

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

Diseño de un sistema de deshumidificación para un
supermercado en la ciudad de Guayaquil

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Paúl Alejandro Coronel Andrade

Andrea Ivana Damián Vallejo

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019

DEDICATORIA

Paul Coronel Andrade

Dedico este proyecto a Dios quien me ayudó a perseverar en este largo camino y a nunca rendirme a pesar de las dificultades. A ayudarme a entender el camino que debo andar y porque ha fijado sus ojos sobre mí. Salmo 32:8

A mis padres, quienes han entregado todo su esfuerzo para ayudarme a alcanzar esta meta, Dios los recompense por su amor, paciencia y confianza hacia mí. A Darly Barzola, quien ha estado a mi lado toda esta carrera ayudándome cuando más lo he necesitado. Gracias por tu amor y comprensión.

A mis amigos cercanos, quienes han estado motivándome para que termine este proyecto.

Andrea Damián Vallejo

El proyecto va dedicado a mi Padre Celestial, quien es mi fortaleza en todo momento.

A mi madre que ha sido el mejor ejemplo de perseverancia, a mi padre por sus consejos, a mis hermanos: Andrés y Adrián por acompañarme y apoyarme. A mi amada hija Luisana, por convertirse en la luz de mi vida.

A mis amigas Ariana, Maria Fernanda y Jazmin que con sus unicas cualidades han logrado mejorar mis dias, a mis compañeros: Angel, Andrés y Paúl que siempre estuvieron dispuestos a ayudar. A todas las personas que contribuyeron directa e indirectamente para hacer esto posible.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por su sabiduría en este proyecto, sin él no hubiésemos podido realizarlo.

A la ingeniera Jaqueline Litardo por su asesoría en la realización de la rueda desecante y del uso del software necesario.

Al ingeniero José Paredes quien nos guio en el desarrollo del tema y proveyó los datos necesarios para el mismo.

Al decano y tutor Dr. Ángel Ramírez por su constante revisión hacia el proyecto.

Al Dr. Guillermo Soriano y al ingeniero José Macías por confiar en nosotros al entregarnos este proyecto y por su ayuda oportuna en diferentes situaciones.

Paúl Coronel Andrade

Andrea Damián Vallejo

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Paúl Coronel y Andrea Damián damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Paúl Alejandro
Coronel Andrade

Andrea Ivana Damián
Vallejo

EVALUADORES

PhD. Ángel Ramírez Mosquera

PROFESOR DE LA MATERIA

PhD. Guillermo Soriano Idrovo

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Este proyecto aborda temas de ahorro energético por medio del diseño de un sistema de deshumidificación en un supermercado en la ciudad de Guayaquil usando programas de simulación energética. El objetivo principal de este proyecto es notar un ahorro energético al momento de utilizar un sistema que sirva para controlar la humedad que se encuentra en el ambiente.

Se desarrolló una metodología adecuada para implementar un deshumidificador desecante por adsorción en reemplazo de dos equipos de expansión directa que se encuentra en el supermercado, esto se logró utilizando herramientas como SketchUp (SK), OpenStudio (OPS) y EnergyPlus (EP); junto con un software entregado por la empresa "Novel Aire Technologies".

En la simulación energética de línea base se obtuvo un de 2.3% en la simulación energética del supermercado al compararla con las planillas de energía eléctrica. En la implementación de la estrategia de deshumidificación, se seleccionó una rueda WSG 1700X200 de marca TROTEC que es utilizada en un deshumidificador para 2000CFM de flujo de aire necesario. El ahorro energético utilizando esta rueda desecante fue de 30% del consumo anual de la climatización, representando \$4,392.56 de ahorro en efectivo.

La implementación de un deshumidificador desecante llevará un tiempo de inversión de 6 años hasta poder comenzar a ver ganancias monetarias bajo condiciones financieras regulares. El supermercado tendrá un 55% de humedad relativa en la zona de congelados. La reducción de humedad afectará directamente el consumo energético por refrigeración, esto podría disminuir un 18% adicional del consumo general de energía eléctrica en el supermercado.

Palabras Clave: Humedad, Deshumidificador desecante, simulación energética, adsorción, climatización

ABSTRACT

This project addresses energy saving issues through the design of a dehumidification system in a supermarket in Guayaquil City through energy simulation programs. The main objective of this project is to notice an energy saving when using a system that serves to control the environment's humidity.

An appropriate methodology was developed to implement a desiccant dehumidifier by adsorption in replacement of two direct expansion equipment found in the supermarket, this was achieved using tools such as SketchUp (SK), OpenStudio (OPS) and EnergyPlus (EP); together with software delivered by "Novel Aire Technologies" Company.

Having the results of the simulation, together with the necessary parameters for the desiccant wheel, a 2.3% error was obtained in the supermarket's energy simulation when compared to the electric energy bills. The wheel selected for dehumidification was the WSG 1700X200 which is used in a TROTEC brand dehumidifier for 2000CFM of necessary airflow. The energy-saving using this desiccant wheel was 30% of the annual air conditioning consumption, representing \$4,392.56 in cash savings.

The implementation of a desiccant dehumidifier will take an investment time of 6 years until you can begin to see monetary gains. The supermarket will have 55% humidity in the frozen zone. The reduction of humidity will directly affect the energy consumption by refrigeration, this could decrease an additional 18% of the general consumption of electrical energy in the supermarket.

Keywords: Humidity, desiccant dehumidifier, energy simulation, adsorption, air conditioning

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
ÍNDICE DE PLANOS.....	IX
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción	1
1.1 Definición del Problema.....	2
1.2 Justificación del proyecto	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Marco teórico.....	4
CAPÍTULO 2.....	8
2. Metodología	8
2.1.1 Caso de estudio: Supermercado TIA en la ciudad de Guayaquil.....	11
2.1.2 Climatización y Refrigeración utilizada	12
2.1.3 Ocupación del supermercado	13
2.1.4 Potencia de equipos y de Iluminación.....	13
2.2 Alternativas de Solución	14
2.2.1 Deshumidificación por ventilación y calefacción	15
2.2.2 Deshumidificación por condensación.....	15
2.2.3 Deshumidificación por adsorción	15

2.3	Diseño conceptual del deshumidificador	17
2.4	Selección del software a elegir	18
2.5	Modelo energético del supermercado	19
2.5.1	Modelo geométrico	19
2.5.2	Cargas internas.....	21
2.6	HVAC y Refrigeración	23
2.6.1	Primera parte: Sin deshumidificador	23
2.6.2	Segunda Parte: Con deshumidificador	24
CAPÍTULO 3.....		28
3.	Resultados Y ANÁLISIS	28
3.1	Resultados sin deshumidificación.....	28
3.2	Resultados con deshumidificación	30
3.3	Análisis de Costos.....	36
CAPÍTULO 4.....		39
4.	Conclusiones Y Recomendaciones	39
4.1	Conclusiones.....	39
4.2	Recomendaciones.....	41
BIBLIOGRAFIA		
APENDICES		

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASHRAE	The American Society of Heating, Refrigerating & Air-Conditioning Engineers
HVAC	Heating, ventilation, and air conditioning
TIA	Tiendas Industriales Asociadas
SK	Sketchup
OPS	Open Studio
PB	Planta Baja
PA	Planta Alta
ISO	International Organization for Standardization
RH	Relative humidity
DB	Dry bulb
WB	Wet bulb
PB	Planta Baja

SIMBOLOGÍA

M	Metro
W	Watts
Btu	British thermal unit
H	Hora
°C	Celsius
CFM	Cubic Feet per Minute
RPH	Revoluciones por hora
SCFM	Standard cubic feet per minute
°F	Fahrenheit
Psi	Libra por pulgada cuadrada

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Temperatura en la ciudad de Guayaquil 2019.....	8
Figura 2.2 Humedad en la ciudad de Guayaquil 2019.....	9
Figura 2.3 Esquema de realización de proyecto Integrador	10
Figura 2.4 Fotografía del Edificio.....	11
Figura 2.5 Diseño interno del deshumidificador por adsorción a seleccionar.....	17
Figura 2.6 Esquema general del enfriamiento con un deshumidificador desecante.....	18
Figura 2.7 Modelo en SketchUp mostrando cada zona térmica definida por espacios .	20
Figura 2.8 Zonas térmicas definidas para el supermercado TIA	21
Figura 2.9 HVAC del paquete #1 CP1	23
Figura 2.10 Sistema de refrigeración.....	24
Figura 2.11 Desiccant Wheel Simulation Program.	25
Figura 3.1 Comparación energética	28
Figura 3.2 Porcentaje de consumo dado por la simulación en OPS.....	29
Figura 3.3 Proporción de calor en el supermercado.	32
Figura 3.4 Rueda desecante y sus propiedades en el programa entregado por Novel Aire. 50% y 50%	34
Figura 3.5 Rueda desecante con una separación 25% a 50% en el programa entregado por Novel Aire.....	35
Figura 3.6 Comparativa entre los dos sistemas.	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Características generales	12
Tabla 2.2 Resumen del sistema HVACV	13
Tabla 2.3 Promedio de asistencia diaria.....	13
Tabla 2.4 Iluminación	14
Tabla 2.5 Matriz de decisión para mejor alternativa de desecante.....	16
Tabla 2.6 Matriz de decisión respecto a los softwares a elegir.....	19
Tabla 2.7 Ocupación promedio en un almacén TIA.....	21
Tabla 2.8 Cargas por luces en un almacén TIA.....	22
Tabla 2.9 Cargas por equipos eléctricos en un almacén TIA	22
Tabla 2.10 Características de confort en interiores.	25
Tabla 2.11 Características de confort en exteriores.	26
Tabla 2.12 Cargas totales en el supermercado	27
Tabla 3.1 Índice para comprobar que el modelo ha funcionado	30
Tabla 3.2 Calor sensible por ocupantes en las 5 zonas térmicas del supermercado. ...	31
Tabla 3.3 Cargas totales en el supermercado	31
Tabla 3.4 Datos necesarios para la simulación de la rueda	32
Tabla 3.5 Consumo energético ahorrado en un año con la rueda desecante seleccionada	37
Tabla 3.7 Tipos de equipos y su comparativa	38
Tabla 3.8 Proyección de inversión y tiempo de espera para recuperar la inversión.....	38

ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 1 Planta baja del almacén fachada frontal
- PLANO 2 Planta baja del almacén fachada lateral
- PLANO 3 Planta Baja vista en corte
- PLANO 4 Planta baja distribución.
- PLANO 5 Planta alta distribución.
- PLANO 6 Planos de ductos en planta baja
- PLANO 7 Planos de sistemas HVAC en planta alta

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El confort humano es de vital importancia en lo que respecta al diseño de edificios, locales y supermercados. Las sensaciones de un ambiente agradable se encuentran entre los 20 y 22°C y entre el 40 y 60% de humedad relativa. Esto varía al momento de tener que tratar con alimentos, ya que la temperatura deseable para ellos será única para evitar así la propagación de bacterias. Las bacterias se forman entre el 40-60% de humedad (*Conocimientos fundamentales sobre humedad del aire—TROTEC, n.d.*). El correcto nivel de humedad en el aire es relevante e importante para la salud y la comodidad. El desarrollo de moho y hongos se debe directamente al bajo control de humedad y condensación en edificios y supermercados. (n.d.)

Cerca de 55 billones de kWh se consumen anualmente por supermercados en el mundo. Más del 50% de ese consumo es debido a la refrigeración y climatización. La humedad es una de las principales causantes de este excesivo consumo de energía que no sólo afecta los bolsillos de la empresa, sino que toca el ambiente generando un aumento en la temperatura del planeta causando así el cambio climático que vemos en nuestros días, lo que genera una problemática a solucionar. (*“Balancing Latent Heat Load Between Display Cases and Store Comfort Cool” by Penelope J. Cole, n.d.*)

Los locales comerciales enfocan su atención primordialmente en controlar la temperatura dentro de este, descuidando al mismo tiempo el control de humedad. Se conoce que un sistema HVAC, tiene como propósito controlar la temperatura de bulbo seco, pero no la humedad que se registra en el ambiente; esto causa un problema en el desempeño del sistema de refrigeración involucrado, aumentando el consumo de energía de todo el local comercial. (J. Murphy, n.d.)

En la ciudad de Guayaquil los niveles de humedad son elevados causando problemas en los sistemas de refrigeración instalados en centro comerciales y supermercados. En el mes de febrero la humedad asciende a un 99%, y así varía al pasar los meses, ya en septiembre disminuye a un 47% afectando el desempeño del sistema de refrigeración y causando malestar en los clientes al momento de estar en el supermercado, debido al excesivo frío, o al momento de adquirir un producto. (*Supermercados—Humitek, n.d.*)

Al comparar los demás gastos involucrados en los supermercados se observa que más del 70% del consumo de energía mensual lo consume el sistema HVAC junto con la

refrigeración, lo cual genera una problemática a tratar y solucionar. Un buen control de humedad tiene la capacidad de reducir los costos de operación y de mantenimiento de los supermercados y así proveer una zona con un ambiente confortable. (Aynur et al., 2008)

El incremento de la humedad supone cargas de refrigeración elevadas causando el deterioro de los productos y el congelamiento de las tuberías del evaporador. Los supermercados modernos tienen un alto porcentaje de almacenamientos refrigerados diseñados con puertas de vidrio, los cuales ayudan con el intercambio de calor sensible y latente con el medio ambiente reduciendo el cambio de flujo de aire. Pero, estos sistemas requieren puertas fabricadas para evitar la humedad, y los precios de estos son elevados causando que no sean adquiridos por los dueños de los supermercados. (*"Balancing Latent Heat Load Between Display Cases and Store Comfort Coo"* by Penelope J. Cole, n.d.)

Para eliminar la excesiva humedad que se encuentra en el aire se usa un sistema deshumidificador. Este sistema consigue su objetivo por medio de tres métodos, 1) enfriando la humedad para después condensarla en un depósito, 2) por medio de un material capaz de absorber humedad del medio circundante, este diseño concentra la humedad dentro del mismo. Existen varias técnicas de deshumidificación, ya sea por ventilación, o por condensación o por absorción. (*Reducir la humedad con un deshumidificador*, n.d.)

Los programas de ingeniería ayudan a poder evaluar el diseño y comprobar el ahorro energético por medio de simulación. Para este proyecto se utiliza el software EnergyPlus como base para la simulación, y junto a programas como SK y OPS para dibujar el espacio refrigerado y colocar las cargas de calor y refrigeración que se generan en el supermercado.

1.1 Definición del Problema

El exceso de humedad en supermercados genera un problema para la industria debido a los altos consumos de energía que lleva mes a mes, sobre todo en un clima húmedo tropical. El control de humedad tiene el potencial de mejorar las condiciones de aire en zona de productos vegetales y animales. Por tal motivo, se busca diseñar un sistema de suministro de aire que controle la humedad en la sección de productos frescos de un supermercado. Se comparará el desempeño

de un sistema propuesto con el sistema de aire acondicionado existente en el supermercado.

Para analizar esta problemática se debe revisar diferentes alternativas que puedan cumplir con lo requerido para la ciudad escogida. Los diseños desecantes ofrecen la alternativa ideal para afrontar las deficiencias causadas por la humedad, ya que este ahorra energía en el funcionamiento de los equipos, y a su vez, se obtiene un mejor confort.

La simulación por computadora ayuda a controlar y revisar la cantidad de humedad en el ambiente, y analizar el desempeño del diseño escogido. Por tal motivo, este proyecto se realiza utilizando programas de simulación como EP, por medio de la herramienta de dibujo SK y por la herramienta de diseño Open Studio para luego comparar los resultados obtenidos con el diseño utilizado normalmente en un supermercado en la ciudad de Guayaquil.

1.2 Justificación del proyecto

El control de humedad en el aire es un problema común en la zona de carnes y vegetales de supermercados. Este problema se refleja en un mayor consumo de energía en las cámaras de refrigeración y el posible daño en los productos. Este alto consumo de energía conlleva gastos que bien pueden ser reducidos. Se busca un sistema que pueda solucionar o mejorar esta problemática.

En locales comerciales ubicados en la ciudad de Guayaquil el problema de humedad afecta directamente a la calidad en los productos cárnicos, pero cierto porcentaje de humedad es necesaria en los vegetales. La falta de control de humedad lleva a que se desarrollen rápidamente hongos y levaduras que no son deseables en el producto ofrecido al consumidor, lo cual genera un decremento en las ventas y pérdidas para la asociación o compañía involucrada.

Se debe proveer una correcta optimización del contenido de humedad en los alimentos para poder preservar la calidad del producto de los supermercados, sean estos vegetales o cárnicos. (*Optimización de la Humedad del Alimento Manteniendo su Calidad*, n.d.)

Es necesario que la energía consumida en supermercados sea regulada para así reducir gastos relacionados a la planilla de energía eléctrica, la cual un 50% es debido al sistema de refrigeración y mas del 30% debido al sistema HVAC; pero recientes estudios (Lazzarin & Castellotti, 2007) han demostrado que al controlar la

humedad se puede directamente disminuir el consumo de energía utilizado mensualmente en los supermercados.

Para proveer una solución al problema de humedad en los supermercados de la ciudad de Guayaquil se utiliza el concepto de deshumidificadores mecánicos. Los deshumidificadores mecánicos remueven humedad por medio del paso de aire sobre una superficie que se ha enfriado debajo de temperatura de rocío. (ASHRAE, n.d.)

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de deshumidificación de aire para la sección de productos frescos de un supermercado, mediante la aplicación de principios de ingeniería y simulación por computadora.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Definir condiciones óptimas de aire en zona de productos vegetales y carnes de un supermercado
- Establecer línea base de desempeño energético y condiciones en sistemas de aire acondicionado en supermercados, aplicados directamente sobre el sistema de conservación de productos frescos.
- Evaluar el efecto en el desempeño energético y condiciones de aire de cambios propuestos mediante simulación.

1.4 Marco teórico

La solución estándar para climatización dentro de supermercados ha sido el uso de sistemas de expansión directa que usan el ciclo fundamental de refrigeración. El ciclo fundamental de refrigeración ha sido utilizado a lo largo de los años por diseñadores para implementarlos en edificios y supermercados. El ciclo tiene un compresor, condensador, válvula de expansión y un evaporador. En el evaporador el refrigerante se evapora a bajas presiones absorbiendo calor para proveer enfriamiento, luego, desde el evaporador, el gas refrigerante fluye hacia el compresor donde se comprime a una temperatura y presión más alta. Ahora, este refrigerante muy caliente fluye hacia el condensador, donde el gas se convierte en líquido expulsando calor al aire exterior (puede ser agua) que se dirige hacia una

torre de enfriamiento o drenaje. El refrigerante líquido que se ha enfriado regresa al evaporador dando comienzo al ciclo una vez más. (Cengel & Boles, 2006)

ASHRAE define la deshumidificación como la remoción de vapor de agua en el aire, gases u otros fluidos, y su importancia en los supermercados está marcada debido al control necesario que se debe tener en los productos. Esta remoción de vapor de agua no se ve limitada por la presión, ya que los equipos de deshumidificación han sido diseñados para operar exitosamente en presiones subatmosféricas hasta 6000 psi. Esto quiere decir, deshumidificar se refiere a equipos que funcionan a presiones atmosféricas y que son construidos con estándares similares a otros tipos de equipos de manejo de aire. (ASHRAE, n.d.)

Un estudio hecho en el 2006 muestra un nuevo sistema capaz de controlar la humedad y deshumidificar espacios en supermercados. El estudio fue hecho en Vicenza, Italia y muestra un sistema capaz de deshumidificar, calentar o enfriar el aire ambiente por una bomba de calor incorporada en el equipo. Esta es una de las alternativas estudiadas en los últimos años. Aparece en una unidad de tratamiento de aire tradicional, pero utiliza una sustancia química para lograr la deshumidificación con una bomba de calor de compresión definiendo en sí una máquina híbrida. (Lazzarin & Castellotti, 2007)

En el 2013 se investigó un diseño de un dispositivo de subenfriamiento mecánico para aumentar la capacidad de un ciclo de refrigeración de baja temperatura en Colombia. El proyecto radica en aumentar el coeficiente de desempeño mediante este proceso. La modificación del ciclo de refrigeración es indudablemente retomada para alcanzar un menor tiempo de uso del sistema y un mejor coeficiente de desempeño. El sistema base en el estudio funciona con un refrigerante R22, evaporando a dos niveles de temperatura (media y baja) teniendo seis evaporadores para la temperatura media y cinco para la baja, junto con un proceso de condensación por aire y cuatro ventiladores, dos bastidores de compresores, uno para temperatura media y otro para la baja. El sistema modificado utiliza dos colectores en lugar de uno, uno está dedicado para el control de la temperatura media y otro para la baja. Tomando en cuenta que la temperatura y la presión son propiedades intensivas es posible simplificar el ciclo y convertirlo a un simple sistema de refrigeración a baja temperatura con un sistema dedicado de subenfriamiento mecánico. (Cengel & Boles, 2006).

Los deshumidificadores desecantes son una alternativa adicional a lo descrito anteriormente. ASHRAE define varios métodos para deshumidificar, entre ellos están: 1) enfriando o aumentando su presión reduciendo así la capacidad para retener humedad, 2) eliminando la humedad por medio de la atracción de vapor de agua con un desecante líquido o sólido.

Existen desecantes líquidos y sólidos, y ambos pueden ser utilizados en equipos diseñados para secar aire u otros gases a presiones atmosféricas o superiores a esta. 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, esto da como resultado que las moléculas de agua se muevan del aire al desecante causando que se deshumidifique el aire. La mayoría de los materiales sólidos pueden atraer humedad, por ejemplo: plásticos como el nylon pueden absorber hasta el 6% de su peso seco en vapor de agua. La placa de construcción de yeso, conocida como Gypsum también puede almacenar una gran cantidad de vapor de agua. Pero, para una correcta selección del material se debe tener en cuenta la capacidad a deshumidificar, ya que hay desecantes diseñados para la recolección de vapor de agua que retiene de 10 a 10 000 por ciento de su peso seco en vapor de agua.(Harriman, 2002)

En el mercado hay opciones para la utilización de deshumidificadores desecantes. Estas son: 1) Deshumidificación por ventilación y calefacción, este método se basa en elevar la temperatura del aire alrededor y también utilizar una excesiva ventilación; 2) Deshumidificación por condensación, este método consiste en extraer humedad del aire aplicando el concepto de punto de rocío, provocando la condensación de la humedad; y, 3) Deshumidificación por absorción, este método consiste en el uso y de materiales higroscópicos para poner extraer humedad del aire.(Harriman, 2002)

Por otra parte, se debe tomar en cuenta que existen programas dedicados a la simulación del consumo energético, y sirven para conocer y evaluar el desempeño del sistema diseñado. Estos softwares tienen aplicaciones determinadas, pero para este proyecto el software debe ser capaz de simular un supermercado en general junto con su espacio acondicionado, también debe ser capaz de simular las vitrinas refrigeradas y el sistema de refrigeración utilizado junto con el rango de sistemas HVAC disponibles. Además, debe ser capaz de simular la alternativa escogida utilizando su misma interfaz. Para esto, existen las siguientes opciones: 1)

EnergyPlus, 2) eQuest, 3) Cybermart, 4) SST, 5) SuperSIM. (*Balancing Latent Heat Load Between Display Cases and Store Comfort Cool* by Penelope J. Cole, n.d.)

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

Este proyecto buscó realizar un análisis y una comparación entre los sistemas de climatización utilizados en el supermercado ubicado en la ciudad de Guayaquil y una modificación de este al implementar un deshumidificador en la línea de climatización para controlar la humedad y ahorrar energía como se describió en el capítulo 1. La ciudad de Guayaquil posee unas condiciones climáticas que se caracterizan por indicar elevadas temperaturas y humedad relativa, como se muestra en las figuras 2.1 y figura 2.2, lo que indica un mayor trabajo en la parte de climatización y refrigeración del edificio analizado.

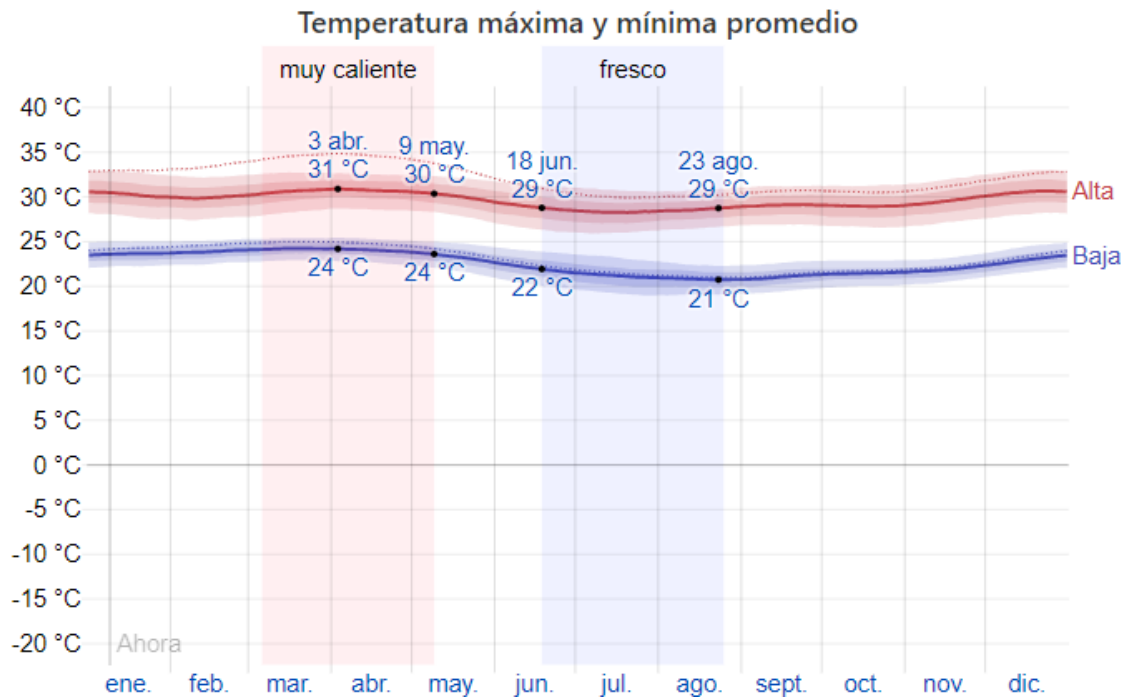


Figura 2.1 Temperatura en la ciudad de Guayaquil 2019 [Weather Spark]

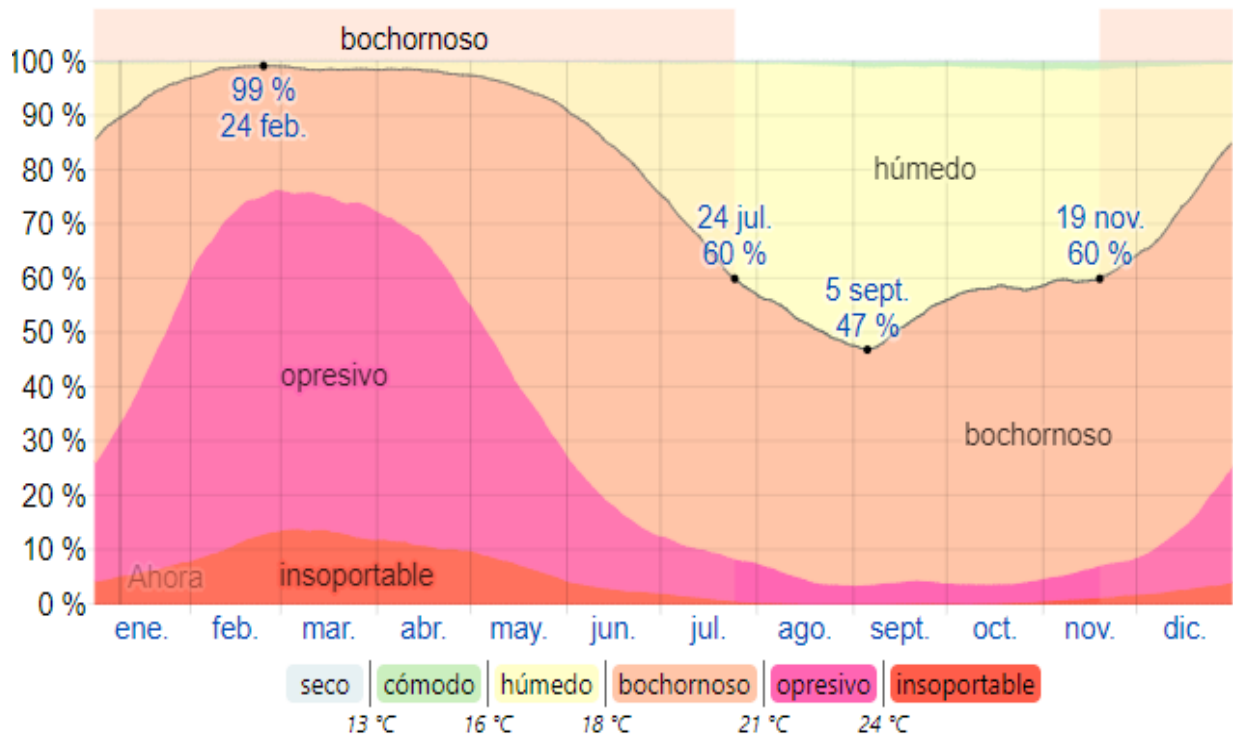


Figura 2.2 Humedad en la ciudad de Guayaquil 2019 [Weather Spark]

La metodología de diseño se la detalla en el Esquema 1. La primera parte consistió en la simulación del sistema de climatización HVAC junto con las cargas de todo el supermercado, como la refrigeración, carga ocupacional, carga por luces eléctricas y cargas por equipos eléctricos. La segunda parte consistió en la simulación de los mismos equipos y cargas de la primera parte, pero ahora con la implementación del sistema de deshumidificación por medio de una rueda desecante y así se obtuvo los resultados de la simulación propuesta.

El centro comercial TIA tiene un consumo aproximado mensual del 50% del valor de la planilla eléctrica refrigeración, mientras que, en segundo lugar, se encuentra la climatización y luego le sigue el consumo de luces y equipos eléctricos. La simulación del supermercado TIA como edificio se la realizó en el programa SketchUp y la simulación incluyendo sus características de construcción, horarios, cargas y zonas térmicas se la realizó con el programa OPS.

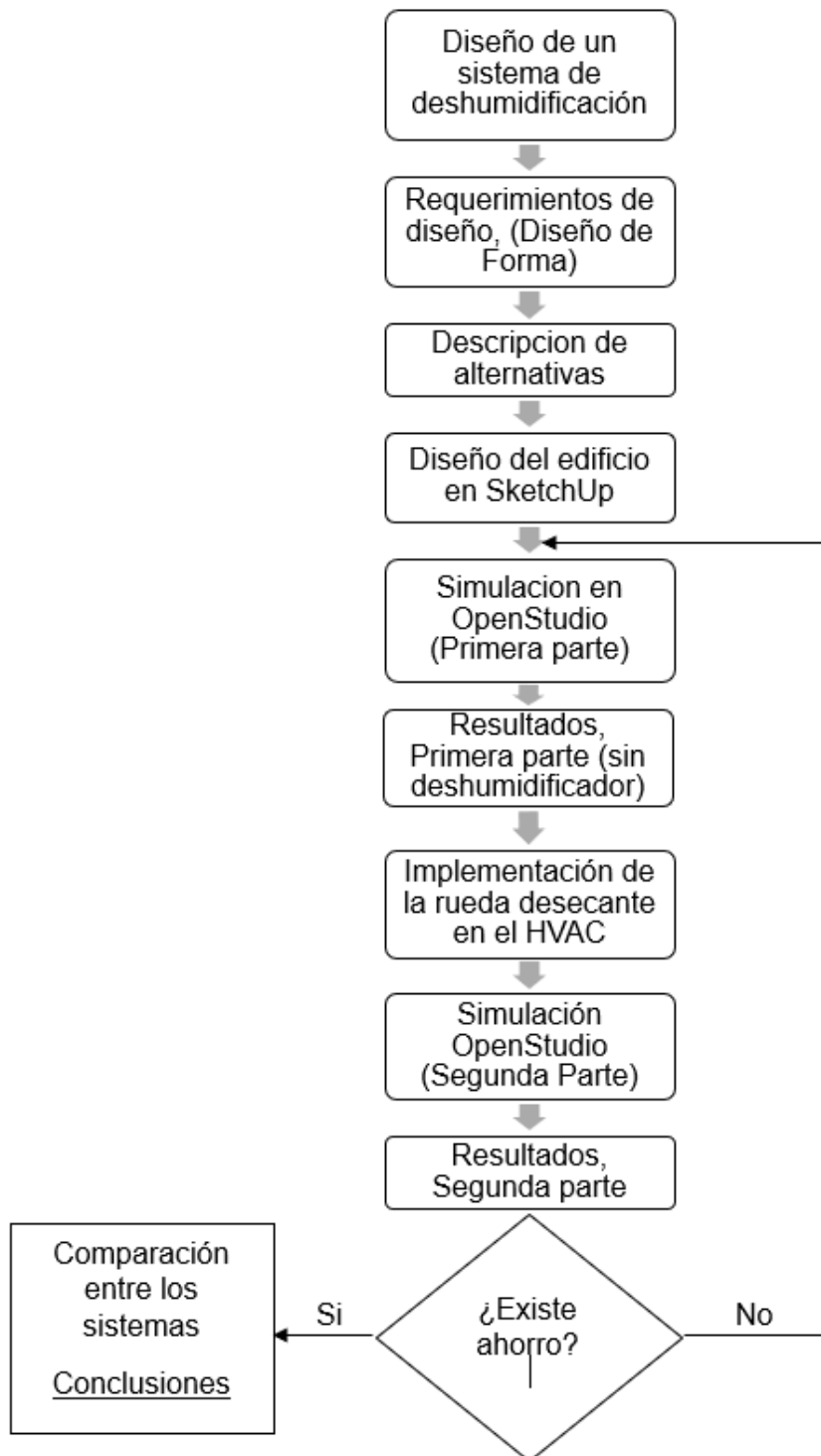


Figura 2.3 Esquema de realización de proyecto Integrador [Elaboración propia]

2.1.1 Caso de estudio: Supermercado TIA en la ciudad de Guayaquil



**Figura 2.4 Fotografía del Edificio (izquierda), Imagen satelital (derecha).
[TIA S.A]**

Por medio de datos entregados por el supermercado, el flujo de personas es de un promedio de 350 personas entre la hora de apertura, la cual es a las 7:00, y la hora de cierre del local que es a las 23:00. La parte de ventas está ubicada en el primer piso (la cual la convirtió en la zona principal para el análisis del proyecto). Para el diseño se dividió la planta baja en cinco partes y la parte alta en cuatro. Estas partes fueron incluidas en el diseño como zonas térmicas para el respectivo análisis. En la terraza se encuentra el sistema HVAC que cubre con toda la necesidad del supermercado; cabe recalcar que la única parte refrigerada y ventilada es la planta baja. Los planos del edificio fueron entregados por el supermercado y se encuentran en el APENDICE A. El edificio cuenta con un área total de 724.88 m², la planta baja posee un área de 450.1 m² y la planta alta de 274.78 m². Las nueve partes de todo el edificio se las denominó de la siguiente manera:

1. Zona 1: Sala de Ventas
2. Zona 2: Congelados
3. Zona 3: Oficinas PB
4. Zona 4: Ventanilla
5. Zona 5: Bodegas PB
6. Zona 6: Zona Techo

- 7. Zona 7: Cuarto Frio
- 8. Zona 8: Cuarto HVAC
- 9. Zona 9: Oficinas PA

2.1.2 Climatización y Refrigeración utilizada

El supermercado posee un sistema HVAC de unidades de expansión directa ubicadas en la plataforma del edificio. Debido a que únicamente la planta baja se encuentra climatizada, el sistema HVAC necesita una capacidad 314400 Btu, colocando plantas de ventilación de 60000 Btu, se tiene una relación entre ambas que da como resultado el valor de 5 unidades paquetes necesarias para la climatización de la planta baja. La temperatura dentro de la planta baja rodea un promedio de 22.4°C (ver APENDICE B). Además del sistema en cascada, el supermercado posee 3 acondicionadores de aire Split, dos de ellos poseen una capacidad de 12000Btu y están ubicados en la zona de oficinas en la planta baja, mientras que el tercero es de 18000Btu y está ubicado en la planta baja en la zona llamada cuarto de frío. En la parte de refrigeración, el supermercado posee 4 display case, los cuales son para: lácteos, embutidos, carnes y frutas; y 3 walk-in destinados para almacenar bebidas.

Tabla 2.1 Características generales [TIA S.A]

Características	Valor
Área de la planta baja	393.02 m ²
Construcción de pared	6.1 m
Techado	Metal decking 10%
Piso	10 cm
Área de ventana	65.83 m ²
Altura de techo	3.5m
Infiltración	0.24 ACH
Refrigeración	Sistema de Cascada
Refrigerante	R-22
HVAC	Paquetes
Ocupancia	15 m ² por persona (REFERENCIA)
Luces	20W/m ²
Equipos	25 W/m ²

El sistema de climatización es de expansión directa, esto quiere decir que son equipos divididos en dos partes, una de ellas está en la zona interior a climatizar, mientras que la otra en la parte exterior, el compresor y el condensador, se encuentran en esta unidad.

En la tabla 2.2 se encuentra un resumen de los equipos de expansión directa que forman parte del supermercado TIA.

Tabla 2.2 Resumen del sistema HVACV [TIA S.A]

Piso	Tipo	Capacidad c/u	Área
1	5 paquetes	60000 Btu	Planta Baja
	2 Split	12000 Btu	Planta baja
	3 Walk-in	4095 Btu/h	Planta baja
	4 Cases	4095 Btu/h	Planta baja
2	1 Split	18000 Btu	Planta baja

2.1.3 Ocupación del supermercado

Por medio de las tablas de ocupación que fueron entregadas por la empresa TIA, se calculó un promedio por día durante 10 meses, de enero del 2019 a octubre del mismo año, dando un resultado de aproximadamente 350 personas por día que entran al edificio. A parte de esta cantidad varían día a día, se colocaron las personas fijas por turnos dentro del edificio, las cuales son 25 (Todos los cálculos y las tablas se encuentran en el APENDICE B). En la tabla 2.3 se resume lo anteriormente escrito.

Tabla 2.3 Promedio de asistencia diaria

Piso	Visitantes	Personal
Planta baja	350	17
Planta alta	0	8

2.1.4 Potencia de equipos y de Iluminación

Este valor se lo mide en W/m^2 , denominado también como densidad de potencia. Estos valores se muestran en la tabla 2.4 y fueron calculados con la ecuación 2.1 que es la norma 007 para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales.

$$DPEA = \frac{\text{Carga total conectada por alumbrado}}{\text{Área total iluminada}} \quad (2.1)$$

Tabla 2.4 Iluminación [Elaboración propia]

Zona térmica	Densidad de iluminación W/m²
Sala de ventas	13.23
Congelados	10.42
Oficina PB	14.8
Ventanilla	17
Bodega PB	3.6
Zona techo	0.64
Cuarto frio	3.35
Cuarto HVAC	0
Oficina PA	4.6

2.2 Alternativas de Solución

Debido al problema existente y descrito anteriormente acerca del excesivo consumo de energía por parte del sistema de climatización, se planteó las siguientes soluciones.

1. Subenfriamiento mecánico
2. Deshumidificador desecante
3. Control variable de presión

Como se estudió en el capítulo 1, el subenfriamiento mecánico no toma en cuenta el área a tratar ni afronta de frente a la humedad, lo que no resulta provechoso para el proyecto.

El deshumidificador desecante no sólo es un aparato que disminuye la humedad del ambiente, sino que también se enfoca en el ahorro energético.

El dispositivo de control variable de presión genera una mayor eficiencia respecto al refrigerante líquido, ya que su capacidad de enfriamiento aumenta.

Debido a que el deshumidificador desecante tiene como función principal la deshumidificación y también el control respectivo de humedad, se elige este tipo de diseño. Pero a su vez se procede a determinar la mejor opción del deshumidificador desecante por medio de la matriz de decisión.

2.2.1 Deshumidificación por ventilación y calefacción

- Efectivo en temperaturas bajas en el exterior
- Deficiente en verano, largo tiempo de secado
- Mayores gastos
- Se obtienen mejores resultados con variaciones de temperaturas mayores, esto indica mayor consumo de energía.

2.2.2 Deshumidificación por condensación

- Rapidez para evaporar debido a su pequeño delta de temperatura
- Se tiene menos agua en el aire si se tiene un espacio cerrado y más largo.
- A mayores temperaturas, mejor eficiencia
- Más económico que deshumidificar por ventilación

2.2.3 Deshumidificación por adsorción

- No existe problemas al momento de trabajar en áreas de estancias frías como barcos, bodegas o sótanos debido a que no posee compresor y trabaja con una sustancia química
- Son los más eficientes respecto a la deshumidificación, pero esto limita la eficiencia energética ya que consumen más electricidad que dispositivos que utilizan refrigerantes
- Seca aire a temperaturas menores a 0°C

Tabla 2.5 Matriz de decisión para mejor alternativa de desecante [Elaboración propia]

	Opcion 1		Opcion 2		Opcion 3		
	Peso	Calificación	Total	Calificación	Total	Calificación	Total
1. Costos							
1.1 Costos bajos de inversión	0,50	5	2,48	8	3,47	7	3,97
1.2 Que los repuestos del diseño sean económicos	0,09	5	0,43	7	0,60	6	0,51
1.3 Fácil mantenimiento	0,28	6	1,71	6	1,71	8	2,27
1.4 Ensamble sencillo y económico	0,13	7	0,94	7	0,94	7	0,94
2. Diseño							
2.1 Liviano	0,07	4	0,26	6	0,39	6	0,39
2.2 No espacioso	0,57	4	2,28	5	2,85	6	4,00
2.3 Fabricación sencilla	0,24	4	0,96	5	1,20	7	1,67
2.4 Moderno	0,12	5	0,62	7	0,87	8	0,99
3. Logística							
3.1 Autonomía energética	0,52	4	2,10	6	3,14	5	2,62
3.2 Repuestos fáciles de encontrar	0,08	6	0,45	6	0,45	6	0,45
3.3 Fácil implementación en otras sucursales	0,28	5	1,38	7	1,93	6	1,66
3.4 Fácil traslado de los equipos	0,12	4	0,50	7	0,87	7	0,75
4. Medio Ambiente							
4.1 Refrigerante no contaminante	0,30	10	1,21	10	1,52	10	1,21
4.2 Materiales amigables al ambiente	0,61	3	1,82	6	3,64	8	3,04
4.3 No genere ruido	0,09	3	0,27	7	0,63	7	0,54
TOTAL			17,41		24,22		25,02

Se concluyó que la Opción 3 es la mejor alternativa de solución. Esta alternativa es el deshumidificador por adsorción.

2.3 Diseño conceptual del deshumidificador

El deshumidificador fue colocado entre dos de los cinco equipos de expansión directa junto con su respectivo horario de encendido y apagado para la alta demanda en cada hora seleccionada. El diseño se muestra en la figura 2.5.

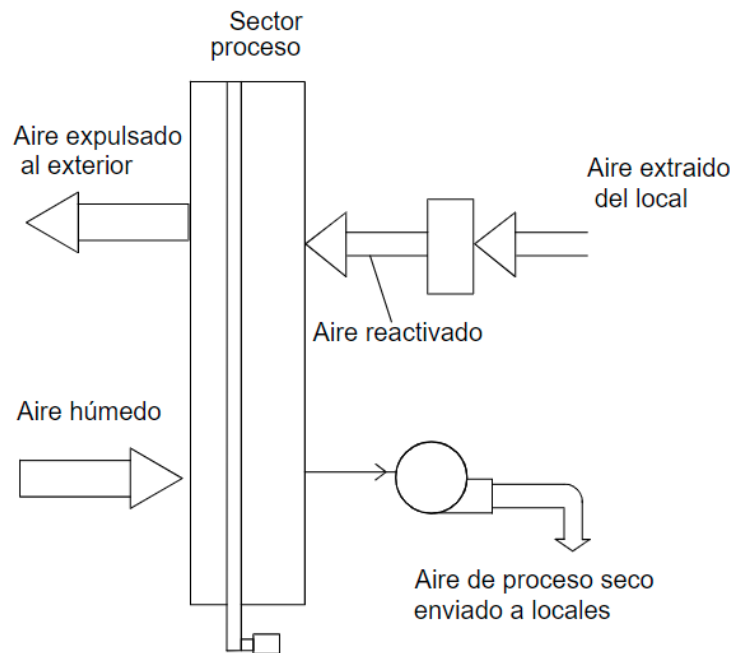


Figura 2.5 Diseño interno del deshumidificador por adsorción a seleccionar.

[Elaboración propia]

El deshumidificador posee una rueda desecante de un material higroscópico. Al utilizar un sistema de enfriamiento desecante se desarrollan tres componentes. La primera es una etapa de regeneración que viene dada por una fuente de calor, la segunda es el deshumidificador por medio de una rueda desecante como se ve en la figura 2.5, y por último la unidad de enfriamiento. Existen dos flujos de aire yendo en dirección contraria mientras que la rueda desecante rota lentamente entre estos, a estos flujos se los llaman contracorriente o también aire de proceso y reactivación. La corriente de aire exterior y la de aire caliente de regeneración están separados evitando así la mezcla de estos. El material higroscópico seleccionado fue el gel de sílice o zeolita que se encuentran unidas a un sustrato de fibras de vidrio, aluminio y papel.

El aire procesado fluye entre la parte inferior de la rueda y, mientras fluye, el material higroscópico actúa absorbiendo la humedad del aire. Esta acción da como

consecuencia una saturación del aire aumentando la presión de vapor de su superficie. Una vez que la rueda se encuentra en el sector de reactivación, el gel de sílice se calienta elevando la presión de vapor de la superficie permitiendo la eliminación de la humedad en el aire reactivado. Una vez lograda la reactivación, se regresa a zona de proceso donde se puede enfriar una pequeña parte del aire para conseguir más humedad [SciELO]. En la figura 2.6 se muestra de manera más visible el funcionamiento con la rueda desecante.

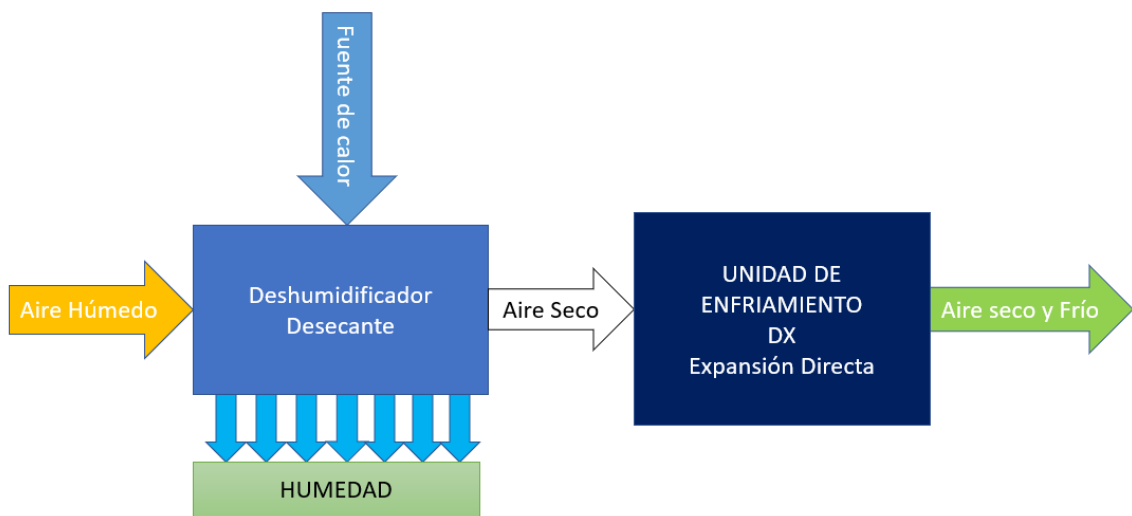


Figura 2.6 Esquema general del enfriamiento con un deshumidificador desecante.
[Elaboración propia]

El sistema de expansión descrito en la figura 2.6 tiene como función trasladar el calor desde adentro hacia afuera por medio del refrigerante, el cual lo absorbe, y si actúa enfriando el refrigerante se condensa. El sistema posee un compresor que aumenta la presión del fluido logrando que se condense de una manera sencilla, y por último la válvula de expansión disminuye la presión logrando así la evaporación del fluido. En el APENDICE C se encuentra los planos y la manera de instalar el deshumidificador al sistema de expansión.

2.4 Selección del software a elegir

Para esta parte se eligió entre diferentes softwares recomendados por ASHRAE. A continuación, se muestra la matriz de decisión para seleccionar la mejor alternativa.

Tabla 2.6 Matriz de decisión respecto a los softwares a elegir.

[Elaboración propia]

	Relevancia	EnergyPlus		eQuest		Cybermart	
Calculo transiente de HVAC	20	1	20	1	20	1	20
Asistentes	15	1	15	1	15	0	0
Sistema energías renovables	10	1	10	1	10	1	10
Modificación para equipos HVAC	20	1	20	0	0	0	0
Genera reportes	10	1	10	1	10	1	10
Motor de simulación	15	1	15	1	15	1	15
Interfaz propia	10	0	0	1	10	1	10
Total	100		90		80		65

Debido a que EnergyPlus (EP) lleva ventaja de los otros, se escogió como mejor alternativa. Junto a este programa se utilizó softwares como SketchUp (SK) (diseño del edificio) y OpenStudio (OPS) (características del edificio).

2.5 Modelo energético del supermercado

2.5.1 Modelo geométrico

En esta sección se comenzó dibujando, en base a los planos mostrados en el ANEXO A, en el software SketchUp diferenciando cada bloque como una zona térmica dedicada para su propio enlace en OpenStudio, en el ANEXO D se encuentra detallado el proceso de dibujo. En la figura 2.7 se muestra el diseño del edificio en SketchUp con medidas reales.

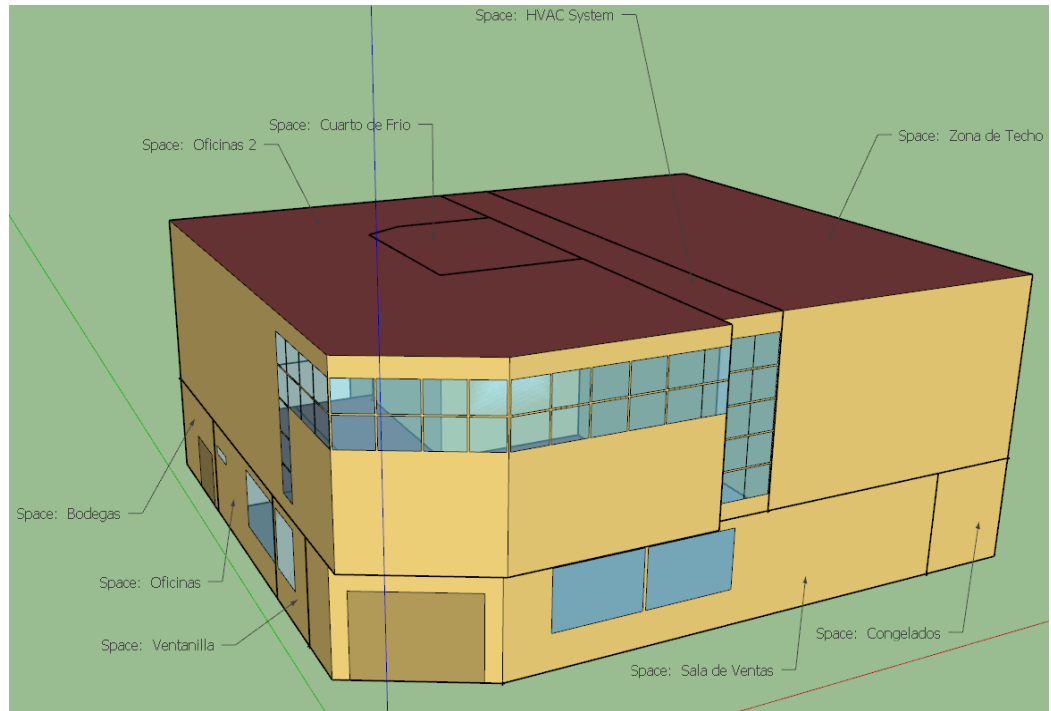
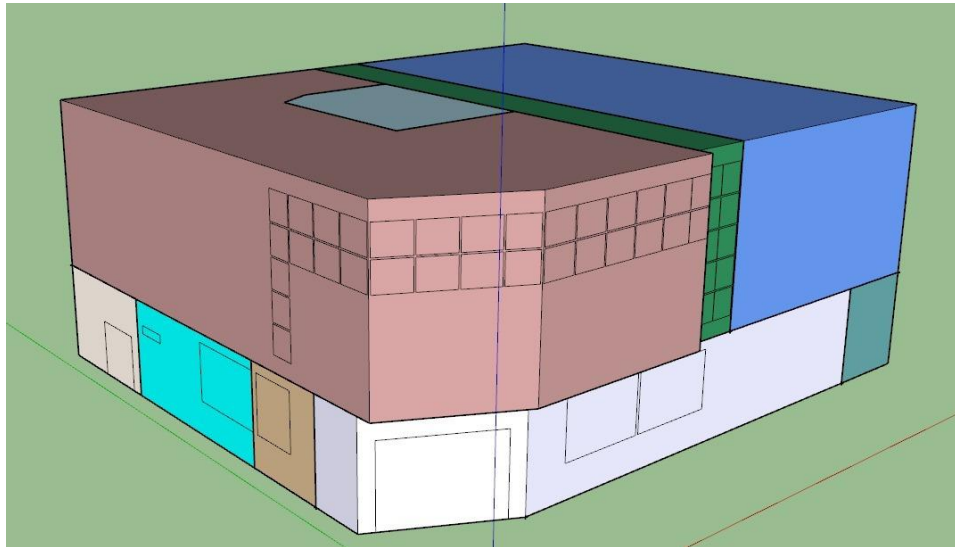


Figura 2.7 Modelo en SketchUp mostrando cada zona térmica definida por espacios [Elaboración propia]

En la figura 2.7 las zonas térmicas de cada espacio mostradas con diferentes colores, esto indica que cada zona térmica está definida correctamente. El primer piso tiene cinco zonas térmicas, mientras que el segundo sólo tiene cuatro. Se tomó en cuenta al momento de disponer las zonas térmicas que, en la planta alta, no existe climatización ni refrigeración alguna otorgada por el sistema que se evaluó.



**Figura 2.8 Zonas térmicas definidas para el supermercado TIA
[Elaboración propia]**

Luego de haber colocado cada zona térmica correctamente, junto con su espacio y su respectivo enlace entre las mismas, se procedió a enlazar el archivo con el programa OpenStudio para así colocar las cargas internas.

2.5.2 Cargas internas

Se tomaron en cuenta cargas por ocupación, por iluminación y por equipos eléctricos.

Ocupación

Para determinar los valores de ocupación se utilizaron los datos otorgados por la empresa TIA los cuales mostraban la cantidad de personas que entraban al edificio por semana durante un periodo de 10 meses. En el ANEXO B se encuentran calculados los promedios de personas por día los cuales fueron utilizados para el programa.

Tabla 2.7 Ocupación promedio en un almacén TIA [Elaboración propia]

Zona térmica	Número de personas
Sala de ventas	375
Congelados	150
Oficina PB	3
Ventanilla	3
Bodega PB	5

Zona techo	5
Cuarto frio	2
Cuarto HVAC	1
Oficina PA	2

Iluminación

Se detalla en la tabla 2.8 las cargas por luces por cada zona térmica del edificio de TIA.

Tabla 2.8 Cargas por luces en un almacén TIA [Elaboración propia]

Zona térmica	Potencia (W)
Sala de ventas	5200
Congelados	600
Oficina PB	320
Ventanilla	120
Bodega PB	120
Zona techo	120
Cuarto frio	120
Cuarto HVAC	20
Oficina PA	1000

Equipos eléctricos

Tabla 2.9 Cargas por equipos eléctricos en un almacén TIA

[Elaboración propia]

Zona térmica	Potencia (W)
Sala de ventas	500
Congelados	0
Oficina PB	2115
Ventanilla	645
Bodega PB	400
Zona techo	200
Cuarto frio	0
Cuarto HVAC	0
Oficina PA	400

2.6 HVAC y Refrigeración

2.6.1 Primera parte: Sin deshumidificador

La climatización se la define entre cinco paquetes, uno de ellos es la figura 2.9

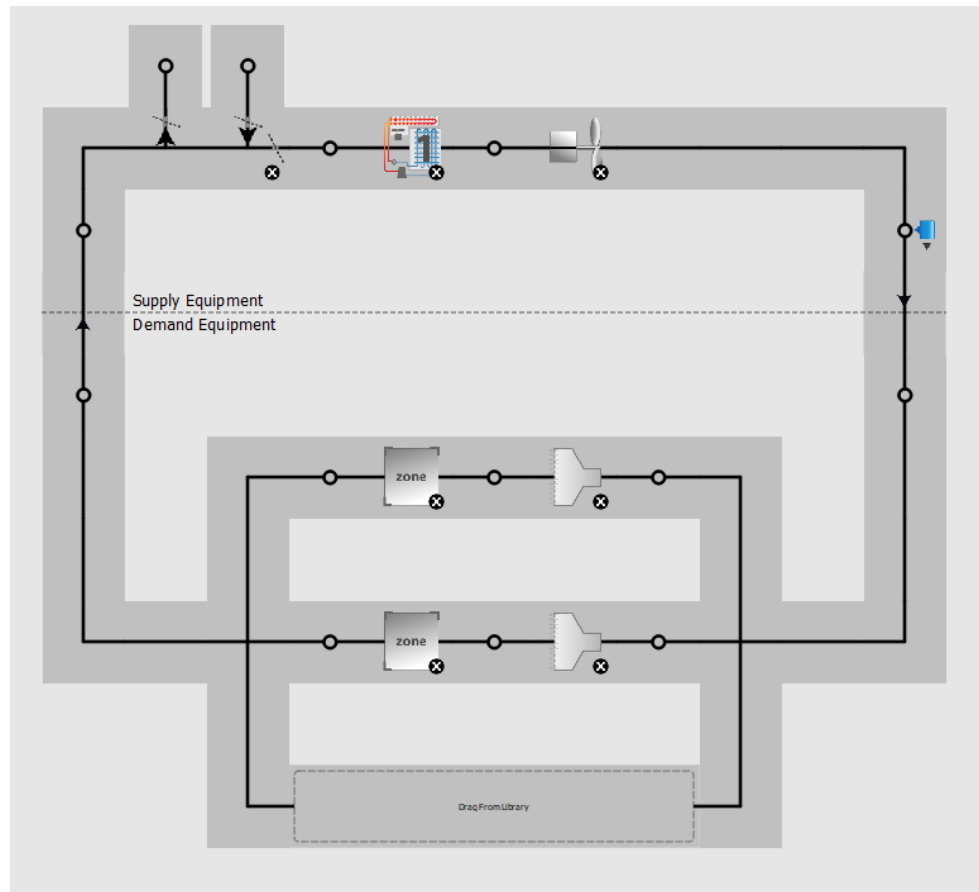


Figura 2.9 HVAC del paquete #1 CP1 [Elaboración propia]

Esta figura indica que el paquete número fueron dirigidos para dos zonas térmicas, las cuales son: Congelados y Sala de ventas. Y así continúa cada uno de los otros paquetes basándose en los planos de climatización recibidos. Tanto los Split como los paquetes van dibujados con el mismo diseño (ver ANEXO D)

Refrigeración

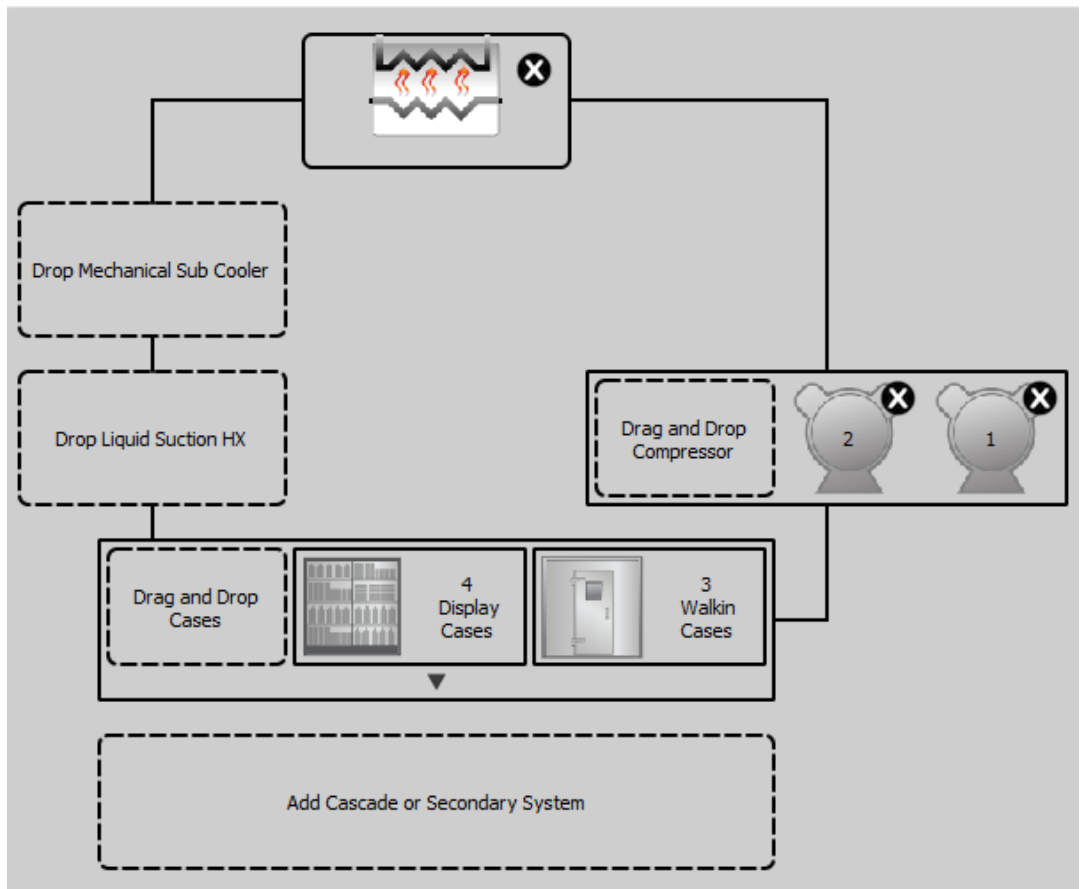


Figura 2.10 Sistema de refrigeración. 4 display Cases y 3 Walk-IN
[Elaboración propia]

Se identificó cada equipo y puso sus características descritas anteriormente en este capítulo. En el ANEXO D se registran cada uno de los detalles.

2.6.2 Segunda Parte: Con deshumidificador

Debido a que en la interfaz de OPS no existe visualmente la opción de una rueda desecante, se optó por calcular los parámetros de diseño de la rueda para poder implementarlos en un programa entregado por la compañía "NovelAire Technologies", cuya interfaz recibe los datos de humedad, temperatura y potencia necesaria para secar el aire y también el flujo de aire que comienza en la rueda. En la figura 2.11 se muestra la interfaz del programa.

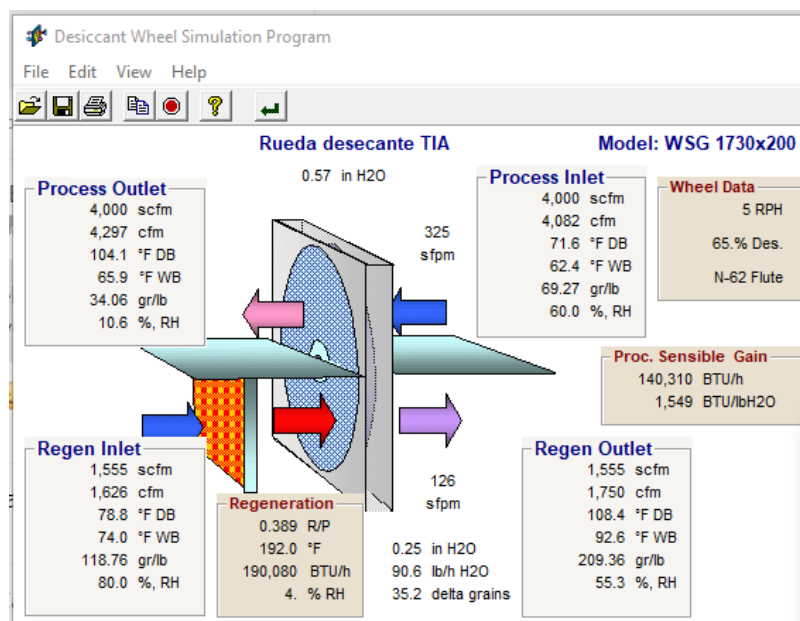


Figura 2.11 Desiccant Wheel Simulation Program en NovelAire Technologies [Elaboración propia]

Para ingresar los datos al programa se tuvo que calcular cada una de las características de la rueda. Comenzamos calculando las cargas internas y externas dentro del supermercado, para esto nos basamos en la norma ISO 7730[tem2], además, se tomó las características climáticas brindadas por ASHRAE (*“Balancing Latent Heat Load Between Display Cases and Store Comfort Coo” by Penelope J. Cole, n.d.*). En la tabla 2.10 se muestran los datos de temperatura y humedad en verano e invierno en interiores de confort.

Tabla 2.10 Características de confort en interiores. Fuente: ISO 7730

Estado	Temperatura Interior	Velocidad del aire en m/s	Humedad relativa %
Verano	24°C	0.20	45-60
Invierno	22°C	0.15	40-50

Luego, se definió las temperaturas en invierno y verano de exteriores, debido a que la transferencia de calor vino dada desde el exterior al interior.

Tabla 2.11 Características de confort en exteriores. [Weather Spark]

Estado	Temperatura Exterior	Humedad relativa %
Verano	29°C	69-99
Invierno	31°C	47-60

La norma utilizada obliga a tener datos máximos y mínimos de temperatura en los locales, estos van de 21° a 25° dependiendo de la actividad que exista en el interior. Los datos de temperatura entregados por el supermercado cumplen con esta norma.

Luego, se calculó lo que es el calor latente y calor sensible. Se consideró únicamente la planta baja para esta parte con sus 5 zonas térmicas ya definidas anteriormente. Se calculó la carga térmica en W con la siguiente ecuación:

$$Q = S * k \quad (2.2)$$

Donde Q es la carga térmica, S es la superficie total del local en m² y k es el coeficiente en W/m² dado por la norma antes mencionada (ver cálculos en APENDICE B) dando como resultado 64.8 kW de carga térmica.

Para las cinco zonas térmicas se determinó el calor sensible por ocupantes, la ecuación es 2.3

$$Q_{SO} = n * Q_{SP} \quad (2.3)$$

Donde n es el número de personas y Q_{SP} es el calor sensible por persona en W/persona

Para determinar el calor sensible al aire exterior se utilizó la ecuación 2.4

$$Q_{SA} = 0.34 * V * (T_{EXT} - T_{INT}) \quad (2.4)$$

Donde V es el caudal en m³/h, Q_{SA} es la potencia en watos y $T_{EXT}-T_{INT}$ es el salto térmico exterior e interior del local. Este calor sensible fue de kW ya que el caudal es de 5.8 kW debido a que el caudal de aire dado por el equipo de expansión directa es de 3398 m³/h (2000 CFM). Revisar APENDICE C para ver desarrollo de los cálculos.

Luego, se calculó el calor sensible interno. Esta carga se la determinó utilizando los datos registrados en OPS, los de luces y equipos. El calor sensible interno fue de 1.6kW

Se determinó la carga por calor latente exterior mediante la ecuación 2.5 y mediante la ecuación 2.6 el calor latente por ocupantes.

$$Q_{LA} = 0.83 * V * (W_{ext} - W_{int}) \quad (2.5)$$

Donde $W_{ext} - W_{int}$ es la diferencia de humedades absolutas en gr/kg.

$$Q_{LO} = n * Q_{LP} \quad (2.6)$$

Donde n es el número de personas y Q_{LP} es el calor latente por persona. La tabla 2.12 muestra el total de cargas en la planta baja del supermercado, el resto de cálculos se encuentran en el APENDICE C.

Tabla 2.12 Cargas totales en el supermercado [Elaboración propia]

Áreas	Capacidades
Planta baja	450.1 m ²
Calor sensible	54.39 kW
Calor latente	35.35 kW
Calor total	89.74 kW

Para seleccionar una rueda desecante se utilizó la proporción de 50%, la cual es la zona de reactivación y otros 50% de la zona de proceso. Esta relación es dada para supermercados, donde se quiere tener una humedad específica.

Mediante datos de temperaturas exteriores de verano y de inviernos y con un flujo de aire de 2000 CFM se comenzó a calcular parámetros necesarios para la rueda desecante. Uno de ellos fue la potencia heater. Todo este procedimiento fue adoptado del catálogo de Munters (Munters, n.d.). Se puede ver el detalle de los cálculos en el ANEXO C.

Para calcular el flujo de aire necesario para el programa se utilizó la ecuación 2.7

$$SCFM = CFM \left(\frac{P_A}{P_S} * \frac{T_S}{T_A} \right) \quad (2.7)$$

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En esta sección se extrajo los resultados de todo el procedimiento y de la metodología registrada en el capítulo 2. Se realizaron gráficos estadísticos de las dos partes descritas anteriormente, sin el deshumidificador y con el deshumidificador

3.1 Resultados sin deshumidificación

Una vez simulado todo el supermercado elegido se comparó el consumo energético mensual del edificio mostrado en las planillas eléctricas. En la gráfica 3.1 se observa la comparación mensual entre la simulación en OPS y lo medido mensual por la empresa eléctrica del Ecuador.

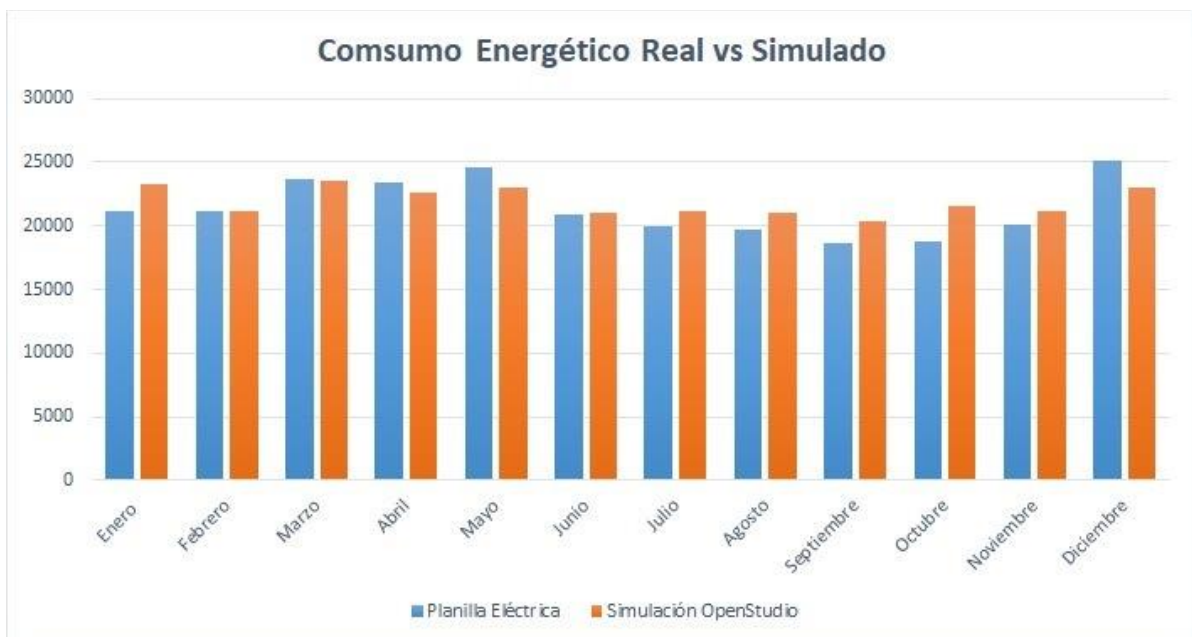


Figura 3.1 Comparación energética entre la planilla eléctrica (azul) y la simulación en OPS (naranja) [Elaboración propia]

El error máximo encontrado en la simulación es del 10% al compararlo con la planilla eléctrica, y este aumento se dio en diciembre donde el consumo energético en todo el mundo aumenta debido a las festividades de ese mes, donde la ocupancia del local aumenta significativamente. Hay que resaltar que el diseño no tomó en consideración la luz exterior y el calor que proviene por el sol que puede afectar directamente o indirectamente al edificio. Otra situación a resaltar es que

las planillas de consumo energético otorgadas por el supermercado son de la ciudad de Portoviejo en la provincia de Manabí donde existe una variación de temperatura máximo de 2°C en todo el año y al momento de comparar las temperaturas en el programa se utilizó el reporte climático de la ciudad de Guayaquil, dando como consecuencia esos errores que pueden ser elevados dependiendo de cuan bien o mal se desarrolle la simulación el OPS.

Otro valor que influyó en los resultados de la simulación fue la infiltración. OPS posee datos estándares de infiltración para supermercados, pero estos datos fueron diseñados para supermercados ubicados en los Estados Unidos. Este proyecto modificó ciertas características de la infiltración para asemejarlas a un edificio de Ecuador, junto con las características y normas de construcción aplicadas aquí. Pero, los resultados muestran que no hay mucha variación entre los datos obtenidos y los registrados en la planilla eléctrica.

La figura 3.1 muestra el valor general del consumo, en la figura 3.2 se muestra la división porcentual de los diferentes consumos importantes en el supermercado.

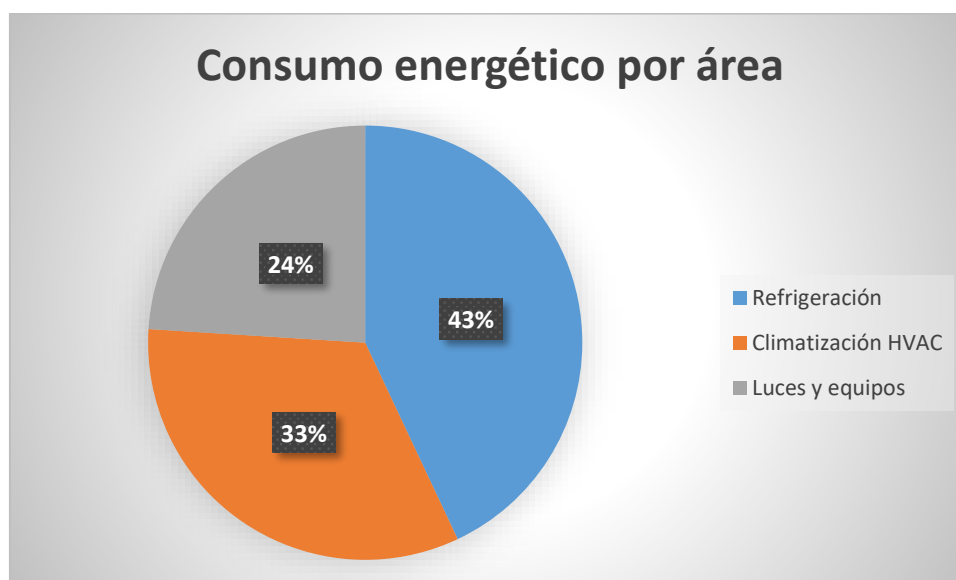


Figura 3.2 Porcentaje de consumo dado por la simulación en OPS [Elaboración propia]

El supermercado analizado entregó datos estándares del consumo energético dividido en cuatro secciones: Refrigeración como el 50% del consumo energético mensual, climatización como el 30% mensual y luces y equipos como el 20%

restantes. La diferencia entre lo simulado radica en varios factores. Para el diseño de la refrigeración en OPS se utilizaron potencias estándares para los equipos utilizados en el supermercado. Además, en la climatización se incluyen tantos los equipos de expansión directa como los Split utilizados en la planta baja y alta del edificio.

Además, controlar el flujo de personas mensualmente en un supermercado es una tarea aparte a realizar, ya que para realizar la simulación se utilizó un promedio de todos los meses que habían sido analizados por el supermercado anteriormente, pero el software limita todo eso a un promedio general que habría mensualmente en el supermercado. Y no se considera el cambio que puede existir por imprevistos como reuniones, celebraciones y eventos importantes en el supermercado.

El consumo por año es de 261.6 MWh en el supermercado.

El error en la primera parte de simulación de todo el edificio es considerablemente pequeño al tratar con programas de simulación donde algunos de los factores que posee internamente el software delimita el diseño de un supermercado totalmente. En la tabla 3.1 se muestra el índice de validación para el modelo. Revisar APENDICE C

Tabla 3.1 Índice para comprobar que el modelo ha funcionado [Elaboración propia]

Índice	Valor obtenido	Rango de aceptación
NMBE	2.3%	±5%

3.2 Resultados con deshumidificación

En la tabla 3.2 se muestra el resultado de las cargas totales dentro del supermercado, la cual fue de 89.74 kW, que transformados en Btu/h nos da un valor de 306384 Btu/h, esto no está alejado de los datos reales del supermercado, ya que el edificio necesita un total de 314400 Btu/h. esto da un error de 3% al valor real. Este dato se calculó debido a que la simulación en Open Studio genera la carga total en función del espacio creado en SketchUp.

Para el programa 'Desiccant Wheel Simulation Program' se necesitó el flujo de aire a la entrada de la rueda, o como bien se detalló en el capítulo dos, a la zona de

reactivación o de proceso, donde el aire entra con un flujo de 2000 CFM, que al convertirlo en m³/h se obtiene 3398.

Como se aprecia en la tabla 3.2 la planta baja debe vencer una carga total de 89.7 kW, con un flujo de aire de 3398 m³/h. En el supermercado se asume que se está a una humedad del 60% que es la establecida para el confort humano en los sistemas de enfriamiento. Debido a que en toda el área del supermercado el calor latente supera el 25% de la carga total del edificio, se encontró útil el uso de sistemas de enfriamiento con desecantes.

Se encontró provechoso utilizar una velocidad angular para la rueda de 14 RPH y una temperatura del aire de regeneración de entre 80 a 90° C (Mateo, n.d.)

Tabla 3.2 Calor sensible por ocupantes en las 5 zonas térmicas del supermercado.
[Elaboración propia]

Zona térmica	Calor sensible en kW
Sala de ventas	20.3
Ventanilla	2.9
Congelados	14.5
Bodegas	0.41
Oficinas	0.23
TOTAL	38.34

Tabla 3.3 Cargas totales en el supermercado

Áreas	Capacidades
Planta baja	450.1 m ²
Calor sensible	54.39 kW
Calor latente	35.35 kW
Calor total	89.74 kW

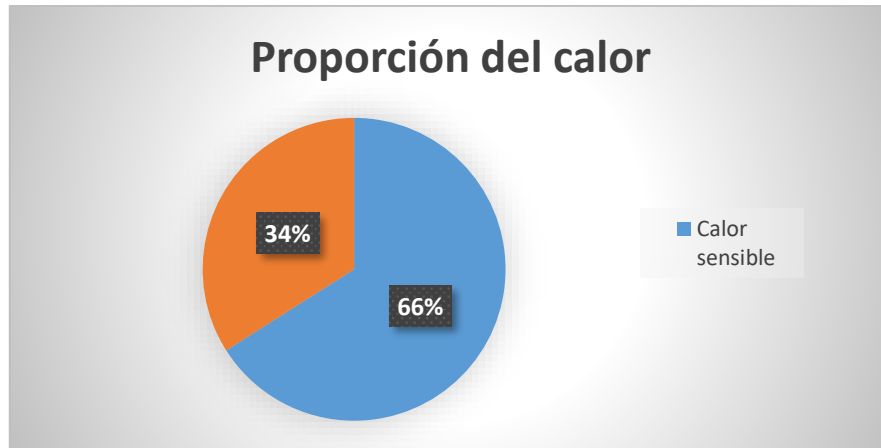


Figura 3.3 Proporción de calor en el supermercado. [Elaboración propia]

En la figura 3.3 se muestra el gráfico donde se aprecia el calor sensible dentro del supermercado y el calor latente del mismo. Cada uno de ellos fue calculado mediante los datos calculados en el APENDICE B, donde se muestra las cargas ocupacionales y las cargas por temperatura que fueron implementadas junto con el manual de cálculo para cargas térmicas (*Manual de cálculo de cargas térmicas*, n.d.).

A continuación, se muestran los datos que se ingresaron al software para la selección de la rueda desecante.

Tabla 3.4 Datos necesarios para la simulación de la rueda (Ver cálculos en APENDICE C) [Elaboración propia]

Datos a ingresar	Valores
Flujo de aire	2282 SCFM
Temperatura de proceso	72 °F
Humedad relativa	60% RH
Potencia Heater	82000 Btu/h
Temperatura de regeneración	90°F
Humedad relativa de regeneración	40% RH
Temperatura Heater	192°F
Velocidad angular de la rueda	5 RPH

Para calcular el flujo de aire necesario se utilizó la ecuación 2.7 resultando en 2282 SCFM (ver APENDICE C para cálculos completos).

Los datos de la temperatura y humedad relativa para la parte de proceso y la parte de regeneración fueron tomados de los datos ya registrados por el supermercado (APENDICE B), se utiliza en Sistema Inglés debido a la facilidad del programa para ese tipo de unidad. La potencia del heater se la utilizó mediante la ecuación de selección dada por el fabricante MUNTERS (ver APENDICE C) (Munters, n.d.) dando como resultado un valor de 82000 Btu/h para el calefón. La velocidad angular de la rueda fue seleccionada debido a las correlaciones de Nia donde la velocidad va desde mayor a 0 RPH hasta menor a 20 RPH.

En la figura 3.4 se muestra la rueda desecante WSG 1070X20 y en la figura 3.5, la simbología WSG indica que la rueda trabaja con un gel de sílice como material higroscópico, mientras que los números vienen a ser los parámetros de división que tiene la empresa.

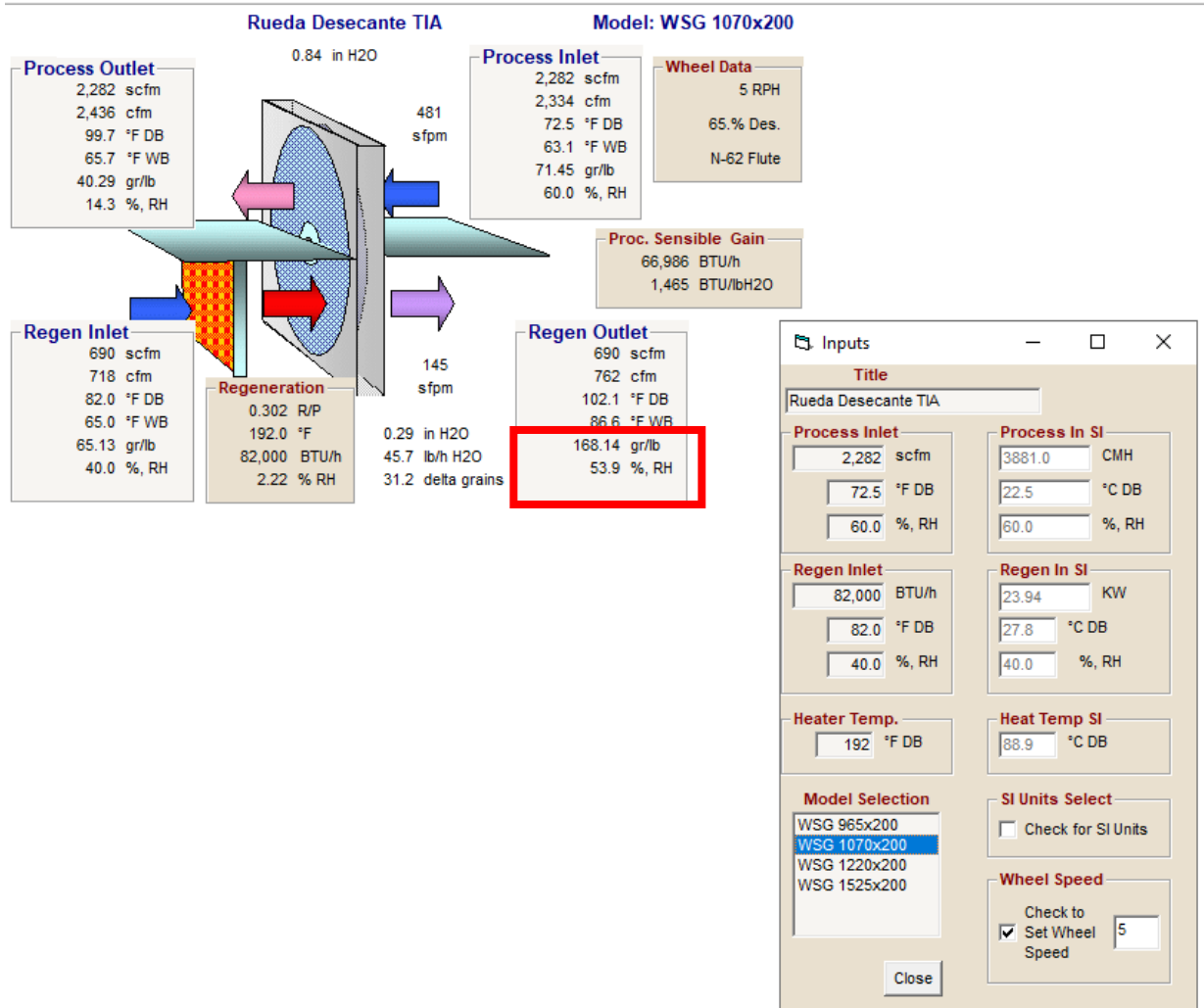


Figura 3.4 Rueda desecante y sus propiedades en el programa entregado por Novel Aire. 50% y 50% [Elaboración propia]

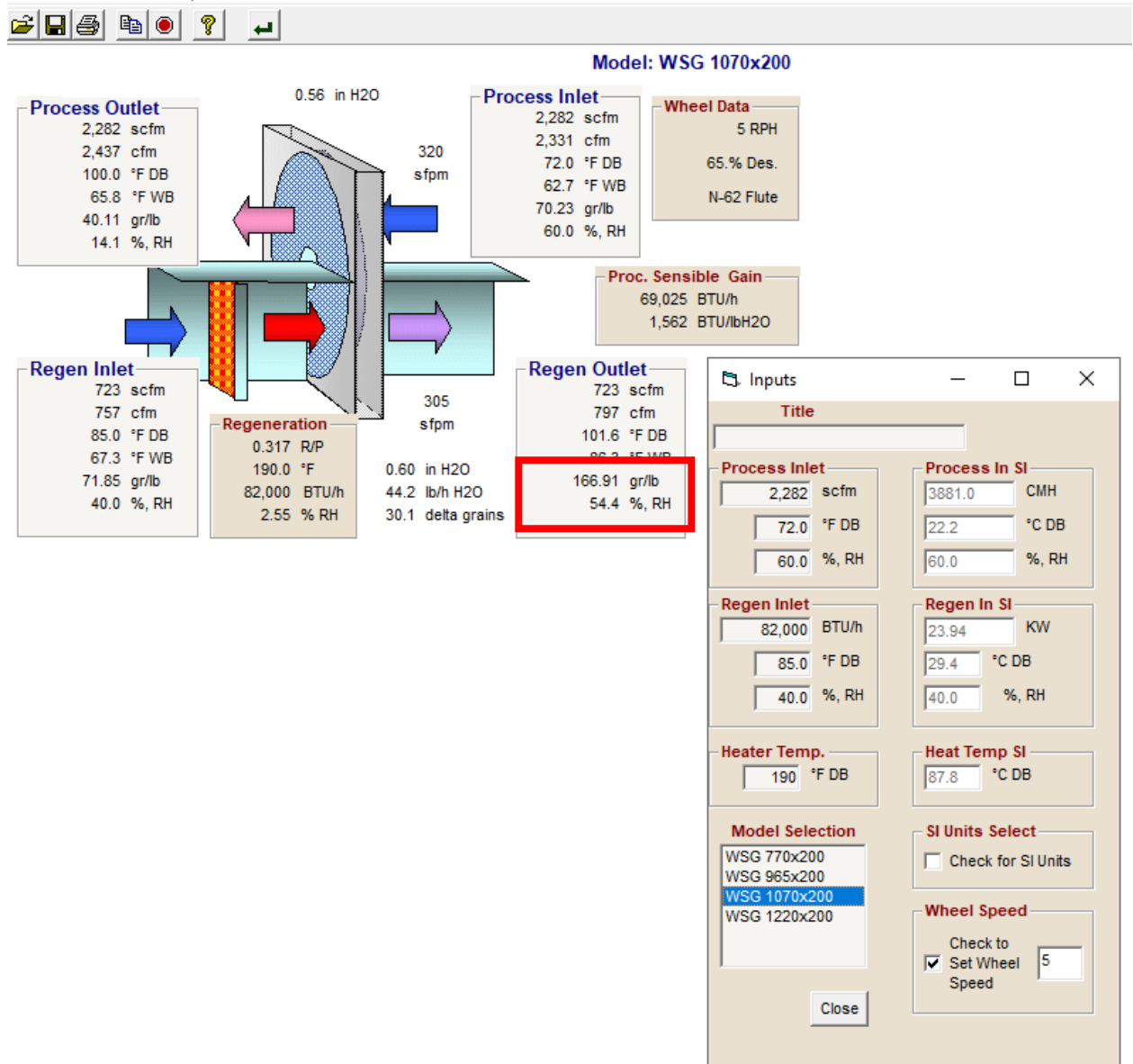


Figura 3.5 Rueda desecante con una separación 25% a 50% en el programa entregado por Novel Aire. [Elaboración propia]

El cuadro muestra la humedad que será entregada al supermercado luego del proceso. La humedad es del 55% recomendada por ASHRAE para un correcto estado de control de humedad en el área de carnes y vegetales (ASHRAE, n.d.), el programa nos entrega las dos opciones que pueden tener la rueda. Debido a que la humedad se acerca mucho más en la rueda de la figura 3.5 y también debido a que los fabricantes de deshumidificadores, en su mayoría, prefieren esta segunda división por mejor eficiencia en muchos espacios determinados.

En la figura 3.6 se muestra la diferencia en kWh de un sistema con deshumidificador y sin deshumidificador.

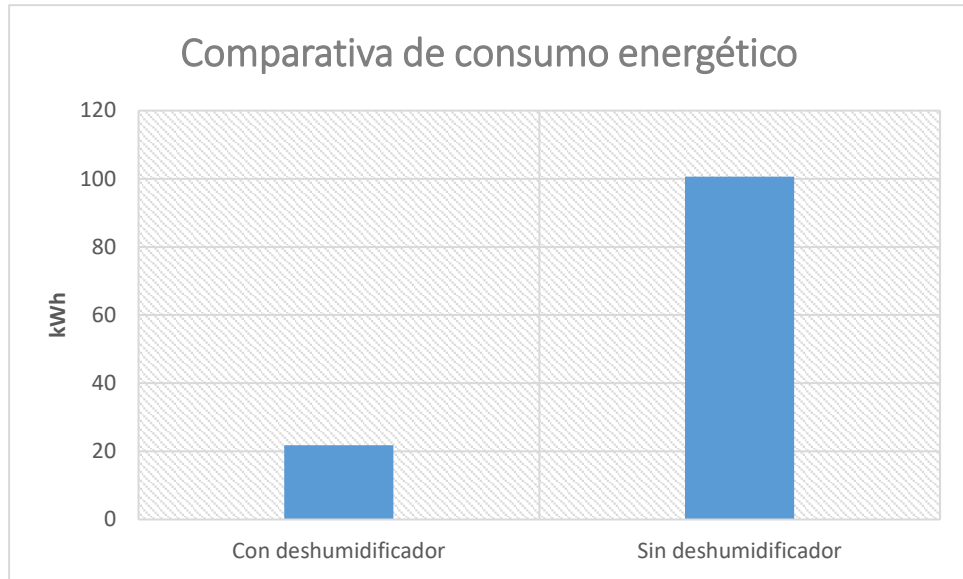


Figura 3.6 Comparativa entre los dos sistemas. [Elaboración propia]

3.3 Análisis de Costos

Para obtener los datos de ahorro energético primero se obtuvo los datos de consumo de los implementos dentro del deshumidificador que consumen energía, haciendo el procedimiento necesario y utilizando como tarifa por kWh 0.09 dólares da como resultado un consumo.

Tabla 3.5 Consumo energético ahorrado en un año con la rueda desecante seleccionada. [Elaboración propia]

Componente	kW	1kWh=0.09 dólares	
	Consumo/día	Día	Año
Motor rueda desecante	0.0093	0.0134	\$ 4.89
Ventilador	1.04	1.4976	\$ 546.62
Total	1.0493	1.511	\$ 551.51
Consumo anual 2 DX			\$ 4,944.08
Ahorro/Anual			\$ 4,392.56
Ahorro Mensual			\$ 366.05
Porcentaje de ahorro total			17%

Componente	kW	1kWh=0.09 dólares	
	Consumo/día	Día	Año
Motor rueda desecante	0.0093	0.0134	\$ 4.89
Ventilador	1.04	1.4976	\$ 546.62
Extractor	1.04	1.4976	\$ 546.62
Total	2.0893	3.0086	\$ 1,098.14
Anual			\$ 8,240.13
Ahorro			\$ 7,141.99

Teniendo en cuenta que se consume 215.6 kW al mes en climatización de parte de los equipos de expansión directa, se obtuvo un ahorro anual de \$ 4,392.56 dólares, lo que equivale a un 17% de ahorro en el consumo del mismo. Este ahorro puede aumentar si se consideran medidas de inversión ajustables al requerimiento, como fondos verdes que pueden ser aplicables a este proyecto y que podrían mejorar los resultados de la empresa.

Aunque a nivel general el ahorro energético únicamente actúa en la climatización, esto significa una disminución del 30% en la planilla mensual de consumo energético, lo cual es favorable para la empresa y cumple con características demandadas por ASHRAE en este tipo de proyectos, las cuales están entre el 25% y el 40% de ahorro energético. (ASHRAE, n.d.)

En la tabla 3.6 se muestra los precios del sistema tipo paquete de expansión directa con el deshumidificador con rueda desecante. Los datos mostrados en la tabla 3.5 muestran la variante de precio entre ambos equipos, cabe recalcar que en ninguno de los dos está considerado los impuestos que son necesarios al momento de la compra y únicamente se muestra el valor de compra ofrecido por el cliente.

Tabla 3.6 Tipos de equipos y su comparativa. [Elaboración propia]

Tipo	Precio	Vida útil	Ahorro
Equipo de Expansión directa tipo paquete	8000	5 años	NO aplica
Deshumidificador con rueda desecante TR1100	24000	10-15 años	\$ 7142/año

En el APENDICE C se muestran las características del deshumidificador y sus respectivas propiedades.

Tabla 3.7 Proyección de inversión y tiempo de espera para recuperar la inversión.

Ingresos		Egresos		Flujo Total	
Año	Valor	Años	Valor		
0	\$ 4,944.08	0	\$ 551.51	-\$ 24,000.00	
1	\$ 4,944.08	1	\$ 551.51	\$ 4,392.57	
2	\$ 4,944.08	2	\$ 551.51	\$ 4,392.57	
3	\$ 4,944.08	3	\$ 551.51	\$ 4,392.57	
4	\$ 4,944.08	4	\$ 551.51	\$ 4,392.57	
5	\$ 4,944.08	5	\$ 551.51	\$ 4,392.57	
6 años					
Inversión	\$ 24,000.00			VAN	\$ 43,130.79
				TIR	3%

La tabla 3.8 muestra que la inversión se recupera en 6 años, lo cual indica que la opción es viable.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El uso de deshumidificadores para controlar la humedad en supermercados ha sido de interés para el área de climatización ya que genera un ahorro significativo del consumo eléctrico visto en las planillas mensuales de energía eléctrica. Se estudió la factibilidad de implementar, por medio de simulación energética y por medio de selección en software, la implementación de un deshumidificador desecante por adsorción con gel de sílice capaz de remover humedad del aire y así conservar los alimentos en una vía más efectiva y a su vez, tener el ahorro energético visible y tangible para la empresa. Mediante la aplicación de este diseño en la ciudad de Guayaquil se esperó que sea capaz de responder a las circunstancias ambientales y ser capaz de reemplazar dos equipos de expansión directa por un deshumidificador desecante. Teniendo en cuenta que la inversión se recupera en un periodo de 6 años, se determina viable la implementación del sistema de deshumidificación en el supermercado analizado.

Este proyecto permite observar y analizar el impacto económico y energético que tiene un deshumidificador en la ciudad de Guayaquil. Además, este trabajo tiene una puerta abierta para implementar una simulación energética más avanzada y desarrollada implementando EnergyPlus a fondo y así tener resultados mejores debido a las pocas consideraciones que fueron tomadas.

4.1 Conclusiones

Las conclusiones principales son las siguientes:

- Utilizando la metodología descrita en el capítulo 2 se logró simular la planta baja y planta alta del supermercado ubicado en la ciudad de Guayaquil teniendo de referencia el consumo propio del edificio entregado por medio de planillas eléctricas mensuales. Se notó un porcentaje máximo de 10% en dos meses del año referente a lo simulado por OPS, pero, al comparar todos los meses se llegó a un error NMBE de 2.3%, el cual está dentro del intervalo entregado por los lineamientos de ASHRAE 14.
- El prototipo realizado en SKP mediante la interfaz de OPS y EP ayudó a expandir el proyecto y poder tener un mejor análisis de lo que acontece dentro del supermercado mediante la variación de datos medidos y que son fáciles de ingresar al software.

- La falta de infiltración o del cálculo de esta, afectó en un porcentaje de error del 12% en el mes de diciembre, ya que se utilizó los datos de infiltración para supermercados propios de OPS.
- Mediante cálculos provistos por normas se determinó las cargas por calor sensible y latente del supermercado basándose en el flujo de personas como de la temperatura y presión dentro del edificio. El total de carga térmica obtenido varía en un 3% del valor que el supermercado maneja, lo que indica que las temperaturas dentro del supermercado han sido desarrolladas en base a la norma RITE según la norma UNE en ISO 7730.
- La temperatura variable en la ciudad de Guayaquil junto con su temperatura afectaba la simulación al momento de implementar el dato promedio del confort en supermercados, para eso se estableció un promedio de las temperaturas entregadas por la empresa TIA y así generar un valor estándar enfocado en ese punto medio de temperatura. Este promedio estuvo en el rango que recomienda ASHRAE para el confort dentro de locales comerciales y dentro también de la norma ISO 7730 utilizada para el cálculo de cargas.
- La selección del secador de aire que va dentro del deshumidificador se la realizó utilizando el catálogo de ingeniería provisto por la empresa Munters, y dicho catálogo muestra que teniendo una potencia de 23.94 kW se puede obtener la humedad de 55% deseada para el supermercado.
- La carga por climatización ronda el 35% del total del consumo eléctrico dentro del supermercado. Se logró implementar el deshumidificador desecante con un material de gel de sílice para mejor adsorción y desempeño del equipo.
- La forma de la rueda viene dada por una proporción de 50% de aire pasa por la zona de proceso y el otro 50% pasa por la zona de reactivación y otra de 25% y 50% de lo detallado anteriormente. Al tener una carga por calor latente superior al 25% es posible implementar una rueda desecante para el acondicionamiento del aire. Debido a que los fabricantes escogen mayormente la división de 25% y 50% se escogió la rueda WSG 1070X200 con las características mostradas en la figura 3.5.
- El valor de potencia del secador dentro del deshumidificador sirvió como uno de los parámetros para seleccionar el deshumidificador y que se aproxime lo más posible al diseño entregado por el programa utilizado en este proyecto.

- El consumo por mes dedicado al sistema de climatización es de 215.6 kWh, que da como resultado un gasto anual de \$ 8240,13. Para poder generar un ahorro se obtuvo los datos de potencias ideales de la rueda desecante, el ventilador y el extractor dentro del deshumidificador dando como un ahorro anual de \$7141.99, lo cual al compararlo con el gasto anual general da como resultado un 30% de la planilla de energía eléctrica. Esto podría aumentar al mejorar las condiciones iniciales y utilizando un software dedicado a la simulación del edificio utilizando el deshumidificador.
- El costo de instalación del deshumidificador no fue considerado en el valor de presupuesto debido a que la instalación no genera dificultades, un técnico climatización puede instalarlo, esto da como respuesta un presupuesto no tan elevado para que la empresa pueda tomarla en caso de que lo desee.
- Haciendo un análisis del presupuesto y de sus ingresos, se concluye que la inversión de \$ 24000 para el deshumidificador desecante con gel de sílice de la marca TROTEC TTR2000. Dentro de 72 meses se tendría un ahorro cerca de los \$ 26000 superando así, el costo de inversión
- Teóricamente, el control de humedad realizado en el supermercado debe afectar al rendimiento de las vitrinas ubicadas en la zona de congelados, generando un menor consumo energético y disminuyendo así el valor de consumo en la parte de congelados. ASHRAE determina que debería tener una disminución de 18% en la demanda del compresor en todas las vitrinas de la zona de congelados. Este proyecto no logró ese análisis, y este puede ser una base para próximas investigaciones.
- Se puede tener un mayor ahorro de consumo energético si se analiza el efecto que ocasiona el deshumidificador dentro del supermercado, específicamente en la zona de congelados donde existe una transferencia de calor desde la sala de ventas a esta zona antes descrita. Debido a que esa transferencia será menor, el ahorro energético en la refrigeración podrá aumentar mes a mes viendo efectivo esta implementación del deshumidificador.

4.2 Recomendaciones

Las principales recomendaciones son las siguientes

- Para evitar errores superiores al 10% en la simulación energética se recomienda calcular las cargas por infiltración, también analizar el efecto del sol en el exterior

del supermercado, no sólo por el cambio de temperatura y la tasa de calor transferida del exterior al interior, sino también debido a que así también se puede analizar el aumento de personas ocupando el supermercado debido a que sólo ingresan por el confort térmico que tiene el edificio.

- Evaluar los gastos por rubros energéticos, esto quiere decir que se debe calcular el porcentaje específico consumido mes a mes por la refrigeración, la climatización, las luces y los equipos. Al analizar esto, el error por comparación será mucho menor mejorando así análisis previos en la interfaz de EnergyPlus.
- Generar temperaturas con valores cerrados, esto quiere decir que se tengan números enteros dentro del análisis de las cargas térmicas y la humedad en el ambiente dentro del supermercado.
- Conocer completamente la interfaz de OPS y EP para poder realizar la simulación de una manera correcta y simultánea dentro de lo registrado por ASHRAE.
- Para trabajos posteriores se recomienda utilizar la interfaz de EP para simular la rueda desecante directamente implementada en los sistemas HVAC puestos en OP para la simulación previa. Esto ayudará a poder generar datos de ahorro con mayor precisión y así tener resultados más favorables. Esto indica que puede existir un ahorro mayor dentro del supermercado debido a que EP logra utilizar variables que se omiten en la simulación por medio del software utilizado en este proyecto.
- Revisar si existe bibliografía moderna de mejores implementaciones a un diseño de deshumidificación
- Utilizar una división 25% a 50% de la rueda desecante para una mejor eficiencia y alcanzar una humedad del 55% deseada para tener los alimentos en buen estado y no incomodar a las personas.
- Pedir cotizaciones a varias empresas para poder comparar de una manera eficaz los costos de compra entre cada uno de los proveedores, esto ayudará a tener una mejor visión y un mejor presupuesto a presentar a la empresa.
- Analizar la oferta disponible de fondos verdes que puedan financiar este tipo de proyectos a mejores condiciones financieras que las de mercado financiero regular.
- Calcular correctamente el valor de SCFM, para eso es necesario no confundir CFM con SCFM debido a que una depende de la otra y hace que, dependiendo

a las condiciones iniciales, aumente o disminuya el valor del flujo que será ingresado en el programa.

BIBLIOGRAFÍA

- ASHRAE. (n.d.). Desiccant Dehumidification and Pressure-Drying Equipment. In *HVAC Systems and Equipment 2016 ASHRAE Handbook* (2016th ed., pp. 403–416).
- ASHRAE. (n.d.). *HVAC Systems and Equipment 2016-Handbook ASHRAE*.
- Aynur, T. N., Hwang, Y. H., & Radermacher, R. (2008). Field performance measurements of a heat pump desiccant unit in dehumidification mode. *Energy and Buildings*, 40(12), 2141–2147. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.06.003>
- “Balancing Latent Heat Load Between Display Cases and Store Comfort Cool” by Penelope J. Cole. (n.d.). Retrieved November 10, 2019, from https://scholar.colorado.edu/cven_gradetds/465/
- Cengel, Y., & Boles, M. (2006). *Termodinámica*. McGraw Hill.
- Clima promedio en Guayaquil, Ecuador, durante todo el año—Weather Spark*. (n.d.). Retrieved November 7, 2019, from <https://es.weatherspark.com/y/19346/Clima-promedio-en-Guayaquil-Ecuador-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Conocimientos fundamentales sobre humedad del aire—TROTEC*. (n.d.). Retrieved November 18, 2019, from <https://es.trotec.com/productos-y-servicios/maquinas-homecomfort/deshumidificadores/conocimientos-practicos-sobre-deshumidificadores/conocimientos-fundamentales-sobre-humedad-del-aire/#c1291611>
- G, Wheeler, & G, Smith. (n.d.). Refrigeration Energy Saving with Floating Head Pressure. 1988. https://aceee.org/files/proceedings/1988/data/papers/1988_V4_015.pdf
- Harriman, L. I. (2002). *The dehumidification Handbook*. https://www.academia.edu/34748767/The_Dehumidification_Handbook_Second_Edition

J. Murphy, A. (n.d.). Dehumidification performance of HVAC systems, ASHRAE. 2002, 23–31.

Lazzarin, R. M., & Castellotti, F. (2007). A new heat pump desiccant dehumidifier for supermarket application. *Energy and Buildings*, 39(1), 59–65.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.05.001>

Manual de cálculo de cargas térmicas. (n.d.).
<https://renovablesconsaburum.files.wordpress.com/2015/09/tem2-cc3a1lculo-de-cargas-tc3a9rmicas.pdf>

Mateo, L. (n.d.). *Análisis de los deshumidificadores con rueda desecante* [Carlos III de Madrid]. https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/23133/TFG_Lucia_Mateo_Sanchez.pdf

Munters. (n.d.). *DryCool Dehumidification System DDS.*
<https://webdh.munters.com/webdh/BrochureUploads/Engineering%20Catalog-%20DryCool%20Standard%20System.pdf>

Optimización de la Humedad del Alimento Manteniendo su Calidad. (n.d.). Engormix. Retrieved November 10, 2019, from <https://www.engormix.com/balanceados/articulos/humedad-en-alimentos-t29431.htm>

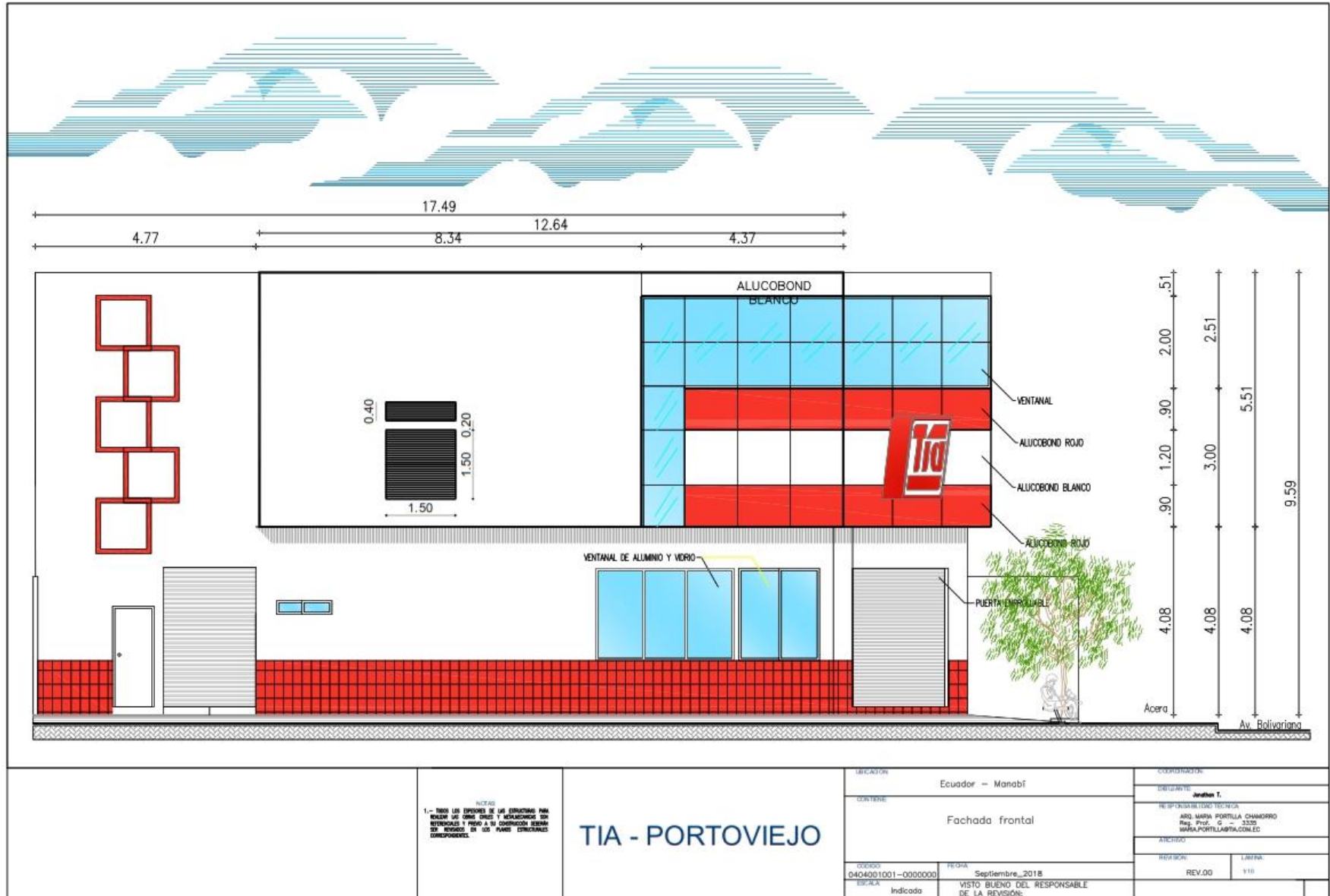
Reducir la humedad con un deshumidificador. (n.d.). Retrieved November 7, 2019, from <https://hosteleria10.com/blog/reducir-la-humedad-con-un-deshumidificador.html>

Supermercados—Humitek. (n.d.). Retrieved November 7, 2019, from <https://www.humitek.es/proyecto/supermercados/>

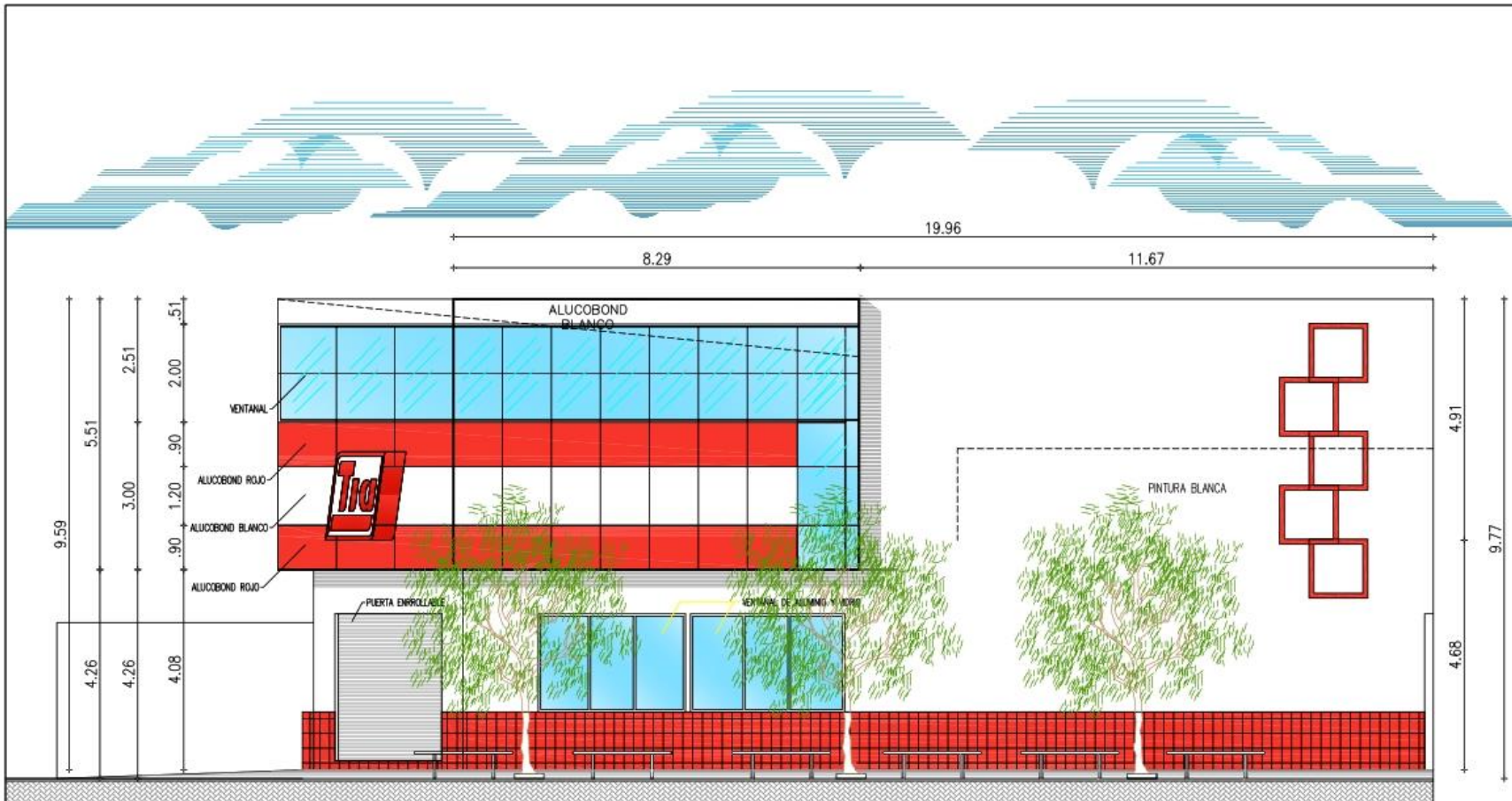
APÉNDICES

APÉNDICE A

PLANOS ARQUITECTONICOS



1. Planta baja del almacén fachada frontal.



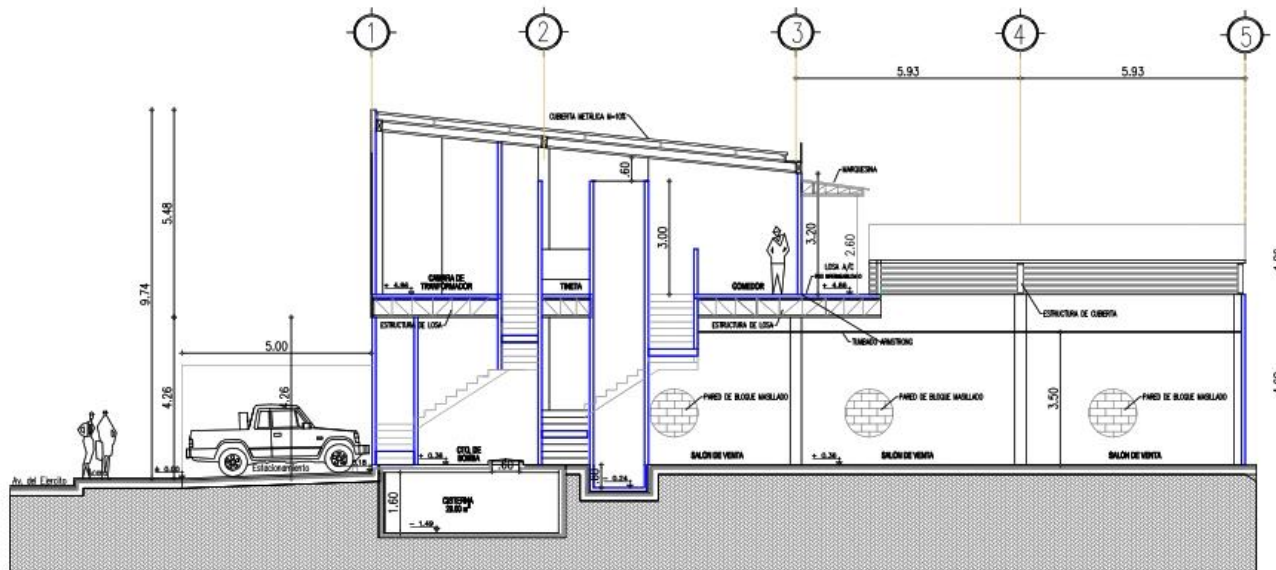
ESCALA 1-100

NOTAS
1.- TODOS LOS ESPESORES DE LAS ESTRUCTURAS PARA
RELLENO SUS OROS DREAJES Y RECALZADORES SON
INDICADOS Y PISO A SU CONSTRUCCION DEBEN
SER RESPALDO EN LOS PANDOS ESTRUCTURALES
CORRESPONDIENTES.

TIA - PORTOVIEJO

UBICACION		Ecuador - Manabí		COORDENADAS	
SOURTIRE		Fachada Lateral derecha		DISEÑANTE	
CODIGO		FECHA		RESPONSABILIDAD TECNICA	
0404001001-0000000		Septiembre_2018		ARQ. MARIA PORTILLA CHAMORRO	
REVISOR		VISTO BUENO DEL RESPONSABLE DE LA REVISION:		Reg. Prof. G - 3320	
Indicado				MARIA.PORTILLABPTA.COM.ED	
				AUTORIZADO	
				REVISION	
				LAFRANCA	
				REV.00	
				210	

2. Planta baja del almacén fachada lateral

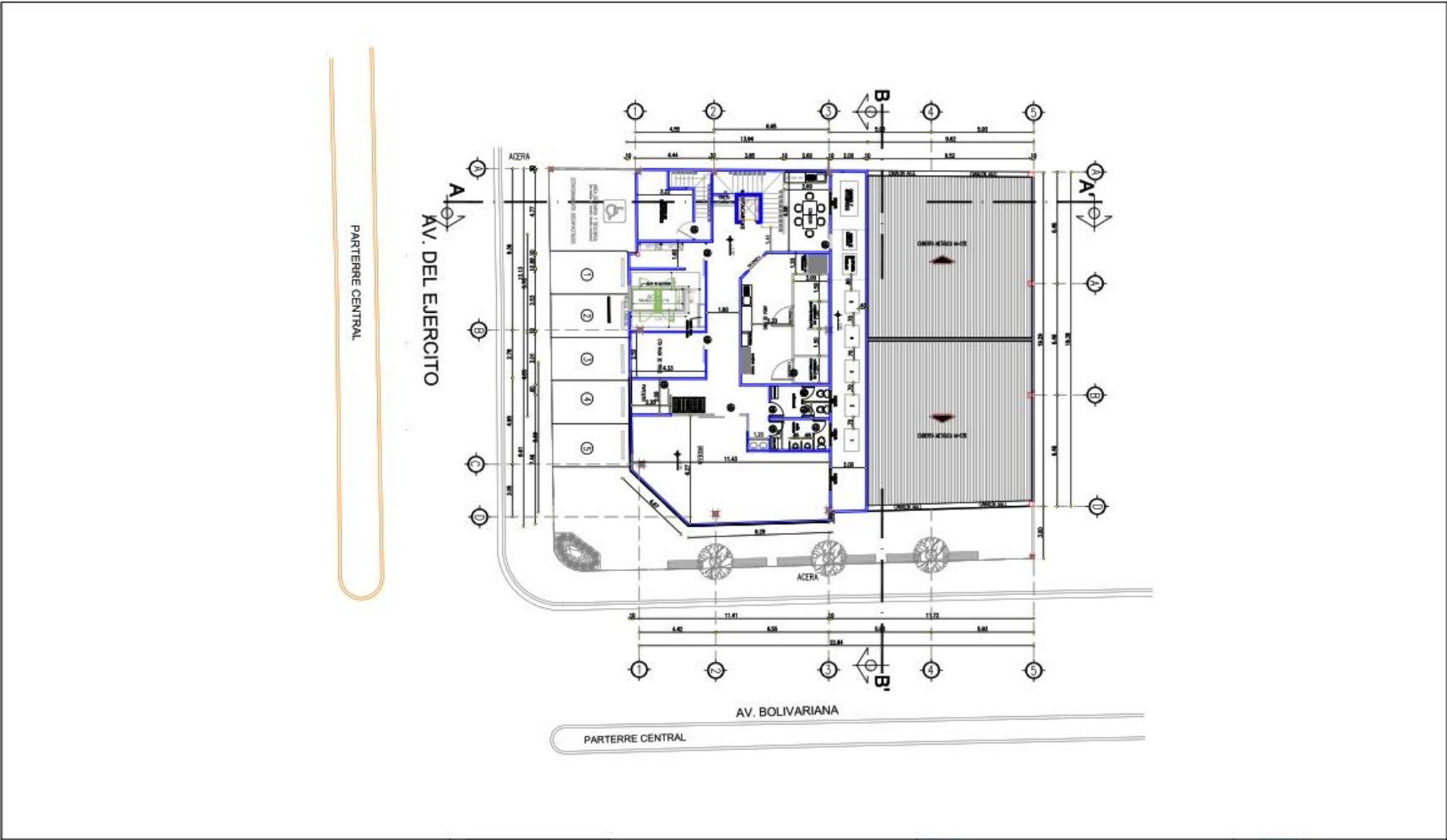


NOTAS:
1.- TODOS LOS EXPEDIENTES DE LAS ESTRUCTURAS PARA
REVISAR LAS OBRAS DEBEN SER VERIFICADOS POR
REFERENCIALES Y PREVIAMENTE A SU CONSTRUCCION RESERVA
DEL PROYECTO EN LOS PLANOS ESTRUCTURALES
CORRESPONDIENTES.

TIA - PORTOVIEJO

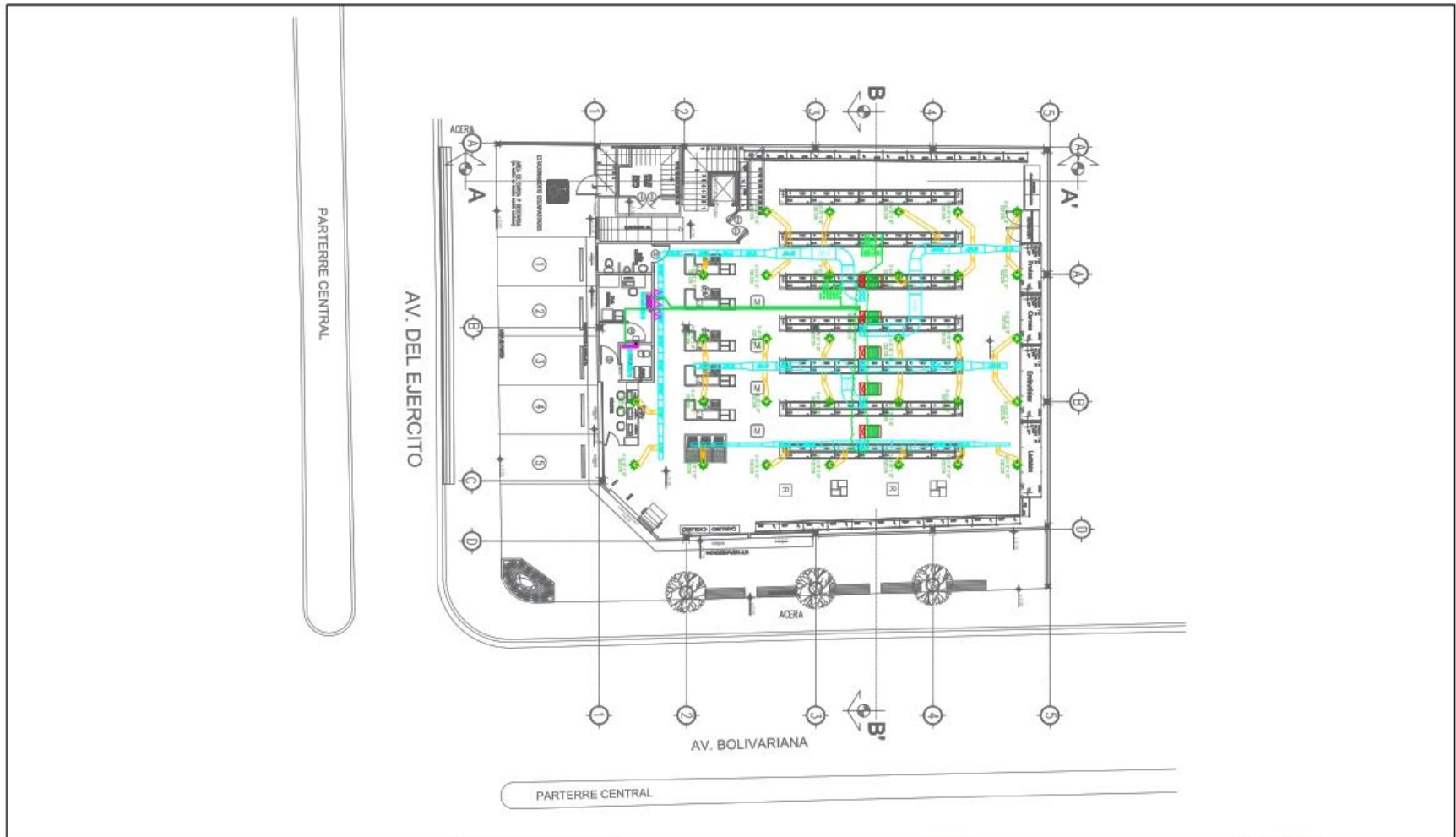
UBICACION		Ecuador - Manabí		COORDINADOR	
CONTENIDO		Vista en corte		DISEÑANTE	
CODIGO		FECHA		RESPONSABILIDAD TECNICA	
0404001001-0000000		Septiembre, 2018		ARG. MARIA PORTILLA CHAMORRO	
ESCALA		VISTO BUENO DEL RESPONSABLE DE LA REVISIÓN:		REG. PROF. G - 3320	
Indicada				MARIA PORTILLANTA, COLECC.	
				REVISOR	
				LAFERRA	
				REV.00	
				910	

3. Planta Baja vista en corte



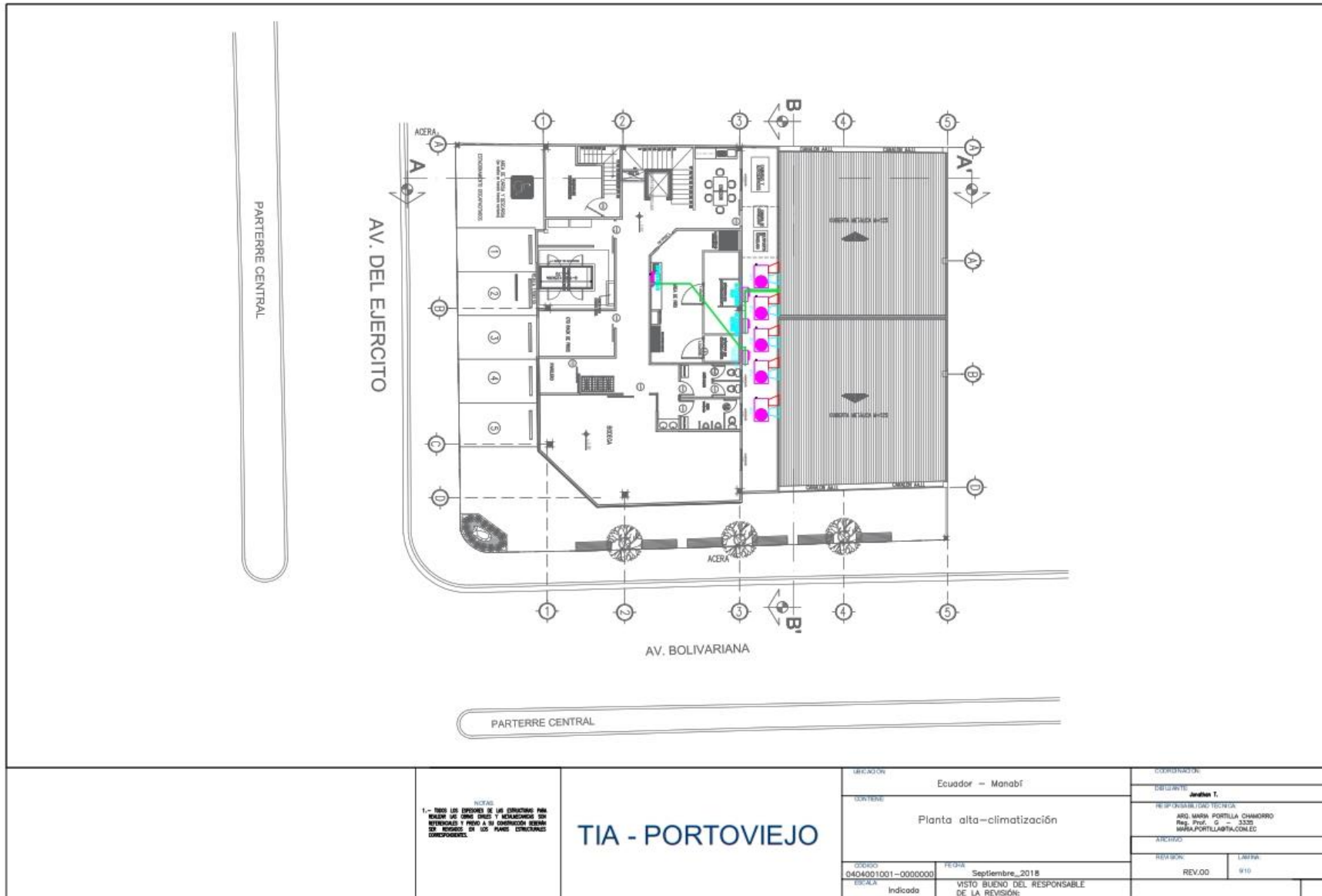
<p>NOTAS</p> <p>1.- TODAS LAS OPERACIONES DE LAS ESTRUCTURAS PARA REALIZAR LOS OBRAS CIVILES Y REMEDIACIONES SON RESPONSABILIDAD DEL PROYECTANTE Y DEBE SER REALIZADAS DE ACORDO A LOS PLANOS ESTRUCTURALES CORRESPONDIENTES.</p>	<h2>TIA - PORTOVIEJO</h2>	UBICACION: Ecuador - Manabí		COORDINADOR: RESPONSABLE: Jonathan T.	
		CONTENIDO: Planta alta Corte B-B'		RESPONSABLE DE LA TÉCNICA: ARQ. MARIA PORTIELLA CHAMORRO Reg. Prof. G - 3350 MARIA.PORTIELLA@COM.ED	
		DISEÑO: 0404001001-0000000 ESCALA: 1:1500	FECHA: Septiembre_2018 VISTO BUENO DEL RESPONSABLE DE LA REVISIÓN:	ARCHIVO: REVISOR: REV.00 LÁMINA: 0010	

4. Planta baja distribución.



<p>NOTAS</p> <p>1.- TODOS LOS ESPECIOS DE LAS SERVICIOS PARA QUE SEAN US COMO DREJ Y RECALCANDOS SON RECALCANDOS Y PARA A SU CONSTRUCCION SE DEBE CON SUJECION EN LOS PLANOS ESTRUCTURALES CORRESPONDIENTES.</p>	<h2>TIA - PORTOVIEJO</h2>	UBICACION Ecuador - Manabí		COORDINADOR			
		CORRIENTE Planta baja=climatización		DISEÑADO Jonathan T.			
		CODIGO 0404001001-0000000		FECHA Septiembre_2018		RESPONSABILIDAD TECNICA ARQ. MARIA PORTILLA CHAMORRO Reg. Prof. G - 3320 MARIA.PORTILLA@PTA.COM.ED	
		Escala Indicado		VISTO BUENO DEL RESPONSABLE DE LA REVISION:		REVISION REV.00	
				LAFERRA 010			

6. Planos de ductos en planta baja



7. Plano de sistemas HVAC en planta alta.

APÉNDICE B

A. Cálculos del número de ocupación de personas en supermercados

A continuación, se muestra las tablas mensuales para enero y febrero del número de tickets generados durante la jornada laboral.

Tabla B.1. Numero de tickets generados en el mes de enero [TIA S.A]

MES	HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
2019-01	08	2	4	2	3	4	5	9
	09	10	9	9	9	8	9	13
	10	13	12	14	13	10	13	20
	11	15	13	11	11	11	18	23
	12	12	14	10	12	14	21	32
	13	10	10	8	8	13	21	24
	14	11	8	11	10	12	16	20
	15	11	12	11	10	10	16	21
	16	14	16	13	15	14	18	21
	17	16	16	23	18	19	26	21
	18	24	25	24	26	22	27	27
	19	25	29	26	22	24	21	30
	20	22	18	21	20	17	16	17
21	5	7	5	4	3	5	3	

Tabla B.2. Numero de tickets generados en el mes de Febrero [Tia S.A]

MES	HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
2019-02	08	3	3	3	7	4	8	6
	09	8	9	10	8	8	8	12
	10	11	10	12	10	12	15	20
	11	17	15	13	12	11	17	25
	12	11	13	11	15	14	16	30
	13	10	9	9	11	8	17	19
	14	10	7	10	10	12	13	17
	15	10	11	13	13	12	16	14
	16	13	18	18	15	16	19	14
	17	21	14	20	17	17	26	22
	18	31	22	23	28	22	23	25
	19	28	25	25	24	22	23	32
	20	25	26	24	20	16	14	19
21	6	8	7	9	7	5	6	
22			8					

La Tabla B.3 muestra el promedio por día de cada mes, así como también el promedio mensual. [Elaboración propia]

Mes	lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	PROMEDIO
1	188	194	188	182	181	232	281	207
2	205	191	206	198	183	221	262	209
3	220	206	188	187	202	242	242	212
4	220	206	188	187	202	239	238	211
5	272	237	242	217	232	284	383	267
6	249	200	192	190	176	248	306	223
7	241	207	198	199	181	249	314	227
8	287	210	235	197	206	241	292	238
9	289	212	236	197	207	243	297	240
10	300	223	242	206	216	251	308	250

Se obtiene un promedio de tickets de 233, pero se debe considerar que en los tickets cuenta a una persona, cuando en realidad muchas de estas no van solas a comprar, también se debe considerar que hay personas que entran al supermercado, pero no generan ticket. Es por esto que se estimó que el promedio a tomar debe ser multiplicado por un factor de 1.5. Para el cálculo de cargas por ocupación se tiene que 350 ocupan el supermercado.

B. Cálculo del promedio de temperatura en el supermercado

En la tabla B.4 se muestra el promedio de temperaturas para un día, en cada unidad paquete.

Tabla B.4 Temperaturas de cada unidad paquete. [Elaboración propia]

Unidad paquete	A/C 1	A/C 2	A/C 3	A/C4	A/C 5	Promedio
Temperatura	21,97	22,64	22,49	22,3	22,25	22,33

APÉNDICE C

A. Carga térmica

$$Q = S * k$$

$$S = 450.1 * 120$$

$$S = 54.01kW$$

Este valor S se lo multiplica por un factor de seguridad que ataca los factores no considerados como luces exteriores, luz solar y sombra. Este valor es de 1.2 dado por la norma utilizada.

$$S = 1.2 * 54.01$$

$$S = 64.8kW$$

Tabla B.5. Datos de la constante k en W/m² [Humitek]

COMERCIOS	
Tiendas con poco público	120
Tienda muy concurridas	180
Supermercados	120
Hipermercados	160
SALONES PÚBLICOS	
Cines, teatros, auditorios	180
Salones multiusos	230
HOSTELERÍA	
Restaurante	230
Bares, cafeterías	290
Discotecas, Pubs musicales	300

Tabla B.6. Datos de la actividad por número de personas. [ISO 7730]

Actividad	Sensible W	Latente W
Persona sentada trabajo intelectual	58	44
De pie, paseando (tiendas)	58	70
Comiendo	64	93
Baile moderado	70	174
Marcha rápida	87	204

$$Q_{SO} = n * Q_{SP}$$

Para la sala de ventas se tiene 350 personas. Para la ventanilla se tiene 50 personas, para los congelados se tiene 250 personas, para las bodegas se tiene 7 personas. Para las oficinas se tiene 4 personas.

Ejemplo de cálculo

En la sala de ventas:

$$Q_{SO} = n * Q_{SP}$$

$$Q_{SO} = 350 * 58$$

$$Q_{SO} = 20.3kW$$

Y así sucesivamente. Todos los datos se presentan en el capítulo 2 en la tabla 2.12. El valor total de la tabla mencionada fue calculado con un factor de seguridad de 1.2 recomendado por la norma utilizada.

Tabla B.7. Cargas Totales [Elaboración propia]

Zona térmica	Calor latente en kW
Sala de ventas	24.5
Ventanilla	3.5
Congelados	17.5
Bodegas	0.49
Oficinas	0.28
TOTAL	46.27






	 TR 80 TR 110	 TR 190 TR 390	 TR 570 TR 830 TR 1100	 TR 1500 TR 1900 TR 2400	 TR 2900 TR 3500 TR 3900
Airflow	264 – 323 CFM	560 – 1030 CFM	1380 – 2530 CFM	3410 – 5295 CFM	6180 – 8650 CFM
Water Removal	84 – 116 lbs/day	190 – 390 lbs/day	570 – 1085 lbs/day	1540 – 2445 lbs/day	2915 – 3950 lbs/day
Regen Airflow	38 – 47 CFM	76 – 158 CFM	220 – 435 CFM	615 – 975 CFM	1160 – 1570 CFM
Heater	1.95 – 2.7 kW	4.1 – 9.0 kW	12.5 – 24.5 kW	36 – 57 kW	66 – 90 kW
Power	230V 50/60hz	480V 50/60hz	480V 50/60hz	480V 50/60hz	480V 50/60hz
Amp Draw	7.2A – 9.2A	7.5A – 15.0A	23A – 42.8A	60A – 93.5A	108A – 150A
Dimensions L x W x H	15.8"x13.8"x16" 17.8"x15.8"x18"	25"x26"x37"	53"x30"x52"	75"x43"x66"	83"x60"x83"
Weight	44 – 55 lbs	188 – 220 lbs	510 – 595 lbs	1500 – 1655 lbs	1985 – 2425 lbs
Outdoor Operation	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional

Figura B.1. Unidades paquete [Munters]

APÉNDICE D

A. Parte del diseño en SK



Figura D.1 Comandos necesarios para zonas térmicas [SketchUp]

- 1: Este comando sirve para hacer el enlace con todo el edificio, lo que se llama matching y sirve para unir todas las zonas térmicas realizadas o seleccionadas.
- 2: Crea las zonas térmicas por cada espacio dibujado en el programa
- 3: Eleva el edificio a la altura deseada, da volumen al edificio.

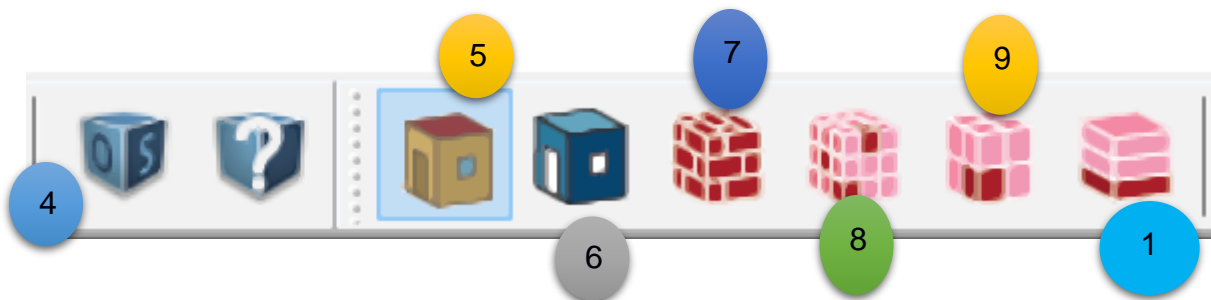


Figura D.2 Vista de las zonas térmicas [SketchUp]

- 4: Este comando se lo activa al finalizar todo el diseño con sus respectivas zonas térmicas
- 5: Vista por superficie general del dibujo
- 6: Vista por superficie de contornos
- 7: Vista por construcción
- 8: Vista por tipo de espacio
- 9: Vista por zonas térmicas (se ve un correcto enlace con las zonas térmicas al notar cada espacio con diferente color)
- 10: Vista por pisos o elevacion.

Ventanas y puertas:

Para dibujar las ventanas se requiere dar doble clic a la zona térmica o espacio dibujado dónde irán estas. A continuación se muestra cómo debe quedar la zona seleccionada:

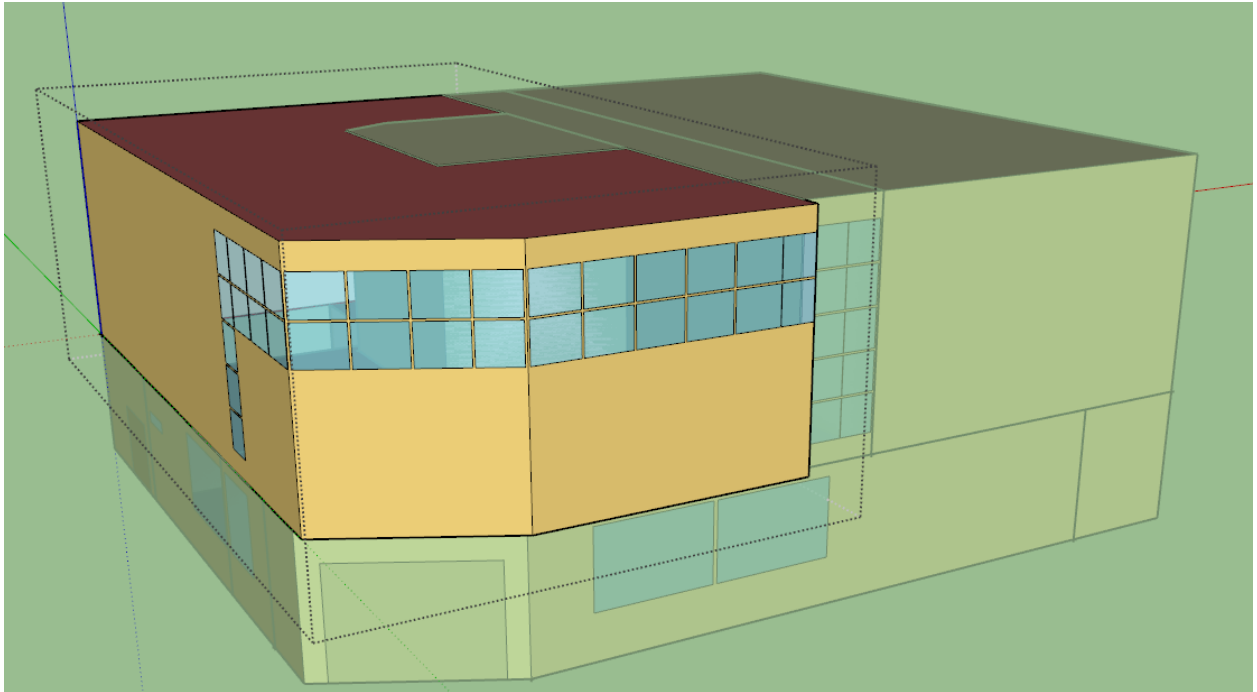


Figura D.3 Selección de espacio para dibujar ventanas o puertas [Elaboración propia]

Luego se procede a dibujar líneas que representan las ventanas. Cabe resaltar que para que no exista ningún error al momento de simular las ventanas en OPS, se debe dejar un ligero espacio entre los bordes de contornos del dibujo.

Dibujar las puertas es idéntico a cómo hacer una ventana, la diferencia radica que al dibujarla sobre el suelo o la superficie, el programa lo detecta como una puerta y no una ventana.

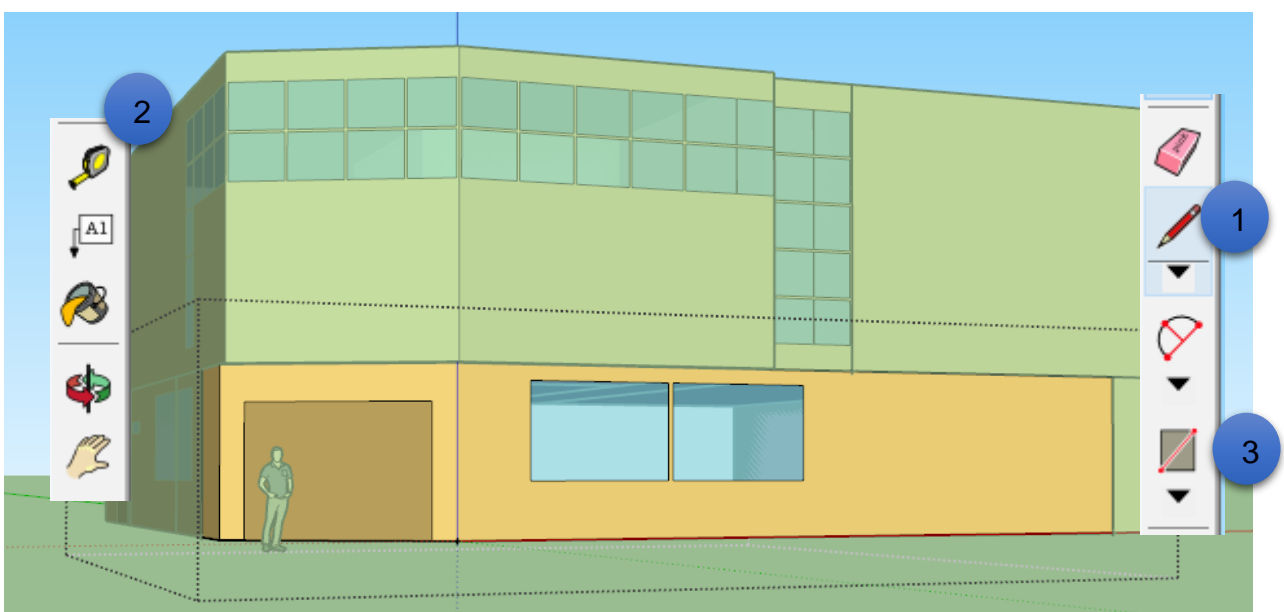


Figura D.4 Comandos para dibujar las ventanas o puertas [Elaboración propia]

- 1: Lápiz para dibujar las puertas o las ventanas,
- 2: Sirve para extender las líneas de los bordes del dibujo a la distancia requerida para dibujar ventanas o puertas
- 3: Comando para dibujar superficies rectangulares, ayudan mucho para ventanas y puertas.

Zonas Térmicas

Las zonas térmicas son el asunto clave para poder tener un resultado en OPS, debido a eso se procede a explicar lo necesario para agendar una zona térmica en OPS.

- 2- Dibujar el espacio
- 3- Seleccionar el espacio dibujado, dar clic derecho e ir a la opción de OPS Inspector, saldrá la ventana mostrada en la figura D.5. Modificar el nombre de la superficie seleccionada dónde está marcado con un óvalo en la figura D.5

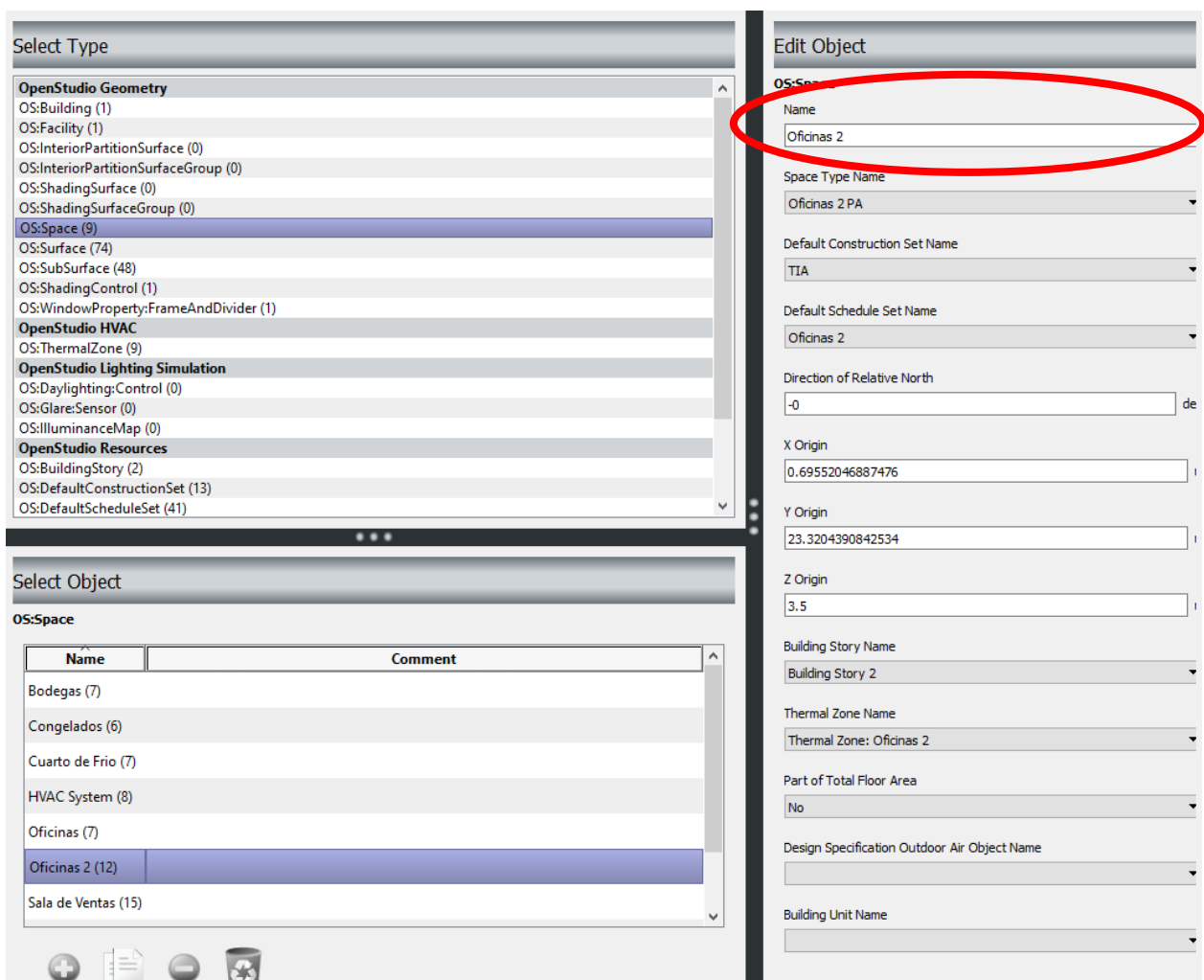


Figura D.5 OpenStudio Inspector [Elaboración propia]

- 4- Seleccionar la opción 2 de la figura D.1 para ver y definir zonas térmicas. En la figura D.6 se muestra la ventana que aparece al momento de seleccionar el comando de selección de espacios y ubicación de los mismos.

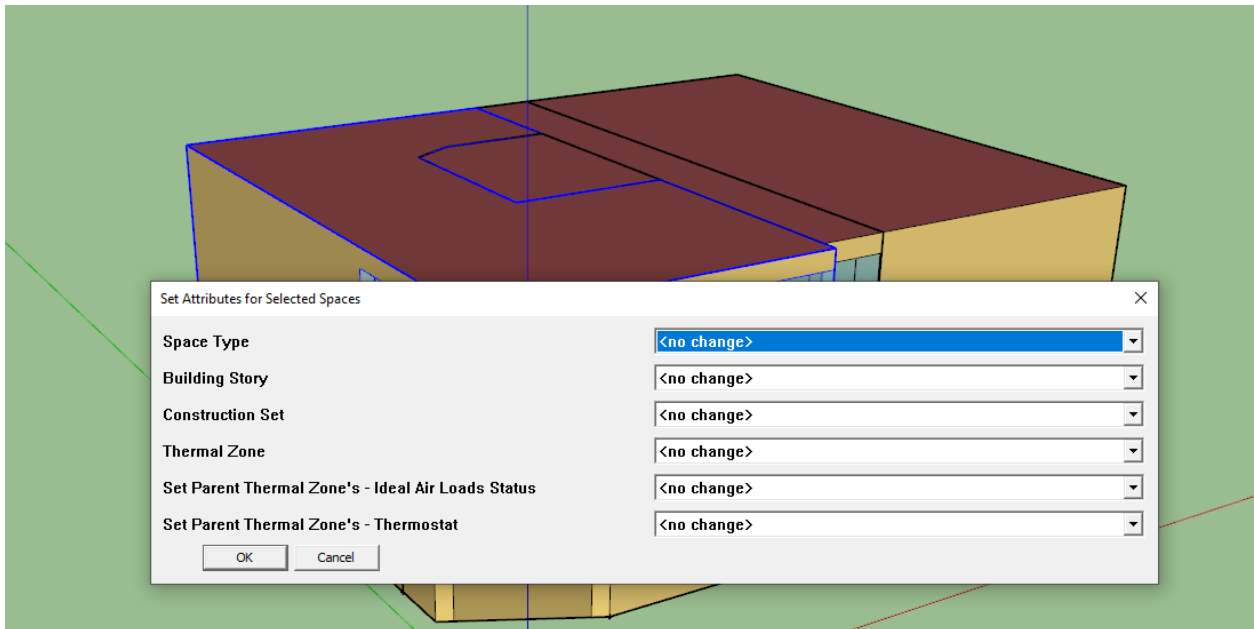


Figura D.6 Selección de espacios y respectiva ubicación [Elaboración propia]

En la figura D.7 se muestra la parte de “matching” donde se unirán todas las partes de las zonas térmicas

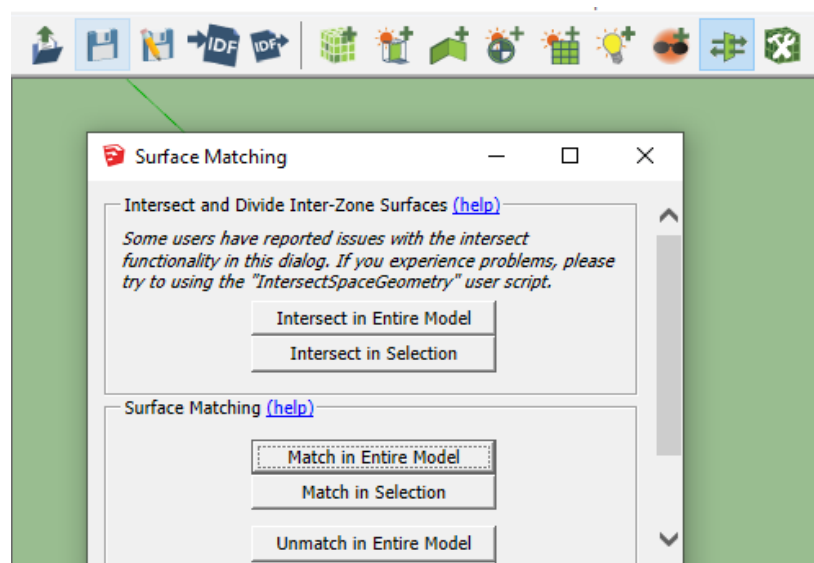


Figura D.7 Surface Matching: Seleccionar “Match in Entire Model” [Elaboración propia]

- 5- Como parte final se debe seleccionar el comando “Extensions” ubicado en la barra superior. Luego, seleccionar la opción “OpenStudio user scripts”, luego seleccionar “Alter o Add Model Elements”, y como opción final, seleccionar “Add new Thermal zone for spaces with no thermal zone” para conseguir así agregar en cada espacio una zona térmica.

Luego de haber definido espacios y zonas térmicas junto con su respectivo matching, seleccionar la opción 4 de la figura D.2 para ir a la interfaz de OpenStudio. Cabe recalcar que no es necesario guardar un archivo en SketchUp, se debe guardar en OPS (.osm)

B. Parte del diseño en OPS

Una vez dentro de la interfaz de OPS nos encontraremos con varias partes a completar la correcta simulación del supermercado. En la figura D.8 se muestra la ventana principal del software

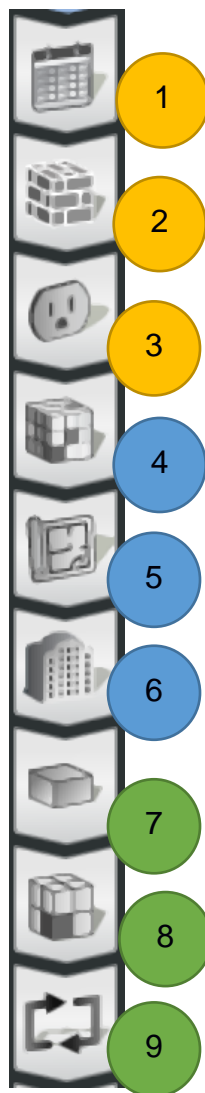


Figura D.8 Interfaz de OPS con los comandos a utilizar en la simulación [OPEN STUDIO]

Tabla D.1 Características de los comandos en OPS [Elaboración propia]

#	Función
1	Horarios
2	Set de construcción
3	Cargas Ocupacionales
4	Tipo de espacios
5	Geometría
6	Instalaciones
7	Cargas
8	Zonas Térmicas
9	HVAC system

1- Horarios

Los horarios, o Schedule, se dividen en dos partes. La primera parte es el horario individual donde se ingresan los horarios tipo fraccional, temperatura y ONOFF. Cada uno de estos horarios son para determinadas funciones que cada edificio o diseño posee. En la figura D.9 y D.10 se muestra la parte del set de horarios, donde por cada zona térmica o espacio seleccionado, se tiene un horario que consiste en las horas de operación, número de personas, actividad de las personas, luces, equipos eléctricos e infiltración.

Todos estos se deben realizar en la parte de Schedules. En la parte inferior de la figura D.10 se muestra la opción de crear o duplicar un set de horarios, esto es útil para cada una de los espacios del dibujo.

En la figura D.11 se muestra cómo es la parte de horarios, y cómo es hacer un horario fraccional.

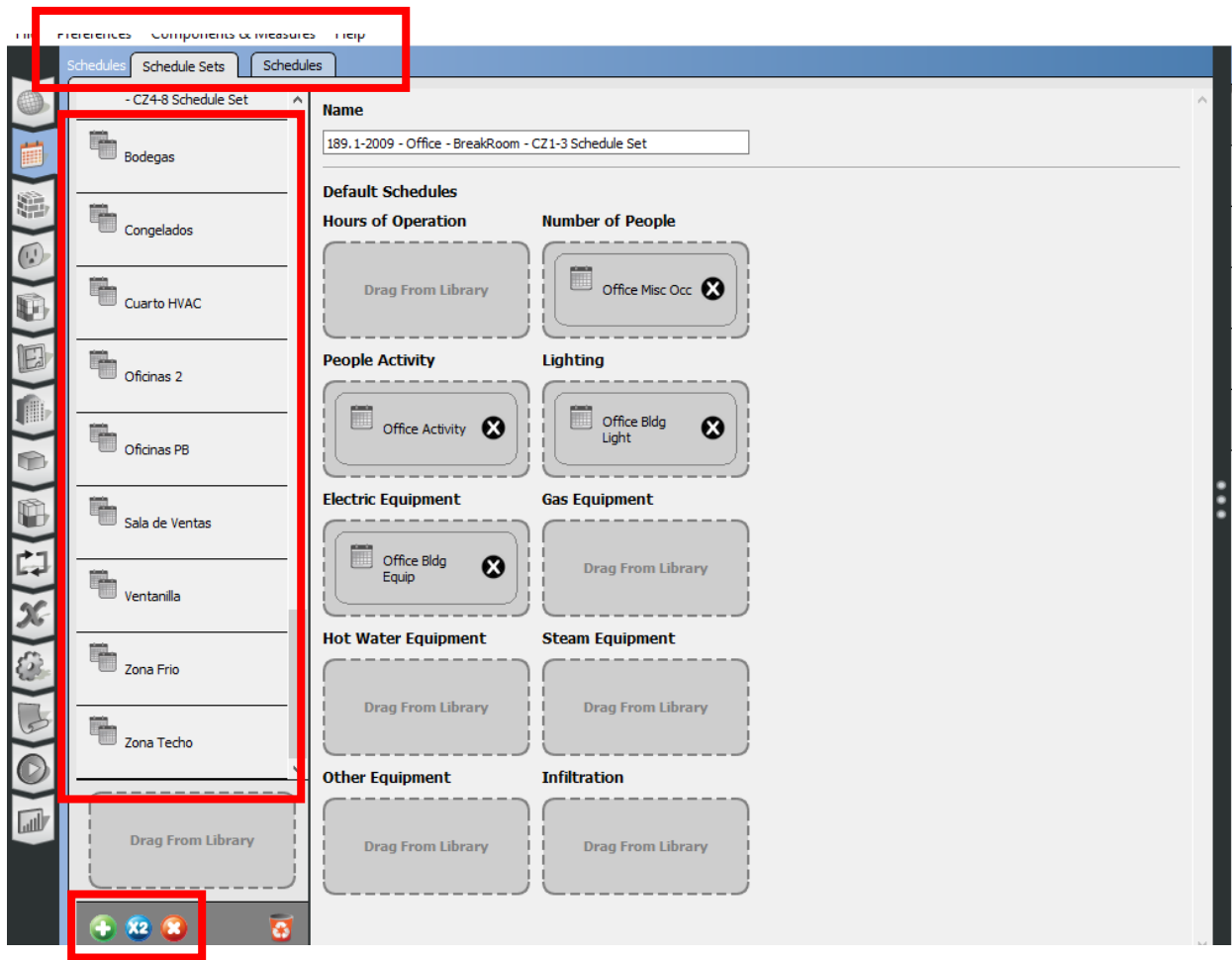


Figura D.9 Set de horarios en OPS [Elaboración propia]

Weather File & Design Days | Life Cycle Costs | Utility Bills

Weather File | Set Weather File

Name:

Latitude:

Longitude:

Elevation:

Time Zone:

Download weather files at www.energypk.us/weather

Measure Tags (Optional):

ASHRAE Climate Zone:

CEC Climate Zone:

Design Days | Import From DDY

Select Year by:

Calendar Year: 2000

First Day of Year: Sunday

Daylight Savings Time: off

Starts

Define by Day of The Week And Month: First Sunday January

Define by Date: 01/04/2009

Ends

Define by Day of The Week And Month: First Sunday January

Define by Date: 01/10/2009

Design Days

Date | Temperature | Humidity | Pressure Wind Precipitation | Solar | Custom

Design Day Name	All	Day Of Month	Month	Day Type	Daylight Saving Time Indicator
	<input type="checkbox"/>	Apply to Selected	Apply to Selected	Apply to Selected	Apply to Selected
Guayaquil Aer. Ann Clg. -4% Conds DB=>MWB	<input type="checkbox"/>	21	3	SummerDesignDay	<input type="checkbox"/>
Guayaquil Aer. Ann Clg. -4% Conds DP=>MDB	<input type="checkbox"/>	21	3	SummerDesignDay	<input type="checkbox"/>
Guayaquil Aer. Ann Clg. -4% Conds Enth=>MDB	<input type="checkbox"/>	21	3	SummerDesignDay	<input type="checkbox"/>
Guayaquil Aer. Ann Clg. -4% Conds WB=>MDB	<input type="checkbox"/>	21	3	SummerDesignDay	<input type="checkbox"/>
Guayaquil Aer. Ann Htg 99.6% Conds DB	<input type="checkbox"/>	21	8	WinterDesignDay	<input type="checkbox"/>
Guayaquil Aer. Ann Htg Wind 99.6% Conds WS=>MCDB	<input type="checkbox"/>	21	8	WinterDesignDay	<input type="checkbox"/>
Guayaquil Aer. Ann Hum. 99.6% Conds DP=>MCDB	<input type="checkbox"/>	21	8	WinterDesignDay	<input type="checkbox"/>

Figura D. Partes en los horarios OPS [Elaboración propia]

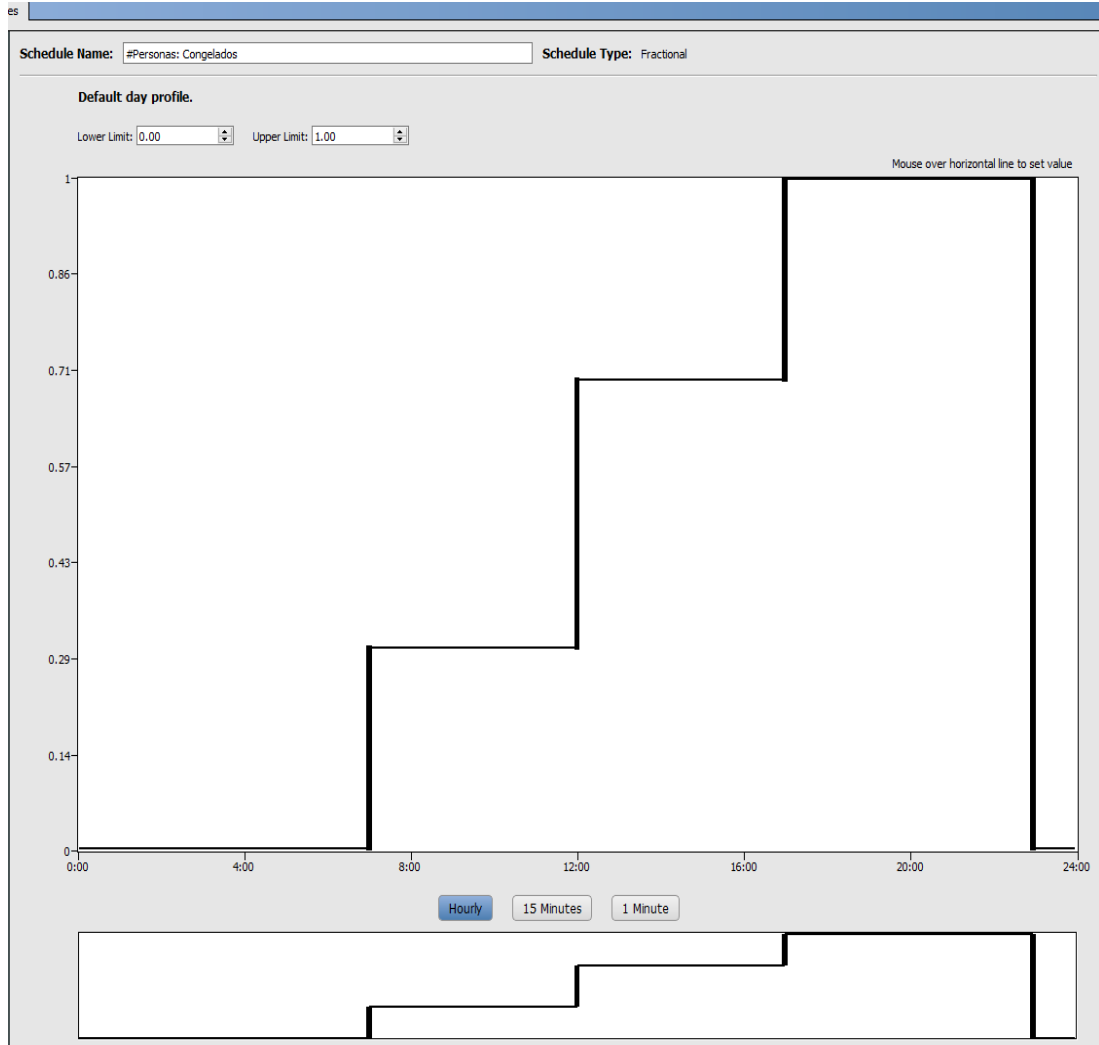


Figura D.11 Horario de número de personas para los congelados [Elaboración propia]