unitaria para el sistema.	96
Figura 54. Cálculo de velocidades en los tramos del ducto.	96
Figura 55. Ducto principal del sistema de deshumidificación.....	97
Figura 56. Sistema de distribución de aire en el cuarto de moldeo.....	98
Figura 57. Soporte mediante guayas de acero para los ductos.	103
Figura 58. Vista lateral de los soportes de los ductos.....	103
Figura 59. Guaya de acero 7-FLEX 2.	104
Figura 60. Análisis computacional en Flow Simulation.	105
Figura 61. Asignación de condiciones iniciales del sistema.....	106
Figura 62. Mallado del Sistema.....	107
Figura 63. Definición de las entradas de aire en el sistema.....	107
Figura 64. Definición de las salidas de aire del sistema.	108
Figura 65. Definición de dominio del sistema.	108
Figura 66. Condiciones iniciales del sistema.	109
Figura 67. Condiciones del cuarto a $t=89s$	109
Figura 68. Condiciones del cuarto a $t=189s$	110
Figura 69. Condiciones del cuarto a $t=289s$	110
Figura 70. Condiciones del cuarto a $t=589s$	111
Figura 71. Cercha del cuarto de moldeo.....	112
Figura 72. Propiedades físicas de los ductos.	113
Figura 73. CAD cercha del cuarto de moldeo.	114
Figura 74. Análisis de cargas en viga de soporte.	115

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Máximos y mínimos de temperatura cada mes del 2017 en San José de Pare.	24
Tabla 2. Origen de diversos tipos de caña de azúcar.	25
Tabla 3. Ubicación geográfica de diferentes tipos de caña de azúcar en el país. .	26
Tabla 4. Mayores productores de panela en el mundo.	28
Tabla 5. Clarificantes vegetales utilizados para la limpieza de los jugos.	34
Tabla 6. Cálculo del factor de permeabilidad en diversos materiales.	40
Tabla 7. Humedad de equilibrio a diferentes temperaturas y humedades relativas.	51
Tabla 8. Datos de muestreo para regresión lineal.	59
Tabla 9. Datos técnicos equipo Fluke 971	63
Tabla 10. Condiciones atmosféricas para San José de Pare.	66
Tabla 11. Condiciones del aire en el cuarto de moldeo.	66
Tabla 12. Condiciones óptimas de la panela.	66
Tabla 13. Carga de permeabilidad en el cuarto de moldeo.	77
Tabla 14. Carga por personal en el cuarto de moldeo.	78
Tabla 15. Carga debido a productos en el cuarto de moldeo.	80
Tabla 16. Frecuencia de apertura de puerta de acceso del personal.	81
Tabla 17. Carga debido apertura de puertas en el cuarto de moldeo.	82
Tabla 18. Carga total de humedad en el cuarto de moldeo.	83
Tabla 19. Características volumétricas de los deshumidificadores Munters.	85
Tabla 20. Velocidad máxima permitida para sistemas de ventilación.	94
Tabla 21. Selección de difusor según criterio de diseño.	95
Tabla 22. Diseño de diámetro del ducto principal.	97
Tabla 23. Caída de presión en el difusor.	99

Tabla 24. Factor de fricción para diferentes accesorios.....	100
Tabla 25. Características volumétricas de los deshumidificadores Munters	102
Tabla 26. Resistencia cable de acero inoxidable para el soporte de tubería.	104
Tabla 27. Peso por metro cuadrado en lamina de acero inoxidable.	113

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Registro de mínimas y máximas temperaturas en San José de Pare, Boyacá.....	120
Anexo B. Registro de temperaturas y humedad para en cuarto de moldeo en el ingenio Mieleles SA, en 9 diferentes puntos.	126
Anexo C. Conceptos Básicos de Psicrometría.	131
Anexo D. Métodos de deshumidificación.	141

RESUMEN

TITULO: DISEÑO E INGENIERÍA DE DETALLE DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA EL ACONDICIONAMIENTO DEL CUARTO DE MOLDEO EN LA ELABORACIÓN DE PANELA PARA EL INGENIO MIELES SA*

AUTOR: BRAYAN ANDRES MARIN FAJARDO**

PALABRAS CLAVE: Ventilación, panela, humedad, deshumidificación.

DESCRIPCIÓN:

El presente proyecto tiene como objetivo diseñar un sistema de ventilación para acondicionar el cuarto de moldeo de panela en el ingenio Mieleles SA, debido a que se requiere de una atmosfera en óptimas condiciones, a cualquier hora del día, para producir panela en las mejores condiciones, este diseño se realizará teniendo en cuenta investigaciones previas acerca de las condiciones óptimas en las cuales se debe llevar a cabo el proceso de moldeo de la panela y un estudio que se llevará a cabo en el cuarto de moldeo del ingenio donde se evaluarán las condiciones de humedad y temperatura dentro de este para posteriormente compararlo con las condiciones óptimas de temperatura y humedad de la panela. Se realizará el respectivo diseño de un sistema optimo que garantice la mejor atmosfera en este cuarto, seleccionándose equipos, ductos, sistemas de anclaje, soporte y uniones a detalle. Una vez diseñado el sistema se procederá a realizar una simulación en termia en el software computacional Solidworks flow simulation, simulación que permitirá observar el comportamiento del aire dentro del cuarto. Además se realizará una simulación mecánica de los soportes de los ductos, para determinar la resistencia de la cercha que soportará los ductos. Para concluir se realizará la entrega del documento al departamento de ingeniería del ingenio Mieleles SA, para su posterior proceso constructivo

* Trabajo de grado

** Facultad de ingeniería Físicomecánicas. Escuela de ingeniería mecánica. Director. Nestor Raul Dcroz

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND DETAILED ENGINEERING OF A VENTILATION SYSTEM FOR THE CONDITIONING OF THE MOLDING ROOM IN THE ELABORATION OF PANELA FOR THE INGENIO MIELES SA*

AUTHOR: BRAYAN ANDRES MARIN FAJARDO**

KEY WORDS: Ventilation, panela, humidity, dehumidification.

DESCRIPTION:

The objective of this project is the ventilation system for the panela molding room at Miele SA, because it requires an atmosphere in optimum conditions, at any time of the day, to produce panela in the best conditions in this case you have to see in the account previous investigations of the optimal conditions in which a process of molding the panela must be carried out and a study that is due to a corporal in the mill molding room where the conditions are evaluated of humidity and temperature within this same time comparatively with the optimal conditions of temperature and humidity of panela. The optimal system design is respected to guarantee the best environment in this room, selecting equipment, ducts, anchoring systems, support and union in detail. Once the system was designed, a simulation was performed in time in the computer software. SolidWorks flow simulation, simulation that allows observing the behavior of the air inside the room. In addition, a mechanical simulation of the supports of the ducts is carried out to determine the resistance of the certainty that will support the ducts. For its subsequent construction process.

* Degree work

** Faculty of Engineering Physical-mechanics. School of mechanical engineering. Director. Nestor Raul Dcroz.

INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad el hombre ha intentado adaptar el entorno a su comodidad tanto para conservar sus alimentos como para mejorar sus condiciones de confort, es el caso de las pirámides de Egipto en las cuales se ha evidenciado el poderío de esta civilización en diseños de túneles y ventanas dentro de sus piramidales como mecanismo de ventilación. En la actualidad hay múltiples sistemas de acondicionamiento que van desde la convección natural hasta robustos sistemas de aire acondicionado y ventilación, (HVAC) que permiten controlar con bastante precisión condiciones de confort y conservación de alimentos en óptimas condiciones.

La empresa *Mieles SA* es un clúster agroindustrial y biotecnológico cuyo principal objetivo es la producción de panela con valor agregado, con los más altos índices de calidad, es por eso que requiere de un cuarto con las mejores condiciones de aire para el moldeo de sus panelas, condiciones que deberán estar dentro de los rangos admisibles.

1. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.

La panela es un alimento con altos contenidos de glucosa, fructosa, minerales tales como el hierro y el fósforo y vitaminas como A, B, C y E ¹. La hoya del río Suárez conformada por 13 municipios, de estos 5 pertenecen al departamento de Boyacá: Chitaraque, Moniquirá, Togui, San José de Pare y Santana y los demás municipios restantes pertenecen al departamento de Santander: Barbosa, Chipatá, Guavatá, Güepsa, Puente Nacional, San Benito, Suaita y Vélez, se ha destacado por ser un sector de gran importancia para la industria panelera en el país ². Día a día el esfuerzo de las empresas productoras de panela con valor agregado crece con el fin de obtener panela con los mejores índices de calidad y al mejor precio posible al público. Por tal razón la empresa Mieleles SA, requiere de un sistema que permita el acondicionamiento del cuarto de moldeo, cuarto en el cual se solidifica la panela en forma líquida hasta conseguir su forma final, bajo las mejores condiciones de limpieza y humedad.

Figura 1. Planta industrial del ingenio Mieleles S.A



¹ CASSALETT, D. Clímaco. et. alli. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. CENICAÑA. Valle del Cauca, Colombia. 1995. p. 112.

² MANRIQUE E., R. et al. Avances de resultados de las actividades ejecutadas en 1992 por el programa caña panelera. ICA – CIMPA. Barbosa. p. 1991 – 154

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Contribuir a la Universidad Industrial de Santander en el desarrollo de su misión, en la formación de ingenieros de alta calidad con divulgación y desarrollo del conocimiento y en la participación activa liderando procesos de cambio por el progreso y desarrollo en la región, mediante el diseño a detalle de un sistema para el adecuamiento del cuarto de moldeo para el ingenio panelero Miele SA.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Realizar un estudio al microclima del cuarto de moldeo con el fin de comparar estos resultados con las condiciones óptimas de temperatura y humedad en la elaboración de panela y justificar así el adecuamiento del cuarto.
- Diseñar a detalle un sistema de ventilación para un cuarto de moldeo de 3.500 m^3 , para satisfacer las condiciones óptimas en la elaboración de panela con valor agregado.
- Diseñar mediante el uso de herramientas computacionales (CAD-CAE), tales como Solidworks y/o Ansys, los soportes de los equipos para el acondicionamiento del cuarto y las tuberías necesarias, así como la generación de sus respectivos planos.
- Realizar una simulación computacional del comportamiento del aire en el cuarto de moldeo mediante el uso de herramientas computacionales (CAD-CAE), tales como Solidworks y/o Ansys, así como la generación de sus respectivos análisis.

3. ACERCA DEL INGENIO MIELES S.A.

MIELES S.A. es un proyecto agroindustrial que vincula 1.500 hectáreas de caña y asocia a 150 cañicultores para producir panela con Valor agregado, alcohol, energía eléctrica y mejoradores de suelo. Se garantiza sustitución de fábrica y se subsidia el proceso; será una molienda óptima de menor costo, más producción de panela y más eficiente energética y ambientalmente.

Figura 2. Zona de extracción de jugos



3.1 MISIÓN

La empresa Miele S.A, es una industria en la hoya del rio Suarez pionera en la prestación del servicio de maquila para la fabricación de panela y alcohol potable a partir de la caña de azúcar con altos estándares de calidad y bajo un modelo de inclusión social y desarrollo humano.

3.2 VISIÓN

Mieles S.A para el 2021 será reconocida por ser precursora de la excelencia en los diferentes procesos industriales llevados a cabo al interior de la compañía, así como por la contribución al fomento de cultura de formalización del trabajo en la hoya del río Suarez.

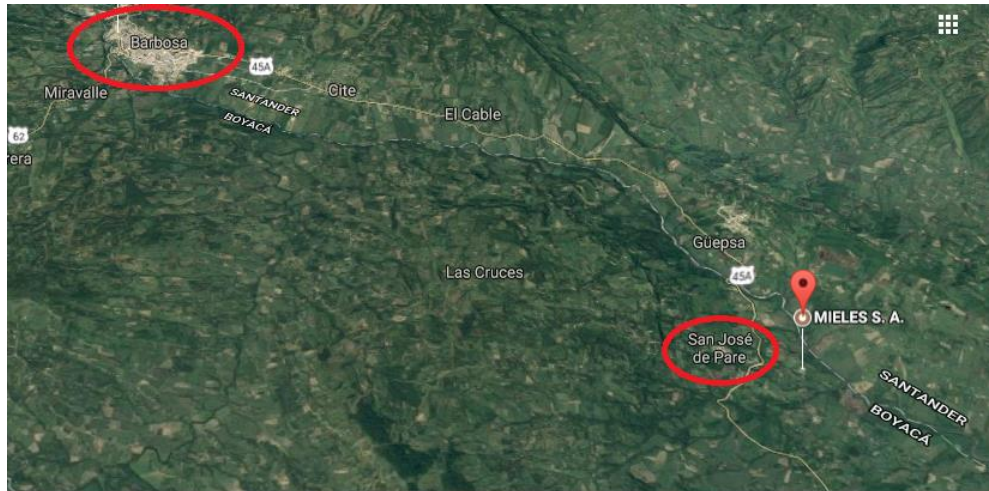
3.3 OBJETO SOCIAL

Prestación de servicios de maquila para la fabricación de panela y alcohol potable, cogeneración de energía y obtención de energía a partir de la revalorización de residuos orgánicos.

3.4 DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA DEL INGENIO.

El ingenio mieles S. A, se encuentra ubicado en el municipio de San José de Pare el cual es uno de los principales municipios paneleros de Boyacá. Se encuentra ubicado al norte del departamento, en el límite con Santander. Quienes visitan este bello municipio piensan que es parte de provincia de Vélez por su cercanía y tal vez por su clima cálido que permite el cultivo de caña de azúcar y la producción de panela.

Figura 3. Ubicación del ingenio Mieleles S.A.



Fuente: Google Maps 2017. Disponible en <https://www.google.com/maps>.

3.5 CONDICIONES CLIMÁTICAS DEL INGENIO.

San José de Pare cuenta con dos tiempos diferentes de clima, que permiten una gran variedad de cultivos:

Meses de invierno: Este clima se da en dos periodos distintos durante el año, el primero de marzo a mayo y el segundo de septiembre a noviembre,

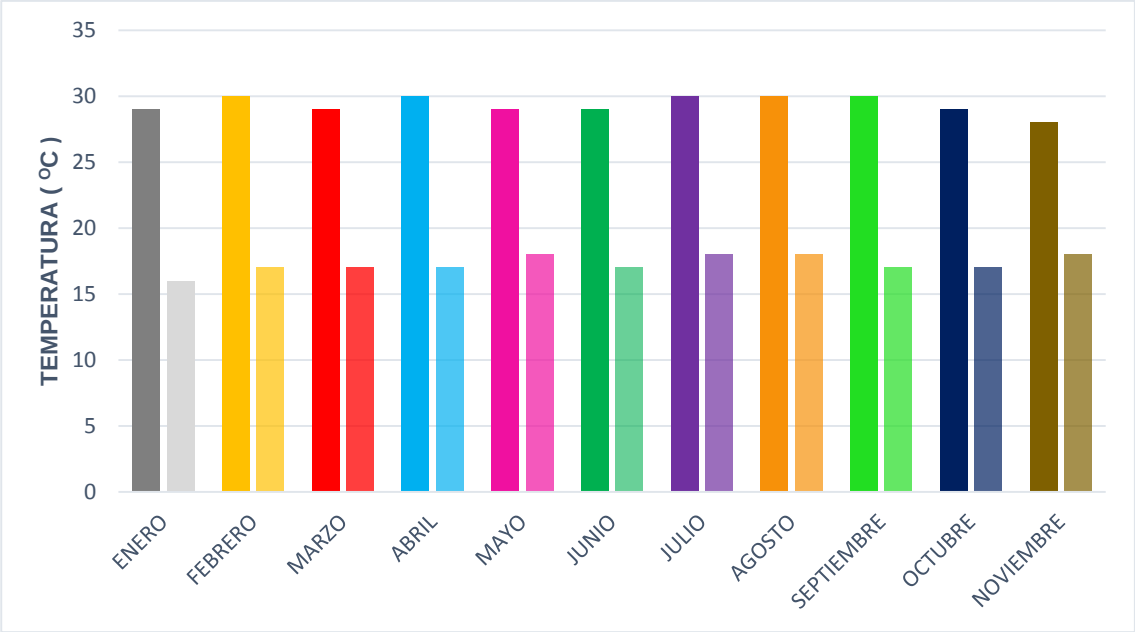
Meses de verano: Esta época del año corresponde a los meses de junio a agosto y de diciembre a febrero, con una temperatura promedio de 20°C.

3.6 REGISTRO DE TEMPERATURAS SAN JOSÉ DE PARE 2017.

Se utilizó la base de datos del software Acuaweather Website de datos meteorológica para analizar el clima del municipio de San José de Pare durante el

año 2017 ³ , esta base de datos se puede observar en el Anexo 1. Los resultados encontrados fueron los siguientes:

Tabla 1. Máximos y mínimos de temperatura cada mes del 2017 en San José de Pare.



³ Ver anexo A.

4. MARCO DE REFERENCIA.

4.1 ACERCA DE LA CAÑA DE AZÚCAR.

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), de la cual se obtiene la panela, es una planta monocotiledónea la cual pertenece a la familia de las gramíneas. Esta planta pertenece a la subfamilia de perenne, la cual se caracteriza por multiplicarse a partir de semillas propias, yemas nodales y en algunos casos a partir de rizomas.⁴

CLASES DE CAÑA DE AZÚCAR EN COLOMBIA.

Colombia posee gran cantidad de caña de azúcar proveniente de países asiáticos, en los que se destacan indonesia e india, de igual forma se destacan otros países en como:

Tabla 2. Origen de diversos tipos de caña de azúcar.

PAIS		TIPO DE CAÑA
	INDONESIA	POJ
	BARBADOS	B
	PUERTO RICO	PR
	INDIA	CO
	USA	CP-H
	VENEZUELA	V
	BRASIL	SP-CB
	REP. DOMINICANA	RD

⁴ CASSALETT. Op cit., p. 89.

La variedad de caña de azúcar desarrolla un papel fundamental en la capacidad productiva del cultivo, por la característica del clima, del suelo y del manejo en cada región. Como resultado por las investigaciones obtenidas por el CORPOICA-CIMPA, las áreas y sus respectivas variedades de caña serían las siguientes:

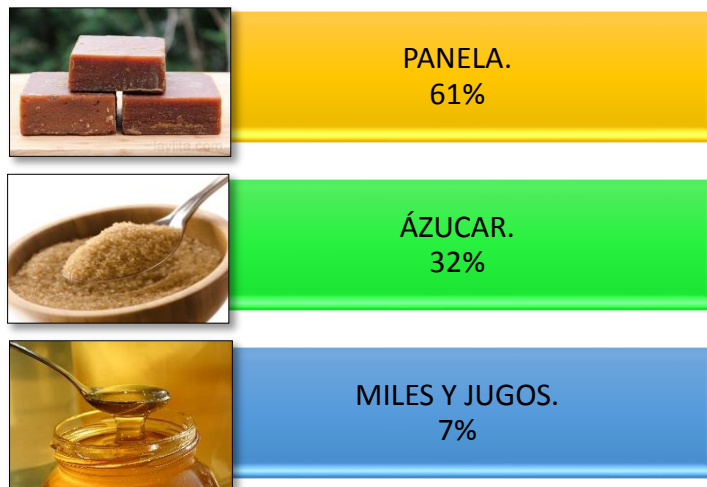
Tabla 3. Ubicación geográfica de diferentes tipos de caña de azúcar en el país.

VARIEDAD	REGION GEOGRAFICA
RD 75-11	HOYA DEL RIO SUAREZ Y CHICAMOGA
PR 61-632	
POJ 28-78	
MY 54-65	CUNDINAMARCA Y NORTE SANTANDER
RD 75-11	
POJ 28-78	
RD 75-11	ANTIOQUIA
PR 11-41	
SP701284	CIMITARRA Y LLANOS ORIENTALES
MY 54-65	
MZC 74-275	
PR 62-66	
RD 75-11	

4.2 IMPORTANCIA SOCIOECONÓMICA DEL CULTIVO DE LA PANELA.

La producción de caña de azúcar se posiciona como la segunda industria más fuerte del país después del café, distribuyéndose su producción de la siguiente manera:

Figura 4. Aplicaciones industriales de la caña de azúcar.



Según cifras de la FAO, (Food and Agriculture Organization), Colombia es el segundo mayor productor de panela a nivel mundial, después de la India y el mayor consumidor de este producto en el mundo. La producción de panela en el país es una de las principales actividades agrícolas de la economía nacional, siendo una importante fuente de empleo para la comunidad rural e incentivando a los campesinos en el cultivo de la caña de azúcar que hasta el 2002 contaba ya con 249.384 hectáreas sembradas ⁵.

⁵ BENAVIDES, Jorge. Utilización de la Morera en sistemas de producción animal. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza CATIE. Turrialba, Costa Rica. (Recuperado en 2018.) Disponible en <http://www.fao.org/livestock/agap/frg/afris>.

Tabla 4. Mayores productores de panela en el mundo.

Puesto	País	1992	2002	Acumulado producción 1998-2002	Part (%) 1998-2002	Crecim (%) 1992-2002
1	India	8.404.000	7.214.000	42.448.000	86,1	- 1,1
2	Colombia	1.175.650	1.470.000	6.858.840	13,9	1,9
3	Pakistán	823	600	2.872	0,0058	- 8,2
4	Myanmar	183	610	2.486	0,0050	11,5
5	Bangladesh	472	298	2.145	0,0043	-1,3
6	China	480	400	2.112	0,0043	- 2,1
7	Brasil	240	210	1.320	0,0027	1,2
8	Filipinas	101	127	565	0,0011	2,1
9	Guatemala	56	44	228	0,0005	- 2,8
10	México	51	37	183	0,0004	- 4,6
11	Perú	25	28	129	0,0003	0,7
12	Kenya	25	23	120	0,0002	- 0,6
13	Honduras	32	21	106	0,0002	- 6,7
14	Haití	40	21	106	0,0002	- 8,6
15	Uganda	13	15	75	0,0002	1,6
16	Nigeria	24	14	74	0,0002	- 4,8
	Mundo	9.582.301	8.686.525	49.319.714	100.0%	- 0,8

Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales. CORPOICA – E.E. CIMPA, 2006

Cabe resaltar que hoy en día el proceso de la elaboración de panela se realiza de manera artesanal en muchos trapiches del país utilizándose mucha mano de obra e invirtiéndose muy poco en tecnologías que permitan un proceso más eficiente e innovador.

Es por eso que en MIELES S. A, le apuestan a mejorar cada proceso que interviene en la elaboración de panela, optimizando recursos y generando desarrollo e innovación para la región.

4.3 PROCESAMIENTO DE LA CAÑA DE AZÚCAR PARA LA OBTENCIÓN DE PANELA.

Tradicionalmente el proceso de extracción de los jugos de caña de azúcar para la obtención de panela es el mismo en trapiches, ingenios paneleros y azucareros en Colombia. A continuación, se describen los procesos básicos para la extracción de estos jugos.

4.3.1 Extracción de la materia prima. El corte, el alce y el transporte de la caña hasta la planta corresponden al proceso inicial del proceso en la obtención de la materia prima, la caña de azúcar, la cual posteriormente se convertirá en panela⁶.

4.3.1.1 Corte. La madurez de la caña se obtiene cuando la concentración de azúcar en parecida en todo el tallo. Si se desea producir panela se requiere de una caña con alto índice de sacarosa es decir en un punto óptimo de maduración en cambio si se desea producir miel se requerirá de una panela inmadura o sobre madurada con bajo nivel de sacarosa para evitar que se cristalice.

Figura 5. Indicadores de sacarosa en la caña de azúcar.



4.3.1.2 Alce y transporte de la caña de azúcar. Este proceso tiene lugar en el campo, es allí donde una vez cortada la caña es cargada por animales de carga hasta la orilla de la carretera donde posteriormente es llevada al ingenio en camiones de carga.

⁶ GARCÍA B., Hugo. et. al. Oportunidades de la producción más limpia en la industria panelera. Programa de Procesos Agroindustriales – CORPOICA C.I. TIBAITATA, 2004.

Figura 6. Zona frontal de descarga ingenio mieles SA.



4.3.1.3 Pesaje de la caña. Esta operación es de vital importancia en el proceso debido a que permite la medición del rendimiento en la transformación de la materia prima, la caña, en producto terminado, la panela. En el ingenio mieles esta medición se realiza mediante una plataforma de carga como se muestra a continuación:

Figura 7. Zona de báscula ingenio Mieles SA.



4.3.1.4 Apronte de la caña. Esta operación se realiza con el fin de asegurar una producción continua. Se recomienda que el apronte de la caña se realice en lugares

secos y en pisos de concreto o materiales que protejan la caña de la humedad del suelo ⁷.

Figura 8. Zona trasera de descarga ingenio Mieles SA.



4.3.2 Obtención de miel para la panela. Es en este proceso donde se transforman los jugos de la caña de azúcar en panela, este proceso es llevado a cabo mediante cuatro procesos principales, los cuales se enuncian a continuación:

- Extracción de jugos.
- Pre-limpieza de los jugos.
- Clarificación de jugos.
- Concentración de mieles.

4.3.2.1 Extracción de jugos. En Colombia se extraen los jugos de la caña de manera seca, es decir sin utilizar ningún líquido o químico diferente a los jugos de la caña para la extracción de los mismos. Este proceso se lleva a cabo mediante molinos o masas las cuales son las encargadas de triturar la caña y extraer sus

⁷ INSUASTY B., Orlando. et. alli. La Resiembra: Una práctica regenerativa en cultivos de caña panelera. Corpoica – E. E. Cimpa. Imprecol S. A. Bucaramanga. Plegable técnico. 2000.

jugos. Una vez culminada la extracción de estos jugos los residuos o bagazo se utilizan como fuente de energía para la caldera, y el jugo de la caña como materia prima para la elaboración de la panela.

Figura 9. Zona de molinos ingenio Mieles SA



4.3.2.2 Limpieza de los jugos. Durante la limpieza se extraen de los jugos todo el material particulado que contienen los jugos de caña este proceso es de vital importancia para obtener un producto con valor agregado y calidad. Para la limpieza se emplean métodos como la filtración, la decantación o precipitación, medios técnicos y medios químicos. Durante la limpieza de los jugos se lleva a cabo la pre limpieza, la clarificación y la medición de acidez mediante del jugo mediante el pH⁸.

Figura 10. Proceso de limpieza de jugo de caña.



⁸ Ibíd., p. 102.

4.3.2.3 Pre-limpieza. En este proceso se extraen las partículas sólidas de gran tamaño a temperatura ambiente mediante métodos físicos como la filtración. Es de vital importancia una óptima extracción de este material particulado debido a que estos forman costras en el fondo de las pailas recibidora y clarificadora, las cuales producen ineficiencia en la transferencia de calor y una pigmentación no deseada en la panela.

Figura 11. Tanques de prelimpieza.



4.3.2.4 Clarificación. Esta etapa tiene como objetivo la eliminación de los sólidos en suspensión, las sustancias coloidales y algunos compuestos colorantes presentes en los jugos. Este proceso se lleva a cabo por flotación debido a la diferencia de densidades entre los estos coloides y el jugo de la caña.

Para empezar, se calientan los jugos hasta una temperatura de 50 a 55 °C. El calentamiento facilita la formación de partículas de tamaño y densidades mayores y aumenta su velocidad de movimiento lo cual acelera su agregación y separación. La limpieza en esta etapa ocurre gracias a la las sustancias coagulantes y clarificantes ⁹.

⁹ MANRIQUE E., R. et al. Opcit

Tabla 5. Clarificantes vegetales utilizados para la limpieza de los jugos.

Especie	Descripción
Balso <i>Ocrotoma lagopus</i>	Esta planta pertenece al orden de las malváceas. Es un árbol muy común entre los climas templados del país (de 1.200 a 1.800 m.s.n.m.). Se usa solo o mezclado con otras especies..
Guásimo: <i>Guazuma ulmifolia</i> L	Este árbol se encuentra frecuentemente en las llanuras cálidas por debajo de los 1.200 m.s.n.m. Planta muy utilizada en las zonas paneleras de Cundinamarca y Valle. Además sirve como forrajera.
Cadillo: <i>Triumfetta mollissima</i> L. y <i>Triumfetta lappula</i> L	Cadillo negro y cadillo blanco, respectivamente. Pertenecen a la familia de las Tiliáceas. Propia de tierras cálidas, a menos de 1.000 m.s.n.m. Especie muy utilizada en las zonas paneleras de Antioquia y Valle, mezclada con balso.

Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales. CORPOICA – E.E. CIMPA, 2006.

4.3.2.5 Medición del pH de los jugos. Una de las formas convencionales de medir los niveles de pH es mediante la implementación de cintas de pH, se humedece la tirilla medidora con el jugo de caña e inmediatamente esta cambia de color. El valor que toma la tira posteriormente se compara con una escala colorimétrica en los cuales se encuentran los rangos de PH según el color. En el ingenio Mieleles con el fin de mejorar cada uno de los procesos se realiza esta medición mediante un medidor electrónico.

Figura 12. Medidor electrónico de PH utilizado en el ingenio Mieleles SA.



Fuente: TIENDA ELEKTRON Medidor de pH [en línea] disponible en: <https://tiendaelektron.com/producto/medidor-de-ph-en-liquidos/>

Si el valor de pH está por debajo de 5.6 se debe aumentar la acidez de los jugos mediante la adición de cal o de bicarbonato de sodio.

4.3.3 Evaporación. En esta etapa se agrega calor a los jugos de la caña con el fin de extraer cerca del 90% del agua presente en los jugos, en este proceso los jugos se llevan a una temperatura aproximada de 100 °C ¹⁰. Después de un tiempo cuando los jugos de caña alcanzan una medida de 70 °B y empiezan a convertirse en miel, se adiciona el agente antiadherente que puede ser aceite vegetal o manteca esto con el fin de evitar que la miel se pegue el en fondo de la paila. El proceso de evaporación termina cuando los jugos alcanzan una temperatura aproximada de 125 °C teniendo aquí un nivel Brix entre 92 y 95 °B.

Figura 13. Taches de punteo en los cuales ocurre el proceso de evaporación.



4.3.4 Batido. Una vez la miel alcanza un nivel de 92 °B, para panela sólida, y 95 a 96 °B para panela pulverizada, la miel es depositada en un tanque en el cual se realiza un proceso de batido intenso para enfriar la miel y generar su pérdida de adherencia y adquisición de textura necesaria para posterior moldeo ¹¹.

¹⁰ ZAPATA, C. A.; Utilización de la caña de azúcar y sus derivados en la alimentación porcina. Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV). 2000. p 152.

¹¹ MANRIQUE E., R. et al. Op cit., p. 126.

Figura 14. Descarga de miel a tanque de depósito.



4.3.5 Moldeo.

Figura 15. Cuarto de moldeo del ingenio Mieles SA.



Ya con la miel en el punto deseado se transporta el tanque lleno de miel al cuarto de moldeo, lugar en donde ya se encuentran previamente organizadas las gaveras

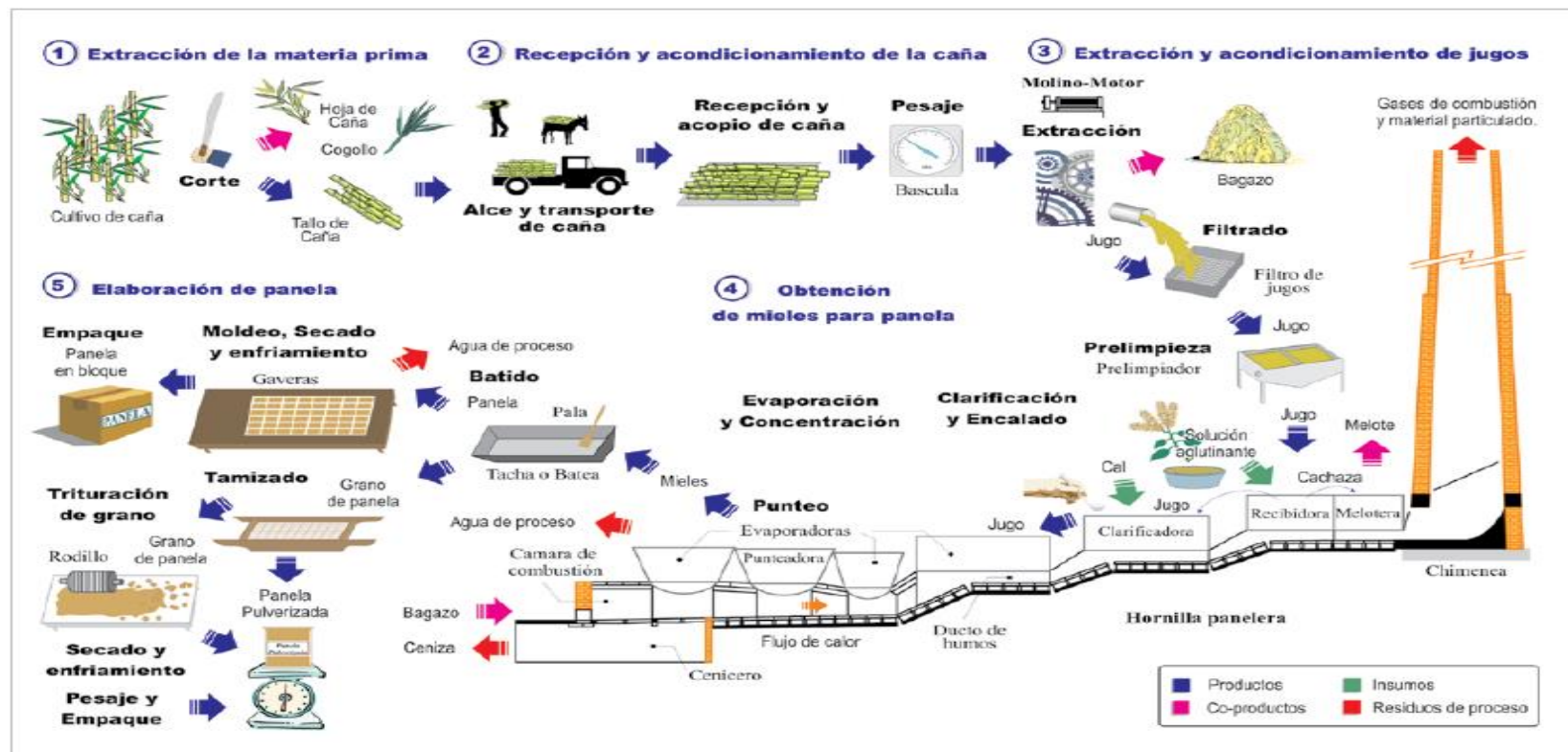
de madera, listas para recibir la miel. Después de aproximadamente 45 min el proceso culmina con la solidificación de la panela.

Actualmente se la panela se comercializa en las siguientes formas:

- Redonda
- Cuadrada
- Rectangular
- En forma de pastilla
- Granulada o en pulverizada.
- En cubos natural y saborizada.

4.3.6 Mapa del proceso.

Figura 16. Mapa del proceso de producción de panela en el ingenio Miele SA.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales. CORPOICA – E.E. CIMPA, 2006.

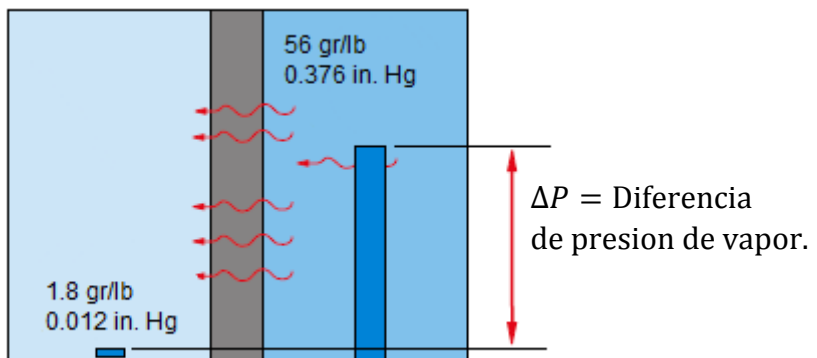
4.4 FUENTES DE CARGA DE HUMEDAD.

Existen 7 fuentes de humedad, que son:

- Permeabilidad por muros, pisos y techo.
- Evaporación de personas, ropa o respiración.
- Humedad producida por productos.
- Evaporación por superficies húmedas o tanques de agua abiertos.
- Procesos de combustión.
- Aire infiltrado por ventanas o puertas abiertas.
- Ventilación de aire fresco del exterior.

4.4.1 Permeabilidad.

Figura 17. Permeabilidad como Fuente de carga de humedad.



El vapor de agua se mueve a través de materiales sólidos a una velocidad proporcional a la diferencia en las presiones de vapor en ambos lados del material¹². Además, cada material tiene un factor de permeabilidad diferente, de acuerdo con la cantidad de vapor de agua que pasa por metro cuadrado en un período de tiempo

¹² LEWIS Gg, Harrian III; The dehumidification handbook. [En línea]. Munters Corporation Second edition. 2002. 256 p. (Recuperado en 5 septiembre 2017.) Disponible en <http://www.muntersamerica.com/>.

dado a un diferencial de presión de vapor dado. Como la humedad viaja a través del aire más rápidamente que a través de los sólidos, el factor de permeabilidad depende en gran medida de la porosidad que posea el material¹³.

A continuación, se muestran algunos valores del factor de permeabilidad para diferentes materiales utilizados en construcción:

Tabla 6. Cálculo del factor de permeabilidad en diversos materiales.

MATERIAL	e (in)	FACTOR DE PERMEABILIDAD (P)	
		SIN PERMEABILIZADO	CON PERMEABILIZADO
LADRILLO	4	0,8	0,29
BLOQUE	8,5	0,38	0,21
CONCRETO	8	0,4	0,21
REVOQUE	1	3,2	
BLOQUE DE CONCRETO	8	2,4	0,38
YESO EN ALAMBRE	3/4	15	0,44
YESO EN PLACA	3/4	20	0,44
DRYWALL	3/8	50	0,45
MADEFLEX	1	50	
LAMINA DE MADERA INTERIOR	1/2	0,35	0,2
LAMINA DE MADERA EXTERIOR	1/2	0,94	0,3
LISTÓN DE MADERA	1	5,3	
AIRE	1	120	
CORCHO	1	9,1	
FIBRA AISLANTE	1	116	
POLIURETANO EXPANDIDO EN ESPUMA	1	1,6	
POLIURETANO EXPANDIDO EN PLACA	1	1,2	

¹³ Ibid., p, 268.

Para calcular la carga de humedad debido a la permeabilidad:

$$W_p = P \cdot A \cdot \Delta P_v \left[\frac{Gr}{h} \right]$$

W_p = Carga por permeabilidad. $\left[\frac{Gr}{h} \right]$

P = Factor de permeabilidad.

A = Area. $[ft^2]$

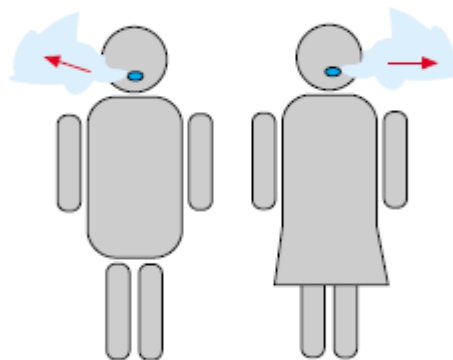
ΔP_v = Diferencia de presión entre el interior y el exterior. $[in. Hg]$

Si la pared está compuesta por más de un material el factor de permeabilidad se calcula de la misma manera que el coeficiente de transferencia de calor por convección:

$$\frac{1}{P_T} = \frac{1}{P_1} + \frac{1}{P_2} + \frac{1}{P_3} \dots \dots \dots \frac{1}{P_n}$$

4.4.2 Evaporación de personas y respiración.

Figura 18. Evaporación de personas y respiración como carga de humedad.



La gente exhala humedad y libera vapor de agua al transpirar. Cada vez que alguien exhala, libera una bocanada de aire a una temperatura de 36.5 ° C y 226 gramos de humedad por gramos de aire seco. La cantidad de respiraciones de aire depende en gran medida de la actividad física que se esté realizando. Una persona agregara más carga de humedad al cuarto entre más actividad física realice dentro de él ¹⁴. La carga de humedad debido a la evaporación, respiración y ropa de las personas se define como:

$$W_n = (N_a \cdot F_a) + (N_b \cdot F_b) + (N_c \cdot F_c) + (N_d \cdot F_d) \quad \left[\frac{\text{Gr}}{\text{h}} \right]$$

$$W_n = \text{Carga de humedad por personas y respiracion.} \quad \left[\frac{\text{Gr}}{\text{h}} \right]$$

N_a = No de personas descansando o sentadas.

N_b = No de personas de pie.

N_c = No de personas con trabajo moderado.

N_d = No de personas con trabajo fuerte.

F_a = Factor de Evaporacion por persona sentada.

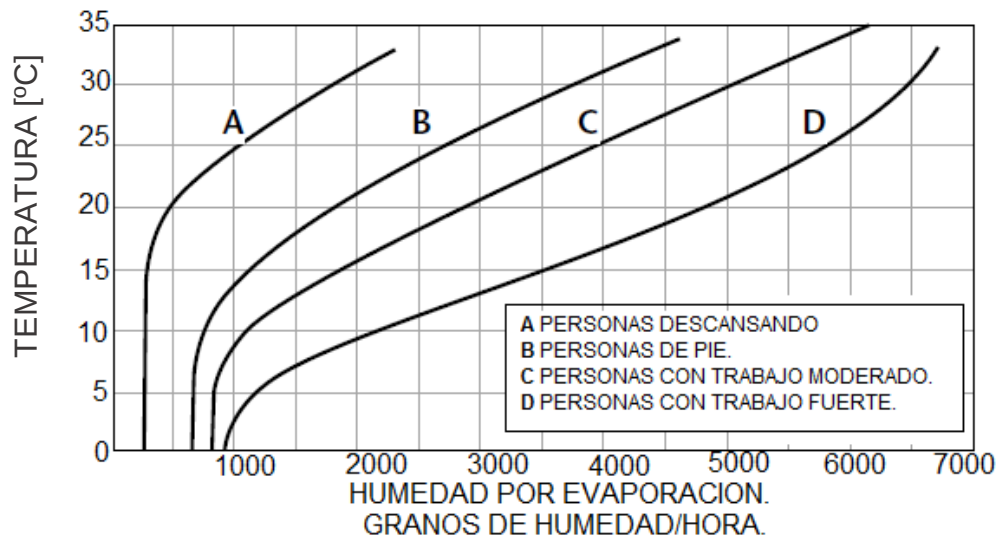
F_b = Factor de Evaporacion por persona de pie.

F_c = Factor de Evaporacion por persona trabajando moderadamente.

F_d = Factor de Evaporacion por persona trabajando fuertemente.

¹⁴ RODRÍGUEZ, Gabriel. El clima y la construcción habitacional. Revista Bit, noviembre 2008, p 56.

Figura 19. Factor de evaporación para personas en diferentes actividades.



FUENTE: LEWIS Gg, Harrian III; The dehumidification handbook. Disponible en : <https://www.matsakis.gr/Munters%20DH%20Handbook.pdf>

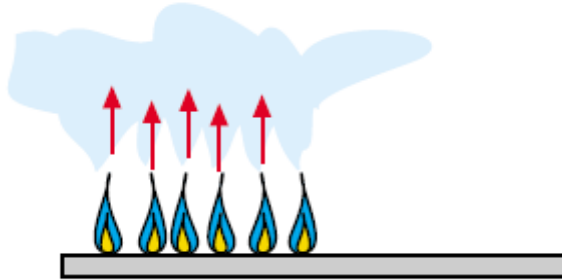
4.4.3 Productos. Si un material sólido y el aire a su alrededor se encuentran en equilibrio, la cantidad de humedad del material es proporcional a la humedad relativa del aire. La mayoría de los materiales sólidos absorben la humedad del aire cuando está húmedo y eliminan la humedad cuando el aire a su alrededor está seco.

Cuando un material húmedo se lleva a un ambiente seco, perderá humedad hasta que la presión de vapor en su superficie sea la misma que la presión de vapor en el aire. La presión de vapor superficial de un material sólido depende principalmente de su estructura química y física¹⁵.

¹⁵ GARCÍA, Fernando. Estudio teórico experimental de humedad por condensación en edificios. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile. Santiago, 1981.

4.4.4 Combustión.

Figura 20. Combustion como fuente de carga de humedad.



Para lugares donde hay estufas, quemadores de gas u otras fuentes de combustión, la humedad que resulta de la combustión genera un valor bastante considerable para la carga del cuarto. La cantidad precisa de vapor de agua producida durante el proceso de combustión variará con la composición del gas, pero cuando el valor se desconoce, se puede asumir que cada pie cúbico de gas quemado produce 1.5 libras de humedad al recinto. La carga de humedad producida por la combustión se puede determinar como¹⁶:

$$W_c = G * 650 \left[\frac{Gr}{h} \right]$$

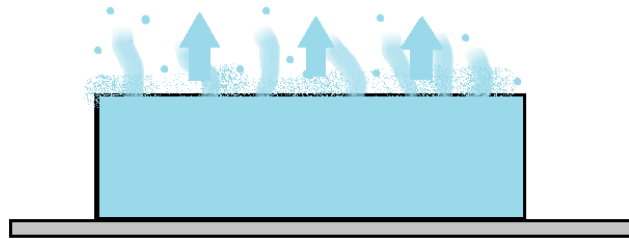
W_c = Carga de humedad debido a la combustion.

$$G = \text{Rata de gas quemado} \left[\frac{Ft^3}{h} \right].$$

¹⁶ Ver ANEXO D.

4.4.5 Evaporación por superficies húmedas o tanques abiertos.

Figura 21. Evaporación como fuente de carga de humedad.



En la industria es común ver dentro de recintos cerrados tanques de captación de agua, lavamanos y otras fuentes de agua. La velocidad de evaporación es directamente proporcional a la diferencia en la presión de vapor entre la superficie y el aire ¹⁷, y también proporcional a la velocidad con la que el calor se transfiere a la película de agua superficial. El calor proporciona la energía necesaria para la evaporación, y la diferencia en la presión de vapor proporciona la fuerza motriz para elevar el agua de la superficie del líquido al aire.

En 1920 el ingeniero e inventor Willis Carrier propuso la siguiente relación para determinar la cantidad de carga de humedad generada por las fuentes de agua de la siguiente manera:

$$W_e = \frac{H \cdot A \cdot (P_{vt} - P_{va}) \cdot 7000}{H_L} \left[\frac{\text{Gr}}{\text{h}} \right]$$

W_e = Carga de humedad debido a tanques abiertos. $\left[\frac{\text{Gr}}{\text{h}} \right]$

H_L = Calor latente de vaporización en el agua a T dada. [btu/h]

LEWIS Gg, Harrian III. Op cit., p. 268.

P_{vt} = Presion de vapor del aire satudardo. [in. Hg]

P_{vt} = Presion de vapor del aire circundante. [in. Hg]

H = Entalpia del aire circundante. $\left[\frac{\text{btu/h}}{\text{ft}^2/\text{in. Hg}} \right]$

4.4.6 Aire infiltrado. Ningún recinto o sistema HVAC está completamente cerrado. Existen ciertos lugares en los cuales el aire exterior entra al recinto y suma carga de humedad a este. Algunos ejemplos de lugares donde se puede filtrar aire del exterior son:

- Espacios entre la pared y el techo, pared y el piso o pared y pared.
- Huecos entre pared e instalaciones eléctricas.
- Conductos eléctricos a través de los cuales los cables pasan de una habitación a otra.
- Agujeros sobredimensionados de tuberías.
- Grietas en las paredes, puertas o ventanas.
- Viejas rejillas de ventilación en paredes y puertas.
- Grietas entre las puertas y sus marcos.
- Construcciones abiertas en el techo como claraboyas.
- Puertas abiertas, muelles de carga o puertas con cortinas de tiras de plástico.
- Entre otros.

Las cargas por infiltraciones de aire se pueden definir como:

$$W_i = A \cdot d \cdot 60 \cdot v_a \cdot (M_o - M_i) \left[\frac{\text{Gr}}{\text{h}} \right]$$

W_i = Carga de humedad por infiltracion. $\left[\frac{\text{Gr}}{\text{h}} \right]$

A = Area de la abertura. $[\text{ft}^2]$

ρ = Densidad del aire. $\left[\frac{\text{Lb}}{\text{ft}^3} \right]$

$$v_a = \text{Velocidad del aire.} \left[\frac{\text{ft}}{\text{min}} \right]$$

$$M_o = \text{Contenido de humedad en el exterior.} \left[\frac{\text{Gr}}{\text{Lb}} \right]$$

$$M_i = \text{Contenido de humedad en el interior.} \left[\frac{\text{Gr}}{\text{Lb}} \right]$$

4.4.7 Infiltración de aire cuando se abren las puertas Al abrir una puerta o una ventana, se crean diferencias locales de presión a corto plazo y turbulencias de aire que traen aire del exterior al cuarto incluso si el cuarto esta presurizado.¹⁸.

Para realizar los cálculos matemáticos uno de los inconvenientes más grandes es determinar con la mayor exactitud la cantidad de veces que se abrirá la puerta durante el día, por lo tanto, se requiere de un control visual o electrónico para contabilizar todas las veces que se abren las puertas o las ventanas en el cuarto. La carga de humedad que estas infiltraciones generan pueden ser enormes.

Se recomienda en caso de tener puertas o ventanas abiertas implementar mecanismos que impidan el paso continuo de aire al cuarto tales como persianas plásticas o cortinas de aire.

A continuación, se define la carga de apertura de puertas mediante la siguiente expresión:

$$W_d = V_a \cdot A \cdot \rho \cdot T \cdot (M_o - M_i) \left[\frac{\text{Gr}}{\text{h}} \right]$$

$$W_d = \text{Carga de humedad por apertura de puertas.} \left[\frac{\text{Gr}}{\text{h}} \right]$$

$$A = \text{Area de la puerta.} [\text{ft}^2]$$

¹⁸ LEWIS Gg, Harrian III. Op cit., p. 293.

ρ = Densidad del aire. $\left[\frac{\text{Lb}}{\text{ft}^3}\right]$

v_a = Velocidad del aire. $\left[\frac{\text{ft}}{\text{min}}\right]$

M_o = Contenido de humedad en el exterior. $\left[\frac{\text{Gr}}{\text{Lb}}\right]$

M_i = Contenido de humedad en el interior. $\left[\frac{\text{Gr}}{\text{Lb}}\right]$

T = Tiempo de aperura de la puerta $\left[\frac{\text{min}}{\text{h}}\right]$

5. DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES ÓPTIMAS DE LA PANELA.

Para la determinación de las condiciones óptimas de la panela se acudió al CIMPA, el Cimpa adscrita al Centro de Investigación de Corpoica, Corporación colombiana de Investigación Agropecuaria, la cual se creó mediante un Convenio de Investigación para el Mejoramiento de la Panela, se firmó entre los Gobiernos de Colombia y los Países Bajos y empezó su funcionamiento en 1986 en el municipio de Barbosa, Santander¹⁹. El Cimpa trabaja específicamente en el proceso agroindustrial de la panela, priorizando el contacto directo con el campesino y con la comunidad en general que cultiva, cosecha y vive el día a día en la labor del campo.

Figura 22. Centro de investigación del CIMPA-CORPOICA, ubicado en la ciudad de Barbosa, Santander.



Fuente: CIMPA-CORPOICA.

¹⁹ HARTMAN, Nicolás Corpoica Cimpa: Tres décadas contribuyendo al cambio técnico, [En línea]. Bogotá DC, 2016, (Recuperado en 26 noviembre 2017.) Disponible en <http://www.corpoica.org.co/noticias/generales/30-a%C3%B1os-cimpa>.

Para realizar esta prueba se colocaron trozos de panela cuyos pesos oscilaron entre 1.25 y 1.65 g de panela, 80 g en total, en una cámara con control digital de temperatura y humedad relativa. Las temperaturas empleadas fueron 13 °C, 20 °C, 27 °C y 34 °C. La humedad relativa se hace variar de 5% en 5% desde un 60% de humedad hasta un 90%. Se realizó una prueba dinámica forzando a pasar aire sobre las muestras de panela a una velocidad de 3.33 m/s. La prueba se empezó a realizar a las 6 Am y a las 8 PM, cuando las muestras alcanzaron la estabilidad, las muestras fueron pesadas y se determinó su contenido de humedad de equilibrio.

Figura 23. Horno y cámara climática para el control de humedad y temperatura en los ensayos con las muestras de panela en el CIMPA.



La humedad de equilibrio se define como la humedad que un producto alcanza cuando se deja durante un tiempo suficientemente largo en determinadas condiciones de temperatura y humedad ²⁰. La palabra equilibrio se refiere a que el producto, en este caso la panela, no interactúa humedad con el ambiente. El contenido de humedad de equilibrio, CHE, es de suma importancia en procesos agrícolas tanto en su procesamiento como en su almacenamiento.

²⁰ BALL, R. D.; SIMPSON, I. G.; PANG, S. Measurement, modelling and prediction of equilibrium moisture content in *Pinus radiata* heartwood and sapwood. 2001. *Holz als Roh*, p 457-462.

Para determinar el contenido de humedad de equilibrio de la panela una vez realizada las pruebas se utilizó la siguiente relación:

$$P_D = P_W \cdot \left(\frac{100 - H_o}{100} \right)$$

$$CHE = \left(\frac{P_{CHE} - P_D}{P_{CHE}} \right) \cdot 100$$

P_D = Peso de muestra seca.

P_W = Peso de muestra humeda.

CHE = Contenido de humedad de equilibrio.

H_o = Humedad inicial.

A continuación, se muestran los valores obtenidos del CHE de la panela a diferentes temperaturas y humedades relativas obtenidas en el laboratorio:

Tabla 7. Humedad de equilibrio a diferentes temperaturas y humedades relativas.

TEMPERATURA [°C]	HUMEDAD RELATIVA [%]					
	60	65	70	75	80	90
13	6,26	7,13	8,191	10,07	16,32	35,78
20	5,9	6,7	7,41	8,4	12,46	29,73
27	5,13	5,9	6,9	7,58	10,53	28,68
34	4,68	5,33	6,36	7,12	9,35	24,74

5.1 MODELO MATEMÁTICO MEDIANTE MÍNIMOS CUADRADOS.

La regresión por mínimos cuadrados es una técnica utilizada en la investigación científica y su principal utilidad es la determinar un modelo que permita representar matemáticamente un modelo físico o químico ²¹.

²¹ BAUTISTA HERNANDEZ, Luis Antonio. Regresión por mínimos cuadrados, 1993. p. 10.

5.1.1 Regresión lineal simple. Para un experimento que demuestre una forma lineal de la forma $y = mx + b$ se espera que la curva que demuestre una menor desviación a los datos obtenidos sea la que modele matemáticamente el experimento.

Esta técnica parte del hecho que los coeficientes desconocidos de la recta serán los que generen la menor desviación entre una recta teórica y los datos obtenidos en el experimento.

La desviación de los datos obtenidos está dada mediante la expresión:

$$e = [mx + b] - y$$

De modo que la totalidad de las desviaciones obtenidas se determinan de la forma

$$E = \sum_{i=1}^n ([mx_i + b] - y_i)$$

Donde n el Numero de datos que se tomaron durante el ensayo.

Pero debido a que las desviaciones negativas podrían anularse con las positivas, se prefiere utilizar el cuadrado de la expresión anteriormente mencionada:

$$E^2 = \sum_{i=1}^n ([mx_i + b] - y_i)^2$$

Optimizando la expresión anterior se determinan los valores que generen el menor error posible.

Derivando con respecto m e igualando a cero.

$$\frac{\partial(E^2)}{\partial m} = \frac{\partial(\sum_{i=1}^n([mx_i + b] - y_i)^2)}{\partial m}$$

$$\frac{\partial(\sum_{i=1}^n([mx_i + b] - y_i)^2)}{\partial m} = 0$$

$$2 \cdot \sum_{i=1}^n ([mx_i + b] - y_i) \cdot x_i = 0$$

$$\sum_{i=1}^n ([mx_i + b] - y_i) \cdot x_i = 0$$

$$m \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \cdot \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n y_i \cdot x_i$$

Derivando con respecto b e igualando a cero.

$$\frac{\partial(E^2)}{\partial b} = \frac{\partial(\sum_{i=1}^n([mx_i + b] - y_i)^2)}{\partial b}$$

$$\frac{\partial(\sum_{i=1}^n([mx_i + b] - y_i)^2)}{\partial b} = 0$$

$$2 \cdot \sum_{i=1}^n ([mx_i + b] - y_i) = 0$$

$$m \cdot \sum_{i=1}^n x_i + b \cdot \sum_{i=1}^n 1 = \sum_{i=1}^n y_i$$

Siendo la solución analítica para las anteriores dos ecuaciones las siguientes:

$$m = \frac{\sum x \sum y - n \sum(xy)}{(\sum x)^2 - n \sum x^2}$$

$$b = \frac{\sum x \sum(xy) - \sum y \sum x^2}{(\sum x)^2 - n \sum x^2}$$

5.2 TÉCNICAS DE LINEALIZACIÓN.

La mayoría de los fenómenos físicos y químicos no presentan una tendencia lineal. Para determinar el modelo matemático en estos casos es necesario encontrar una relación entre su forma natural y una ecuación lineal. Uno de los casos más prácticos en el laboratorio es utilizar modelos matemáticos logarítmicos o semilogarítmicos que permitan la obtención de una curva que se ajuste a los datos obtenidos.

5.2.1 Caso logarítmico. Para un experimento cuyos datos se asemejan a la relación:

$$y = a \cdot x^m$$

La cual no presenta un comportamiento lineal, se prosigue de la siguiente manera:

Aplicando logaritmo natural en ambos lados de la ecuación:

$$\ln(y) = \ln(a) + m \cdot \ln(x)$$

Cambiando variables de la siguiente manera:

$$y_2 = \ln(y)$$

$$x_2 = \ln(x)$$

$$b = \ln(a)$$

se tendría:

$$y_2 = m \cdot x_2 + b$$

Una vez determinada la ecuación lineal se aplica regresión lineal por mínimos cuadrados.

5.2.2 Caso semilogarítmico. Para un experimento cuyos datos se asemejan a la relación:

$$y = a \cdot n^x$$

Aplicando logaritmo natural en ambos lados de la ecuación:

$$\ln(y) = \ln(a) + x \cdot \ln(n)$$

Cambiando variables de la siguiente manera:

$$y_2 = \ln(y)$$

$$x_2 = x$$

$$b = \ln(a)$$

$$m = \ln(n)$$

se tendría:

$$y_2 = m \cdot x_2 + b$$

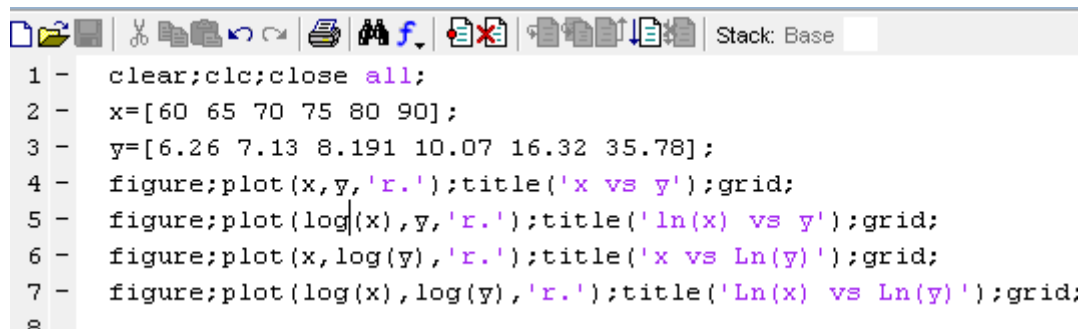
Una vez determinada la ecuación lineal se aplica regresión lineal por mínimos cuadrados.

5.3 DETERMINACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO PARA LOS DATOS OBTENIDOS.

A continuación se determina el modelo matemático para cada temperatura en función de la humedad de equilibrio, CHE, y la humedad relativa:

Para linealizar la función y determinar el tipo de modelo matemático se utiliza Matlab:

Figura 24. Programación linealización de función en matlab

A screenshot of the MATLAB command window showing a script for linearizing data. The script includes commands to clear the workspace, define x and y vectors, and create four subplots: a linear plot of x vs y, a semi-log plot of ln(x) vs y, a log-linear plot of x vs ln(y), and a log-log plot of ln(x) vs ln(y). Each plot includes a grid.

```
1 - clear;clc;close all;
2 - x=[60 65 70 75 80 90];
3 - y=[6.26 7.13 8.191 10.07 16.32 35.78];
4 - figure;plot(x,y,'r.');title('x vs y');grid;
5 - figure;plot(log(x),y,'r.');title('ln(x) vs y');grid;
6 - figure;plot(x,log(y),'r.');title('x vs Ln(y)');grid;
7 - figure;plot(log(x),log(y),'r.');title('Ln(x) vs Ln(y)');grid;
```

Graficando se obtiene:

Figura 25. Ecuación lineal de la forma $y=m \cdot x+b$

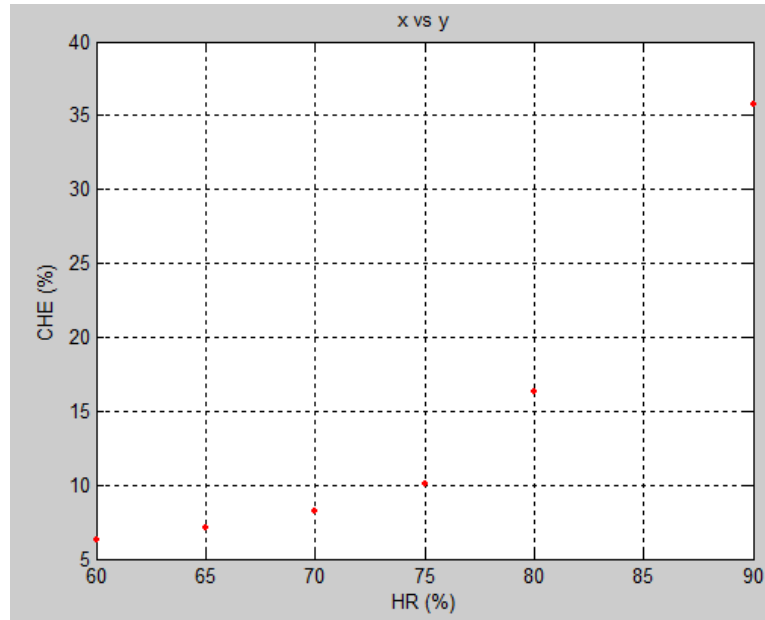


Figura 26. Ecuación semi logarítmica de la forma $x=a \cdot n^y$

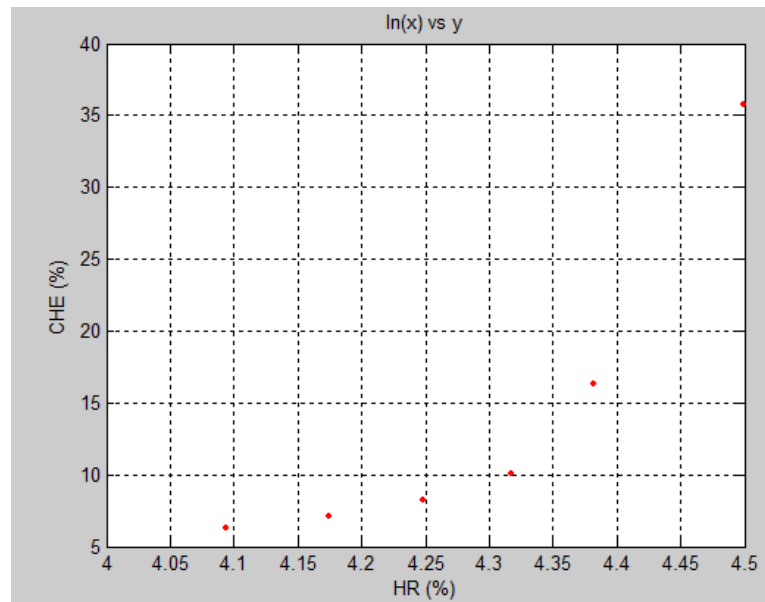


Figura 27. Ecuación semi logarítmica de la forma $y=a \cdot n^x$

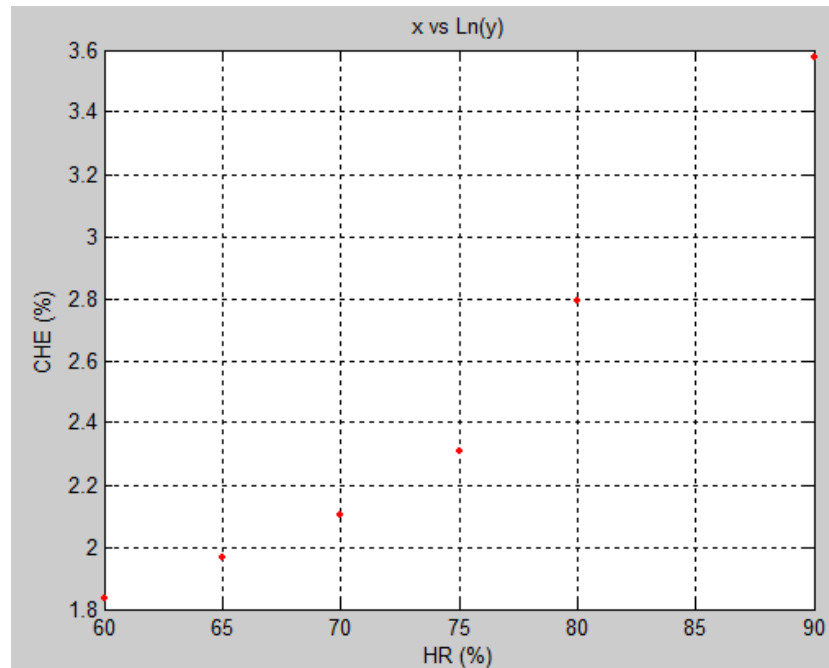
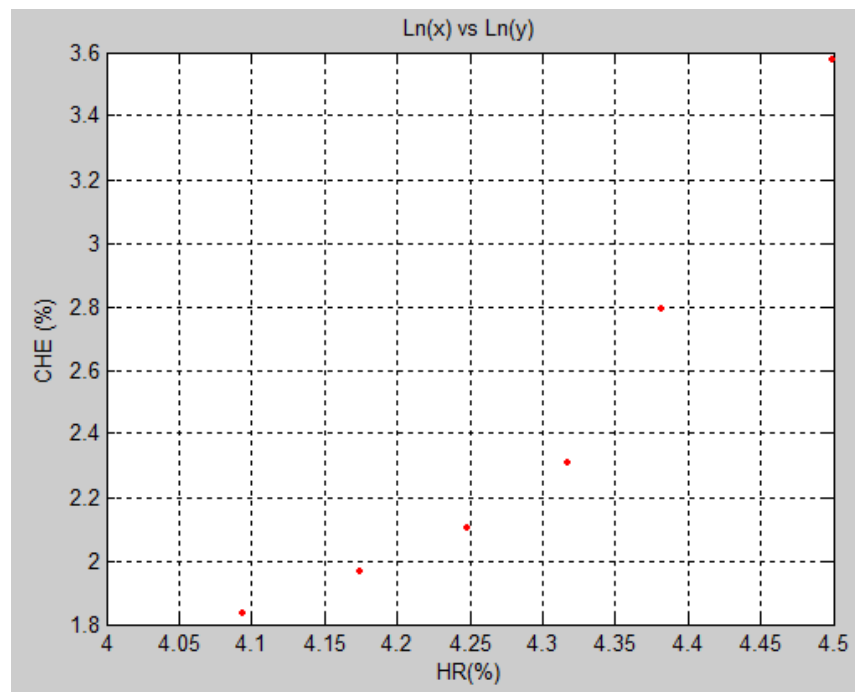


Figura 28. $y=a \cdot x^m$



La grafica que muestra más linealización con respecto a los datos obtenidos es la gráfica del caso 3, x vs Ln(y), la cual tiene forma semilogaritmica.

Aplicando las técnicas de linealización anteriormente explicadas se tiene que:

$$y = a \cdot n^x$$

$$\ln(y) = \ln(a) + x \cdot \ln(n)$$

$$y_2 = \ln(y)$$

$$x_2 = x$$

$$b = \ln(a)$$

$$m = \ln(n)$$

$$y_2 = m \cdot x_2 + b$$

Aplicando regresión lineal por mínimos cuadrados:

$$m = \frac{\sum x \sum y - n \sum (xy)}{(\sum x)^2 - n \sum x^2}$$

$$b = \frac{\sum x \sum (xy) - \sum y \sum x^2}{(\sum x)^2 - n \sum x^2}$$

Tabla 8. Datos de muestreo para regresión lineal.

x	y	y*	x ²	xy*
60	6,26	1,83418019	3600	110,050811
65	7,13	1,96431123	4225	127,68023
70	8,191	2,10303599	4900	147,212519
75	10,07	2,30956071	5625	173,217053
80	16,32	2,79239135	6400	223,391308
90	35,78	3,57738908	8100	321,965017
440	83,751	14,5808685	32850	1103,51694
y*=Ln(y)				

Remplazando los valores obtenidos en la tabla de sumatoria:

$$m = \frac{440 \cdot 14.58 - 6 \cdot 1103.51}{(440)^2 - 6 \cdot 32850} = 0.058687$$

$$b = \frac{440 \cdot 1103.51 - 14.58 \cdot 32580}{(440)^2 - 6 \cdot 32850} = -1.87491$$

Remplazando en la ecuación lineal:

$$y_2 = m \cdot x_2 + b$$

$$y_2 = 0.058687 \cdot x_2 - 1.87491$$

Retomando variables

$$\text{Ln}(y) = 0.058687 \cdot x - 1.87491$$

Despejando y:

$$y = e^{(-1.87491+0.058687 \cdot x)}$$

Recuperando las variables del experimento:

$$CHE = e^{(-1.87491+0.058687 \cdot HR)}$$

De igual manera para las otras curvas:

$$13\text{ }^{\circ}\text{C} \quad CHE = e^{(-1.87491+0.058687 \cdot HR)}$$

$$20\text{ }^{\circ}\text{C} \quad CHE = e^{(-1.56314+0.052476 \cdot HR)}$$

27 °C

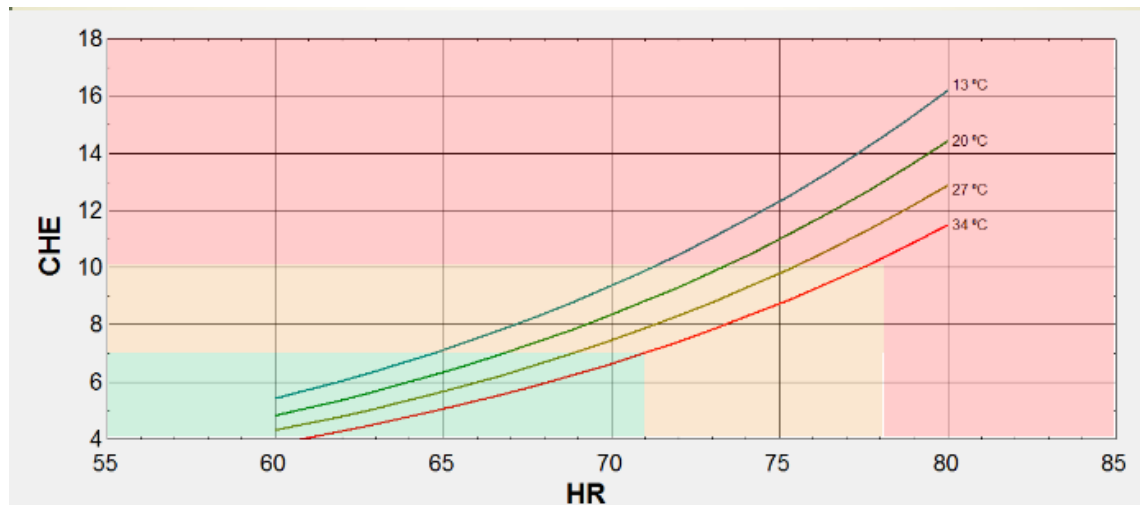
$$CHE = e^{(-1.54285+0.054839 \cdot HR)}$$

34 °C

$$CHE = e^{(-1.81297+0.053064 \cdot HR)}$$

Graficando las curvas anteriores:

Figura 29. Isotermas de humedad de equilibrio para la panela a diferentes humedades relativas.



5.4 DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES OPTIMAS DE LA PANELA.

De la gráfica anterior se puede concluir que las condiciones óptimas de la panela están entre un porcentaje de 4 y 10 de humedad de equilibrio, a valores mayores se puede evidenciar las primeras gotas de melaza en la superficie de la panela, de igual manera a temperaturas altas, mayores de 34 °C, la panela también empieza a volverse como melaza. La zona de color verde representa la zona optima de condiciones ambientales para la producción de la panela en óptimas condiciones, zona entre 60% a 65% de humedad relativa para temperaturas entre 13 a 34 °C.

6. ESTUDIO DEL CLIMA DEL CUARTO DE MOLDEO EN EL INGENIO MIELES SA.

6.1 ACERCA DEL EQUIPO.

Figura 30. Equipo Fluke 971 Temperature and Humidity Meter



La temperatura y la humedad son de vital importancia para mantener la calidad del aire en óptimas condiciones en un cuarto, por eso el estudio correspondiente de estos fenómenos físicos se realizó con un instrumento de medición de alta precisión.

A continuación, se describen las principales características del equipo:

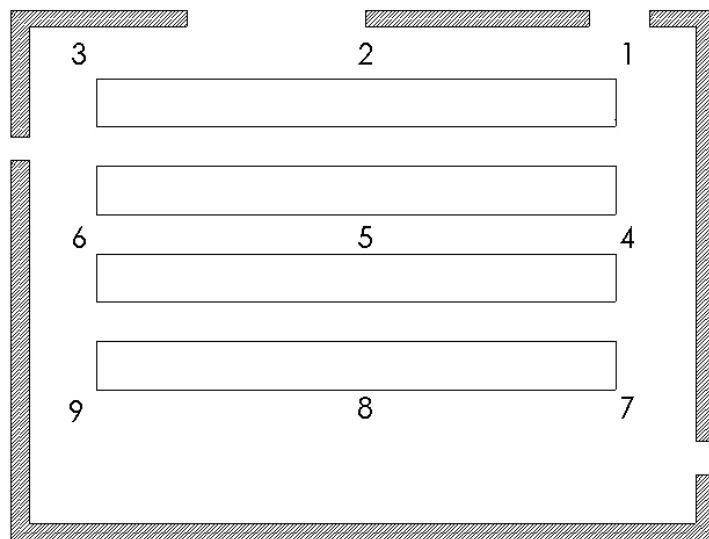
Tabla 9. Datos técnicos equipo Fluke 971

Especificaciones	
Rango de temperaturas	-20 °C a 60 °C (-4 °F a 140 °F)
Precisión de temperatura	0 °C a 45 °C ($\pm 0,5$ °C) -20 °C a 0 °C y 45 °C a 60 °C ($\pm 1,0$ °C) 32 °F a 113 °F ($\pm 1,0$ °F) -4 °F a 32 °F y 113 °F a 140 °F ($\pm 2,0$ °F)
Resolución	0,1 °C/0,1 °F
Tiempo de respuesta (temperatura)	500 ms
Tipo de sensor de temperatura	NTC
Rango de humedad relativa	5% a 95% HR
Precisión de humedad relativa	10% a 90% HR a 23 °C (73,4 °F) ($\pm 2,5\%$ HR) ($<10\%$, $> 90\%$ HR a 23 °C (73,4 °F) ($\pm 5,0\%$ HR)
Sensor de humedad	Sensor de película de polímero de capacitancia electrónica.
Capacidad de almacenamiento de datos	99 puntos
Tiempo de respuesta (humedad)	Para el 90% del rango total: 60 segundos con movimiento de aire de 1 m/s

6.2 REGISTRO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD EN EL CUARTO.

Para realizar el estudio de temperatura y humedad al cuarto de moldeo del ingenio se establecieron 9 puntos diferentes del cuarto distribuidos de la siguiente manera:

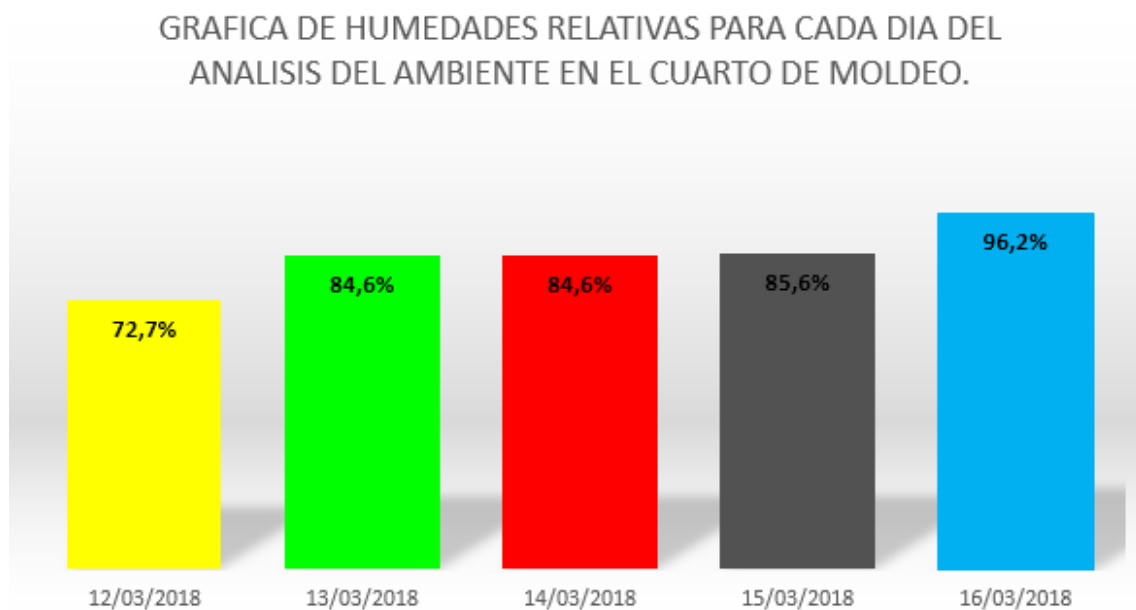
Figura 31. Puntos de geométricos de medición en el cuarto del moldeo.



En estos puntos se tomaron muestras de temperatura y humedad con el equipo *Fluke 971 Temperature and Humidity Meter*, desde el 12/03/2018 a las 10:00 hasta el 16/03/2018 a las 17:00, con un intervalo de tiempo de 1 h, entre cada muestra. A continuación, se muestran los resultados obtenidos ²²:

6.3 GRAFICA DE MAXIMOS DE HUMEDAD EN CADA DIA.

Figura 32. Grafica de máximos de humedad en cada día.



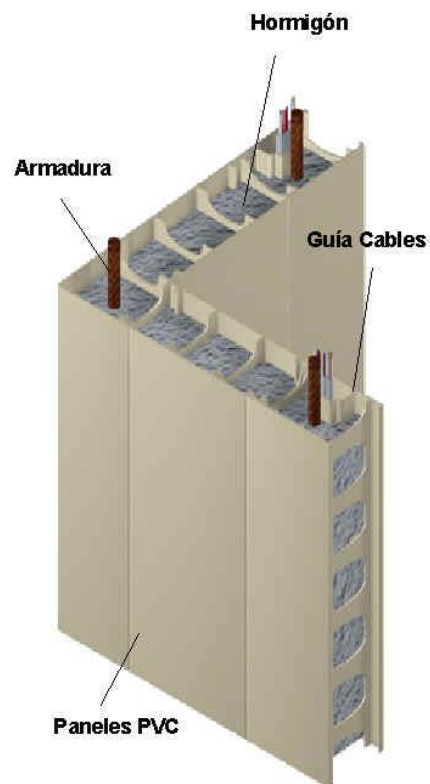
²² En el ANEXO B, se puede observar el registro de cada uno de los intervalos de tiempo.

7. CÁLCULO DE CARGAS DE HUMEDAD.

7.1 DESCRIPCIÓN DEL CUARTO DE MOLDEO.

Sistema constructivo del cuarto de moldeo está basado en la implementación de elementos prefabricados de PVC rellenos con hormigón. A continuación, se ilustra el sistema:

Figura 33. Sistema constructivo integral RBS



7.2 CONDICIONES DE DISEÑO.

San José de pare se encuentra a una altura de 1545 m:

Tabla 10. Condiciones atmosféricas para San José de Pare.

Altitude (ft)	Barometric Pressure (in. Hg)	Atmospheric Pressure (psia)
5069	24,832	12,196

Para las condiciones a las que se encuentra el cuarto:

Tabla 11. Condiciones del aire en el cuarto de moldeo.

Dry Bulb (°C)	Wet Bulb (°C)	Relative Humidity (%)	Humidity Ratio (lb/lb)		Dew Point (°C)	Density (kg/cu.m)	Vapor Pressure (mm HG)
16,7000	15,5689	96,200	0,00186		15,3629	1,005755	13,0940

Para las condiciones de diseño:

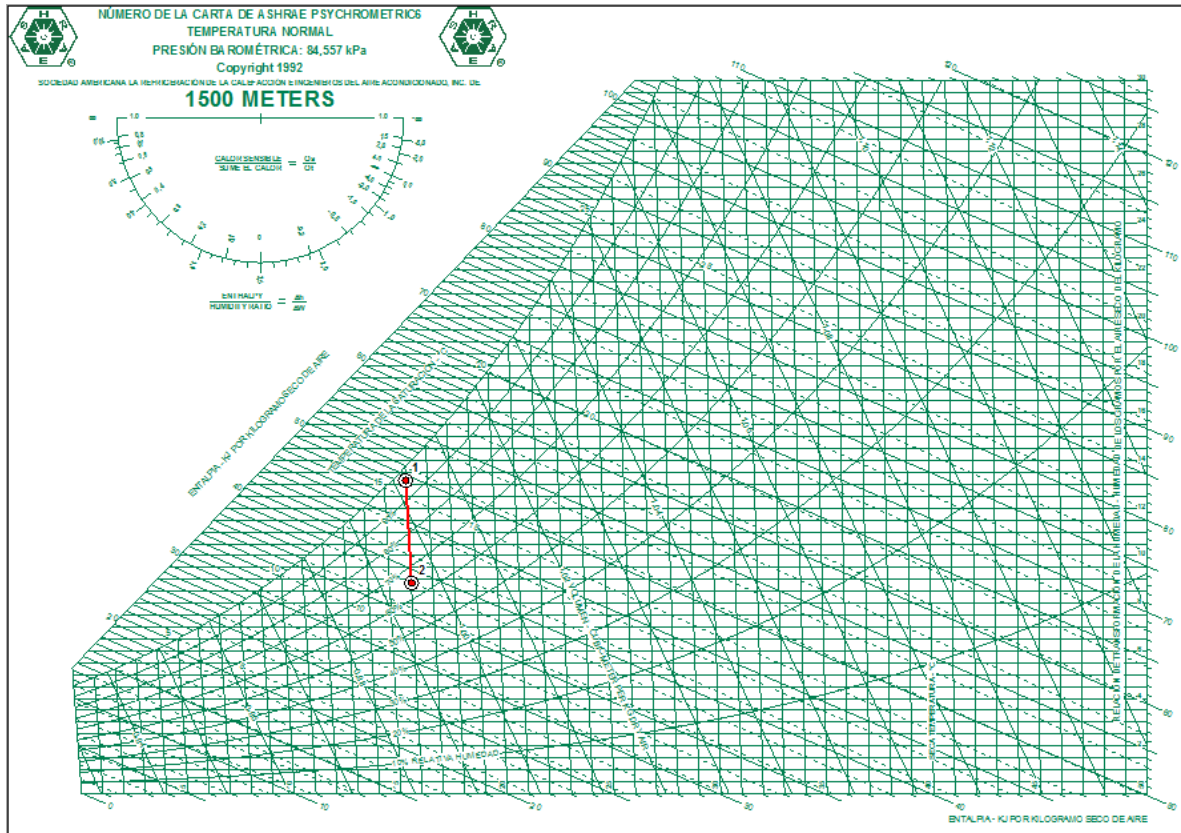
Con respecto a las condiciones óptimas de la panela y a la temperatura a la cual se encuentra cuando alcanza el valor más crítico de humedad se tiene que:

Tabla 12. Condiciones óptimas de la panela.

Dry Bulb (°C)	Wet Bulb (°C)	Relative Humidity (%)	Humidity Ratio (lb/lb)		Dew Point (°C)	Density (kg/cu.m)	Vapor Pressure (mm HG)
16,7000	11,9665	65,000	0,00114		9,4323	1,008228	8,8662

Psicométricamente el proceso correspondería al descrito a continuación:

Figura 34. Proceso psicrométrico en el proceso.

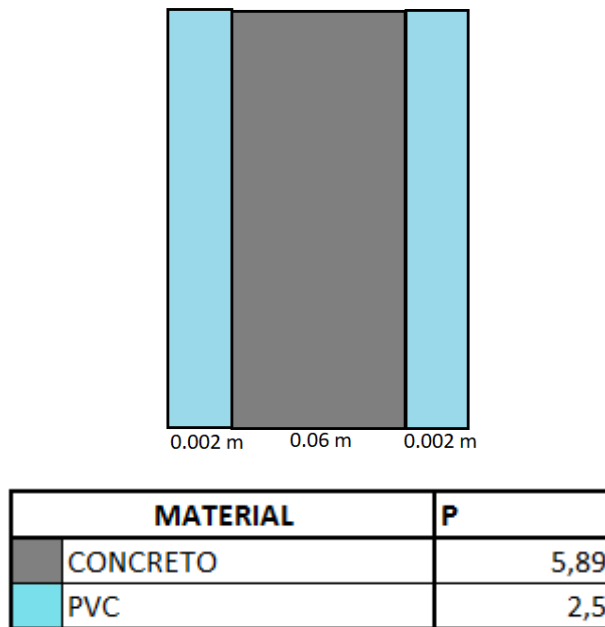


7.3 CARGA POR PERMEABILIDAD.

7.3.1 Pared 1.

7.3.1.1 Calculo permeabilidad a través de la construcción RBS.

Figura 35. Pared Sistema constructivo RBS



Según la *Permeability of Common Building Material to Water* ²³ Vapor, los factores de permeabilidad para el concreto y el policloruro de vinilo (PVC) son:

Para el concreto a 0.06 m: 0.68 y para el PVC a 0.02 m: 2.5.

Debido a que es una pared compuesta se tiene que:

²³ University of Alaska Fairbanks. *Permeability of Common Building Material to Water Vapor*. [En línea]. 2008. (Recuperado en 5 de Agosto 2017.) Disponible en <https://www.uaf.edu/ces%20or%201-877-520-5211>

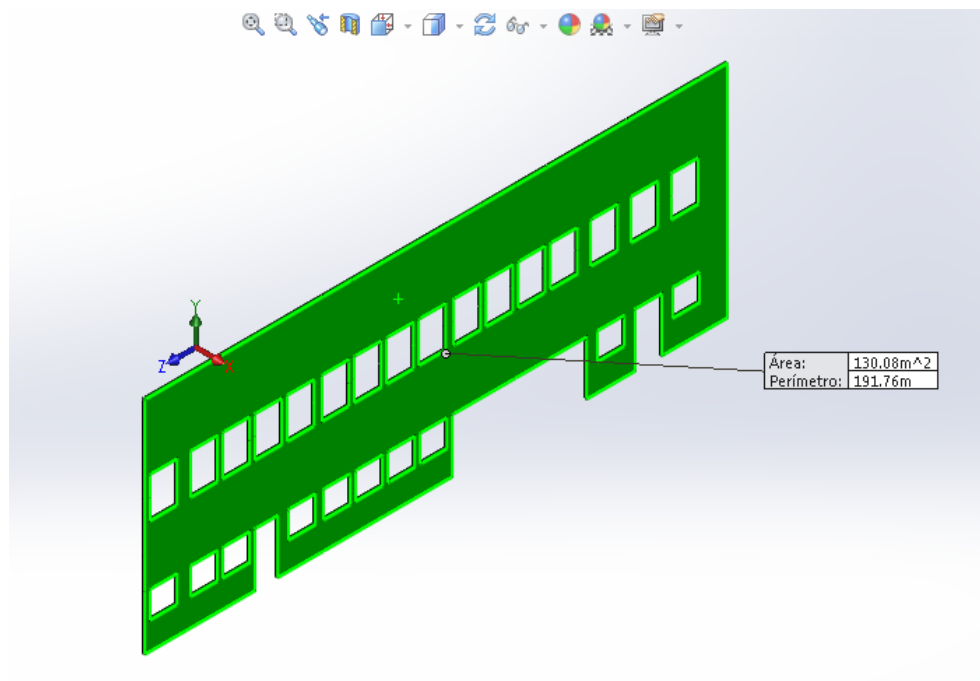
$$\frac{1}{P_T} = \frac{1}{5.89} + \frac{1}{2.5}$$

$$\frac{1}{P_T} = 0.56$$

$$P_T = 1.75$$

ÁREA DE LA CONSTRUCCIÓN RBS EN LA PARED 1.

Figura 36. Propiedades físicas pared 1.



De esta manera se tiene:

$$W_{p1} = 1.75 \cdot 1400 \cdot 0.1664 \left[\frac{Gr}{h} \right]$$

$$W_{p1} = 407.68 \left[\frac{Gr}{h} \right]$$

7.3.1.2 Calculo permeabilidad a través de las ventanas en la pared 1. Cada una de las ventanas son de acrílico, cuyo factor de permeabilidad es de 0.056.

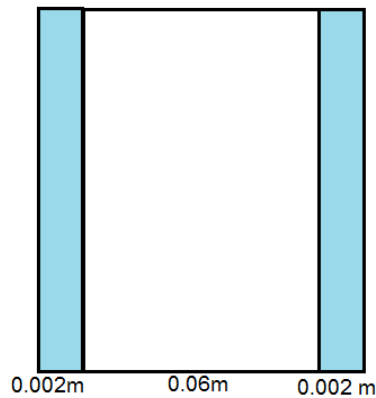
El área de las ventanas es de 24 m² lo que equivaldría a 260 ft², se tendría entonces que:

$$W_{v1} = 0.056 \cdot 260 \cdot 0.1664 \left[\frac{Gr}{h} \right]$$

$$W_{v1} = 2.42 \left[\frac{Gr}{h} \right]$$

7.3.1.3 Calculo de permeabilidad a través de puertas en la pared 1. Las puertas están diseñadas en el mismo tipo de PVC del sistema RBS solo que en vez de tener concreto tienen aire:

Figura 37. Esquema constructivo pared 1.



MATERIAL		P
	PVC	2,5
	AIRE	120

Debido a que es una pared compuesta se tiene que:

$$\frac{1}{P_T} = \frac{1}{120} + \frac{1}{2.5}$$

$$\frac{1}{P_T} = 0.4$$

$$P_T = 2.45$$

Para un área de puertas de 130 ft²:

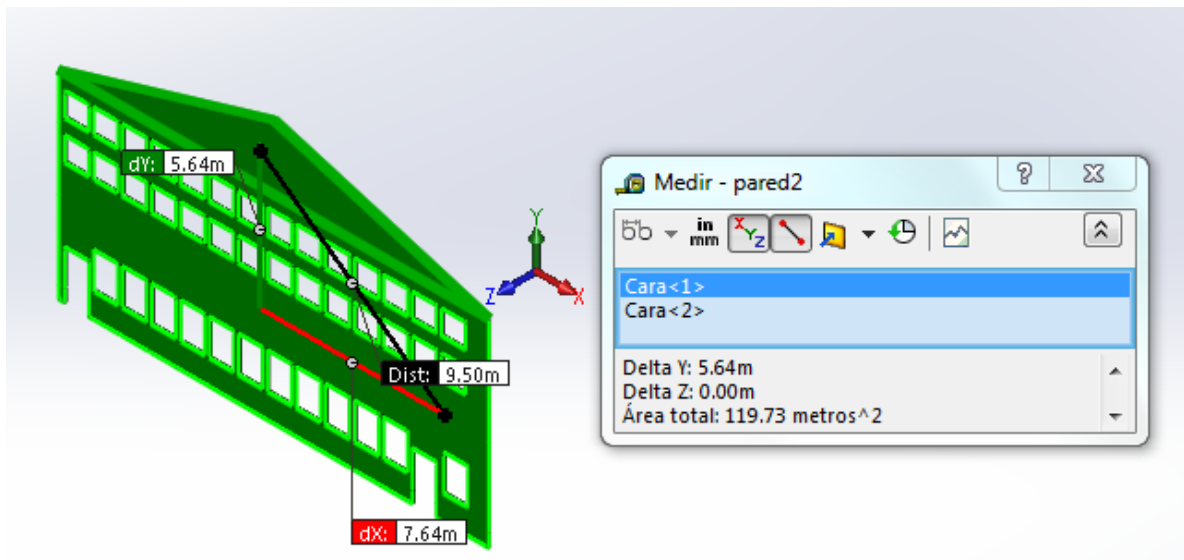
$$W_{d1} = 2.45 \cdot 260 \cdot 0.1664 \left[\frac{Gr}{h} \right]$$

$$W_{d1} = 61.15 \left[\frac{Gr}{h} \right]$$

7.3.2 Pared 2.

7.3.2.1 Calculo de permeabilidad a través de la construcción RBS para la pared 2.

Figura 38. Propiedades físicas pared 2.



Para un área de 120 m² equivalente a 1292 ft² se tendría:

$$W_{p2} = 1.75 \cdot 1292 \cdot 0.1664 \left[\frac{Gr}{h} \right]$$

$$W_{p2} = 376.23 \left[\frac{Gr}{h} \right]$$

7.3.2.2 Calculo permeabilidad a través de las ventanas en la pared 2. Para un área de ventanas de 46m² equivalente a 495 ft²:

$$W_{v2} = 0.056 \cdot 495 \cdot 0.1664 \left[\frac{Gr}{h} \right]$$

$$W_{v2} = 4.61 \left[\frac{Gr}{h} \right]$$

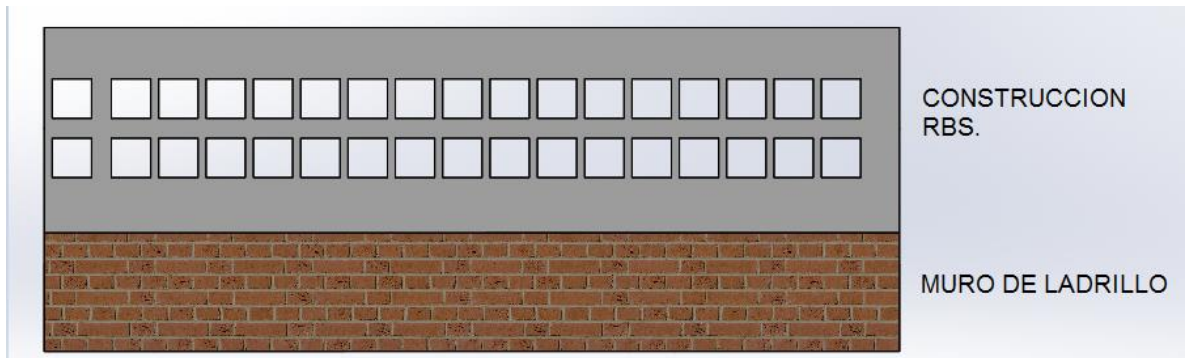
7.3.2.3 Calculo de permeabilidad a través de puertas en la pared 2. Para un área de puertas de 4 m² equivalente a 43 ft²:

$$W_{v2} = 2.5 \cdot 43 \cdot 0.1664 \left[\frac{Gr}{h} \right]$$

$$W_{v2} = 17.53 \left[\frac{Gr}{h} \right]$$

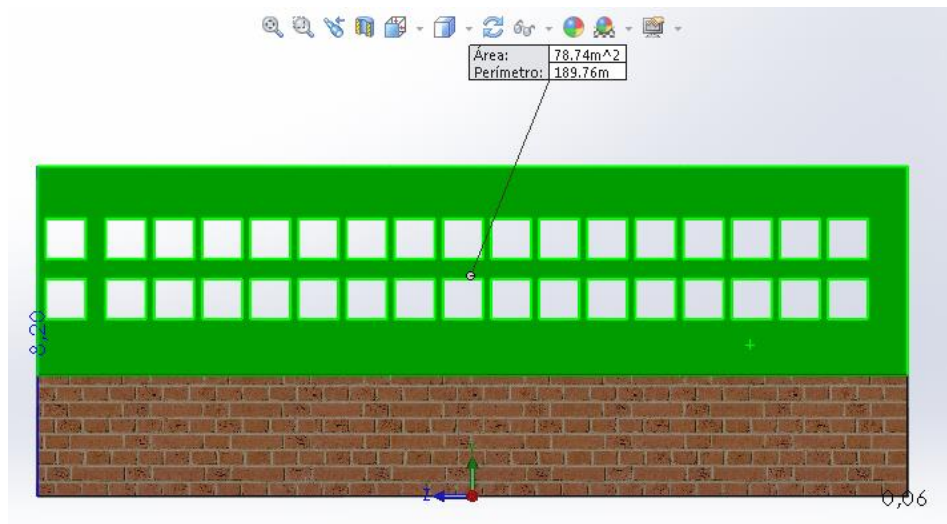
7.3.3 Pared 3. Esta pared es un poco diferente a las anteriores debido a que tiene un muro de ladrillo para soportar apiles de caña cuando esta llega al ingenio. A continuación se muestra la pared:

Figura 39. Esquematización pared 3



7.3.3.1 Calculo de permeabilidad a través de la construcción RBS.

Figura 40. Propiedades fisicas pared 3



Para un área equivalente a 848 ft² se tiene:

$$W_{p31} = 1.75 \cdot 848 \cdot 0.1664 \left[\frac{Gr}{h} \right]$$

$$W_{p31} = 246.94 \left[\frac{Gr}{h} \right]$$

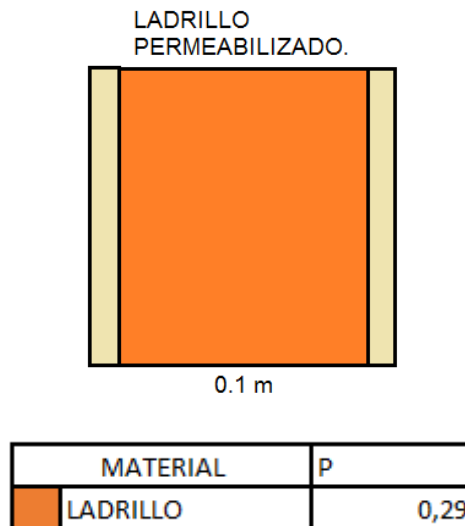
7.3.3.2 Calculo de permeabilidad a través de ventanas. Para un área equivalente a 183 ft² se tiene:

$$W_{v3} = 0.056 \cdot 183 \cdot 0.1664 \left[\frac{Gr}{h} \right]$$

$$W_{v3} = 1.71 \left[\frac{Gr}{h} \right]$$

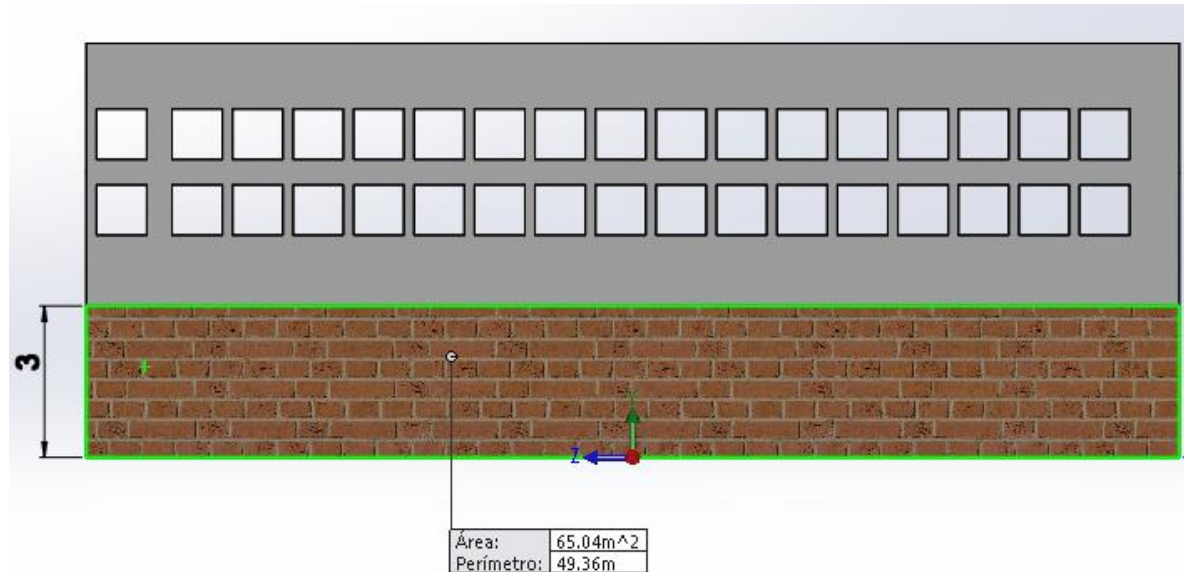
7.3.3.3 Calculo de permeabilidad a través de muro de ladrillo.

Figura 41. Esquema constructivo pared 3.



Para un área de pared de ladrillo de 65 m² equivalente a 700 ft², se tiene que:

Figura 42. Propiedades físicas del muro de ladrillo en la pared 3.



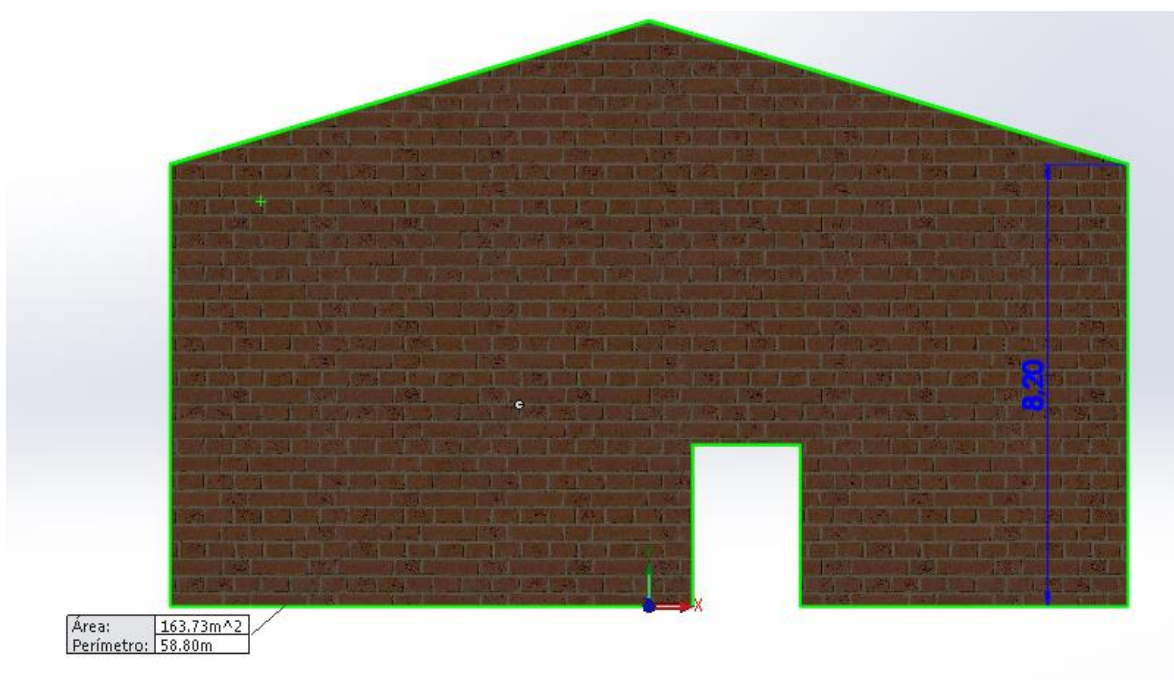
$$W_{p32} = 0.29 \cdot 700 \cdot 0.1664 \left[\frac{Gr}{h} \right]$$

$$W_{p32} = 33.78 \left[\frac{Gr}{h} \right]$$

7.3.4 Pared 4.

7.3.4.1 Calculo de permeabilidad a través de muro de ladrillo. La pared 4 es una pared compuesta por ladrillo permeabilizado, igual al muro anteriormente descrito:

Figura 43. Propiedades físicas pared 4.



$$W_{v3} = 0.29 \cdot 1765 \cdot \Delta P_v \left[\frac{Gr}{h} \right]$$

$$W_{v3} = 85.17 \left[\frac{Gr}{h} \right]$$

A continuación, se ilustra una tabla con los valores obtenidos en el cálculo de la carga de humedad por permeabilidad:

Tabla 13. Carga de permeabilidad en el cuarto de moldeo.

CARGA POR PERMEABILIDAD										
SUPERFICIE	AREA (ft ²)	FACTOR DE PERMEABILIDAD (gr/h/ft ²)			PRESION DE VAPOR EXTERIOR (in.Hg)		PRESION DE VAPOR INTERIOR (in.Hg)		CARGA POR PERMEABILIDAD (gr/h)	
PARED 1.										
CONSTRUCCION RBS	1400	X	1,75	X (	0,5155	-	0,3491	) =	407,68	
VENTANAS	260	X	0,056	X (	0,5155	-	0,3491	) =	2,42	
PUERTAS	150	X	2,45	X (	0,5155	-	0,3491	) =	61,15	
PARED 2.										
CONSTRUCCION RBS	1292	X	1,75	X (	0,5155	-	0,3491	) =	376,23	
VENTANAS	495	X	0,056	X (	0,5155	-	0,3491	) =	4,61	
PUERTAS	43	X	2,45	X (	0,5155	-	0,3491	) =	17,53	
PARED 3										
CONSTRUCCION RBS	848	X	1,75	X (	0,5155	-	0,3491	) =	246,94	
VENTANAS	183	X	0,056	X (	0,5155	-	0,3491	) =	1,71	
LADRILLO	700	X	0,29	X (	0,5155	-	0,3491	) =	33,78	
PARED 4										
LADRILLO	1765	X	0,29	X (	0,5155	-	0,3491	) =	85,17	
CARGA TOTAL POR PERMEABILIDAD									=	1237

7.4 CARGAS POR PERSONAS.

Para un numero de 12 trabajadores en días de molienda y trabajando moderadamente:

Figura 44

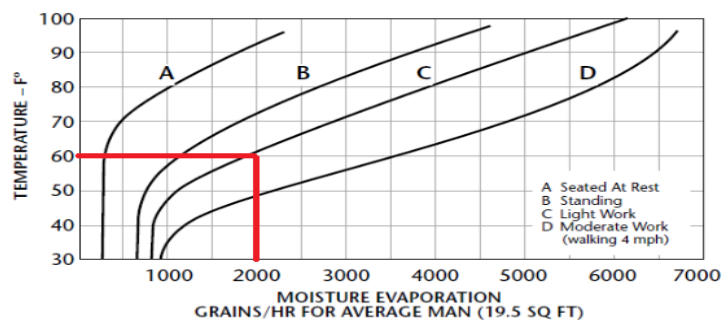


Tabla 14. Carga por personal en el cuarto de moldeo.

CARGA POR PERSONAL					
	No		CARGA DE HUMEDAD (gr/h/persona)		CARGA POR PERSONA (gr/h)
PERSONAS DESCANZANDO	0	X	0	=	0
PERSONAS DE PIE	0	X	0	=	0
PERSONAS CON TRABAJO MODERADO	12	X	2000	=	24000
PERSONAS CON TRABAJO FUERTE	0	X	0	=	0
CARGA TOTAL POR PERSONAS				=	24000

7.5 CARGA POR PRODUCTO.

Como se mencionó durante la explicación del punteo del jugo de caña de azúcar para la obtención de panela, en esta etapa la miel tiene aproximadamente 94 °B, es decir que aproximadamente el 6% de esta miel es agua. De este 6% según el CIMPA, en ambientes secos se rechaza entre un 2% y 3% al ambiente.

Figura 45. Carga de humedad debido al proceso de elaboración de panela.



Actualmente la planta procesa por molienda 10 Toneladas de caña, de este proceso, aproximadamente el 10% se transforma en miel.

En este sentido, de las 10 Ton de caña de azúcar se tendrían 1000 kg de miel para la elaboración de panela. De estos 1000 kg hasta el aproximadamente 3%, contenido de humedad, va al ambiente.

Figura 46. Cantidad de humedad agregada al cuarto por molienda.



Debido a que los 4 mesones del cuarto de moldeo tienen una capacidad para 500 panelas de 1 kg, es decir, para 500 kg por tendido y conociendo que el proceso de moldeo dura aproximadamente 30 minutos y la preparación de las gaveras otros 30 minutos, en una hora se agregarían 15 kg de humedad al entorno en condiciones de producción continua.

Tabla 15. Carga debido a productos en el cuarto de moldeo.

CARGA POR PRODUCTOS									
	No de panelas	PESO DE PANELA (Kg)			PORCENTAJE DE HUMEDAD TRAERIDO AL CUARTO	FACTOR DE CONVERSION			CARGA POR PRODUCTOS (gr/h)
ITEM 1	500	X	1	X	0,03	X	15432	=	231480
CARGA POR PRODUCTOS									= 231480

7.3 CARGAS POR APERTURA DE PUERTAS.

Figura 47. Vista frontal cuarto de moldeo del ingenio Mieles SA.



Para el siguiente cálculo se utilizó la velocidad promedio del viento en la región de san José de pare la cual es de 5 km/h. Además, se aproxima la cantidad de apertura de la puerta por hora de la siguiente manera:

Tabla 16. Frecuencia de apertura de puerta de acceso del personal.

No de aperturas		No de empleados
1	Entrada personal diurno	12
2	Salida descanso 1 diurno	
3	Entrada descanso 1 diurno	
4	Salida almuerzo diurno	
5	Entrada almuerzo diurno	
6	Salida descanso 2 diurno	
7	Entrada descanso 2 diurno	
8	Salida personal diurno	
9	Entrada personal nocturno	
10	Salida a descanso 1 nocturno	
11	Entrada descanso 1 nocturno	
12	Salida cena nocturno	
13	Entrada cena nocturno	
14	Salida descanso 2 nocturno	
15	Entrada descanso 2 nocturno	
16	Salida personal nocturno	

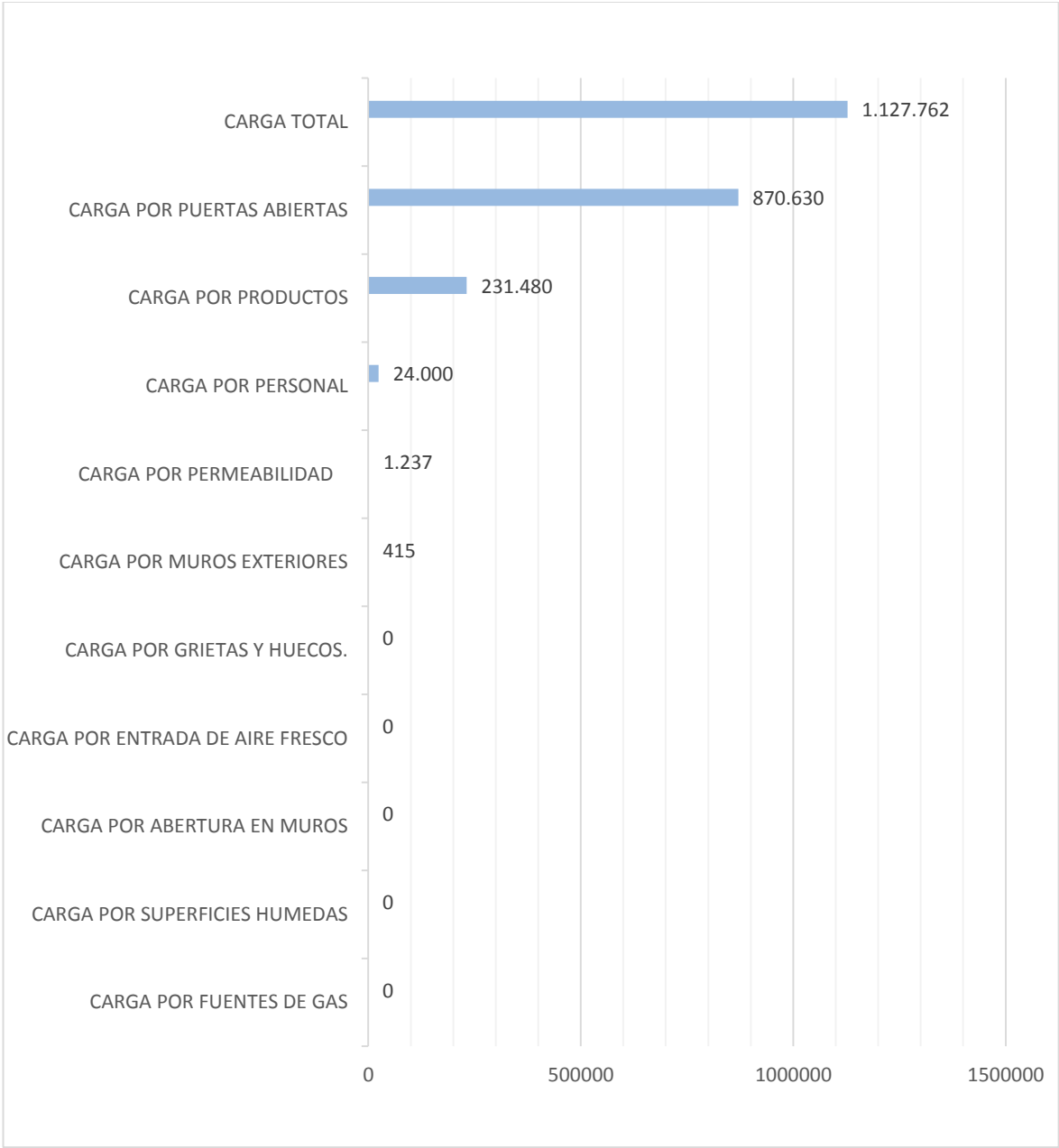
Tabla 17. Carga debido apertura de puertas en el cuarto de moldeo.

CARGA POR PUERTAS ABIERTAS													
PUERTA	AREA (ft ²)		VELOCIDAD PROMEDIO DEL AIRE (FPM).		CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AIRE EXTERIOR (gr/Lb)		CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AIRE EXTERIOR (gr/Lb)		DENSIDA D DEL AIRE (Lb/ft ³)		TIEMPO DE APERTUR A (No/h)		CARGA POR PUERTAS ABIERTAS (gr/h)
PERSONAL	22	X	220	X (	96,78	-	60,54	) X	0,07	X	12	=	147337,3
MIEL	108	X	220	X (	96,78	-	60,54	) X	0,07	X	12	=	723292,4
CARGA TOTAL POR PUERTAS ABIERTAS												=	870630

7.4 CARGA POR FUENTES DE HUMEDAD EN CUARTO DE MOLDEO DEL INGENIO PANELERO MIELES S.A.

A continuación, se ilustra el total de carga de humedad que se agrega al sistema por hora, así como su respectiva fuente.

Tabla 18. Carga total de humedad en el cuarto de moldeo.



8. DISEÑO DEL SISTEMA DE DESHUMIDIFICACIÓN.

8.1 SELECCIÓN DEL EQUIPO DESHUMIDIFICANTE.

Para la selección del sistema de deshumidificación se determina el flujo volumétrico de aire requerido de la siguiente manera:

$$CFM = \frac{W_T}{\rho \cdot 60 \cdot (M_o - M_i)}$$

$$CFM = \frac{1.029.037}{0.07 \cdot 60 \cdot (96.78 - 60.58)}$$

$$CFM = 6984 \approx 7000$$

Esto es equivalente a 12.000 m³h.

8.1.1 Deshumidificadores desecantes MX2. Deshumidificadores de alto rendimiento para aplicaciones en la industria alimentaria, procesos químicos, entre otros procesos en los que se requiera un buen control de humedad ²⁴.

Munter posee los siguientes deshumidificadores mencionados a continuación, así como su respectiva capacidad de flujo volumétrico:

²⁴ Ver ANEXO E.

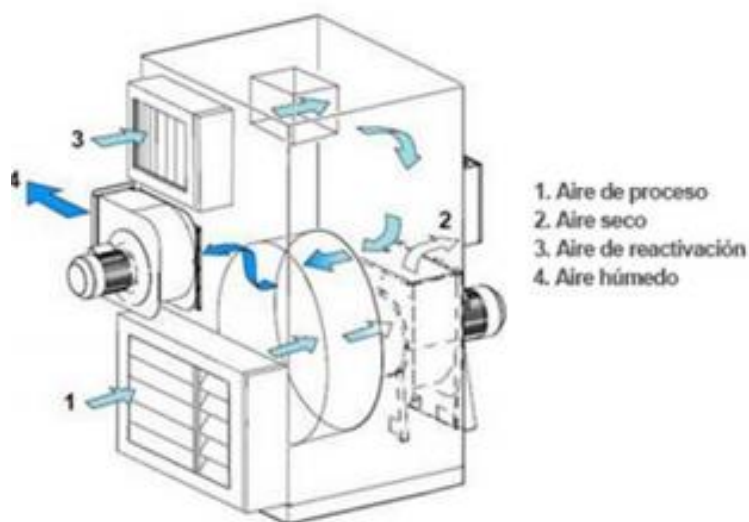
Tabla 19. Características volumétricas de los deshumidificadores Munters.



Dado que para el sistema se requieren 12.000 m³/h, se necesitará de la implementación de dos equipos deshumidificantes para el cuarto de moldeo.

Por lo que se eligen dos desecantes MX2 60.

Figura 48. Deshumidificador desecante MX2 60



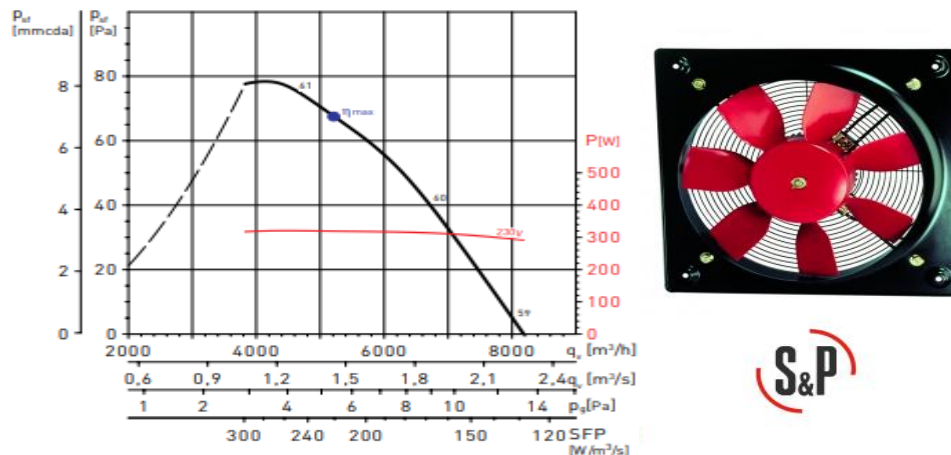
Fuente: Manual de usuario. [En línea]. Munters Corporation. 2009. (Recuperado en 5 septiembre 2017.) Disponible en <http://www.muntersamerica.com/>.

8.2 SELECCIÓN DE LOS VENTILADORES EXTRACTORES.

Se selecciona un extractor de referencia HCBT/04-355H de la marca soler y Palau, se muestra a continuacion la respectiva curva del ventilador y se anexa su manual y características de funcionamiento al final de este libro.

Debido a que se requiere una extraccion aproximada de 24000 m³/h se instaran 3 extractores de la siguiente manera

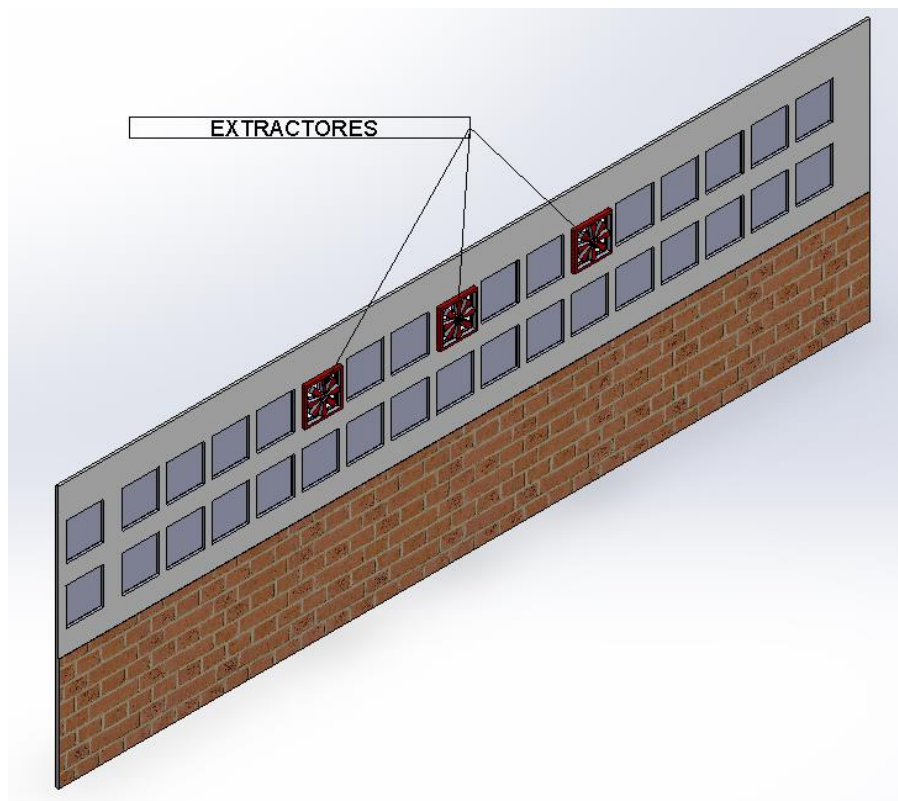
Figura 49. Curva característica del extractor HCBT/04-355H



Fuente: Manual de usuario. [En línea]. Soler y palau. 2008. (Recuperado en 5 septiembre 2017.)
Disponble en <http://www.solerypalau.com/>.

Debido a que se requiere una extraccion aproximada de 12000 m³/h se instaran 3 extractores de la siguiente manera

Figura 50. Ubicación de los extractores en la pared 3 del cuarto.



8.3 ANÁLISIS TERMODINÁMICO DEL PROCESO.

Para el proceso termodinámico existente en el deshumidificador es el siguiente:

Figura 51. Balance de masa en el deshumidificador.



Fuente: Manual de usuario. [En línea]. Munters Corporation. 2009. (Recuperado en 5 septiembre 2017.) Disponible en <http://www.muntersamerica.com/>.

$T_1 = 16\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\phi_1 = 96\%$	$\longrightarrow$	$\omega_1 = 0.0132\text{ [kg/kg]}$ $v_3 = 1.009\text{ [m}^3\text{/kg]}$
---	-------------------	--

Balance de masa para el aire seco.

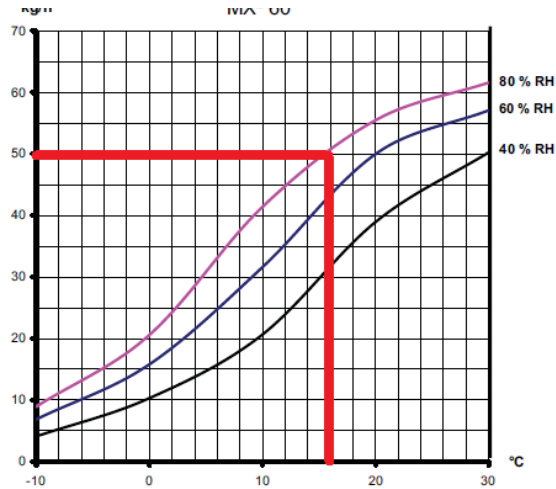
$$\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2} = \dot{m}_a$$

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{V}_1}{v_1} = \frac{6000}{1.009}$$

$$\dot{m}_a = 5947\text{ [kg/h]}$$

Para determinar $\dot{m}_w$ se obtiene la cantidad de humedad que extrae el deshumidificador para las condiciones de humedad y temperatura de entrada, aquí se tuvo en cuenta que para valores superiores a 80%, el deshumidificador extraerá el mismo valor que a la anterior humedad mencionada.

Figura 52. Capacidad de extracción del deshumidificador MX60



Fuente: Manual de usuario. [En línea]. Munters Corporation. 2009. (Recuperado en 5 septiembre 2017.) Disponible en <http://www.muntersamerica.com/>.

BALANCE DE MASA PARA EL VAPOR.

$$\dot{m}_a \cdot \omega_1 - \dot{m}_w = \dot{m}_a \cdot \omega_2$$

$$5947 \cdot 0.0132 - 50 = 5947 \cdot \omega_2$$

$$\omega_2 = 0.0048$$

$$\begin{array}{ccc}
 T_2 = 16\text{ }^{\circ}\text{C} & \longrightarrow & \phi_2 = 35\% \\
 \omega_1 = 0.0132\text{ [kg/kg]} & & v_2 = 0.9955\text{ [m}^3\text{/kg]}
 \end{array}$$

En el cuarto se tendrían las siguientes condiciones,

Figura 53. Balance de masa en el cuarto.



Para determinar $\dot{m}_2$ se tiene que:

$$\dot{m}_2 = \frac{\dot{V}_2}{v_2} = \frac{12000}{0.9955} = 12054\text{ [kg/h]}$$

El punto 3 está determinado por la carga total de humedad que entra al cuarto.
Las condiciones de este punto son las siguientes:

$$\begin{array}{ll} T_3 = 16 \text{ }^{\circ}\text{C} & \longrightarrow \omega_3 = 0.0132 \text{ [kg/kg]} \\ \phi_3 = 96\% & v_3 = 1.009 \text{ [m}^3\text{/kg]} \end{array}$$

$$CFM = \frac{W_T}{\rho \cdot 60 \cdot (M_o - M_i)}$$

$$CFM = \frac{1.029.037}{0.07 \cdot 60 \cdot (96.78 - 60.58)}$$

$$CFM = 6984 \approx 12000 \text{ [m}^3\text{/h]}$$

Para determinar $\dot{m}_3$ se tiene que:

$$\dot{m}_3 = \frac{\dot{V}_2}{v_2} = \frac{12000}{1.009} = 11894 \text{ [kg/h]}$$

Realizando el balance de masa se tiene que:

$$\dot{m}_2 \cdot \omega_2 + \dot{m}_3 \cdot \omega_3 = \dot{m}_4 \cdot \omega_4$$

$$12054 \cdot 0.00048 + 11894 \cdot 0.0132 = 24000 \cdot \omega_4$$

$$\omega_4 = 0,008948 \text{ [kg/kg]}$$

Para 4 se tendría que:

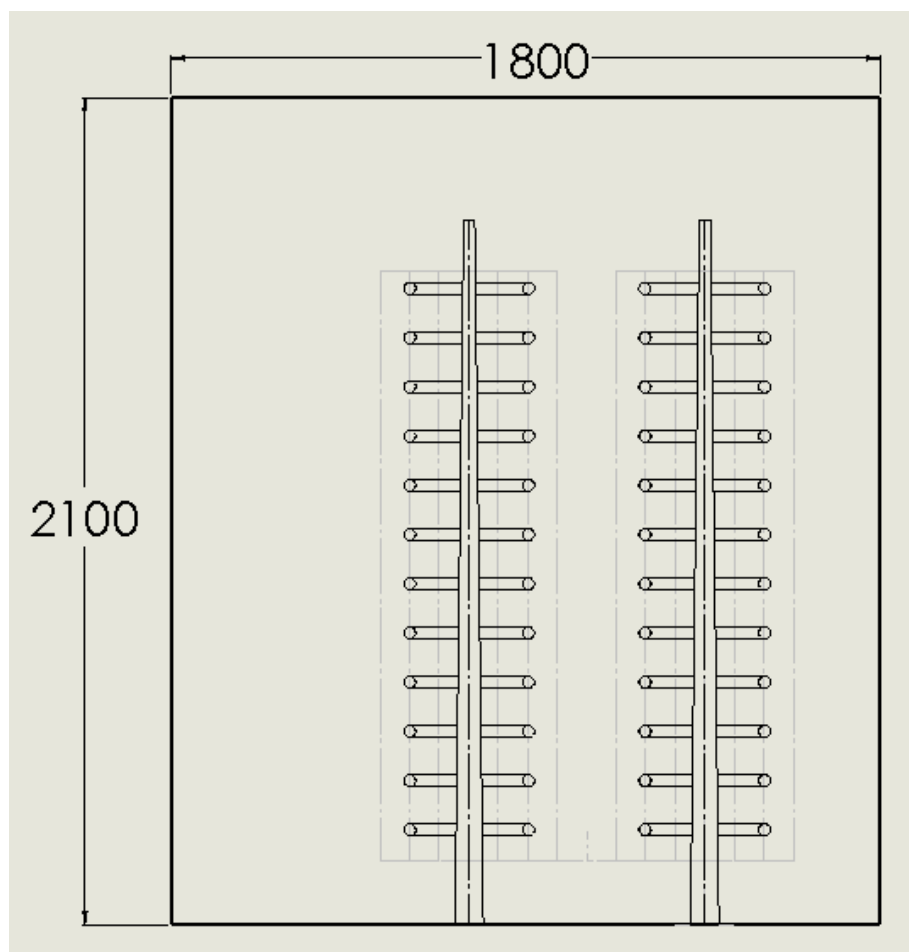
$$\begin{array}{ccc} T_4 = 16\text{ }^{\circ}\text{C} & \longrightarrow & \phi_3 = 65\% \\ \omega_3 = 0.008948\text{ [kg/kg]} & & \end{array}$$

Condiciones que satisfacen los requerimientos de humedad para el correcto secado de la panela dentro del cuarto.

8.4 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DEL AIRE.

Una vez seleccionados los respectivos equipos de deshumidificación se diseña el conjunto de componentes y equipos dispuestos a transportar el aire deshumidificando al cuarto de moldeo.

Figura 54. Esquema sistema de distribución de aire.



8.5 CÁLCULO DE DIÁMETRO DE TUBERÍA.

Para el cálculo del diámetro de la tubería se utilizará el método de pérdida constante, el cual se muestra a detalle a continuación.

Tabla 20. Velocidad máxima permitida para sistemas de ventilación.

APLICACIÓN	FACTOR DE CONTROL DE RUIDO (conductos principales)	Conductos principales		Conductos derivados	
		Suministro	Retorno	Suministro	Retorno
Residencias	3	5	4	3	3
Apartamentos	5	7,5	6,5	6	5
Dormitorios hotel					
Dormitorios hospital					
Oficinas particulares	6	10	7,5	8	6
Despachos dirección					
Bibliotecas					
Salas cine/teatro	4	6,5	5,5	5	4
Auditorios	7,5	10	7,5	8	6
Oficinas públicas					
Restaurantes					
Comercios					
Bancos	9	10	7,5	8	6
Comercios					
Cafeterías	12,5	15	9	11	7,5
Locales industriales					

Se diseñan 2 ductos principales, con difusores descargando aire en cada mesa para garantizar una mejor distribución de aire en el secado de las panelas.

8.6 SELECCIÓN DE LOS DIFUSORES.

Se seleccionó el siguiente difusor de la marca Koolair cuyas características son las siguientes:

Figura 55. Difusores Koolair de descarga vertical.

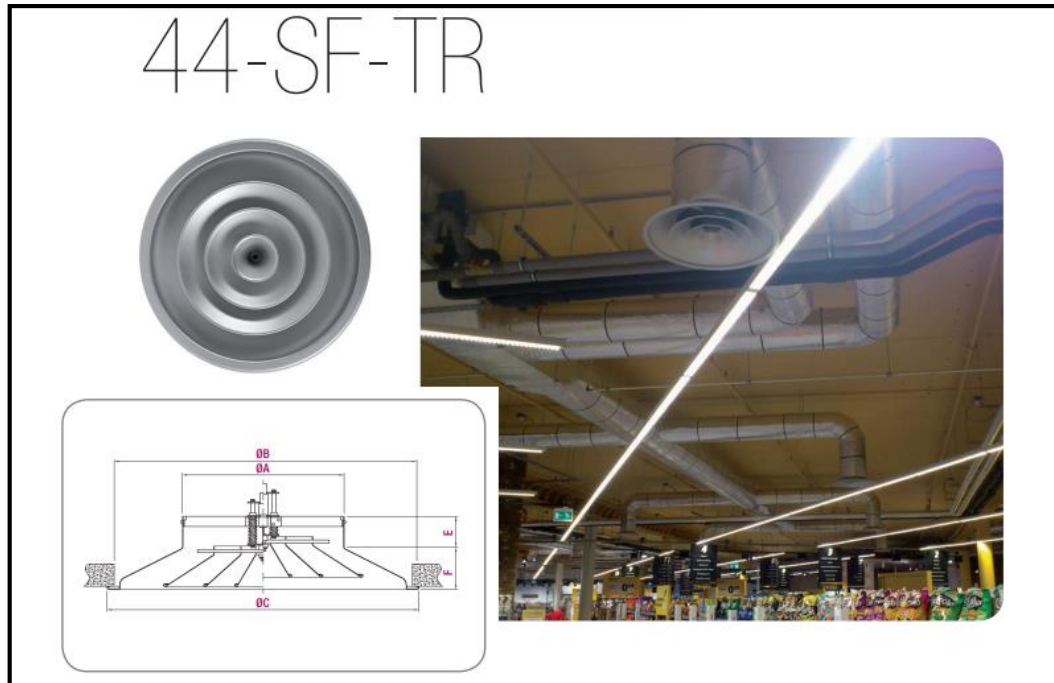


Tabla 21. Selección de difusor según criterio de diseño.

Difusor	Ø A	Ø D	H
160	158	124	221
200	198	159	256
250	248	199	296
315	313	249	355
400	398	249	355

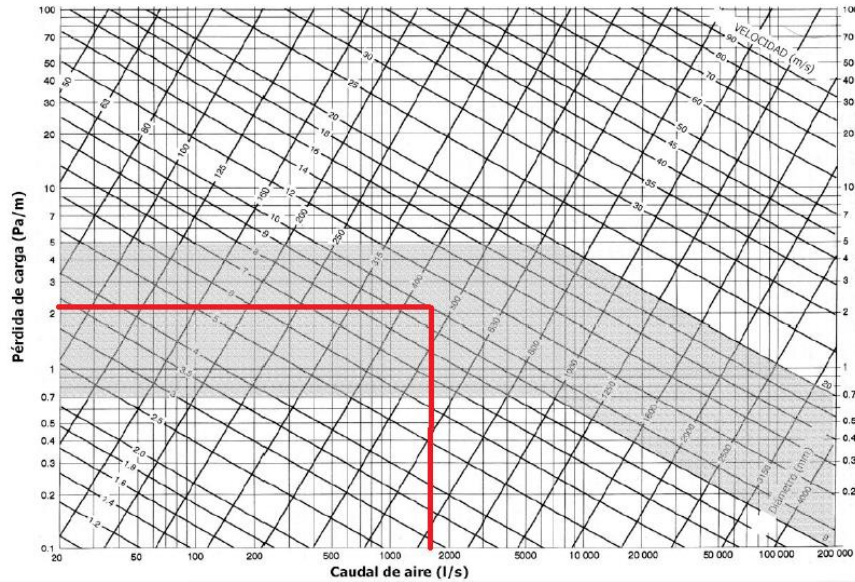
Tamaño	Q (m³/h)	L _{WA} [dB(A)]	ΔP _t (Pa)	Y (m)
160	250	25	14	2,6
	350	35	27	3,7
	475	45	50	5,0
200	370	25	13	3,1
	500	35	23	4,2
	660	45	40	5,5
250	540	25	11	3,6
	730	35	20	4,9
	975	45	36	6,5
315	800	25	9	4,3
	1075	35	17	5,7
	1480	45	32	7,9

Fuente: Manual de usuario. [En línea]. KOOLAIR. 2013. (Recuperado en 5 septiembre 2017.)

Disponible en <http://www.koolair.com/>.

Calculando la velocidad máxima para la pérdida por unidad de longitud con respecto al tramo A se tiene que:

Figura 56. Cálculo de pérdida unitaria para el sistema.



Calculando las velocidades para los otros tramos de tubería:

Figura 57. Cálculo de velocidades en los tramos del ducto.

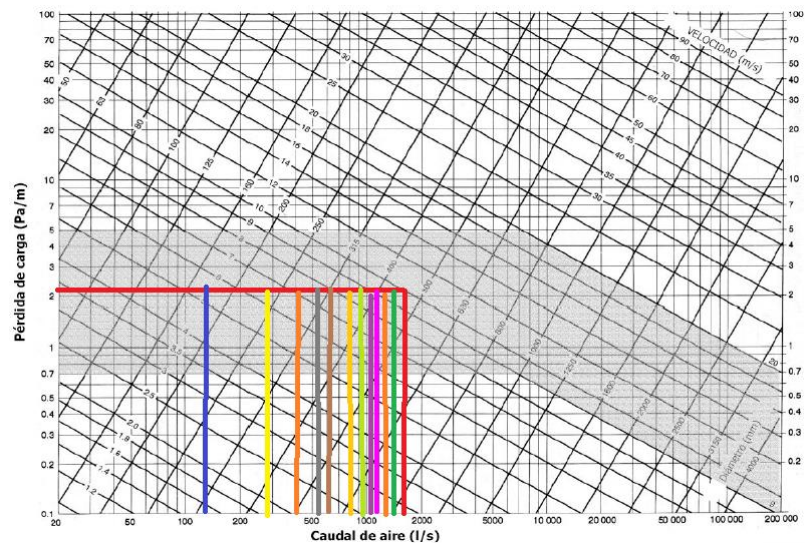


Tabla 22. Diseño de diámetro del ducto principal.

	SECCION	CAUDAL (m ³ /h)	CAUDAL (l/s)	VELOCIDAD (m/s)	DIAMETRO (mm)	DIAMETRO DE SECCION (mm)
	A	6000	1666,2	10	461	465
	B	5500	1527,35	10	441	
	C	5000	1388,5	9	443	
	D	4500	1249,65	9	420	420
	E	4000	1110,8	8	420	
	F	3500	971,95	8	393	
	G	3000	833,1	8	364	365
	H	2500	694,25	7	355	
	I	2000	555,4	7	318	
	J	1500	416,55	7	275	275
	K	1000	277,7	6	243	
	L	500	138,85	6	172	

A continuación, se ilustra uno de los ductos principales, teniendo en cuenta que el ducto que transportará los otros 6000 m³/h será de las mismas dimensiones:

Figura 58. Ducto principal del sistema de deshumidificación.

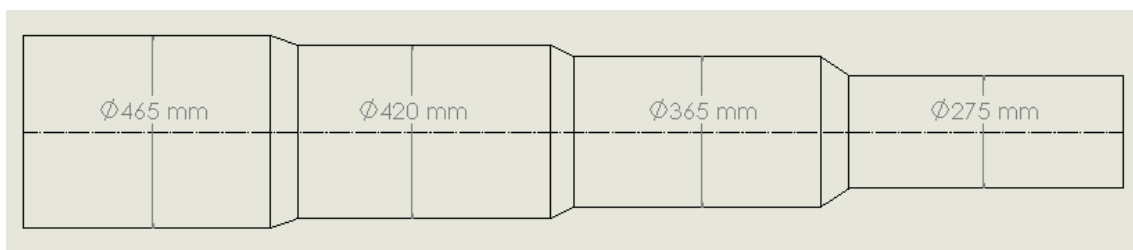
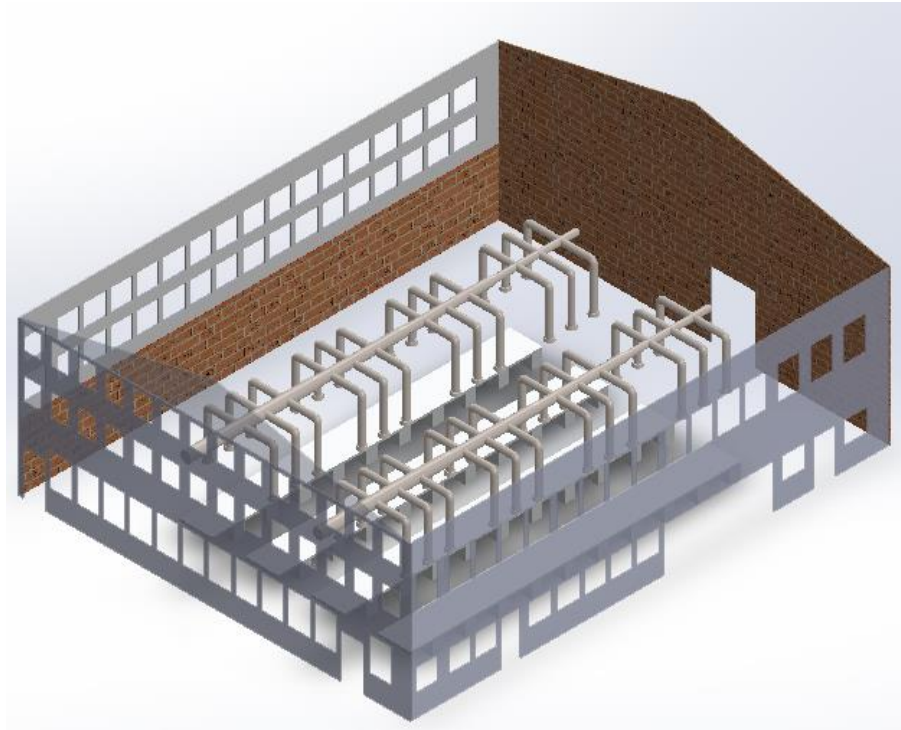


Figura 59. Sistema de distribución de aire en el cuarto de moldeo.



8.7 CÁLCULO DE PERDIDAS DE PRESIÓN EN EL SISTEMA.

$$\Delta P_{TOTAL} = \sum \Delta P_{PRIMARIAS} + \sum \Delta P_{SECUNDARIAS}$$

CÁLCULO DE PERDIDAS PRIMARIAS.

Las pérdidas primarias corresponden a las pérdidas correspondientes a los tramos longitudinales de tubería.

$$\sum \Delta P_{PRIMARIAS} = \Delta P_{UNITARIO} * L_{TUBERIA}$$

$$\sum \Delta P_{PRIMARIAS} = 2.1 * (17.5 + 1.5 + 2)$$

$$\sum \Delta P_{PRIMARIAS} = 44.1 \text{ (Pa)}$$

CÁLCULO DE PERDIDAS SECUNDARIAS.

Las pérdidas correspondientes al sistema por concepto de accesorios son las siguientes:

$$\sum \Delta P_{SECUNDARIAS} = \Delta P_{REDUCCIONES} + \Delta P_{CODO} + \Delta P_{DIFUSOR}$$

Para el difusor se tiene que:

Tabla 23. Caída de presión en el difusor.

Tamaño	Q (m³/h)	L _{WA} [dB(A)]	ΔP _t (Pa)	Y (m)
160	250	25	14	2,6
	350	35	27	3,7
	475	45	50	5,0
200	370	25	13	3,1
	500	35	23	4,2
	660	45	40	5,5
250	540	25	11	3,6
	730	35	20	4,9
	975	45	36	6,5
315	800	25	9	4,3
	1075	35	17	5,7
	1480	45	32	7,9

$$\Delta P_{DIFUSOR} = 14 \text{ (Pa)}$$

Para el codo se tiene que:

$$\Delta P_{CODO} = K * \rho * \frac{V^2}{2}$$

Tabla 24. Factor de fricción para diferentes accesorios.

Diámetro mm	15	20	25	32	40	50	65, 80	100	125	150	200,250	300,400	450-600
Nominal pulg	½	¾	1	1¼	1½	2	2½, 3	4	5	6	8, 10	12-16	18-24
Factor de fricción (f_f)	.027	.025	.023	.022	.021	.019	.018	.017	.016	.015	.014	.013	.012

$$K = 30 * 0.014$$

$$K = 4.2$$

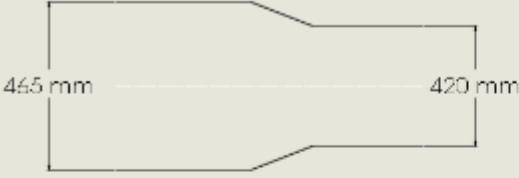
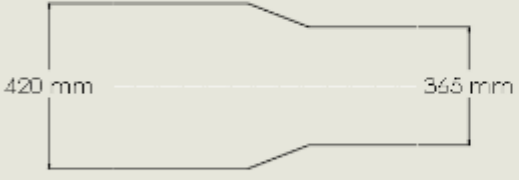
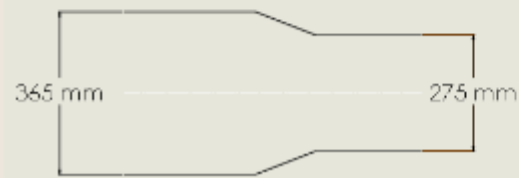
$$\Delta P_{CODD} = 4.2 * 0.07 * \frac{(10)^2}{2}$$

$$\Delta P_{CODD} = 8 \text{ (Pa)}$$

Para las reducciones se tiene que:

$$K = \frac{0.8 * \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) * \left(1 - \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2\right)}{\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^4}$$

Figura 60. Tramos de tubería para el sistema.

TRAMO	Θ	K	ΔP (Pa)
	14°	0,219308803	0,6675808
	14°	0,340056441	0,6901975
	14°	1,063332217	1,7216628

$$\Delta P_{REDUCCIONES} = 0.66 + 0.69 + 1.721$$

$$\Delta P_{REDUCCIONES} = 3 \text{ (Pa)}$$

$$\sum \Delta P_{SECUNDARIAS} = \Delta P_{REDUCCIONES} + \Delta P_{CODO} + \Delta P_{DIFUSOR}$$

$$\sum \Delta P_{SECUNDARIAS} = 3 + 8 + 14$$

$$\sum \Delta P_{SECUNDARIAS} = 25 \text{ (Pa)}$$

$$\Delta P_{TOTAL} = \sum \Delta P_{PRIMARIAS} + \sum \Delta P_{SECUNDARIAS}$$

$$\Delta P_{TOTAL} = 44.1 + 25 = 69.1 \text{ (Pa)}$$

Tabla 25. Características volumétricas de los deshumidificadores Munters

	MX²30E	MX²35E	MX²40E	MX²55E	MX²60E	MX²80E	MX²95E
Aire de proceso							
Las cifras son nominales, basadas en una temperatura de entrada del ventilador de 20 °C, y una densidad del aire de 1,2 kg/m³.							
Corriente de aire nominal (m³/h)	0,750	0,972	1,111	1,528	1,667	2,222	2,639
Corriente de aire nominal (m³/h)	2700	3500	4000	5500	6000	8000	9500
Presión estática mínima disponible (Pa)	300	300	300	300	300	300	300
Potencia del motor del ventilador (kW)	2,2	3,0	3,0	3,0	7,5	7,5	7,5

De la tabla anterior se tiene que:

$$POT = Q * \Delta P$$

$$7500 = \frac{6000}{60} * \Delta P$$

$$7500 = 100 * \Delta P$$

$$\Delta P = 75 \text{ (Pa)}$$

Por lo que se puede concluir que el ventilador del deshumidificador cumple con los requerimientos de potencia para el sistema.

8.8 SOPORTES DE LOS DUCTOS.

Los ductos se soportarán mediante cable de acero galvanizado anticorrosivo, seccionados cada 1.5 m entre tramos del ducto principal y 1 m del ducto principal al inicio del codo de las ramificaciones.

Figura 61. Soporte mediante guayas de acero para los ductos.

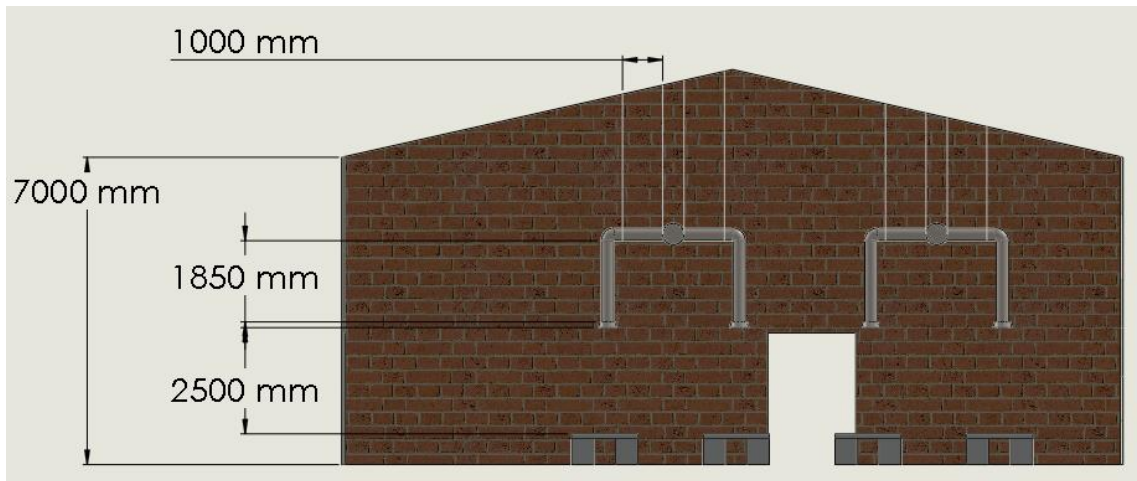


Figura 62. Vista lateral de los soportes de los ductos.

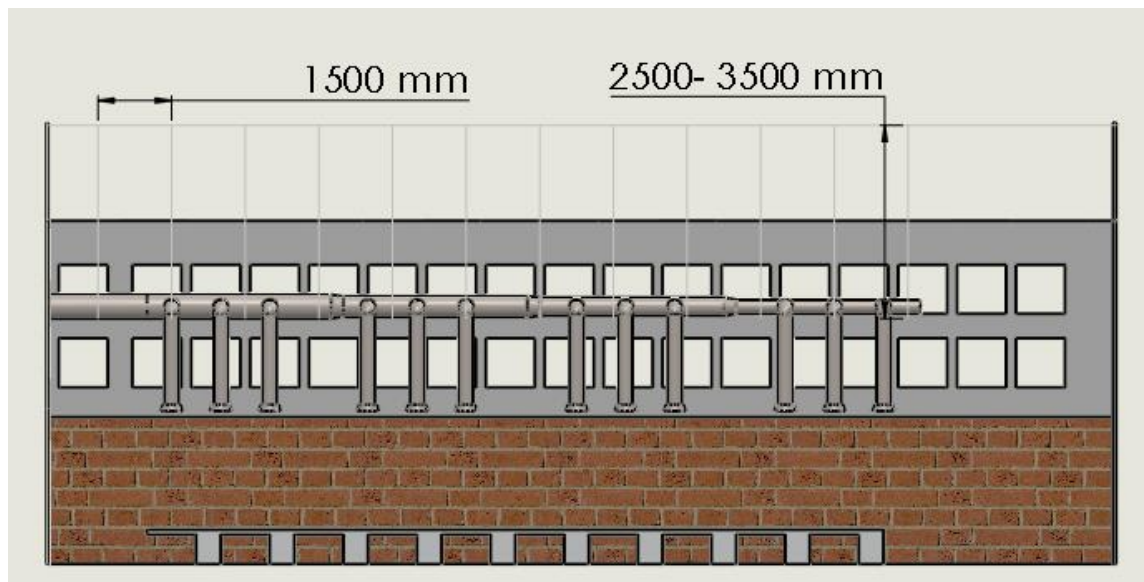


Figura 63. Guaya de acero 7-FLEX 2.



Fuente: Manual de usuario. [En línea]. ACEFLEX2. 2009. (Recuperado en 5 septiembre 2017.)
 Disponible en <http://www.ACEFLEX.com/>.

A continuación, se muestra la ficha técnica del cable a implementar.

Tabla 26. Resistencia cable de acero inoxidable para el soporte de tubería.

Diámetro (pulg)	Peso/ pie aprox. (lb)	Resistencia mínima a la rotura (toneladas de 2000 lb) XIP® IWRC
3/8	0.26	7.55
7/16	0.35	10.2
1/2	0.46	13.3
9/16	0.59	16.8
5/8	0.72	20.6
3/4	1.04	29.4
7/8	1.42	39.8
1	1.85	51.7
1-1/8	2.34	65.0
1-1/4	2.89	79.9

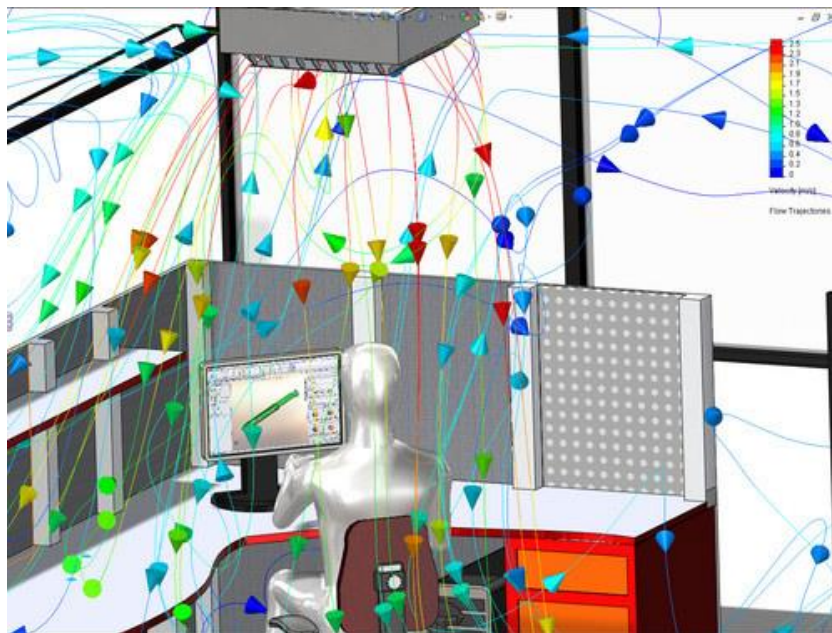
Fuente: Manual de usuario. [En línea]. ACEFLEX2. 2009. (Recuperado en 5 septiembre 2017.)
 Disponible en <http://www.ACEFLEX.com/>.

9. SIMULACIÓN COMPUTACIONAL MEDIANTE EL FLOW SIMULATION ANALYSIS.

9.1 ACERCA DEL SOFTWARE.

SOLIDWORKS® Flow Simulation es una intuitiva herramienta de dinámica de fluidos computacional incorporada en el software de diseño mecánico SOLIDWORKS que permite analizar de manera eficaz y simple flujos de líquido y gas ²⁵, análisis que van desde la simulación de un rodete de una bomba hasta el análisis de cuartos fríos mediante su módulo de HVAC.

Figura 64. Análisis computacional en Flow Simulation.



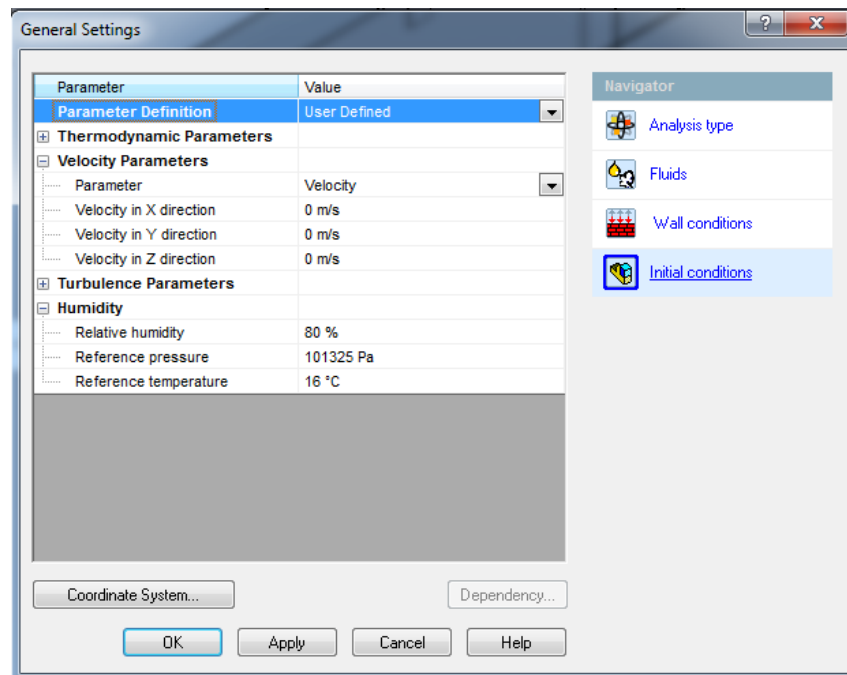
Fuente: SOLIDWORKS ACADEMY, [En línea]. (Recuperado en 15 agosto 2018.)
Disponibile en <https://academy.3ds.com>.

²⁵ SOLIDWORKS ACADEMY, [En línea]. (Recuperado en 15 agosto 2018.) Disponible en <https://academy.3ds.com>.

9.2 DESCRIPCIÓN DE LA INTERFAZ DEL PROGRAMA.

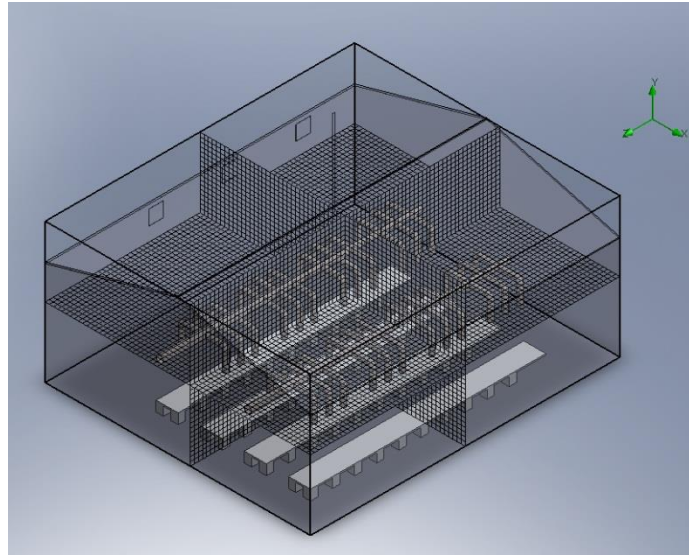
Como primer paso se debe activar la opción para uso del complemento de Solid Works Flow simulation. Una vez activado el complemento se definen las condiciones iniciales del sistema como se muestra a continuación:

Figura 65. Asignación de condiciones iniciales del sistema.



Después de esto se definen las condiciones de mallado para el modelo 3D del cuarto, para este caso se implementó una malla de precisión, malla nivel 7, cuyo valor es el máximo en Flow Simulation, y se determinan las condiciones de dominio en el cual se va a realizar el análisis.

Figura 66. Mallado del Sistema.



Una vez discretizado el sistema se seleccionan las condiciones y las respectivas áreas de entradas y salidas de flujos volumétricos, como se muestra a continuación:

Figura 67. Definición de las entradas de aire en el sistema.

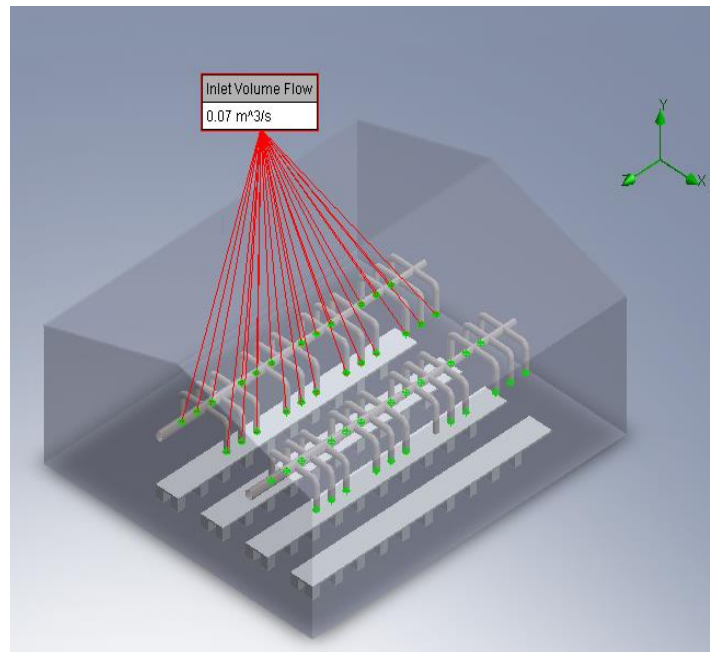
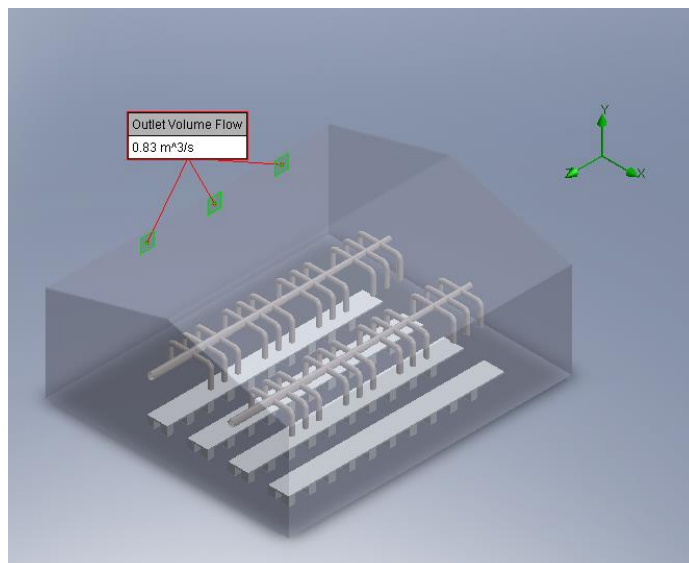
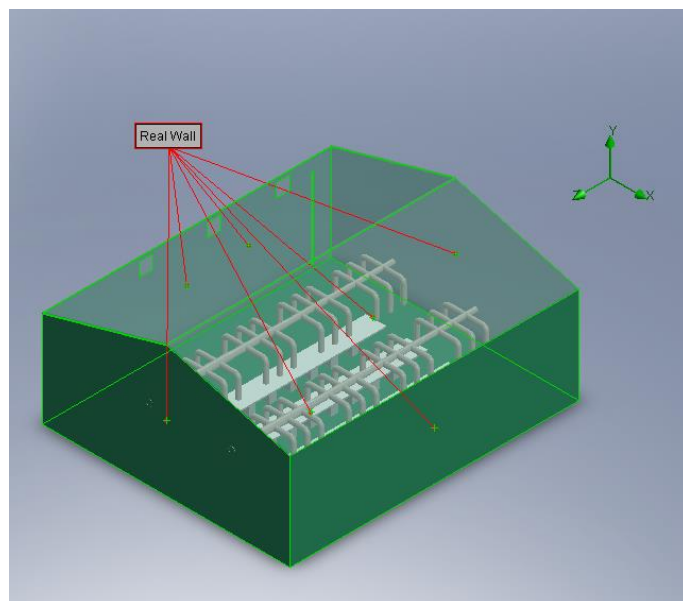


Figura 68. Definición de las salidas de aire del sistema.



Para terminar, se selecciona el dominio de fluido y las fronteras, en este caso los muros del cuarto, como condiciones de contorno:

Figura 69. Definición de dominio del sistema.



9.3 RESULTADOS DE LA SIMULACION.

Se simulo el proceso del comportamiento del aire en el cuarto en un intervalo de tiempo de 1000 s, destacándose los siguientes periodos de tiempo mostrados a continuación:

Figura 70. Condiciones iniciales del sistema.

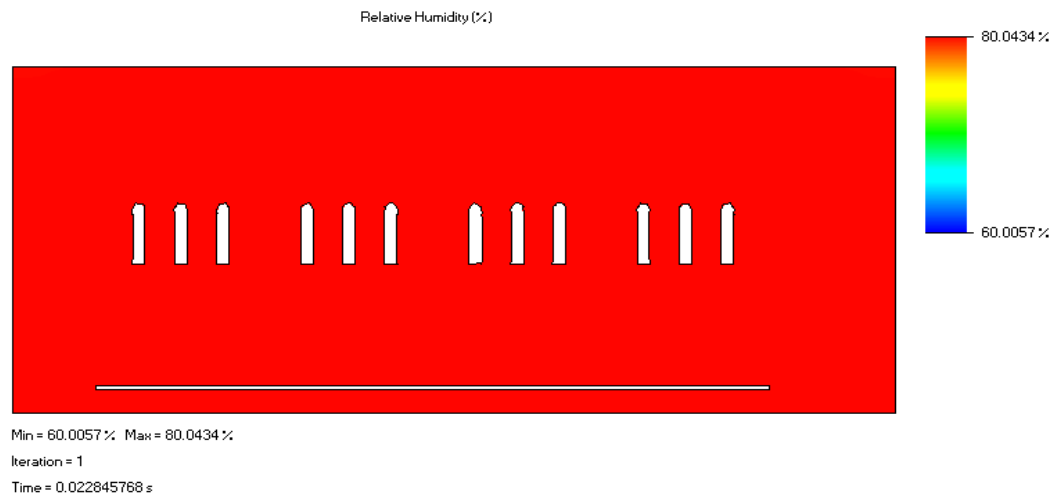


Figura 71. Condiciones del cuarto a t=89s

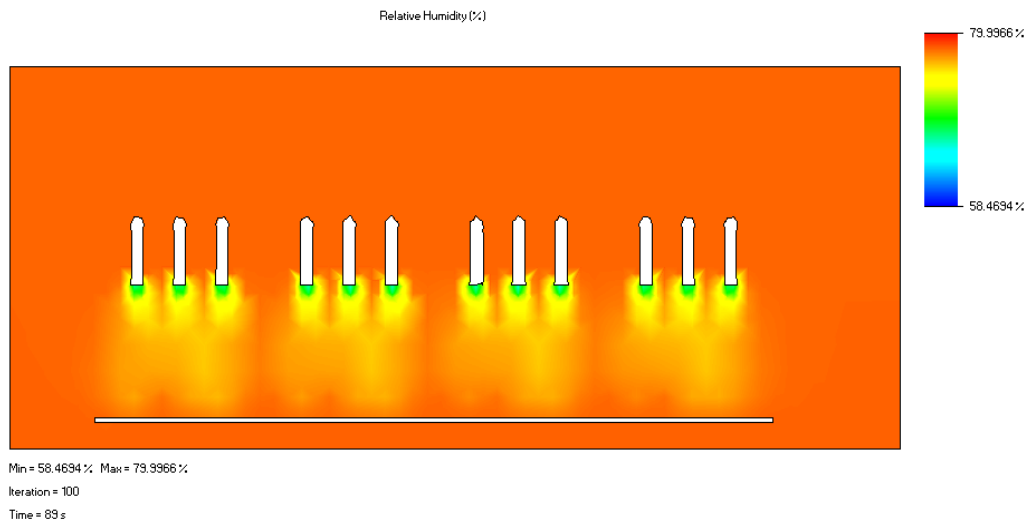


Figura 72. Condiciones del cuarto a t=189s

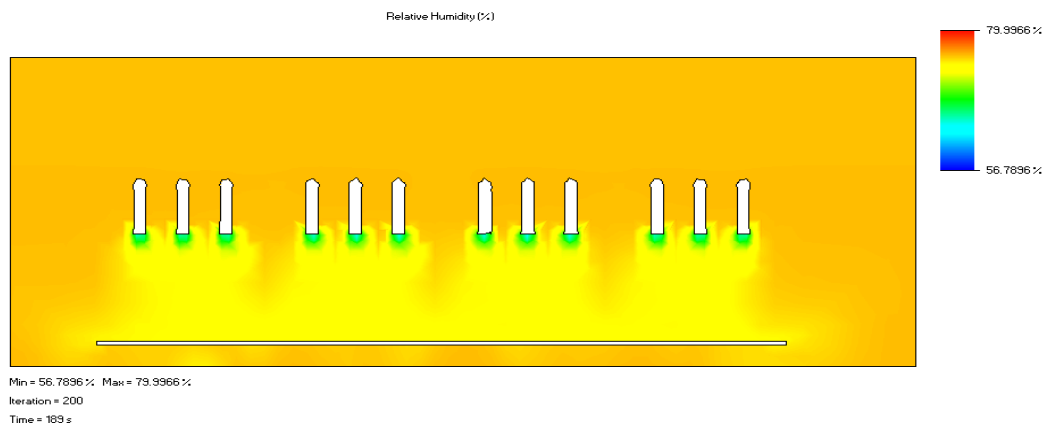
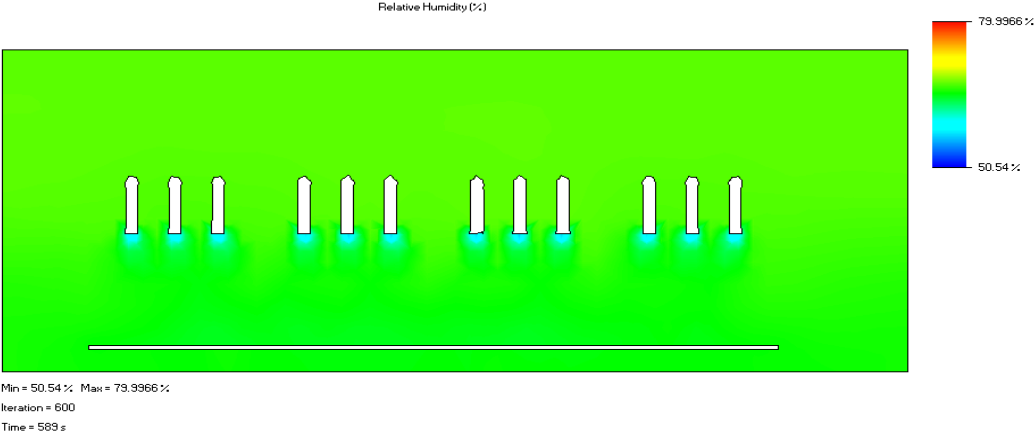


Figura 73. Condiciones del cuarto a t=289s



Figura 74. Condiciones del cuarto a t=589s



10. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA CERCHA.

Figura 75. Cercha del cuarto de moldeo.



El cálculo estructural se realizó para validar el esfuerzo que sufre la cercha debido al peso de los ductos de aire.

10.1 CALCULO DE LA CARGA DEBIDO AL PESO DEL DUCTO.

Se calcula la carga debido al peso del ducto de la siguiente manera:

$$W_T = A_L * e * \rho_L * g$$

Figura 76. Propiedades físicas de los ductos.

Propiedades de masa de ducto principal		
Configuración: Predeterminado		
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --		
Densidad = 1000.00 kilogramos por metro cúbico		
Masa = 545.71 kilogramos		
Volumen = 0.55 metros cúbicos		
Area de superficie = 182.79 metros cuadrados		
Centro de masa: (metros)		
X = 0.00		
Y = -0.26		
Z = 6.98		
Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (kilogramos * Medido desde el centro de masa.		
Ix = (0.00, -0.01, 1.00) Px = 646.77		
Iy = (1.00, 0.00, 0.00) Py = 12876.28		
Iz = (0.00, 1.00, 0.01) Pz = 13301.70		
Momentos de inercia: (kilogramos * metros cuadrados)		
Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas		
Lxx = 12876.28 Lxy = 0.00 Lxz = 0.17		
Lyx = 0.00 Lyy = 13300.08 Lyz = -143.57		
Lzx = 0.17 Lzy = -143.57 Lzz = 648.40		
Momentos de inercia: (kilogramos * metros cuadrados)		
Medido desde el sistema de coordenadas de salida.		
Ixx = 39483.91 Ixy = -0.01 Ixz = 0.43		
Iyx = -0.01 Iyy = 39871.88 Iyz = -1119.35		
Izx = 0.43 Izy = -1119.35 Izz = 684.23		

Tabla 27. Peso por metro cuadrado en lamina de acero inoxidable.

Dimensiones			Pies
			mm
Espesor			
Calibre	Pulg.	mm	kg/m ²
10	0.136	3.454	27.03
12	0.106	2.695	21.06
14	0.076	1.935	15.21
16	0.061	1.557	12.21
18	0.049	1.252	9.796
20	0.037	0.950	7.402
22	0.031	0.798	6.195
24	0.025	0.645	4.988
26	0.019	0.493	3.781
28	0.016	0.417	3.177
30	0.014	0.343	2.594
32	0.011	0.284	2.131

Fuente:

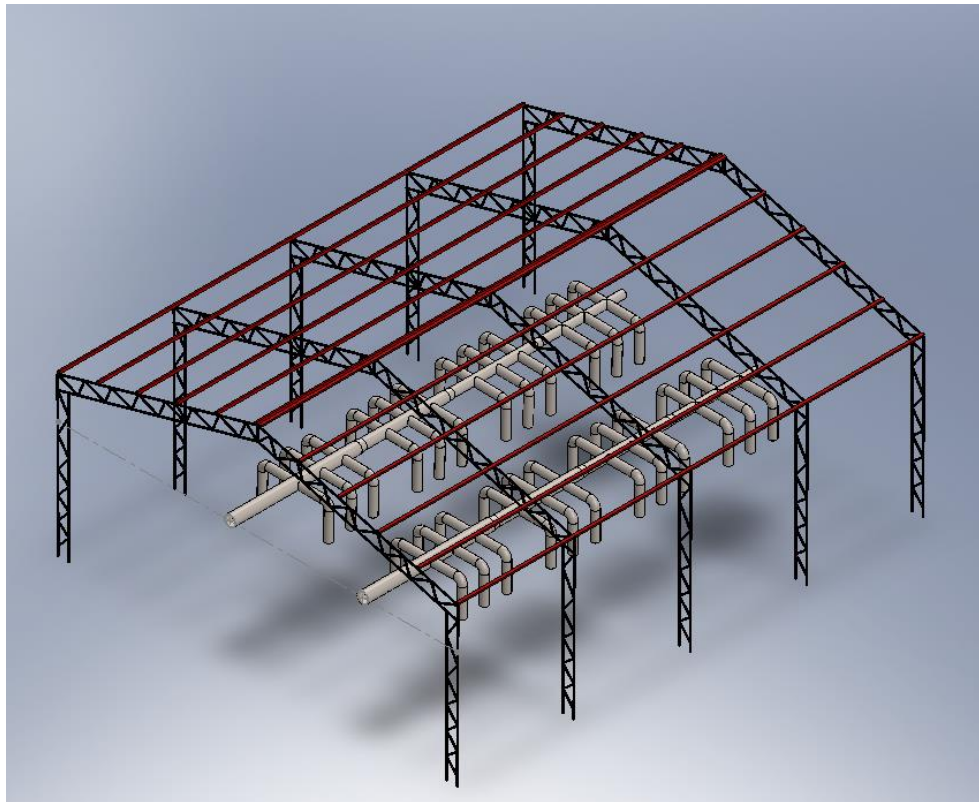
$$W_T = 182 * 7.402 * 9.81$$

$$W_T \approx 14 \text{ KN}$$

10.2 ANÁLISIS DE LA CERCHA.

Debido a que la tubería se soportara mediante las vigas que se ilustran en la figura de color rojo, se realizara el respectivo análisis a estas.

Figura 77. CAD cercha del cuarto de moldeo.

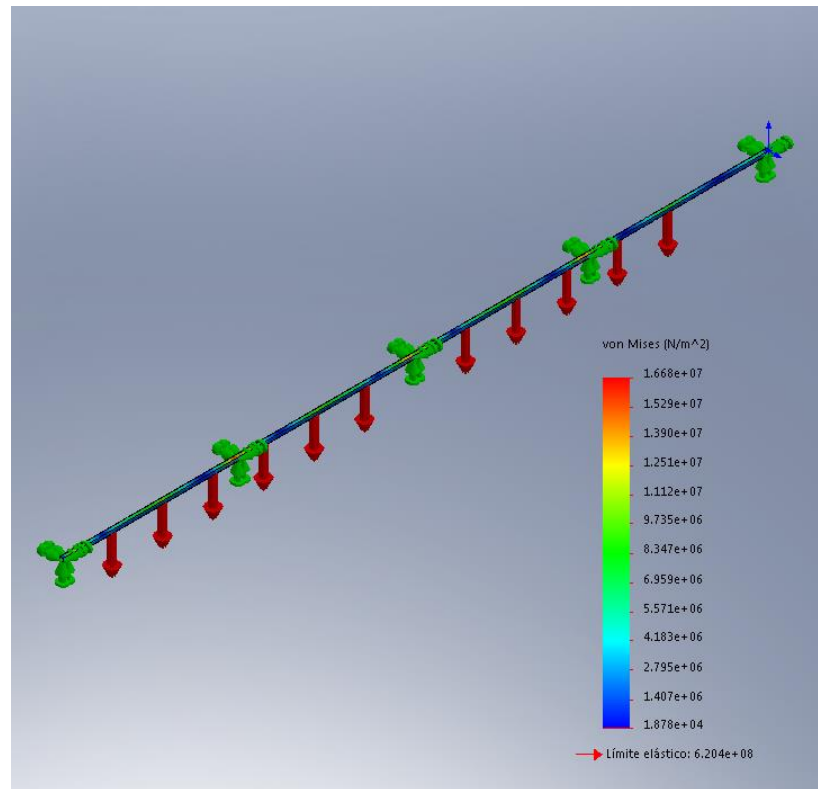


La tubería se soportará mediante cables de acero inoxidable cada 1.5 m, por lo tanto, cada 1.5 m la viga soportará un peso de:

$$W_u = \frac{14000 \text{ N}}{12} = 1666 \text{ N}$$

Realizando la simulación de carga se obtiene:

Figura 78. Análisis de cargas en viga de soporte.



Como se puede observar los esfuerzos que sufre la viga son bastante inferiores al límite elástico del acero, respectivo material de la viga.

11. CONCLUSIONES.

- Se realizó un estudio al microclima en el cuarto del moldeo del ingenio panelero Mieleles SA, observándose unas condiciones desfavorables para la producción de panela con valor agregado en horas de la madrugada.
- Se determinaron las condiciones óptimas del entorno en el cual se debe llevar a cabo el proceso de moldeo en el proceso de producción de panela, condiciones que se encuentran entre 60% y 65% de humedad relativa y 13 °C y 34°C de temperatura ambiente, investigación que se llevó a cabo en los laboratorios de investigación del CIMPA con sede principal en el municipio de Barbosa, Santander.
- Se calcularon las cargas de humedad para el cuarto de moldeo del ingenio Mieleles SA, cuarto con un volumen aproximado de 2700 m³, y se plantearon las respectivas recomendaciones para disminuir dichas cargas.
- Se diseñó un sistema de ventilación para el cuarto de moldeo del ingenio Mieleles SA, seleccionándose equipos de deshumidificación, sistemas de extracción, ductos y sus respectivos soportes.
- Se simuló el comportamiento térmico del aire de proceso en el cuarto de molde del ingenio Mieleles SA, donde se puede observar que una homogenización completa del aire a 60% de humedad relativa en un tiempo aproximado de 10 minutos.

- Se realizó la simulación de carga de la estructura metálica de la cercha del cuarto, donde se puede observar que la cercha ya construida y diseñada tiene la suficiente resistencia para soportar los ductos del sistema para la distribución del aire.
- Se evidencia mediante el desarrollo de este proyecto una gran necesidad de desarrollar avance tecnológico en el sector panelero en la hoya del río Suárez y sus alrededores, teniendo en cuenta el gran potencial que esta región posee, teniendo al Valle del Cauca y Antioquia como grandes referentes del país en producción de productos de caña de azúcar.

BIBLIOGRAFIA

BALL, R. D.; SIMPSON, I. G.; PANG, S. Measurement, modelling and prediction of equilibrium moisture content in Pinus radiata heartwood and sapwood. 2001. Holz als Roh, p 457.

BAUTISTA HERNANDEZ, Luis Antonio. Regresión por mínimos cuadrados, 1993. p. 10.

BENAVIDES, Jorge. Utilización de la Morera en sistemas de producción animal. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza CATIE. Turrialba, Costa Rica. (Recuperado en 2018.) Disponible en <http://www.fao.org/livestock/agap/frg/afris>.

CASSALETT, D. Clímaco. et. alli. El cultivo de la caña en la zona azúcarera de Colombia. CENICAÑA. Valle del Cauca, Colombia. 1995. p. 112.

GARCÍA B., Hugo. et. al. Oportunidades de la producción más limpia en la industria panelera. Programa de procesos Agroindustriales- CORPOICA TIBAITATA, 2004.

GARCÍA, Fernando. Estudio teórico experimental de humedad por condensación en edificios. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile. Santiago, 1981..

HARTMAN, Nicolás Corpoica Cimpa: Tres décadas contribuyendo al cambio técnico, [En línea]. Bogotá DC, 2016, (Recuperado en 26 noviembre 2017.) Disponible en <http://www.corpoica.org.co/noticias/generales/30-a%C3%B1os-cimpa..>

INSUASTY B., Orlando. et. alli. La Resiembra: Una práctica regenerativa en cultivos de caña panelera. Corpoica- E. E. CIMPA. Imprecol SA. Bucaramanga, 2000.

LEWIS Gg, Harrian III; The dehumidification handbook. [En línea]. Munters Corporation Second edition. 2002. 256 p. (Recuperado en 5 septiembre 2017.) Disponible en <http://www.muntersamerica.com/>..

MANRIQUE E., R. et al. Avances de resultados de las actividades ejecutadas en 1992 por el programa caña panelera. ICA – CIMPA. Barbosa. p. 1991 – 154.

RODRÍGUEZ, Gabriel. El clima y la construcción habitacional. Revista Bit, Noviembre 2008, p 56..

SOLIDWORKS ACADEMY, [En línea]. (Recuperado en 15 agosto 2018.) Disponible en <https://academy.3ds.com..>

University of Alaska Fairbanks. Permeability of Common Building Material to Water Vapor. [En línea]. 2008. (Recuperado en 5 de Agosto 2017.) Disponible en <https://www.uaf.edu/ces%20or%201-877-520-5211>.

ZAPATA, C. A.; Utilización de la caña de caña de azúcar y sus derivados en la.

ANEXOS.

Anexo A. Registro de mínimas y máximas temperaturas en San José de Pare, Boyacá

ENERO			FEBRERO		
DIA	MAX	MIN	DIA	MAX	MIN
01/01/2017	27	19	01/02/2017	29	19
02/01/2017	29	20	02/02/2017	28	18
03/01/2017	28	21	03/02/2017	29	19
04/01/2017	29	18	04/02/2017	29	22
05/01/2017	27	19	05/02/2017	29	20
06/01/2017	27	19	06/02/2017	29	20
07/01/2017	26	19	07/02/2017	30	20
08/01/2017	27	18	08/02/2017	30	20
09/01/2017	21	18	09/02/2017	30	19
10/01/2017	24	18	10/02/2017	29	19
11/01/2017	26	17	11/02/2017	29	17
12/01/2017	26	17	12/02/2017	29	19
13/01/2017	28	18	13/02/2017	29	19
14/01/2017	27	16	14/02/2017	29	18
15/01/2017	27	17	15/02/2017	29	19
16/01/2017	27	17	16/02/2017	29	19
17/01/2017	27	17	17/02/2017	27	17
18/01/2017	27	18	18/02/2017	27	17
19/01/2017	27	18	19/02/2017	30	18
20/01/2017	28	20	20/02/2017	29	18
21/01/2017	27	18	21/02/2017	29	20
22/01/2017	28	17	22/02/2017	28	18
23/01/2017	28	17	23/02/2017	29	17
24/01/2017	26	20	24/02/2017	29	18
25/01/2017	26	17	25/02/2017	28	19
26/01/2017	27	19	26/02/2017	27	20
27/01/2017	28	18	27/02/2017	27	18
28/01/2017	29	20	28/02/2017	28	20

.ENERO			FEBRERO		
DIA	MAX	MIN	DIA	MAX	MIN
29/01/2017	28	20			
30/01/2017	26	20			
31/01/2017	28	19			

MARZO			ABRIL		
DIA	MAX	MIN	DIA	MAX	MIN
01/03/2017	29	18	01/04/2017	27	18
02/03/2017	26	18	02/04/2017	29	19
03/03/2017	27	18	03/04/2017	29	22
04/03/2017	29	19	04/04/2017	29	20
05/03/2017	26	20	05/04/2017	29	21
06/03/2017	27	19	06/04/2017	30	20
07/03/2017	26	18	07/04/2017	29	20
08/03/2017	29	18	08/04/2017	26	18
09/03/2017	25	17	09/04/2017	23	19
10/03/2017	28	19	10/04/2017	28	18
11/03/2017	26	18	11/04/2017	24	18
12/03/2017	21	17	12/04/2017	26	19
13/03/2017	27	18	13/04/2017	27	18
14/03/2017	28	18	14/04/2017	24	17
15/03/2017	25	18	15/04/2017	26	18
16/03/2017	25	19	16/04/2017	28	20
17/03/2017	26	20	17/04/2017	27	18
18/03/2017	27	19	18/04/2017	28	19
19/03/2017	28	19	19/04/2017	25	18
20/03/2017	25	18	20/04/2017	26	18
21/03/2017	26	20	21/04/2017	27	17
22/03/2017	22	18	22/04/2017	28	18
23/03/2017	24	19	23/04/2017	29	19
24/03/2017	24	19	24/04/2017	27	19
25/03/2017	27	18	25/04/2017	25	19
26/03/2017	25	19	26/04/2017	25	19
27/03/2017	27	18	27/04/2017	26	19
28/03/2017	26	19	28/04/2017	27	21
29/03/2017	27	19	29/04/2017	29	20

MARZO			ABRIL		
DIA	MAX	MIN	DIA	MAX	MIN
30/03/2017	26	18	30/04/2017	28	18
31/03/2017	27	18			

MAYO			JUNIO		
DIA	MAX	MIN	DIA	MAX	MIN
01/05/2017	27	20	01/06/2017	28	19
02/05/2017	24	19	02/06/2017	28	20
03/05/2017	26	19	03/06/2017	29	20
04/05/2017	27	19	04/06/2017	28	20
05/05/2017	27	20	05/06/2017	27	20
06/05/2017	26	19	06/06/2017	28	20
07/05/2017	24	19	07/06/2017	24	20
08/05/2017	27	19	08/06/2017	23	19
09/05/2017	23	19	09/06/2017	27	18
10/05/2017	26	19	10/06/2017	27	19
11/05/2017	23	18	11/06/2017	28	19
12/05/2017	25	18	12/06/2017	23	18
13/05/2017	25	20	13/06/2017	27	19
14/05/2017	27	19	14/06/2017	27	19
15/05/2017	24	19	15/06/2017	23	18
16/05/2017	27	19	16/06/2017	26	17
17/05/2017	27	19	17/06/2017	25	18
18/05/2017	28	19	18/06/2017	26	18
19/05/2017	29	19	19/06/2017	24	18
20/05/2017	26	20	20/06/2017	27	19
21/05/2017	26	19	21/06/2017	27	17
22/05/2017	24	19	22/06/2017	26	19
23/05/2017	27	19	23/06/2017	26	19
24/05/2017	25	21	24/06/2017	27	19
25/05/2017	29	20	25/06/2017	28	18
26/05/2017	28	18	26/06/2017	27	18
27/05/2017	26	18	27/06/2017	25	17
28/05/2017	27	19	28/06/2017	27	17
29/05/2017	27	18	29/06/2017	28	19
30/05/2017	27	19	30/06/2017	26	18

MAYO			JUNIO		
DIA	MAX	MIN	DIA	MAX	MIN
31/05/2017	27	19			

JULIO			AGOSTO		
DIA	MAX	MIN	DIA	MAX	MIN
01/07/2017	29	19	01/08/2017	26	19
02/07/2017	27	19	02/08/2017	28	18
03/07/2017	27	19	03/08/2017	26	19
04/07/2017	28	18	04/08/2017	27	20
05/07/2017	26	19	05/08/2017	26	19
06/07/2017	28	19	06/08/2017	28	19
07/07/2017	28	19	07/08/2017	28	19
08/07/2017	28	19	08/08/2017	27	18
09/07/2017	29	19	09/08/2017	27	19
10/07/2017	26	20	10/08/2017	28	19
11/07/2017	27	19	11/08/2017	28	19
12/07/2017	22	18	12/08/2017	26	18
13/07/2017	28	18	13/08/2017	27	18
14/07/2017	27	18	14/08/2017	29	19
15/07/2017	26	18	15/08/2017	28	19
16/07/2017	29	18	16/08/2017	28	19
17/07/2017	26	18	17/08/2017	29	20
18/07/2017	27	18	18/08/2017	30	18
19/07/2017	28	18	19/08/2017	25	18
20/07/2017	27	18	20/08/2017	27	18
21/07/2017	27	18	21/08/2017	27	19
22/07/2017	27	19	22/08/2017	29	19
23/07/2017	28	20	23/08/2017	28	18
24/07/2017	27	20	24/08/2017	27	19
25/07/2017	30	20	25/08/2017	28	18
26/07/2017	27	19	26/08/2017	28	18
27/07/2017	27	20	27/08/2017	28	18
28/07/2017	28	19	28/08/2017	25	19
29/07/2017	28	20	29/08/2017	28	18
30/07/2017	25	19	30/08/2017	26	18
31/07/2017	22	18	31/08/2017	28	18

SEPTIEMBRE			OCTUBRE		
DIA	MAX	MIN	DIA	MAX	MIN
01/09/2017	30	20	01/10/2017	28	18
02/09/2017	30	19	02/10/2017	27	17
03/09/2017	26	18	03/10/2017	26	18
04/09/2017	27	19	04/10/2017	24	18
05/09/2017	28	18	05/10/2017	26	18
06/09/2017	29	18	06/10/2017	24	17
07/09/2017	28	18	07/10/2017	28	17
08/09/2017	24	18	08/10/2017	28	19
09/09/2017	27	19	09/10/2017	27	18
10/09/2017	27	17	10/10/2017	28	17
11/09/2017	28	19	11/10/2017	27	18
12/09/2017	28	19	12/10/2017	25	18
13/09/2017	26	18	13/10/2017	29	19
14/09/2017	27	19	14/10/2017	28	19
15/09/2017	28	19	15/10/2017	29	20
16/09/2017	28	18	16/10/2017	29	19
17/09/2017	24	18	17/10/2017	29	18
18/09/2017	28	19	18/10/2017	28	20
19/09/2017	29	18	19/10/2017	27	19
20/09/2017	27	19	20/10/2017	29	20
21/09/2017	27	19	21/10/2017	28	20
22/09/2017	29	20	22/10/2017	28	19
23/09/2017	27	19	23/10/2017	28	20
24/09/2017	27	19	24/10/2017	25	19
25/09/2017	27	19	25/10/2017	27	19
26/09/2017	29	18	26/10/2017	26	19
27/09/2017	29	19	27/10/2017	28	19
28/09/2017	27	18	28/10/2017	27	19
29/09/2017	28	18	29/10/2017	22	17
30/09/2017	25	18	30/10/2017	26	18
			31/10/2017	27	19

NOVIEMBRE		
DIA	MAX	MIN
01/11/2017	28	18
02/11/2017	28	19
03/11/2017	27	19
04/11/2017	25	18
05/11/2017	26	18
06/11/2017	28	18
07/11/2017	25	18
08/11/2017	27	18
09/11/2017	26	19
10/11/2017	24	18
11/11/2017	26	19
12/11/2017	28	19
13/11/2017	26	19
14/11/2017	25	19

Anexo B. Registro de temperaturas y humedad para en cuarto de moldeo en el ingenio Miele SA, en 9 diferentes puntos.

DIA 1. 12/03/18.

	HORA																			
ZONA	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00		11:00		12:00		13:00		14:00		15:00		16:00		17:00	
1					26,4	47,5	29,5	36,2	29,8	45,1	30,3	45,1	30,7	46,9	29,9	50,3	28	56,2	27,1	58,1
2					26,1	48,8	29,5	35,1	29,9	45,1	30,4	45,1	30,6	48,3	29,8	50,1	28,1	55,7	27,1	58,2
3					26	47,6	29,5	34,6	29,9	44,9	30,4	44,9	30,5	48,4	29,8	50,1	28,3	57,1	26,9	57,9
4					26,1	47	29,4	34,1	29,9	44,8	30,4	44,8	30,6	48,8	29,8	50,2	28,1	56	26,9	57,9
5					26,2	46,8	29	34,3	29,9	45,4	30,3	45,4	30,2	48,5	29,8	50,3	28,1	55,9	27	58
6					26	46,9	29,4	34,6	29,9	46	30,4	46	30,3	48,5	29,8	50,4	28,1	55,8	27,2	58,3
7					26	46,9	29,5	35,3	29,9	45,8	30,4	45,8	30,4	48,6	29,8	50,5	27,9	55,8	27,1	57,8
8					26	47,5	29,7	34,7	30	45,7	30,4	45,7	30,4	48,4	29,8	50,4	28,1	55,9	27,2	57,8
9					25,9	47,5	29,4	34,1	29,9	45,1	30,4	45,1	30,4	48,6	29,8	50,5	28	56,1	27	57,9

ZONA	HORA																							
	18:00		19:00		20:00		21:00		22:00		23:00		0:00		1:00		2:00		3:00		4:00		5:00	
1	26,0	64,0	26,4	63,3	25,9	64,2	25,2	66,6	25,0	69,2	23,6	70,3	23,4	71,4	22,0	71,0	22,4	71,3	22,3	71,4	21,5	72,3	20,7	70,0
2	26,1	64,0	26,4	62,7	25,9	64,3	25,1	67,0	25,1	69,1	23,5	70,3	23,3	71,5	22,1	71,0	22,3	71,2	22,4	71,2	21,4	70,9	20,7	70,1
3	26,3	63,2	26,3	63,0	25,8	64,6	25,0	66,0	25,0	69,7	23,4	70,7	23,3	71,9	22,4	71,1	21,0	72,0	22,1	71,9	21,2	71,0	20,7	70,0
4	26,3	62,5	26,3	63,0	25,8	64,7	24,9	67,6	24,0	69,3	23,3	70,4	23,3	72,0	22,7	72,0	21,7	72,0	22,0	72,2	21,3	71,5	20,7	70,0
5	26,4	62,5	26,3	63,5	25,8	64,7	24,9	68,2	24,0	69,9	23,3	70,7	23,3	71,4	22,0	71,2	21,7	71,1	22,0	71,2	21,2	70,0	20,7	69,9
6	26,4	62,5	26,3	63,4	25,9	64,5	24,8	68,1	24,1	69,9	23,5	70,6	23,3	72,2	22,3	71,2	21,3	71,7	21,9	71,2	21,1	70,4	20,7	69,4
7	26,4	62,2	26,2	63,5	25,8	64,7	24,8	68,4	24,0	70,0	23,1	70,9	23,2	72,2	22,1	71,5	21,2	71,9	21,8	71,2	21,1	70,9	20,7	70,3
8	26,5	62,0	26,3	63,6	25,8	64,4	24,8	68,0	23,5	69,4	23,6	71,0	23,3	72,7	21,3	72,1	21,2	71,3	21,8	71,2	21,1	70,4	20,7	70,4
9	26,6	61,7	26,3	63,5	25,9	64,5	25,2	68,0	23,3	70,0	23,2	71,1	23,3	72,7	21,3	72,0	21,1	71,7	21,9	71,9	21,1	71,0	20,7	71,4

DIA 2. 13/03/18.

ZONA	HORA																							
	6:00		7:00		8:00		9:00		10:00		11:00		12:00		13:00		14:00		15:00		16:00		17:00	
1	19,9	65,9	19,8	65,9	22,5	51,9	23,8	48,2	26,8	46,5	28,1	45,8	30,1	45,3	30,4	44,6	30,4	45,9	29,8	47,4	27,8	54,3	23,5	76,8
2	19,4	64,8	19,8	64,8	22,4	49,6	23,5	48,3	26,9	46,6	28,3	45,9	30,2	45,3	30,3	44	30,3	45,9	29,7	46,9	27,4	52,5	23,8	76,3
3	20	68,7	19,7	64,6	22,4	50,1	23,8	48,3	26,8	46,6	28,3	45,8	30,1	45,2	30,3	44,2	30,2	46,1	29,6	47	27,2	52,5	23,8	75,8
4	20,2	69,2	19,9	65,2	22,4	51,4	23,6	48,3	27,2	46,6	28,2	45,7	30	45,2	30,3	44,4	30,2	46,2	29,7	47,2	27,3	52,5	23,5	75,9
5	20,3	69,6	19,4	63,4	21,5	51,1	23,6	48,3	27	46,5	28,5	45,8	30	45,2	30,2	44,4	30,2	46,4	29,7	47,2	27,2	52,6	23,7	76,2
6	20,3	70,1	19,3	64,2	21,6	50,5	23,6	47,2	27	46,6	28,2	45,9	30,3	45,2	30,2	44	30,2	46,5	29,6	47,2	27,2	52,7	23,9	75,7
7	20,3	70,5	19,9	64	21,8	51,5	23,9	47,4	27	46,6	28,1	45,9	30,2	45,2	30,2	44,1	30,1	46,5	29,6	47,4	27,8	52,5	23,6	75,7
8	20,4	70,5	19,4	63	22,2	52,1	23,9	47,4	27,1	46,6	28,3	45,9	30,3	45,3	30,2	44,1	30	46,5	29,5	47,5	27,4	52,6	23,6	76
9	20,4	70,1	19,3	63,2	22,2	51,7	23,8	47,4	27,1	46,6	28,3	45,9	30,3	45,2	30,1	44,3	29,9	46,7	29,5	47,5	27	52,7	23,6	75,7

ZONA	HORA																							
	18:00		19:00		20:00		21:00		22:00		23:00		0:00		1:00		2:00		3:00		4:00		5:00	
1	24,5	65,9	23,7	63,5	22,9	75,2	22,3	73,5	22,1	77,9	21,6	78,7	21,2	80,1	20,5	83,4	20	81,4	19,5	80,6	19	82,2	18,3	83,9
2	24,4	65,4	23,7	63,6	22,8	75,3	22,5	73,9	22,1	77,9	21,6	78,8	21,1	80,2	20,5	83,2	20	81,3	19,4	80,6	19	82,2	18,2	83,6
3	24,3	65,5	23,6	63,7	22,8	75,3	22,4	73,6	22	78	21,5	78,6	21	80,5	20,5	83	19,9	81,1	19,3	80,9	18,9	82,4	18,2	83,4
4	24,3	65,2	23,5	63,8	22,6	75,6	22,3	74	21,9	78,5	21,3	78,9	21	80,7	20,4	83,4	19,9	81,4	19,3	81,3	18,8	82,6	18,1	83,8
5	24,1	65,2	23,5	64	22,6	75,8	22,2	74,2	21,8	78,8	21,3	79	20,9	80,8	20,3	83,6	19,8	82	19,3	81,4	18,8	82,7	18,1	83,8
6	23,9	65,3	23,3	64,3	22,6	76,4	22,4	74,5	21,7	79	21,4	79	20,8	81	20,4	83,9	19,8	82,1	19,3	81,6	18,8	83	18,1	83,7
7	23,9	64,2	23,3	64	22,5	76,8	22,2	75	21,7	79,3	21,2	79,3	20,7	81,1	20,3	84,4	19,8	75	19,3	81,8	18,7	83	18,1	84,3
8	23,9	64,9	23,2	64,1	22,6	76,9	22,1	74,8	21,7	79,5	21,2	79,4	20,7	81,2	20,3	84,5	19,8	83,1	19,2	81,9	18,7	83,2	18	84,6
9	23,7	65,2	23,1	64,4	22,5	77	22,1	74,9	21,7	79,8	21,2	79,5	20,7	81,3	20,3	84,6	19,7	83,2	19,2	82,1	18,7	83,4	18	84,4

DIA 3. 14/03/18.

ZONA	HORA																							
	6:00		7:00		8:00		9:00		10:00		11:00		12:00		13:00		14:00		15:00		16:00		17:00	
1	18,3	81,4	21,6	64,8	26,4	51,9	24,8	63,6	26	50,3	28,8	48,1	29,3	48,5	29,9	49,9	28,9	52,7	29,2	52,8	29	51,8	28,6	54
2	18,2	81,2	21,7	64,6	25,7	49,6	24,8	63,3	26,8	50,2	28,7	46,6	29,4	47,9	29,8	49,6	28,9	52,2	29,1	52,5	29	51,8	28,5	53,8
3	18,2	81,1	21,8	65,2	25,7	50,1	24,9	63,4	26,9	50,2	28,7	46,5	29,4	47,8	30	49,1	28,8	52,2	29,3	52,8	28,9	51,5	28,5	54
4	18,2	81,4	21,7	63,4	25,6	50,1	24,9	62,2	26,8	50,2	28,7	46,2	29,5	48	30	49,1	28,8	52,2	29,3	52,3	28,9	51,7	28,3	54,2
5	18,1	81,5	21,7	64,2	25,3	51,4	24,9	62,2	26,8	50,4	28,7	46,2	29,4	48,1	29,8	49,3	28,8	52,4	29,2	52,5	28,8	51,7	28,3	54,2
6	18	81,9	21,7	64	25,3	51,1	24,9	62,2	26,8	50,4	28,8	46,5	29,4	48,1	30	49,3	28,8	52,4	29,2	52,5	28,8	52	28,3	55
7	18	82	21,9	63	25,3	50,5	25	62	26,9	50,4	28,8	47,3	29,4	48,2	29,9	49,3	28,8	52,8	29,3	52,5	28,8	52	28,3	55,3
8	18	81,9	21,9	63,2	25,5	51,5	25	61,9	26,9	50,3	28,8	46,2	29	48,1	29,8	49,5	28,9	52,9	29,4	52,6	28,8	51,9	28,2	55,3
9	18	82,1	21,8	63,8	25	51,7	25	61,7	26,8	50,4	28,7	45,8	29,3	48,1	29,9	49,9	28,8	54,7	29,3	52,6	28,7	52	28,3	55,1

ZONA	HORA																							
	18:00		19:00		20:00		21:00		22:00		23:00		0:00		1:00		2:00		3:00		4:00		5:00	
1	25,2	65,9	25,6	63,5	24,2	75,2	22,5	73,5	22,3	77,9	21,7	78,7	21,3	80,1	20,8	83,4	20,2	81,4	19,6	80,6	19,2	82,2	19	83,9
2	25,3	65,4	25,6	63,6	24,1	75,3	22,5	73,9	22,2	77,9	21,7	78,8	21,2	80,2	20,8	83,2	20,2	81,3	19,6	80,6	19,2	82,2	19	83,6
3	25,3	65,5	25,6	63,7	24	75,3	22,4	73,6	22,1	78	21,6	78,6	21,2	80,5	20,7	83	20,1	81,1	19,5	80,9	19,2	82,4	18,9	83,4
4	25,4	65,2	25,5	63,8	23,9	75,6	22,2	74	22	78,5	21,5	78,9	21,1	80,7	20,5	83,4	19,9	81,4	19,5	81,3	19,3	82,6	18,8	83,8
5	25,4	65,3	25,5	63,8	23,8	75,8	22,2	74,2	21,9	78,8	21,5	79	21,1	80,8	20,6	83,6	19,8	82	19,3	81,4	19,2	82,7	18,8	83,8
6	25,4	64,2	25,5	64	23,8	76,4	22,2	74,5	21,8	79	21,5	79	21,1	81	20,5	83,9	20	82,1	19,4	81,6	19,2	83	18,7	83,7
7	25,4	64,9	25,5	64,3	23,7	76,8	22,1	75	21,7	79,3	21,4	79,3	21	81,1	20,4	84,4	19,8	75	19,4	81,8	19,2	83,3	18,8	84,3
8	25,5	65,2	25,5	64	23,7	76,9	22,1	74,8	21,7	79,5	21,4	79,4	21	81,2	20,4	84,5	19,9	83,1	19,3	81,9	19	83,2	18,7	84,6
9	25,6	64,9	25,5	64,1	23,6	77	22,1	74,9	21,6	79,8	21,4	79,5	21	78,3	20,4	84,6	19,8	83,2	19,3	82,1	19	83,4	18,7	84,4

DIA 4. 15/03/18.

ZONA	HORA																							
	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00												
1	18,2	84,9	19,9	79,4	22,2	73,5	24,6	62,5	26,7	57,2	29	49,8	30	49,6	30,5	48,7	29,6	48,7	28,3	52,5	28,5	53,1	26	57
2	18	85,3	19,8	78,6	22	73	24,3	63,7	26,6	56,1	28,8	50	29,9	47	30,5	49,8	29,3	52,2	28,4	51,7	28,4	54,6	26,6	56,8
3	18,1	84,9	19,7	78	22	72,6	23,8	65,7	26,5	56,4	28,2	48,6	29	47,9	30,3	49,5	28,8	52,4	28,3	52,3	28,3	54,6	26,6	57
4	18,1	85,2	19,5	78,5	21,8	73,3	24	65,2	26,4	57	28,1	50,1	29,2	48,3	29,9	49,4	29	52,9	28,3	52,7	28	54,3	26,6	57,4
5	18	85,3	19,5	78,8	21,8	73,1	24	64,4	26,3	56,7	28,1	51,6	28,4	49,6	29	49,8	29	52,8	28,3	53	28	54,7	26,5	57
6	18	85,6	19,4	79,2	21,8	72,8	24,1	64,5	26,3	56,8	28,1	50,8	28,9	49,2	29,56	49	28,7	52,8	28,2	54	27,9	55,5	26,6	57,5
7	18,2	85,2	19,3	80	21,7	73,4	24,1	64,5	26,3	57	28	50,5	29,1	49,4	29,5	49,8	28,7	52,7	28,3	53	27,8	55,4	26,8	56,9
8	18	85,5	19,3	80,2	21,8	73,3	24	64,5	26,2	57,3	28	50,7	29,3	49,2	29,6	48,8	28,8	53	28,3	52,6	28	55,3	26,6	56,7
9	18,1	85,4	19,3	80,8	21,9	73	24	64,5	26,3	56,6	28	50,5	29,4	49,9	29,5	48,6	28,6	53,8	28,3	52,9	28	55,3	26,6	57

ZONA	HORA																							
	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00												
1	28,6	55,8	28,4	55,5	25,6	60,2	21,1	79,3	22,8	72,5	23,1	70,5	22,7	72,3	22,1	72,3	21,8	65,2	21,4	70,6	20,8	71,5	20,5	74,8
2	28,5	58,3	27,6	56,7	25,3	62,5	21,1	78,4	22,8	72,8	23,3	71,4	22,5	73,4	21,9	73,4	20,8	71,2	20,9	71,9	20,6	72,3	20,3	73,7
3	28,5	60,8	27,2	57,8	25,1	61,1	21,1	78,2	22,7	72,9	22,9	72,6	21,8	74,6	21,4	74,6	20,8	74,3	20,5	73,4	20,3	73	20,1	74,5
4	29,7	61,9	26,8	59,6	24,8	63,5	21,1	77,8	22,6	73,1	22	73,3	22,1	76,1	21,2	76,1	20,8	75,8	20,3	74,9	20,3	75,1	19,9	75,1
5	29,6	61,3	26,6	60,4	24,7	63,9	21,2	77,8	22,6	73,2	22,5	74,1	22,2	76,6	20,9	76,6	20,5	76,2	20,1	75,7	20,2	75,5	19,7	76,2
6	29,8	61,4	26,3	61,1	24,5	63,5	21,2	77,4	22,6	73,2	22,3	75,1	21,5	76,8	20,8	76,8	20,8	76,5	20	76,4	19,8	76,5	19,6	76,2
7	29,4	61,7	26	62,6	24,4	65	21,2	77	22,5	73,7	22,1	76,1	21,6	77,9	20,7	76,9	20,2	76,8	19,9	77,2	19,7	77,5	19,4	76,2
8	28,3	61,8	25,7	63,3	24,3	64,89	21,3	77,2	22,5	73,8	22	76,6	21,6	78	20,8	78	20,1	76,9	19,8	77,2	19,7	77,3	19,5	78,8
9	28,1	62,3	25,6	63,7	24,2	65,5	21,2	77,4	22,4	73,8	21,9	76,9	21,6	77,5	20,7	78,1	20,1	77,1	19,8	78,1	19,8	77,5	19,3	77

DIA 5. 16/03/18.

ZONA	HORA																							
	6:00		7:00		8:00		9:00		10:00		11:00		12:00		13:00		14:00		15:00		16:00		17:00	
1	16,7	96,2	18,4	85	21,5	74,8	24,7	64,5	26,7	59,2	28,8	48,9	29,5	47,6	32,4	42,7	30,6	46	28,6	46,5	28,5	53	28	50,4
2	16,7	96,1	18,4	85	21,4	74,9	24,5	65,5	26,5	59,2	28,6	49,5	29,5	47,4	32,2	43	30,5	46,7	28,6	48,2	28,4	54	27,9	50,5
3	16,9	95,4	18,4	84,4	21,4	74,9	24,4	65	26,3	59,3	28,5	48,7	29,4	47,6	32	43,1	30,2	46,7	28,5	47	28,4	53,4	27,8	50
4	17,1	92,9	18,4	85	21,3	74,8	24,1	65,9	26,1	59,4	28,4	49,2	29,3	48	31,6	42,7	30	47,1	28,4	48,5	28,3	53,5	27,7	50,9
5	17,2	92,5	18,6	84,9	21,3	75	24,3	65,8	26	59,9	28,4	49,8	29,3	47,9	31,5	43,4	29,8	47,7	28,3	47,9	28,2	53,7	27,6	51,1
6	17,3	92	18,7	84,7	21,3	75,1	24,2	65,9	26	60,3	28,4	48,8	29,3	48,5	31,3	43,6	29,7	48,4	28,2	48,8	28,2	53,8	27,6	51,2
7	17,4	91	18,8	83,6	21,3	75,2	24,1	66,1	25,8	60,2	28,3	49,8	29,5	48,2	30,9	44,7	29,5	48,7	28,2	49	28,1	53,8	27,6	51,5
8	17,6	91,4	18,8	83,4	21,5	75,9	24,1	66,5	25,9	64,5	28,2	50	29,4	48,2	30,8	44,7	29,4	48,9	28,2	49	28,1	53,4	27,5	51,5
9	17,6	90,3	18,8	83,3	21,7	75	24,2	66,6	25,8	60,7	28,2	49,4	29,4	48,7	30,7	44,9	29,3	49,1	28,2	48,9	28,1	54	27,5	51,6

Anexo C. Conceptos Básicos de Psicrometría.

PSICROMETRÍA.

La psicrometría se define como la rama de la ciencia dedicada al estudio de las propiedades termodinámicas del aire húmedo y al efecto de la humedad atmosférica en los materiales y en el confort humano.

LA CARTA PSICOMÉTRICA.

A comienzos del siglo XX, un ingeniero alemán llamado Richard Mollier inventó un método gráfico para visualizar las propiedades de varias mezclas de aire vapor a diferentes temperaturas a una presión determinada, este diagrama más tarde se conocería como diagrama de Mollier o carta psicométrica.

Al comienzo, la carta puede ser un poco confusa pues muestra demasiada información en un espacio bastante pequeño. Sin embargo, una vez los conceptos básicos se entienden la carta llega a ser una herramienta muy práctica para el diseño de sistemas de acondicionamiento de aire.

A continuación, se describirán cada una de las propiedades del aire húmedo, así como también la manera en la que se pueden determinar haciendo uso de la carta psicométrica.

HUMEDAD ABSOLUTA O ESPECÍFICA.

Se define como la relación de humedad contenida en el aire atmosférico y la cantidad de aire seco que este contiene.

$$\omega = \frac{m_v}{m_a}$$

Donde:

m_v = Masa de vapor.

m_a = Masa de aire seco.

De la relación del gas ideal se tiene que:

$$P \cdot V = m \cdot R \cdot T$$

Despejando m

$$m = \frac{P \cdot V}{R \cdot T}$$

Remplazando en la primera ecuación.

$$\omega = \frac{m_v}{m_a}$$

$$\omega = \frac{\frac{P_v \cdot V}{R_v \cdot T}}{\frac{P_a \cdot V}{R_a \cdot T}}$$

Donde:

P_v = Presion de vapor.

R_v = Constante de gas del vapor.

P_a = Presion del aire seco.

R_a = Constante de gas del aire seco.

V = Volumen del aire atmosferico.

T = Temperatura del aire atmosferico.

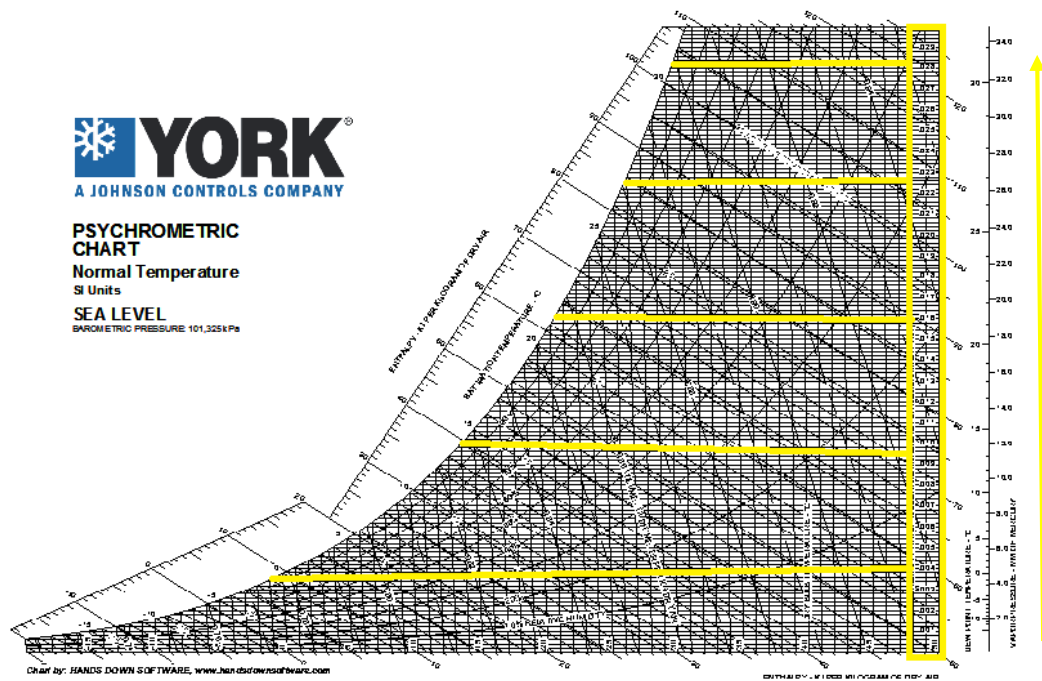
Dado que el volumen y la temperatura es la misma

$$\omega = \frac{\frac{P_v}{R_v}}{\frac{P_a}{R_a}}$$

Simplificando y teniendo en cuenta que:

$$R_v = 0.4615 \left[\frac{Kpa \cdot m^3}{m^3 \cdot K} \right] \quad R_a = 0.287 \left[\frac{Kpa \cdot m^3}{m^3 \cdot K} \right]$$
$$\omega = 0.622 \cdot \frac{P_v}{P_a}$$

Si toma una unidad de aire seco, es decir $\omega = 0$ y añade humedad, la humedad especifica empezara a incrementar hasta un punto que cualquier adición extra de humedad hará que esta se condense, $\omega = 1$. A esta condición se le conoce como aire saturado. La humedad especifica puede encontrarse en la parte derecha de la carta psicométrica como se muestra a continuación:



HUMEDAD RELATIVA.

Es la relación de cantidad de humedad del aire respecto a la máxima cantidad que este podría contener a una misma temperatura.

$$\phi = \frac{m_v}{m_g}$$

Donde:

m_v = Masa de vapor.

m_g = Masa de vapor en estado de saturacion a una misma T.

Remplazando de la relación de gas ideal:

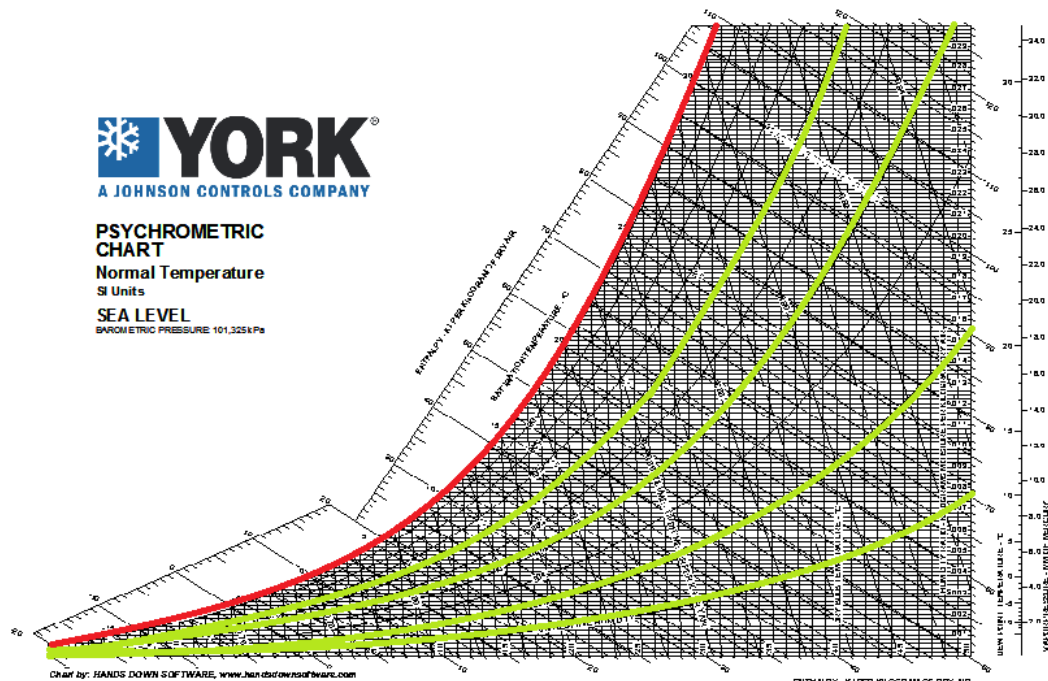
$$\phi = \frac{P_v}{P_g}$$

Donde:

P_v = Presion de vapor.

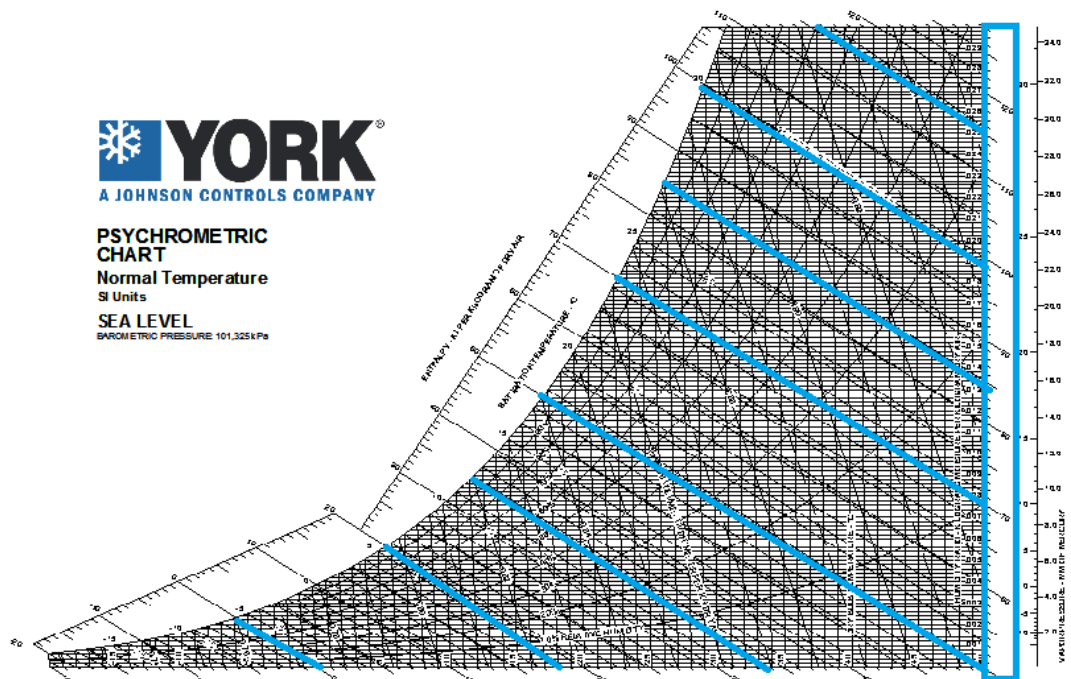
P_g = Presion de vapor en estado de saturacion a una misma T.

La humedad relativa puede encontrarse en la carta psicométrica en forma de curva ascendentes hasta llegar al estado de saturación, curva roja, a continuación, se ilustran dichas curvas en la carta psicométrica:



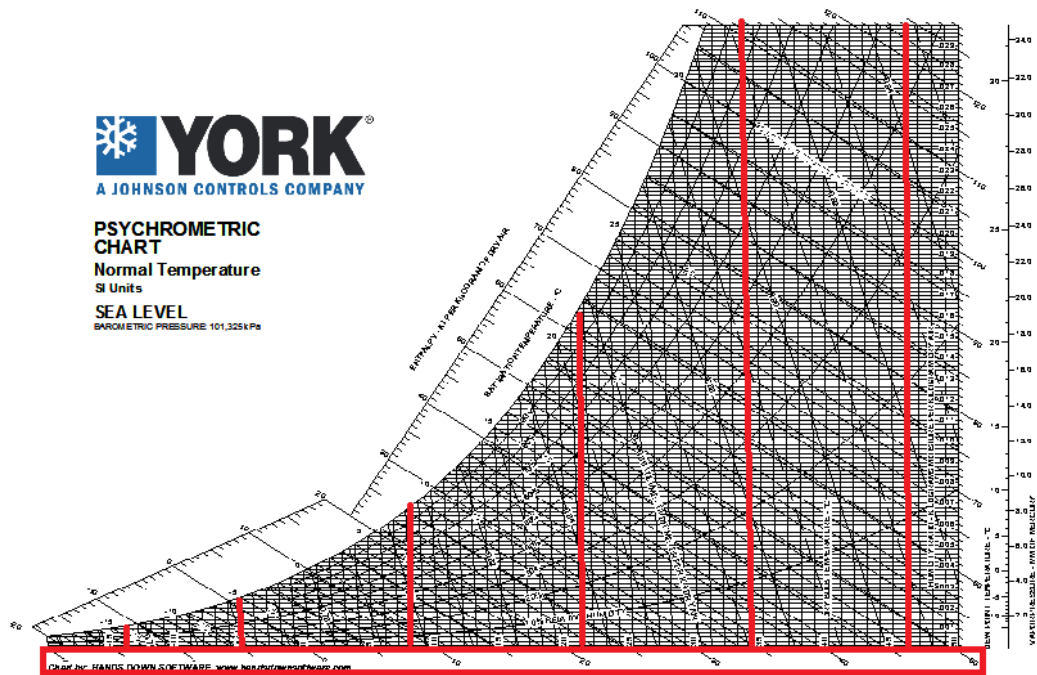
TEMPERATURA DE BULBO HÚMEDO.

Es la temperatura medida por el termómetro con una mecha de agua o algodón humedecido con agua. Esta temperatura sirve para tener una relación de que tanta cantidad de humedad el aire puede absorber. A valores altos de temperatura de bulbo seco y valores bajos de temperatura de bulbo húmedo, el aire podrá absorber grandes cantidades de humedades. En la carta psicrométrica este valor se encuentra ubicado en la parte derecha como se muestra a continuación:



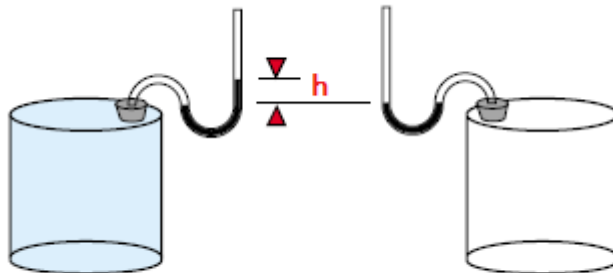
TEMPERATURA DE BULBO SECO.

Cuando las personas se refieren a la temperatura del aire, normalmente están refiriéndose a su temperatura de bulbo seco, la cual puede leerse de un termómetro normal que no tiene agua en su superficie. En una carta psicrométrica, se encuentra la temperatura de bulbo seco del aire al fondo en forma de líneas verticales, mientras aumenta de izquierda a derecha.

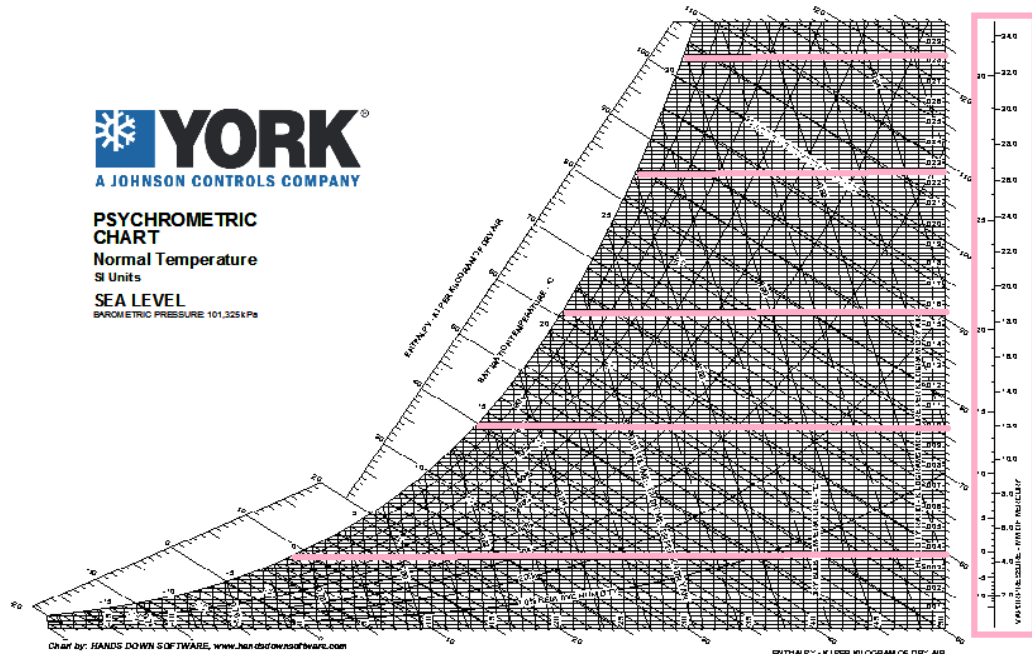


PRESIÓN DE VAPOR.

Como todas las moléculas de gas, cada molécula de vapor ejerce una presión al ambiente. La cantidad de presión de vapor a un cierto volumen de humedad es la suma de las presiones de todas las moléculas de vapor. La unidad de medida es mm de mercurio—en otros términos, que tan alto el vapor de agua sólo puede alzar una columna de mercurio debido a su propia presión, a continuación, se ilustra lo anterior.

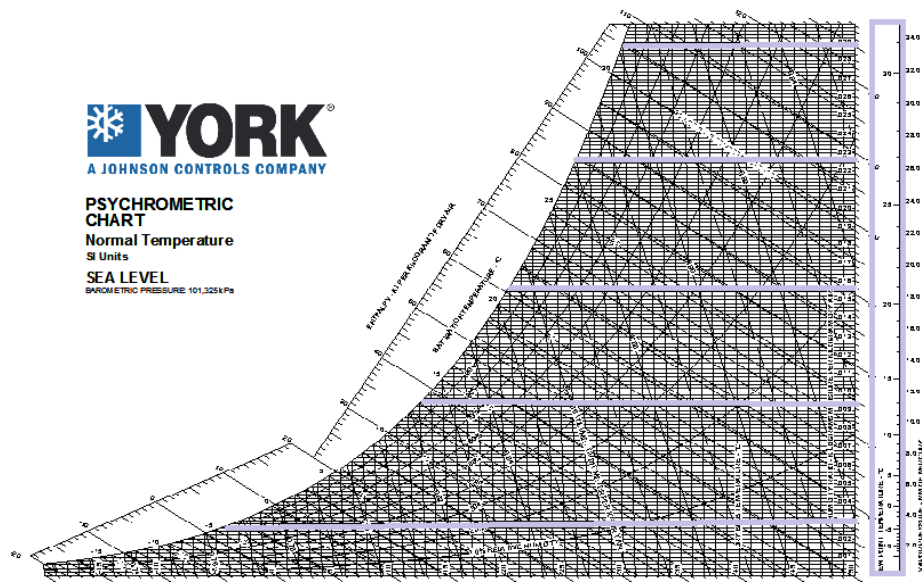


En la carta este valor puede encontrarse a la parte derecha de la carta psicrométrica como se muestra a continuación.



TEMPERATURA DE PUNTO DE ROCÍO.

Si el aire húmedo se enfría, no puede sostener la misma cantidad de humedad. En algún punto, la humedad se condensará en contacto con cualquier superficie cercana. Este punto depende de la cantidad de humedad en el aire y se conoce como temperatura de punto de rocío. Entre más alta la cantidad de humedad en el aire, más alta será su temperatura de punto de rocío. En la carta psicrométrica este valor puede encontrarse a la parte derecha en forma de líneas horizontales.

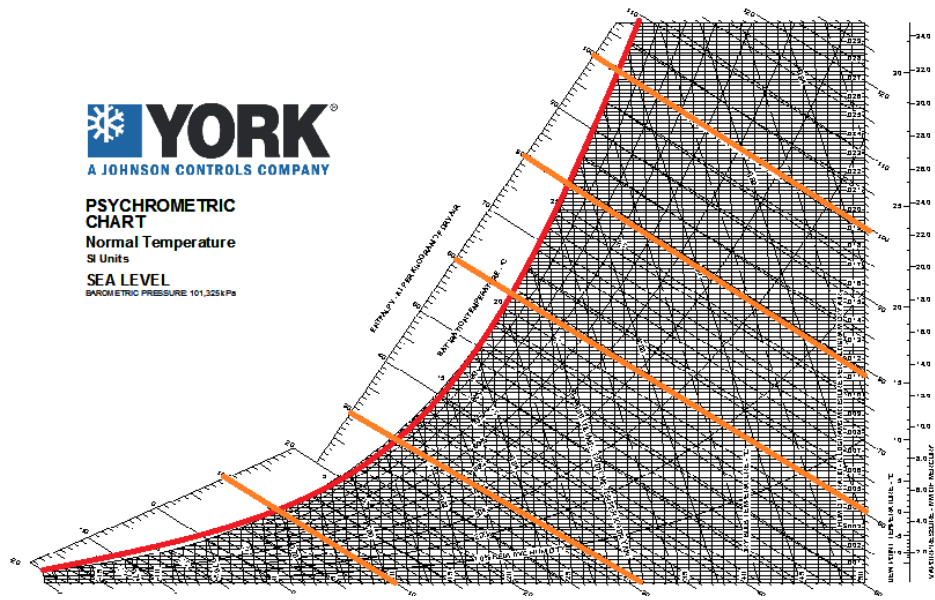


ENTALPIA.

La entalpia se define como la suma del calor sensible y el calor latente que contiene el aire. El calor sensible es aquella energía contenida en el aire debido a su temperatura mientras el calor latente es aquella energía contenida debido a su cantidad de humedad. Entre mayor sea la temperatura del aire y mayor sea su humedad, mayor será su entalpia. El concepto de entalpia permite entender al ingeniero que tan fácil o difícil puede añadirse o retirarse calor en un proceso psicrométrico. En la carta psicrométrica la entalpia se encuentra ubicada en la parte izquierda de la curva de saturación tal y como se muestra a continuación:



**PSYCHROMETRIC
CHART**
Normal Temperature
SI Units
SEA LEVEL
BAROMETRIC PRESSURE: 101.325 kPa



Anexo D. Métodos de deshumidificación.

MÉTODOS DE DESHUMIDIFICACIÓN.

En la actualidad existen dos métodos muy eficientes para retirar humedad en el acondicionamiento de aire y estos son:

DESHUMIDIFICIÓN POR ENFRIAMIENTO.

La mayoría de las personas está familiarizada con el principio de condensación. Cuando se enfría el aire por debajo de su temperatura de rocío, la humedad se condensará en la superficie más cercana. El aire ha sido deshumidificado por el proceso de enfriamiento y condensación. La cantidad de humedad retirada depende del modo en que el aire pueda enfriarse, entre más baja la temperatura, más humedad se retirará del aire.

Este es el principio de funcionamiento de la mayoría de los sistemas de aire acondicionado comerciales y residenciales. Un sistema de refrigeración enfría el aire, drena parte de su humedad como condensado y envía el aire más fresco y seco al recinto. El sistema retira el calor del aire mediante un gas refrigerante, esta extracción de calor permite que el aire disminuya su temperatura y condense gran parte de su humedad.

El calor se elimina del aire deshumidificado transfiriendo su energía térmica a un gas en expansión, un refrigerante, el cual está dentro de un serpentín, el cual es el responsable de enfriar el aire. Este serpentín se llama evaporador, porque dentro de este, el refrigerante se evapora y se expande de líquido a gas. Para que ese gas

se expanda dentro del serpentín, necesita calor, que se obtiene al enfriar el aire que pasa a través del serpentín.

Desde el evaporador, el gas refrigerante se envía a un compresor, donde su presión aumenta sustancialmente, de 5 a 10 veces más que cuando salió del evaporador. Por lo tanto, el gas tiene un volumen mucho más pequeño, pero la compresión elevada su temperatura. Por ejemplo, el refrigerante puede estar a 15 °C después de que absorbió el calor del aire en el otro lado del evaporador, pero después de la compresión, el refrigerante puede estar a 95 °C o más. Ese calor, el calor del proceso de compresión en sí, ahora debe eliminarse del refrigerante. Esto se logra haciendo pasar el refrigerante a través de un segundo serpentín.

Este serpentín, llamado condensador, se encuentra generalmente afuera del espacio acondicionado, en un lugar donde el calor pueda ser rechazado al aire exterior sin causar problemas. Estas unidades a menudo se encuentran fuera de los edificios o en las terrazas de los edificios. El refrigerante caliente comprimido se condensa en líquido dentro del condensador y su calor se transfiere al aire del otro lado del condensador. El líquido refrigerante ahora puede regresar al evaporador y enfriar nuevamente el aire que se desea deshumidificar. A medida que el líquido se expande de nuevo a gas dentro del evaporador, recoge más calor de esa corriente de aire y el ciclo se repite.

El proceso puede ser muy eficiente. La medida común en la que se mide la eficiencia de este ciclo es el coeficiente de rendimiento, que es la energía extraída de la corriente de aire deshumidificada, dividida por la energía invertida para lograr la transferencia a la corriente de aire del condensador. Esta energía de transferencia consiste en la energía del compresor más la energía del ventilador que empuja el aire a través del condensador y del evaporador. Muchos sistemas de refrigeración de accionamiento eléctrico disfrutaban de coeficientes de rendimiento de 2.0 a 4.5, lo

que significa que el sistema mueve de dos a cuatro veces la energía térmica que consume en energía eléctrica, una proporción muy favorable.

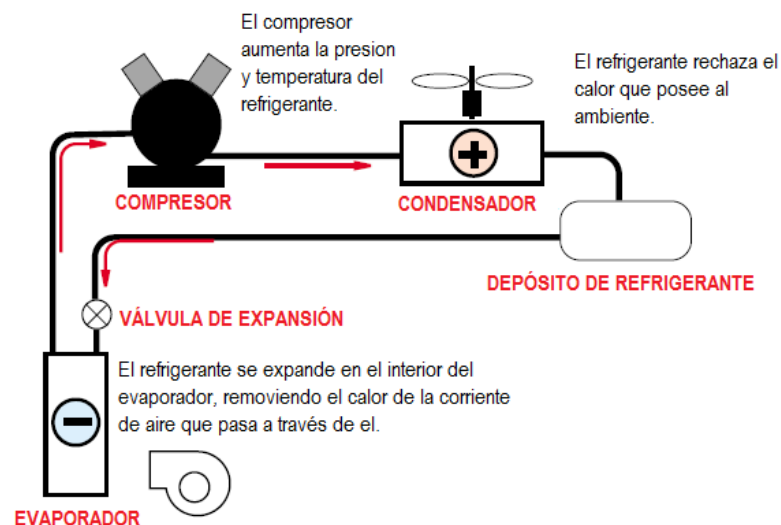
Hay miles de combinaciones diferentes de compresores, evaporadores y condensadores que se pueden utilizar para realizar este ciclo, pero hay tres configuraciones básicas para diseñar sistemas de control de humedad, los cuales son:

- Refrigeración de expansión directa.
- Refrigeración líquida enfriada.
- Deshumidificación + recalentamiento.

SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN POR EXPANSIÓN DIRECTA.

Los sistemas de expansión directa usan la configuración del sistema descrita anteriormente. El gas refrigerante se expande directamente en el evaporador, eliminando el calor del aire. Los acondicionadores de aire residenciales son de expansión directa, a veces llamados "DX".

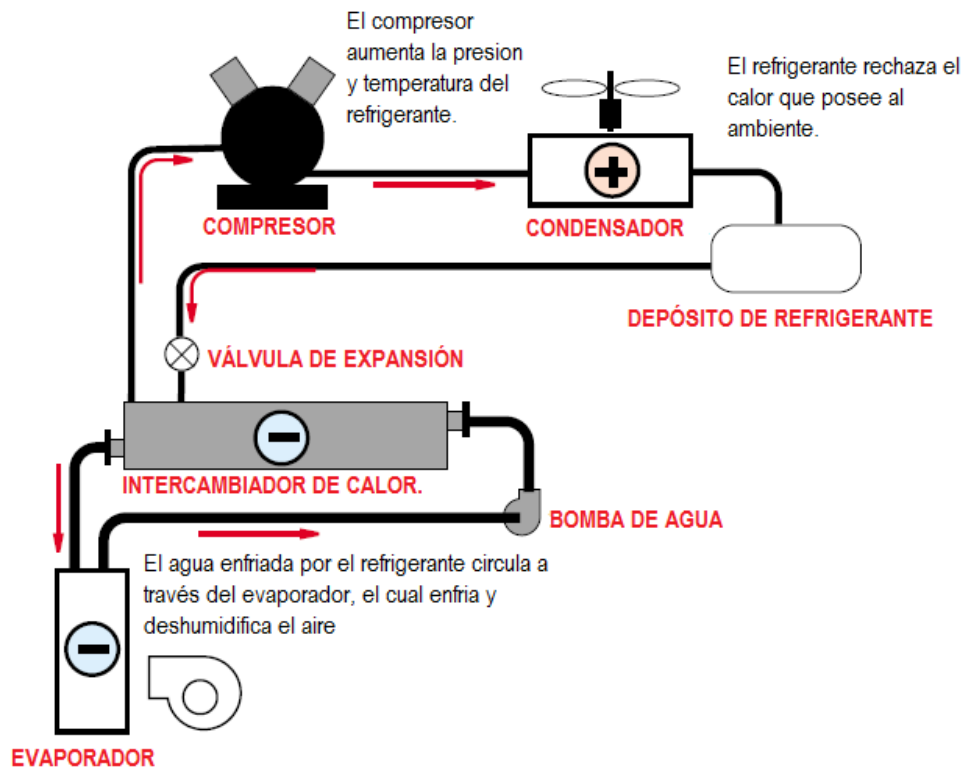
FIGURA 79. Sistema de refrigeración por expansión directa



SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN POR CHILLER.

Los sistemas de refrigeración por líquido o chillers, usan el gas refrigerante para enfriar un líquido, que luego circula para enfriar el aire que se está deshumidificando. A menudo se usa agua enfriada, glicol o salmueras como liquido de enfriamiento. Esta es la configuración básica que opera los enfriadores de agua o chillers que son tan comunes en los edificios comerciales e institucionales. Aunque existen diversos sistemas en aplicaciones de aire acondicionado, estos tienden a ser más complejos y caros que otras alternativas. Como resultado, los sistemas de refrigeración por agua o chillers se utilizan con mayor frecuencia en instalaciones grandes donde pueden obtener ventajas de los costos de instalación y en la eficiencia operativa.

FIGURA 80. Sistema de refrigeracion por chiller.



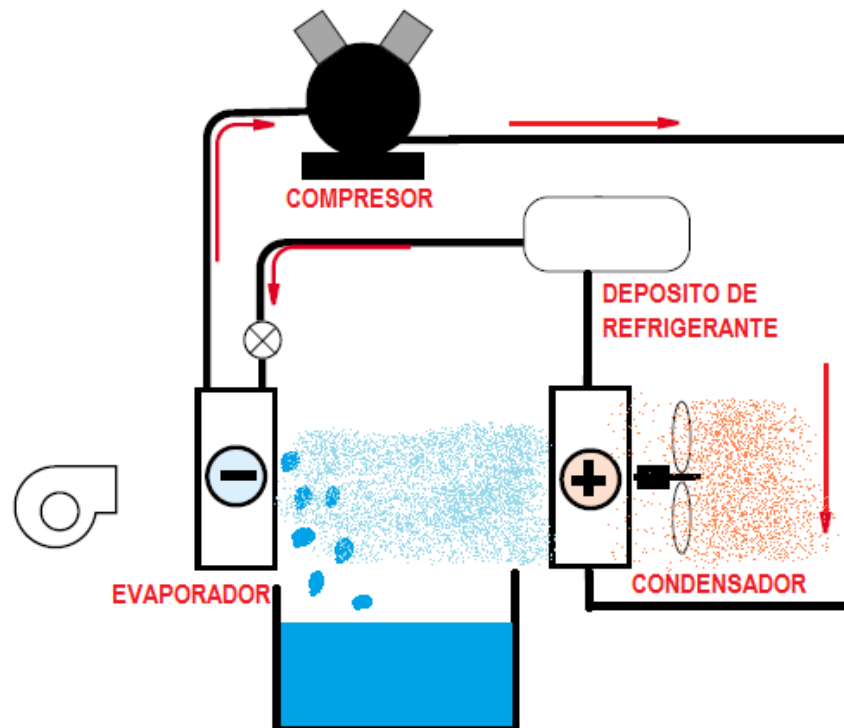
SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN POR DESHUMIDIFICACIÓN Y RECALENTAMIENTO.

Los sistemas de refrigeración por deshumidificación y recalentamiento pueden usar los sistemas anteriormente mencionados, expansión directa o chiller, para enfriar el aire, pero luego de enfriarlo, el aire se recalienta antes de ingresar al recinto. La mayoría de los deshumidificadores residenciales usan esta configuración. Los sistemas de deshumidificación y recalentamiento pueden usar las características operativas básicas de los sistemas de refrigeración para lograr una gran eficiencia.

El condensado que se congela causa dos problemas para un sistema de refrigeración. En primer lugar, la escarcha aísla el refrigerante del aire que pasa a través del evaporador, lo que reduce la transferencia de calor. En segundo lugar, la escarcha obstruye físicamente el evaporador y reduce el flujo de aire. Finalmente, la escarcha bloquea el flujo de aire y la deshumidificación cae. Los sistemas que enfrían el aire por debajo de 0 °C incluyen sistemas de descongelación para fundir el condensado congelado del evaporador. La deshumidificación y enfriamiento se detienen mientras la bobina se descongela.

Los sistemas de deshumidificación DX especialmente diseñados enfrían el aire a niveles entre 6 y 8 °C. Debajo de ese punto, la escarcha comienza a formarse en algunas partes del evaporador, extendiéndose lentamente a través de este a medida que el flujo de aire se restringe. La dificultad radica en la tendencia del sistema a continuar enfriando el aire en una cantidad fija. Por ejemplo, el aire que entra a 24 °C puede enfriarse a 13 °C. Pero si el sistema no se controla cuidadosamente, parte del aire que entra a 10 °C se enfriará a -1 °C, lo que congelará la condensación del aire en el evaporador.

FIGURA 81. Sistema de deshumidificación por enfriamiento y calentamiento.

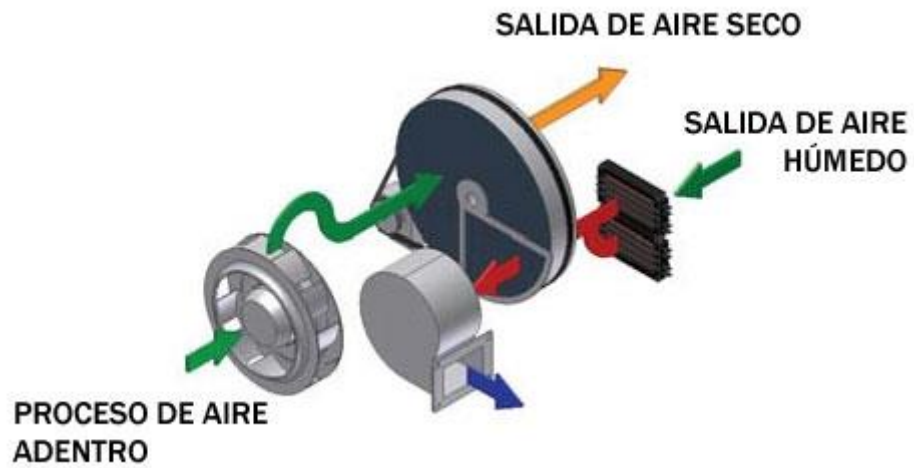


DESHUMIDIFICACIÓN DESECANTE.

Los deshumidificadores desecantes son bastante diferentes de los deshumidificadores basados en refrigeración. En lugar de enfriar el aire para condensar su humedad, los desecantes atraen la humedad del aire creando un área de baja presión de vapor en la superficie del desecante. La presión ejercida por el agua en el aire es más alta, por lo que las moléculas de agua se mueven desde el aire al desecante y el aire se deshumidifica. En realidad, la mayoría de los materiales sólidos pueden atraer la humedad. Por ejemplo, los plásticos como el nylon pueden absorber hasta un 6% de su peso seco en vapor de agua. El yeso también puede almacenar una gran cantidad de vapor de agua, y la capa de óxido en los metales atrae y retiene una pequeña cantidad de vapor de agua en las condiciones adecuadas. La diferencia entre estos materiales y los desecantes comerciales es la

capacidad. Los desecantes diseñados para la recolección de vapor de agua atraen y retienen de 10 a más de 10,000 por ciento de su peso seco en vapor de agua, donde otros materiales tienen una capacidad de humedad mucho menor.

FIGURA 82. Sistema de deshumidificación desecante.



Anexo E. Características técnicas del deshumidificador.

MX² 60 Deshumidificador



Descripción del producto

El deshumidificador MX² 60 combina las características tradicionales de Munters, como la eficacia y la solidez, con la tecnología punta de última generación, como el control de HR modulante y el sistema de comunicación.

El bajo consumo energético y la fiabilidad son dos factores muy importantes en los procesos de hoy en día. El moderno sistema de control junto con los ventiladores de gran eficiencia, cumplen con la Directiva Europea Ecodesign y están apoyados con convertidores de frecuencia, ofreciendo numerosas opciones para optimizar el consumo energético. Los sistemas de recuperación de energía ERP (Energy Recovery Purge) y EEP (Energy Efficiency Purge) se incluyen como opción estándar para ahorrar energía.

La unidad MX² 60 está equipada con varias funciones de alarmas para garantizar un control total del proceso de deshumidificación. Los paneles externos y la carcasa están fabricados en AluZink resistente y recubierto con RAL 7035.

El deshumidificador MX² 60 satisface los requisitos más exigentes gracias a una gran variedad de funciones estándar. Estas opciones permiten realizar un pre y post tratamiento con sólo añadir componentes eléctricos y mecánicos.

Se presenta con tres alternativas de reactivación diferentes: eléctrica, vapor y gas. El indicador de servicio se activa cuando se debe realizar un mantenimiento preventivo; esta función es estándar. Para facilitar la instalación, la entrada del ventilador de proceso y de reactivación se han diseñado para permitir diferentes posiciones de salida.

El equipo eléctrico cumple con las normas EN 60204 (IEC204). Los deshumidificadores de la serie MX² cumplen con las normas europeas armonizadas y las especificaciones técnicas de la CE.

Tecnología del rotor desecante de Munters

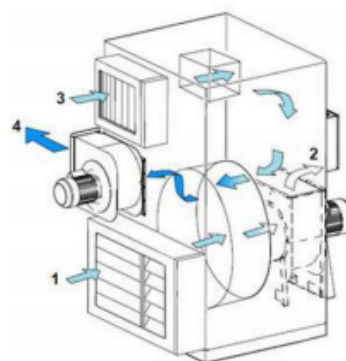
Los rotors desecantes de Munters son muy eficientes y tienen una gran capacidad de absorción de la humedad. Como opción, se ofrecen las soluciones ERP o EEP que reducen el consumo de energía.

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

MX² 60

Características

- Deshumidificación eficiente entre -20°C y 40°C
- Control de humedad modulante, incluyendo un sensor de temperatura del aire húmedo
- Opciones de control externo y comunicación
- Alarma de parada del rotor y filtro sucio como función estándar
- Opciones de ahorro de energía
- Indicador de alarma de servicio y funcionamiento

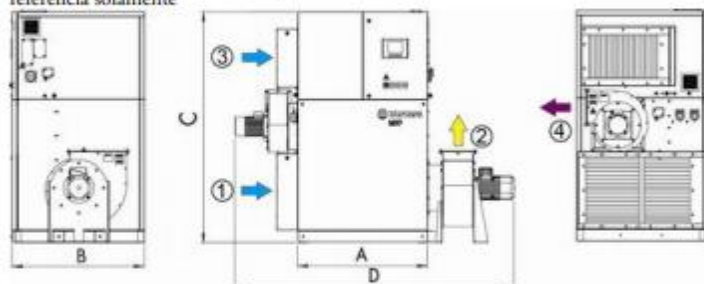


1. Aire de proceso
2. Aire seco
3. Aire de reactivación
4. Aire húmedo



Model MX² 60

Las medidas del diagrama están para la referencia solamente



Altura (C)	Aire seco	Aire húmedo	Peso	Anchura (A/D)	Prof. (B)
2214mm	273x500mm	185x400mm	721kg	1068/2416mm	1307mm

Especificaciones técnicas

Aire de proceso

Caudal de aire nominal (m ³ /h)	6000
Presión estática disponible (Pa)	300
Potencia del ventilador (kW)	7.5

Aire de reactivación

Caudal de aire nominal (m ³ /h)	1980
Potencia del ventilador (kW)	1.5
Presión estática a un caudal de aire (m ³ /h)	300

Potencia total,

voltaje y corriente (amps/fase)

Potencia total (kW) Eléctrica	75.5
Potencia total (kW) Vapor/Gas	9.5
380V 3-50 Hz (A) EL	119
380V 3-50 Hz (A) Vap/Gas	19
400V 3-50 Hz (A) EL	113
400V 3-50 Hz (A) Vap/Gas	18
415V 3-50 Hz (A) EL	109
415V 3-50 Hz (A) Vap/Gas	17
440V 3-60 Hz (A) EL	103
440V 3-60 Hz (A) Vap/Gas	16
Máx. presión efectiva de vapor (bares) (g)	7
Consumo de gas (m ³ /h)	6.5
Presión de gas natural (mbares)	18-49
Máx. contenido de azufre (ppm) Rotor HPS	30
Consumo de vapor 3 bar (g/s)	30.9
Consumo de vapor 5 bar (g/s)	31.6
Potencia total con ERP, electricidad (kW)	69.5
Consumo de vapor con ERP 3 bares (g)	28.1
Consumo de gas con ERP (m ³ /h)	5.91
Eliminación de la humedad 20°C	
60% (kg/24h)	1220

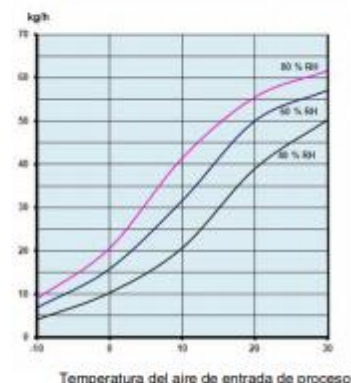
Consumo de vapor con ERP 5 bares (g) 28.8

Datos técnicos adicionales

Temperatura de funcionamiento (°C)	-20-+40
Nivel de ruido Lw(A) dB, con todas las entradas y salidas conducidas	87
Grado de protección eléctrica (unidad)	33
Grado de protección eléctrica (panel eléctrico)	54
Clase de filtro	G4
Aislamiento del devanado del motor	F

Capacidad de deshumidificación

Capacidad aproximada en kg/h según varios valores de humedad relativa de aire de proceso de entrada % de HR



Opciones

- Bypass
- Sistema de comunicación via Modbus, BACnet o Lon
- Sensor de punto de rocío
- Purga de bajo consumo energético (EEP)
- Purga de recuperación de energía (ERP)
- Controles externos
- Filtros M5, G4 o G4/F7
- Calentador-gas, eléctrico o a vapor
- Calentador de pre-activación: agua caliente o vapor
- Entrada de aire de proceso aislada
- Disposición reversible del equipo
- Carcasa en acero inoxidable
- Pantalla táctil

AUSTRALIA

Tel +61 2 8843 1588
CHINA
Tel +86 10 804 18000
INDIA
Tel +91 20 668 18 900
NETHERLANDS
Tel +31 172 43 32 31
SWEDEN
Tel +46 8-626 6300
UNITED KINGDOM
Tel +44 1480 432 243

AUSTRIA

Tel +43 1 6164298-0
DENMARK
Tel +45 4495 3355
ITALY
Tel +39 0183 521377
POLAND
Tel +48 58 306 35 17
SWITZERLAND
Tel +41 52 3438886
UNITED STATES
Tel +1 978 241 1100

BELGIUM

Tel +32 2 240 68 68
FINLAND
Tel +358 20 776 8230
JAPAN
Tel +81 3 5970 0021
SINGAPORE
Tel +65 6744 6828
THAILAND
Tel +66 2 642 2670-3
VIETNAM
Tel +84 8 825 6838

BRAZIL

Tel +55 41 3317 5050
FRANCE
Tel +33 1 3411 5757
KOREA
Tel +82 2 761 8701
SOUTH AFRICA
Tel +27 11 997 2000
TURKEY
Tel +90 262 751 3750

CANADA

Tel +1 905 8585894
GERMANY
Tel +49 40-879690-0
MEXICO
Tel +1 52 722 270-4029
SPAIN
Tel +34 91 640 09 02
UNIT. ARAB EMIRATES
Tel +971 4 8809295

www.munters.com



DHMEA/PGB/0110-12/04-15/03