

DISEÑO DE UN SISTEMA DIDÁCTICO DE CLIMATIZACIÓN INVERTER HIBRIDO  
SOLAR PARA LA UNIVERSIDAD PASCUAL BRAVO



PATRICK CLEVELAND BENT BENT  
CARLOS ARTURO POSADA GARCÍA

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
INGENIERÍA ELÉCTRICA  
MEDELLÍN  
2016

DISEÑO DE UN SISTEMA DIDÁCTICO DE CLIMATIZACIÓN INVERTER HIBRIDO  
SOLAR PARA LA UNIVERSIDAD PASCUAL BRAVO

PATRICK CLEVELAND BENT BENT  
CARLOS ARTURO POSADA GARCÍA

Trabajo para optar al título  
Ingeniero electricista

Asesor:  
MÓNICA ISABEL NARVÁEZ PATIÑO  
Ingeniera electricista

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
INGENIERÍA ELÉCTRICA  
MEDELLÍN  
2016

## Contenido

Resumen .....	1
Introducción.....	3
Marco teórico.....	6
Ure. ....	6
Etiqueta .....	6
Energía.....	6
Energía eléctrica.....	6
Energía renovable.....	6
Energía solar.....	7
Energía geotérmica.....	7
Ahorro energético.....	7
Energía solar fotovoltaica .....	7
Calidad de vida.....	8
Confort.....	8
Climatización .....	9
Humedad .....	9
Velocidad del aire.....	9
Condiciones termo higrométricas.....	9

Aire acondicionado.....	10
Tipo de aire acondicionado .....	10
Componentes de un aire acondicionado. ....	11
Compresor. ....	11
Condensador. ....	11
Elemento de expansión.....	11
Evaporador .....	11
Termostato.....	12
Tonelada de Refrigeración (TRF) .....	12
Compresor Scroll o rotativo de espiral .....	12
Hibrido .....	13
Climatización .....	14
Isla de calor .....	14
Carga térmica .....	14
Ducto.....	17
Conductos de climatización .....	17
Sistema didáctico.....	18
Tecnología Inverter .....	18
Principio de funcionamiento.....	20
Fases de funcionamiento del inverter.....	21
Ventajas del sistema inverter en refrigeración.....	22

- Rapidez de enfriamiento: .....	24
- Uso eficiente de la energía: .....	24
- Consumo de energía: .....	25
-Rendimiento .....	25
¿Qué distingue un inverter de otro?.....	26
Variador de frecuencia.....	26
Funcionamiento de un variador de frecuencia.....	26
Radiación solar .....	27
Micro inversor Solar.....	28
Célula Fotoeléctrica.....	28
Paneles fotovoltaicos .....	28
Historia de los paneles fotovoltaicos.....	29
Metodología.....	31
Análisis de resultados.....	34
Condiciones exteriores.....	34
Condiciones interior .....	34
Dimensiones del laboratorio de refrigeración .....	36
Condiciones climáticas de Medellín.....	43
Conexión del analizador de redes.....	45
Especificaciones técnicas del equipo.....	48

Unidad manejadora (UMA).....	48
Unidad condensadora (UCO) .....	49
Paneles fotovoltaicos .....	49
Control inverter cd.....	50
Conclusión .....	53
Recomendaciones .....	55
Bibliografía.....	56
Anexos.....	59

## Resumen

Se implementó un sistema de aire acondicionado que tiene dos sistemas eléctricos compatibles, este sistema es una mezcla de energía normal y energía solar aprovechada a través de cuatro paneles solares mono cristalinos con potencia de 275Wp (vatios pico), los cuales proveen de energía eléctrica a un equipo de aire acondicionado híbrido que es utilizado para procesos pedagógicos en el laboratorio de refrigeración de la Institución Universitaria Pascual Bravo. El sistema a parte de los cuatro paneles solares cuenta con cuatro micro inversores, una condensadora y una manejadora que tienen un consumo de potencia de 2,5 kW a 220v.

Para la realización de los cálculos de carga térmica presentes en el espacio a acondicionar y la selección óptima del equipo, se utilizó el software **TRACE700 de TRANE COMPANY** que sugirió como resultado según los parámetros ingresados, un equipo de climatización de 2.4 TR (toneladas de refrigeración), estos equipos se encuentran estandarizados en el mercado y por lo tanto el más cercano en TR por encima de ese valor, fue el equipo Sunsource de la empresa Lennox de 3TR.

Otro aspecto importante a resaltar de este trabajo, fue el análisis energético que se hace con el equipo ya instalado y en marcha; para ello se utilizó como insumo el aporte del trabajo o tesis de grado “Análisis de Red y Tasa de Retorno de un Sistema de Aire Acondicionado Híbrido en el Laboratorio de Refrigeración de la Institución Universitaria Pascual Bravo”, realizado por los compañeros y estudiantes de ingeniería eléctrica, Jorge Alonso Gaviria Grisales, Samir José Madrid Casilla, Juan David Quintana Valencia, quienes observaron durante un poco más de un día haciendo uso de un analizador de redes, el consumo energético al estar el equipo de aire acondicionado en funcionamiento y conectado solo con la energía convencional vs cuando está conectado tanto con los paneles fotovoltaicos más la red, tomando los consumos energéticos en

Kw/h y en intervalos de tiempo determinados. Los datos recogidos por este estudio, se presentan en la tabla 1, tabla 2 y tabla 3 del Análisis de resultados páginas 44 y 45.

Con base en estos resultados, se realizó el análisis para determinar si en el consumo energético que utiliza el aire acondicionado instalado para su funcionamiento, existe realmente un ahorro significativo del sistema híbrido con respecto al sistema de alimentación energética de la red convencional. De igual forma, se presenta en este trabajo, la importancia en cuanto al ahorro energético que representa para un sistema de climatización, que cuente para la regulación del trabajo que realiza el compresor con un elemento tan importante y de última generación como lo es el Control Inverter DC del Sunsource XC25 de Lennox.

## Introducción

La climatización de espacios cerrados, se ha convertido en una práctica muy habitual en zonas como Bosques tropicales húmedos, Sabanas tropicales, Desiertos, Zonas mediterráneas y Bosques templados, 5 de las 9 zonas climáticas con que cuenta el planeta, que se encuentran con temperaturas promedio por encima de los 28 °C y en las cuales se concentra el 80 % de las 7.295.889.256 personas con que cuenta el mundo al 1 de enero de 2016. (Albertini, 2015)

En estas zonas el consumo eléctrico debido al uso de equipos de aire acondicionado puede llegar a representar el 50% del total del consumo mundial, el cual ascendió en el año 2015 a 816 TW. (News from the REN21 Network, 2006). Por lo que los fabricantes de estos equipos se han visto obligados a desarrollar productos, equipos y sistemas cada vez más eficientes, debido a que la energía que se invierte en el aire acondicionado comparada con la energía que se aprovecha en su funcionamiento, representan un consumo que oscila entre el 30% y el 50%, porcentaje de eficiencia que indica pérdidas, representadas en el consumo para poder funcionar.

Estos fabricantes tratan de conjugar todos estos requerimientos de eficiencia y Uso Racional de la Energía “URE”, de forma práctica y atractiva para el usuario final, de tal forma que su eficiencia sea más del 95 % y las pérdidas en su funcionamiento sean las mínimas posibles, ubicándolas por debajo del 3 %. (SAIREC , 2010)

Las tecnologías más extendidas de ahorro energético, como la Inverter, Domótica, Idiomatica, entre otras, tratan de obtener el mínimo consumo de energía posible sin renunciar al máximo confort en cuanto a sistemas de climatización, utilizan la energía térmica solar para su funcionamiento, ya que existe una relación directa para su aplicación con las horas de radiación solar que se puede aprovechar, empleando máquinas de absorción o de adsorción. (Nieto, 2016)

El uso de paneles fotovoltaicos para el accionamiento de los sistemas de aire

acondicionado, si inicia el ahorro de energía, ya que la energía que consumen según lo plantea (Delta Volt SAC, 2016) es limpia, amigable con el medio ambiente y con eficiencias superiores al 50%, más aún cuando el precio de la energía eléctrica generada desde centrales o micro centrales hidroeléctricas, ha aumentado en los últimos años en todo el mundo, siendo este aumento diferente en cada país y depende esta diferencia de las condiciones geográficas, climáticas y las políticas macroeconómicas con que cuenta cada nación, solo en los EE UU 1 Megavatio hora (MWh) cuesta 142 Dólares, que en KWh son 0,142 ; mientras en Colombia el costo del KWh ha aumentado un 11% desde el 2008, costando la suma de 0.135 dólares a enero de 2016, traducida a pesos colombianos es de \$ 394, siendo la sexta tarifa más cara en Latinoamérica, por encima de Bolivia USD 0,106, Chile USD 0,104, Costa Rica USD 0,09, Brasil USD 0,08 y Ecuador USD 0,07 (Fluminense, TGH Universidade Federal, 2012), aunque según José Camilo Manzur, director ejecutivo de la Asociación Colombiana de Distribuidores de Energía Eléctrica (Asocodis), afirma que en marzo del 2016 el costo unitario por kilovatio hora en Colombia se ubicó en 456 pesos, cifra diferente a la de la Súper Intendencia de Servicios Públicos, que afirma se ubicó en 509 pesos en marzo, mientras que para el mes de abril, la última cifra disponible, se ubicó en \$ 465 debido al fenómeno natural del niño según Rafael Chica, Investigador del sector energético del CIDAC. (elfinanciero, 2006), al tiempo que el precio de los paneles fotovoltaicos ha disminuido de forma importante, por debajo de 1€/Wp. con respecto a su precio de 30 €/Wp en el año de 2013. (SOLAR MOUNTING QUOTE, 2012).

Estos sistemas eléctricos que utilizan la energía solar como fuente de energía parcial o total, cada vez adquieren mayor relevancia en nuestro entorno, debido a la preocupación por los cambios climáticos que cada vez se hacen más frecuentes y evidentes, en tanto fenómenos como el niño, tsunami, descongelamiento de polos evidencian un calentamiento del planeta, lo que

incluye sequías, olas de calor, huracanes, precipitaciones fuertes, y extinciones de especies debido a los cambios de temperatura y variaciones fuertes en el rendimiento de las cosechas; en algunos casos se utilizan captadores solares planos de alta eficiencia, en otros casos tubos de vacío y algunas instalaciones trabajan con concentradores parabólicos.

(CambioClimaticoGlobal.com, 1997)

Otra de las tecnologías se centra en la utilización de un sistema híbrido Fotovoltaico y Térmico, donde el calor disipado por el panel fotovoltaico es captado por el fluido de trabajo y utilizado como un sistema de calefacción para los espacios cerrados. (Energía Aplicada, 2012) En sistema de refrigeración con condensador por agua enfrentado a una torre de refrigeración, con unidades interiores de agua y que emplea energía solar fotovoltaica para hacer funcionar el compresor, que son sistemas de refrigeración por absorción y los sistemas de refrigeración solar fotovoltaica presentan los mayores potenciales de ahorro energético. Aunque en los primeros su eficiencia es muy limitada lo que los hace poco atractivos debido a las altas pérdidas que presentan, más del 55 % (K.F. Fong \*, Comparative study of different solar cooling systems for buildings, 2009)

El uso de paneles solares fotovoltaicos (FV) para alimentar sistemas de aire acondicionado (AC) es una aplicación que reportar importantes ventajas frente al uso de sistemas convencionales ON-OFF, como lo son su facilidad de montaje, su alta fiabilidad de funcionamiento y su alta eficiencia energética. (Álvarez, 2011)

Los paneles fotovoltaicos representan un ahorro energético importante como fuente de alimentación con una energía limpia y amigable con el medio ambiente como lo es la radiación solar, estos combinados con la tecnología inverter aplicado a los equipos de climatización, representan un ahorro del 50% mayor al de cualquier otro sistema o combinación de sistemas.

## **Marco teórico**

### **Ure.**

Uso Racional de la Energía, conocida como la ley 697 0 ley URE, ley mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.

### **Etiqueta**

Es la información acerca de un producto, en cuanto a eficiencia, calidad y forma correcta como se hizo una determinada cosa o producto. (www.eficienciaenergetica.gov.co, 2014 )

### **Energía**

Capacidad que tiene la materia de producir trabajo en forma de movimiento, luz, calor, etc. energía atómica o nuclear; energía cinética; energía hidráulica; energía solar; energía eléctrica; la energía eólica y solar son las fuentes de energías renovables con mayor potencial de aplicación a corto plazo. (España, 1999)

### **Energía eléctrica**

Es la que se manifiesta como resultado del flujo de electrones a lo largo de un conductor

### **Energía alternativa**

Energía alternativa, o más propiamente fuentes de energía alternativas, a aquellas fuentes de energía planteadas como alternativa a las tradicionales clásicas. (UPME, SIMEC, 2015)

### **Energía renovable**

Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales. Entre las energías renovables se cuentan la eólica,

geotérmica, hidroeléctrica, mareomotriz, solar, la biomasa y los biocarburantes.

### **Energía solar**

La Energía solar es la que llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética (luz, calor y rayos ultravioleta principalmente) procedente del Sol, donde ha sido generada por un proceso de fusión nuclear

### **Energía geotérmica**

Es una energía renovable que se obtiene mediante el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra. (cienciaytecnologia533, 2013)

### **Ahorro energético**

Es el ahorro energía proveniente de recursos naturales para salvaguardar al medio ambiente y fomentar un desarrollo sustentable.

### **Energía solar fotovoltaica**

Un sistema solar fotovoltaico funciona cuando el campo de módulos fotovoltaicos convierte en corriente eléctrica directa la energía solar que recibe durante el día. Dicha corriente transporta y almacena la energía eléctrica en la batería para ser utilizada en el momento que el usuario lo requiera para el televisor, radio o iluminación. La energía eléctrica que los módulos fotovoltaicos envían a la batería y que ésta suministra a la carga pasa por el controlador de carga, cuya función es proteger a los otros elementos del sistema contra sobrecargas o descargas excesivas, altas corrientes y bajos voltajes. Todos los módulos se conectan en serie o en paralelo para obtener las tensiones y corrientes que provean la potencia deseada. Los módulos se fabrican, generalmente, para tener una salida de 12 Vdc, varían desde unos cuantos vatios fotovoltaicos (2.8 Vatios pico, Wp) hasta 300 Wp, y su voltaje y corrientes son variables según la configuración de los paneles. Los sistemas fotovoltaicos con batería de almacenamiento pueden

diseñarse para equipos que utilicen corriente del tipo directa (DC) o alterna (AC). Si se quiere utilizar un equipo que funciona con corriente AC, debe acondicionarse un inversor para alimentar la carga. (Fotovoltaicas, 2001)

### **Calidad de vida**

La calidad de vida es el bienestar, felicidad, satisfacción de la persona que le permite una capacidad de actuación o de funcionar en un momento dado de la vida. Es un concepto subjetivo, propio de cada individuo, que está muy influido por el entorno en el que vive como la sociedad, la cultura, las escalas de valores. ([http://enciclopedia.us.es/index.php/Calidad\\_de\\_vida](http://enciclopedia.us.es/index.php/Calidad_de_vida), 2011)

### **Confort**

El confort es un concepto subjetivo que expresa el bienestar físico y psicológico del individuo cuando las condiciones de temperatura, humedad y movimiento del aire son favorables a la actividad que desarrolla. Cuando hablamos de confort en aires acondicionados, nos referimos a aquellas condiciones que hemos predeterminado para que en un ambiente cerrado las personas o las cosas estén o se conserven en condiciones de bienestar. Podríamos decir que existe «confort térmico» cuando las personas no experimentan sensación de calor ni de frío; es decir, cuando las condiciones de temperatura, humedad y movimientos del aire son favorables a la actividad que desarrollan. Evaluar el confort térmico es una tarea compleja, ya que valorar sensaciones conlleva siempre una importante carga subjetiva; no obstante, existen unas variables modificables que influyen en los intercambios térmicos entre el individuo y el medio ambiente y que contribuyen a la sensación de confort, éstas son: la temperatura del aire, la temperatura de las paredes y objetos que nos rodean, la humedad del aire, la actividad física, la clase de vestido y la velocidad del aire. Estas variables, indicando las condiciones termo higrométricas reglamentarias.

El confort térmico depende del calor producido por el cuerpo y de los intercambios entre éste y el medio ambiente. (wikipedia.org, 2010)

### **Climatización**

La climatización consiste en crear unas condiciones de temperatura , humedad y limpieza del aire adecuadas para la comodidad dentro de los espacios habitados.

### **Humedad**

La humedad es el contenido de vapor de agua que tiene el aire.

### **Velocidad del aire.**

La velocidad del aire interviene de forma directa en el balance térmico y en la sensación térmica, ya que, según sea la velocidad, variará la capa de aire que nos aísla y aumentará la evaporación del sudor o de los materiales.

### **Condiciones termo higrométricas**

El artículo 7 y el Anexo III del Decreto 486/1997 sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo establecen las condiciones mínimas ambientales que deben reunir los lugares de trabajo. Como principio general se establece que el ambiente de trabajo no debe suponer un riesgo para la seguridad y la salud de los trabajadores y, en la medida de lo posible, se debe evitar que constituya una fuente de incomodidad o molestia. El Anexo III del citado Decreto establece que en los locales de trabajo y estudio cerrados deberán cumplirse las siguientes condiciones: Temperatura: entre 17° C y 27° C, si se realizan trabajos sedentarios o entre 14° C y 25 ° C, si son trabajos ligeros. Humedad relativa: entre 30% y 70%, excepto si hay riesgo por electricidad estática, en cuyo caso, el límite inferior será el 50%. Velocidad del aire: inferior a 0,25m/s en ambientes no calurosos; inferior a 0,5 m/s en trabajos sedentarios en ambiente caluroso e inferior a 0,75% m/s en trabajos no sedentarios en ambientes calurosos. Para

los sistemas de aire acondicionado, los límites son 0,25 m/s en trabajos sedentarios y de 0,35 m/s, en los demás casos. (INSHT-, 1995)

### **Aire acondicionado**

El acondicionamiento de aire se define según la normativa española como el proceso, o procesos, de tratamiento de aire que modifica sus condiciones para adecuarlas a unas necesidades determinadas. Entendemos por aire acondicionado al sistema de refrigeración del aire que se utiliza para refrescar los ambientes cuando las temperaturas del ambiente son muy altas y calurosas. El aire acondicionado, si bien hace referencia al aire en sí, es un aparato que se instala en casas, locales y demás espacios cerrados con el objetivo de proveer de aire fresco que se renueva permanentemente. A pesar de ser un aparato de gran utilidad para el confort diario, sus efectos pueden ser a veces adversos no sólo en la salud de los individuos sino también en el medio ambiente en general debido a su expulsión constante de aire caliente hacia afuera. (Acondicionado, 2007)

### **Tipo de aire acondicionado**

Hay dos tipos principales de sistemas de aire acondicionado: los centralizados y los autónomos. Mientras que los segundos son los más comunes, aquellos que se encuentran en las casas particulares, en locales, etc., los centralizados son los que dependen de un sistema central como por ejemplo una caldera que recibe y otorga el tipo de aire específico.

Es importante saber que los aires acondicionados como aparatos de cambio del aire pueden realizar tanto la refrigeración como la calefacción de los ambientes. Aquí es de gran relevancia señalar que mientras la refrigeración debe sumar la des humectación del ambiente (ya que la humedad en alto nivel hace subir la temperatura), la calefacción debe humectar el ambiente para impedir que este se vuelva muy seco y peligroso para la salud.

## **Componentes de un aire acondicionado.**

Los componentes de un sistema de refrigeración por compresión de vapor van interconectadas entre sí por medio de tubería de cobre, dentro de la cual se encuentra el líquido refrigerante, incluye esto un movimiento de aire a través de ventiladores.

### **Compresor.**

Es un dispositivo mecánico para bombear refrigerante de un área de baja presión (evaporador) a un área de alta presión (condensador), dado que están relacionados entre sí presión, temperatura y volumen, de un cambio en la presión de baja a alta se genera un aumento de temperatura y una reducción de volumen es decir una compresión de vapor.

### **Condensador.**

Es el dispositivo encargado de eliminar el calor del sistema de refrigeración. En el condensador, el vapor a alta temperatura y alta presión transfiere calor a través de los tubos del condensador al medio que lo rodea (generalmente aire o agua), cuando la temperatura del vapor se reduce a la de saturación, el calor latente que se sigue eliminando hace que se condense, produciendo refrigerante líquido.

### **Elemento de expansión.**

Este dispositivo es el encargado de regular o controlar el flujo de refrigerante que ingresa al evaporador, separa la parte de alta presión y la parte de baja presión. El líquido va a alta presión y la temperatura mediana entran al evaporador en forma de atomizar debido a que se genera un estrangulamiento del líquido haciendo que baje su presión y temperatura.

### **Evaporador**

Es el elemento encargado de absorber calor hacia el interior del sistema de refrigeración, en su

interior el refrigerante saturado absorbe el calor que lo rodea y hierve como un vapor a baja presión, allí ocurre el fenómeno de sobrecalentamiento antes de que el refrigerante llegue al condensador.

### **Termostato.**

Un termostato es el componente de un sistema de control simple que abre o cierra un circuito eléctrico en función de la temperatura. Su versión más simple consiste en una lámina metálica como la que utilizan algunos equipos de aire acondicionado para apagar o encender el compresor.

En cuanto a sistemas de aire acondicionado, los termostatos pueden tener varias formas, además de digitales, electrónicos, analógicos, mecánicos, y todos nos proporcionan la posibilidad de manejar el circuito eléctrico que controla la temperatura, ya que este dispositivo se encarga habitualmente de mantenerla regulada ofreciendo así un ambiente de confort.

### **Tonelada de Refrigeración (TRF)**

Es la unidad nominal de potencia empleada en algunos países, especialmente de Norteamérica, para referirse a la capacidad de extracción de carga térmica (enfriamiento) de los equipos frigoríficos y de aire acondicionado. Puede definirse como la cantidad de calor latente absorbida por la fusión de una tonelada corta de hielo sólido puro en 24 horas; en los equipos, esto equivaldría a una potencia capaz de extraer 12 000 BTU por hora, lo que en el Sistema Internacional de Unidades (SI) equivale a 3517 W.

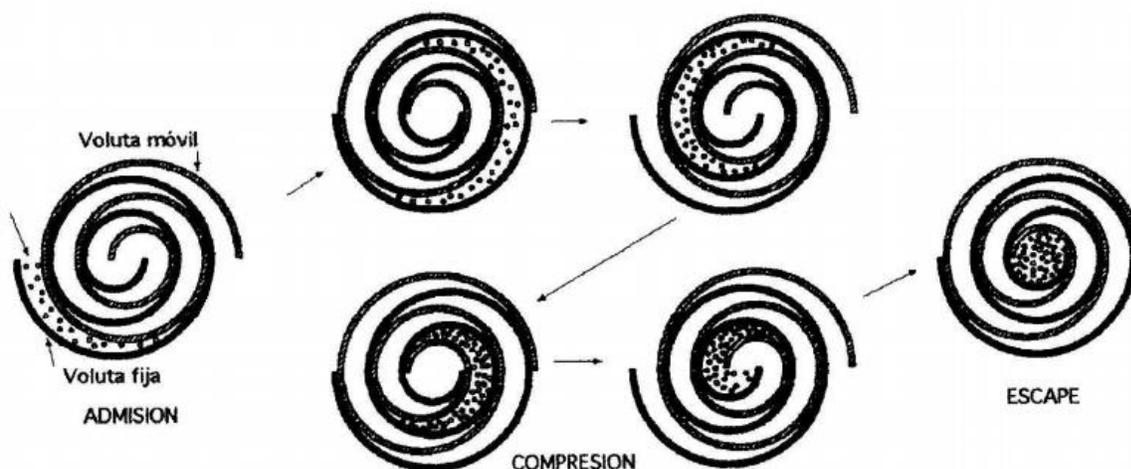
### **Compresor Scroll o rotativo de espiral**

La función del compresor en el ciclo de Refrigeración es la de elevar la presión del gas Refrigerante desde la presión de salida del Evaporador hasta la presión del Condensador.

En 1972 el físico Niels Young y su empresa se convierten en la primera compañía en aplicar la

tecnología del Scroll a compresores de aire acondicionado, y así en 1973 se desarrolla un modelo viable del mismo. Su funcionamiento, consiste en que el compresor Scroll utiliza dos piezas en forma de espiral, una fija (la superior) y la otra móvil (inferior) accionada por el eje del motor. El centro de rotación de la espiral móvil está decalada en relación con el de la espira fija y superior con una excentricidad “e” llamada “radio orbital” que permite la compresión volumétrica de los vapores aspirados.

La espiral inferior no describe un movimiento rotativo, sino que se trata de un movimiento giratorio de traslación. Entre ambas piezas (espiral fija y móvil) van creando desde la boca de admisión y de manera continua una cámara de compresión de volumen decreciente por lo que la presión va aumentando, al final del recorrido del gas o del refrigerante y cuando el volumen de la cámara de compresión es mínima, éste es expulsado por la salida de expulsión. En la descarga existe una válvula de retención que evita el retorno del gas o del refrigerante a alta presión hacia la parte de baja presión a la parada de la máquina.



## Hibrido

El termino hibrido se refiere a la utilización de dos o más componentes en la fabricación

de un producto. Los equipos de aire acondicionados híbridos son los que utilizan dos fuentes de alimentación diferentes, la tradicional o procedente de recursos fósiles e hídricos combinadas con energías alternativas como la solar, mareomotriz, entre otras.

### **Climatización**

Es dar a un espacio cerrado las condiciones de temperatura, humedad relativa, calidad del aire y, a veces, también de presión, necesarias para el bienestar de las personas y/o la conservación de las cosas" la cual utiliza un equipo de aire acondicionado con dispositivo electrónico que varía la velocidad del compresor.

### **Isla de calor**

Es una situación urbana, de acumulación de calor por la inmensa mole de hormigón, y demás materiales absorbentes de calor; y atmosférica que se da en situaciones de estabilidad por la acción de un anticiclón térmico.

Se presenta en las grandes ciudades y consiste en la dificultad de la disipación del calor durante las horas nocturnas, cuando las áreas no urbanas, se enfrían notablemente por la falta de acumulación de calor. El centro urbano, donde los edificios y el asfalto desprenden por la noche el calor acumulado durante el día, provoca vientos locales desde el exterior hacia el interior.

Comúnmente se da el fenómeno de elevación de la temperatura en zonas urbanas densamente construidas causado por una combinación de factores tales como la edificación, la falta de espacios verdes, los gases contaminantes o la generación de calor. Se ha observado que el fenómeno de la isla de calor aumenta con el tamaño de la ciudad y que es directamente proporcional al tamaño de la mancha urbana.

### **Carga térmica**

Se trata de la cantidad de energía térmica por unidad de tiempo (potencia térmica) que un

recinto cerrado intercambia con el exterior debido a las diferentes condiciones higrotérmicas del interior y del exterior, considerando las exteriores como las más desfavorables posible. Las cargas térmicas pueden deberse a dos situaciones: cargas de calefacción, que serían las que se producen en condiciones exteriores de invierno y que físicamente traducen el calor perdido por el recinto hacia el exterior en la unidad de tiempo y las cargas de refrigeración que análogamente, se refiere a las producidas en las condiciones de la estación cálida, físicamente, calor ganado por los locales en la unidad de tiempo.

Las cargas térmicas se deben a varios fenómenos de intercambio de calor del recinto con el exterior, así como a ganancias de calor interiores. Dependen de la diferencia de temperatura (salto térmico) entre el interior y el exterior, de las características constructivas de cada elemento (muros, huecos) en lo que se refiere al aislamiento térmico (expresado por la transmitancia térmica,  $U$ ) y de la superficie de cada elemento. En el caso de los muros o de las ventanas con vidrio coloreado, el calentamiento de su superficie por el sol cuando están expuestos, hace que el salto térmico sea mayor en verano, lo que hay que tener en cuenta.

También deben considerarse los llamados puentes térmicos que son los lugares donde los elementos constructivos tienen una discontinuidad en el aislamiento térmico. Se dan en los bordes de ventanas y puertas, en el encuentro de muros y forjados, entre otros.

Tratamiento térmico del aire exterior necesario para la ventilación y renovación de aire de los ambientes, dependen del salto térmico interior-exterior y del caudal de ventilación necesario.

En ciertos casos, cuando la construcción no es de buena calidad, hay que tener en cuenta las infiltraciones de aire del exterior, no deseadas, por las rendijas y juntas de cierre de los huecos que separan del exterior, ventanas o puertas. Calor entrante debido al soleamiento por los cierres de los huecos acristalados (ventanas). Se produce por efecto invernadero: al atravesar el

espectro visible de la radiación solar un vidrio transparente, calienta los objetos que hay tras el vidrio; los objetos emiten radiación en infrarrojos y para ciertas longitudes de onda de los infrarrojos el vidrio es opaco, de modo que el calor queda atrapado tras el vidrio, aumentando la temperatura del ambiente. Este efecto es favorable en invierno (reduce la carga térmica) y desfavorable en verano (la aumenta). El calor interno producido por las personas, la iluminación eléctrica y los aparatos que hay en el interior de los edificios (como en el caso anterior puede ser favorable o desfavorable según la estación).

También es otra carga térmica el tratamiento de la humedad del aire para conseguir en los ambientes una humedad relativa adecuada. El vapor puede proceder de fuentes internas (evapotranspiración de las personas, de ciertos aparatos...) y externas (contenido de humedad del aire exterior)

Al enfriar una masa de aire (refrigeración) con un contenido determinado de vapor de agua, aumenta la humedad relativa, por lo que es necesario eliminar parte del vapor para mantener la humedad relativa dentro de límites adecuados. Por el contrario, al calentar (calefacción) una masa de aire disminuye la humedad relativa. En este caso, a menudo la evaporación transpiración de los ocupantes puede ser suficiente para compensar esa disminución, pero si no lo fuera (temperaturas exteriores muy bajas), habría que añadir vapor para conseguir una humedad relativa adecuada.

Hay ciertos fenómenos que no se toman en cuenta en el cálculo de las condiciones de invierno, pues mejoran las condiciones interiores en esa estación (soleamiento, ocupación), pero que tienen importancia en las condiciones de verano pues aportan calor a los locales desde su interior; en invierno, los sistemas de control del ambiente interior las tendrán en consideración. Así pues, las cargas de invierno solamente dependen de las condiciones exteriores, y las de

verano, tanto de las interiores y de las exteriores.

### **Condicionantes del ambiente térmico interior**

El ambiente térmico se define como “aquellas características que condicionan los intercambios térmicos del cuerpo humano con el ambiente, en función de la actividad de la persona y del aislamiento térmico de su vestimenta, y que afectan la sensación de bienestar.

Las variables que deben mantenerse controladas en una instalación para una adecuada condiciones de ambiente térmico son: Temperatura seca - Humedad relativa - Calidad del aire interior, mediante una adecuada renovación de aire - Nivel de ruido - Velocidad del aire.

Otras consideraciones a tener en cuenta en el interior de un recinto para el diseño interior de un sistema de climatización son: la actividad que desarrolla las personas en el espacio y su grado de vestimenta, estos aspectos se fijan con el fin de garantizar el buen funcionamiento de equipos existentes en el interior de las salas a acondicionar y para garantizar un estado de confort que no genere estrés térmico.

### **Ducto**

Es un sistema de tubería que se usa para la protección y el enrutamiento del cableado eléctrico. El conducto eléctrico puede estar hecho de metal, plástico, o fibra.

### **Conductos de climatización**

Los conductos de aire son elementos estáticos de la instalación, a través de los cuales circula el aire en el interior del edificio, conectando todo el sistema: aspiración, unidades de tratamiento de aire, locales de uso, retorno y evacuación del aire viciado.

Los conductos pueden tener sección circular o rectangular. Pueden ser de chapa galvanizada, de cobre, de planchas de fibra de vidrio y hasta de escayola. Es condición indispensable que las superficies sean lisas y fácilmente se puedan limpiar, para lo que deben

tener registros de limpieza. En general, los conductos de climatización deben de tener un adecuado aislamiento térmico.

Como consecuencia de las últimas directivas europeas relacionadas con la eficiencia energética, los conductos de climatización han de ser lo más estancos posible. Los niveles de estanquidad se clasifican desde el nivel A, el menor, al nivel máximo D. La red de conductos está formada por una mezcla de elementos de diferente tipología y forma que confieren a las instalaciones un nivel medio de estanquidad del tipo B. Construir conductos más estancos de nivel C, representaría aumentar el triple la estanquidad de los mismos, contribuyendo de forma sensible a la mejora energética de las instalaciones y al sostenimiento energético global. A veces se emplea como conducto, especialmente en retorno del aire, el espacio sobre un falso cielorraso e incluso un pasillo.

### **Sistema didáctico**

El sistema didáctico es una relación que tiene lugar entre el docente y el alumno para una mayor enseñanza del primero y una mejor comprensión de lo enseñado por el segundo.

### **Tecnología Inverter**

Inverter es un componente electrónico que regula el voltaje, la corriente y la frecuencia de un dispositivo eléctrico. Aplicado a los sistemas de aire acondicionado, por ejemplo de tipo Split, que consta de una unidad interior de tipo mural y una unidad exterior donde se sitúa el compresor, el dispositivo electrónico inverter lo que hace es modificar la corriente eléctrica que alimenta al compresor, haciendo que este varíe sus revoluciones de funcionamiento hasta el mínimo necesario para mantener la temperatura deseada permitiendo alcanzar antes que los aires convencionales la temperatura de confort.

Normalmente se dice que un equipo es inverter si su compresor se regula con esta

tecnología es decir, si cuenta en su placa o tarjeta electrónica con un variador de frecuencia que se encarga de regular la velocidad a la cual trabaja el compresor. De esta manera, al lograr variar las revoluciones de funcionamiento del compresor, por ende, se varía el caudal de refrigerante que circula por el circuito entre las unidades exterior e interior del aire acondicionado.

Así por ejemplo, para un sistema de aire acondicionado que se alimenta de la red eléctrica de la vivienda en corriente alterna (50 Hz. y 230 V, en Europa) el dispositivo inverter modula esta corriente de entrada, y la transforma en una corriente de salida que alimente al compresor con frecuencia variable, que varíe en un rango de entre 30-90 Hz, por ejemplo, y una tensión de entrada también variable.

Con ello, se podrá conseguir que el compresor pueda girar a distintas velocidades en función de las necesidades de carga térmica de cada momento, permitiendo además al sistema adaptarse más eficazmente y de forma más rápida a la demanda de cada instante y reduciendo así, el consumo eléctrico.

Comparándolo con un sistema de aire acondicionado estándar, la tecnología inverter permite ajustar el funcionamiento del compresor a la demanda de la carga, proporcionando mayor eficiencia y reduciendo las pérdidas.

En efecto, así por ejemplo, cuando las condiciones de temperatura del recinto a acondicionar no requiera de la máxima potencia (porque la ocupación de personas sea mínima, o las condiciones exteriores sean favorables), el dispositivo inverter permitirá que las revoluciones de giro del compresor disminuya por debajo de su régimen nominal.

Bajando el régimen normal de trabajo del compresor, se reduce también su potencia de funcionamiento y por tanto, su consumo eléctrico, aumentando así la eficiencia global del sistema.

### **Principio de funcionamiento.**

Para entender de manera sencilla el principio de funcionamiento de un sistema de aire acondicionado con tecnología inverter se recomienda estudiar la secuencia que sigue el sistema para su puesta en marcha:

1°.- En primer lugar, en función de las necesidades de confort que el usuario desea tener en la estancia a acondicionar, se fija la temperatura deseada en el display o mando de control remoto del sistema.

2°.- Mientras que en un sistema de aire acondicionado tradicional sin tecnología inverter, el compresor arrancaría funcionando siempre al 100% de su capacidad, desde el principio hasta alcanzar la temperatura deseada; con el sistema inverter, al poderse regular la corriente de alimentación del compresor, éste en los primeros momentos, nada más arrancar el sistema, podrá aumentar su velocidad de giro por encima de su régimen nominal, alcanzando incluso hasta un 130% de su capacidad, lo que permitirá alcanzar la temperatura de confort mucho antes que lo haría un sistema tradicional.

3°.- Una vez alcanzada la temperatura de confort, con un sistema tradicional de climatización, la temperatura de la estancia se regularía mediante periodos sucesivos de paradas y arranques del compresor, que cada vez que se ponga en marcha trabajaría siempre al 100% de su capacidad. Por tanto, el compresor en un sistema tradicional trabajaría en un régimen de todo o nada. Esto va a generar picos de consumo, debido a que para arrancar un motor eléctrico desde cero se necesita de un consumo inicial varias veces su potencia nominal de régimen.

Sin embargo, con el sistema inverter el compresor no llega a pararse totalmente, sino

que gracias a que el uso del inverter permite regular la velocidad del compresor, cuando se haya alcanzado la temperatura de confort de la estancia y no se necesite de toda la potencia, el inverter baja el régimen de giro del compresor, por ejemplo al 50% de su capacidad nominal o incluso menos, con lo que se consigue reducir el consumo eléctrico.

Además, al evitarse parar totalmente el motor del compresor se evitan también los picos de consumo que se producen en el arranque de la máquina, y también se reducen los efectos térmicos de sensación de excesivo frío o calor que se producen con el sistema de aire acondicionado tradicional con los periodos de arranques y paradas.

### **Fases de funcionamiento del inverter**

Durante el funcionamiento de cualquier sistema de aire acondicionado con tecnología inverter, se pueden distinguir distintas fases o etapas en su funcionamiento:

- Fase de Máxima Potencia: Se produce cuando las condiciones ambientales son adversas. En esta situación, el sistema inverter ordena al compresor girar al máximo de su capacidad para alcanzar lo antes posible la condición de confort. A esta fase se le llama también *PAM* (o Fase de Potencia).

- Fase de Potencia Media: Cuando se ha alcanzado la temperatura de consigna y las condiciones son normales, el sistema inverter ordena al compresor a reducir su régimen de revoluciones, adaptando su potencia al requerimiento del sistema.

Esto en un sistema de climatización tradicional que no dispusiera de tecnología inverter no sería posible, dado que el compresor seguiría funcionando siempre al 100% de su capacidad, consumiendo así más potencia que un sistema inverter.

- Fase de Mínima Potencia: Cuando las condiciones ambientales son favorables, para mantener la temperatura de confort en los sistemas de climatización inverter, el compresor

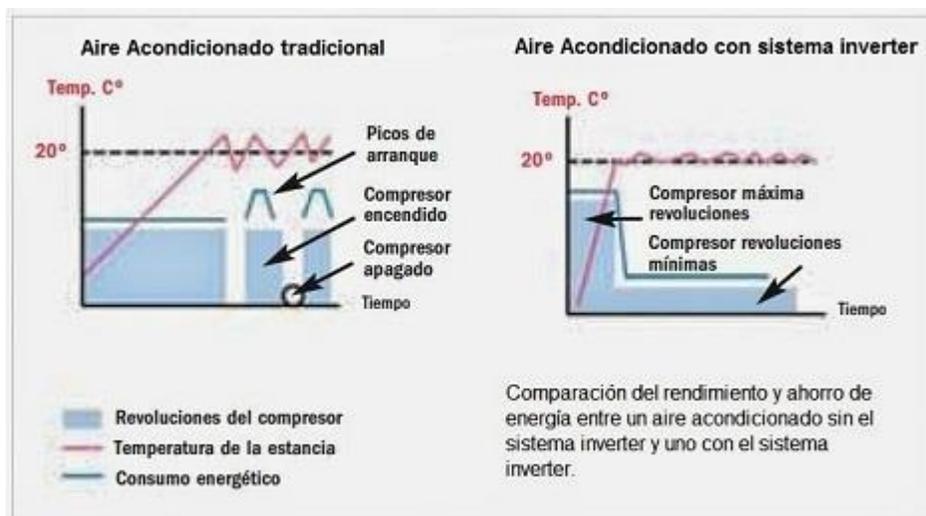
continúa girando pero a muy bajas revoluciones, consumiendo de esta manera muy poca energía. A esta fase también se le llama técnicamente *PWM* (o Fase de Ahorro).

Por el contrario, en un sistema de climatización tradicional sin tecnología inverter el compresor trabajaría en régimen de todo o nada, es decir, que si se genera un exceso de frío en la estancia, el compresor reaccionaría parándose hasta que la temperatura de la estancia volviera a subir por encima de la temperatura de consigna que haría poner de nuevo en funcionamiento al compresor.

Estas fases sucesivas de parada y puesta en marcha del compresor suponen a la larga un mayor consumo energético, pues la potencia que se necesita en cada arranque de la máquina es varias veces superior a su potencia nominal de régimen.

### Ventajas del sistema inverter en refrigeración

Como ya se ha comentado varias veces, a diferencia de los sistemas convencionales de climatización, la tecnología inverter adapta la velocidad del compresor a las necesidades de cada momento, permitiendo consumir únicamente la energía necesaria.



De esta manera se consigue reducir bastante las oscilaciones de temperatura del recinto

que se está acondicionando, consiguiendo mantener la temperatura ambiente en un margen comprendido entre  $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  de la temperatura objetivo.

Así, el usuario logra disfrutar de una mayor estabilidad ambiental en la temperatura y sensación de confort, dado que se eliminan las fluctuaciones de temperatura tan típicas de los sistemas convencionales y que resultan tan desagradables. Y todo ello gracias al dispositivo electrónico de alimentación sensible a los cambios de temperatura, los equipos con tecnología inverter proporcionan la potencia ajustada a la demanda energética que se requiere en cada instante.

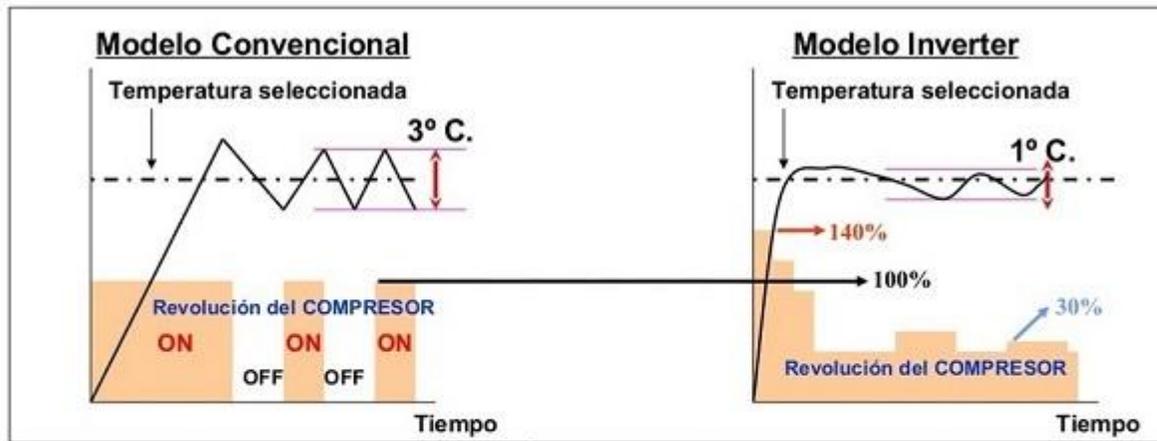
Asimismo, cuando se está a punto de alcanzar la temperatura deseada, el dispositivo inverter disminuye gradualmente la potencia de alimentación al compresor para que gire más lentamente, pero sin llegar a detenerse. De esta manera se reduce también el ruido ligado a las fases de arranque de la máquina y el consumo es siempre proporcional a las necesidades de cada momento.

Además, como ya se ha dicho anteriormente, con el sistema inverter de regulación de la potencia de alimentación del compresor, éste también puede trabajar hasta un 30% por encima de su potencia nominal para conseguir más rápidamente la temperatura deseada en los momentos iniciales, que es cuando mayor demanda térmica se requiere.

Por otro lado, también puede funcionar hasta un 50% por debajo de su potencia nominal o menos en la fase de mínima potencia, que ocurre cuando se ha alcanzado la temperatura de confort y las condiciones ambientales son favorables. Esto se traduce en una significativa reducción tanto del ruido como del consumo.

Mantener funcionando el compresor, aunque sea a bajas revoluciones, evita los periodos de parada y arranque, como ocurre con los sistema convencionales. Esto, a la larga, repercute en

un ahorro de energía (dado que cada vez que se arranque el compresor requiere de un pico de potencia) y de una mayor durabilidad de la máquina.



Con el sistema convencional, la temperatura del recinto cae rápidamente cuando el compresor se detiene, haciendo fluctuar la temperatura que el cuerpo humano puede apreciar causándole una desagradable sensación

Con el sistema inverter, el rango de fluctuación de la temperatura es pequeño, dado que una vez alcanzada la temperatura deseada el compresor no para, sino que seguirá controlando la temperatura del recinto disminuyendo o aumentando las revoluciones de giro

#### - Rapidez de enfriamiento:

- Con inverter: al poder regular la potencia de alimentación del compresor, el dispositivo electrónico inverter permite que éste pueda trabajar hasta un 30% por encima de su potencia nominal en los primeros instantes, con el fin de poder llegar antes a la temperatura de confort.
- Sin inverter: un climatizador sin función inverter, el compresor funciona a la misma velocidad siempre, por lo que tarda más tiempo en enfriar o calentar el recinto y lograr la temperatura de confort.

#### - Uso eficiente de la energía:

- Con inverter: el compresor regula su régimen de revoluciones, y por tanto, la potencia de salida, adaptándose a la demanda de cada momento. Esta regulación eficiente y lineal de la temperatura mantiene una sensación de mayor confort para el usuario.

- Sin inverter: el compresor se enciende y apaga según los cambios de temperatura de la estancia, por lo que no se logra mantenerla constante. Además, los continuos periodos de arranque y parada del compresor suponen a la larga un mayor consumo de energía, ruido y menor durabilidad de la máquina.

#### - Consumo de energía:

- Con inverter: la posibilidad de regular el régimen de giro del compresor a la demanda de cada momento permite un ahorro de consumo energético. De hecho, se ha demostrado que un climatizador que incorpore tecnología inverter consume aproximadamente la mitad de energía eléctrica que un modelo sin función inverter.

- Sin inverter: el compresor trabaja en régimen de todo o nada. Esto supone que cada período de arranque de la máquina generará picos de corriente que se traduce en un mayor consumo energético.

#### -Rendimiento

**COP** (Coeficiente de Rendimiento) es el ratio entre la capacidad calorífica y el consumo de energía utilizado por el aparato para obtenerlo. Cuanto más alto es el COP, mejor rendimiento tendría la máquina. El rendimiento, en los Aires acondicionados inverter, es una de las características más importantes con respecto a las unidades de *velocidad fija* esta es la más importante, gracias a la electrónica y obviamente al resto de avances en estos años, una unidad inverter actual es capaz de conseguir un coeficiente energético de 5,15 que comparado con un 2,76 del mismo modelo no inverter es algo a tener muy en cuenta, es casi el doble de rendimiento y por lo tanto esto significa la mitad de consumo para hacer el mismo trabajo y climatizar la misma estancia.

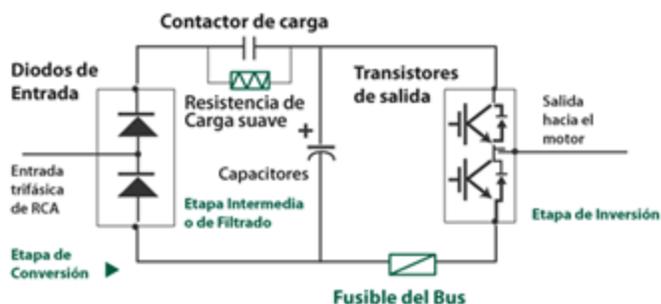
## ¿Qué distingue un inverter de otro?

Considerando que las dos necesidades básicas a satisfacer por todo sistema de climatización es el confort del usuario y el ahorro energético, y partiendo en igualdad de condiciones en otros aspectos tales como la clasificación energética del aparato, caudal de aire, nivel sonoro o sistemas de filtrado empleado, la verdadera diferencia entre dos sistemas inverter de distintas casas comerciales radica en su capacidad de adaptación en cada momento a las distintas condiciones ambientales que puedan presentarse.

## Variador de frecuencia

Los variadores de frecuencia son sistema utilizados para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna. Un variador de frecuencia son vertientes de un variador de velocidad, ya que llevan un control de frecuencia de alimentación, la cual se suministra por un motor. Otra forma en que son conocidos los variadores de frecuencia son como Drivers ya sea de frecuencia ajustable (ADF) o de CA, VVVF (variador de voltaje variador de frecuencia), micro drivers o inversores; esto depende en gran parte del voltaje que se maneje.

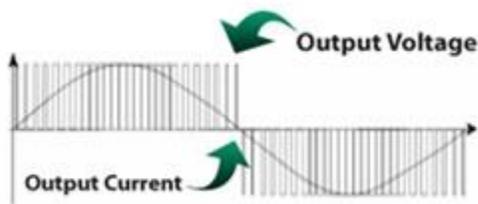
## Funcionamiento de un variador de frecuencia



Se alimenta al equipo con un voltaje de corriente alterna (CA), el equipo primero convierte la CA en corriente directa (CD), por medio de un puente rectificador (diodos o SCR's), este voltaje es filtrado por un banco de capacitores interno, con el fin de suavizar el voltaje

rectificado y reducir la emisión de variaciones en la señal; posteriormente en la etapa de inversión, la cual está compuesta por transistores (IGBT), que encienden y apagan en determinada secuencia (enviando pulsos) para generar una forma de onda cuadrada de voltaje de CD a un frecuencia constante y su valor promedio tiene la forma de onda senoidal de la frecuencia que se aplica al motor.

El proceso de conmutación de los transistores es llamado PWM "Pulse Width Modulation" Modulación por ancho de pulso.



## Radiación solar

Radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol. El Sol es una estrella que se encuentra a una temperatura media de 6000 K en cuyo interior tienen lugar una serie de reacciones de fusión nuclear, que producen una pérdida de masa que se transforma en energía. La radiación solar es el flujo de energía que recibimos del sol en forma de ondas electromagnéticas emitidas por este de diferentes frecuencias (luz visible, infrarroja y ultravioleta). La luz visible son las radiaciones comprendidas entre  $0,4 \mu\text{m}$  y  $0,7 \mu\text{m}$  pueden ser detectadas por el ojo humano. Existen radiaciones situadas en la parte infrarroja del espectro de la cual una parte es ultravioleta. (K.F. Fong \*, 2009)

Un panel solar o módulo solar es un dispositivo que capta la energía de la radiación solar para su aprovechamiento. El término comprende a los colectores solares, utilizados usualmente para producir agua caliente doméstica mediante energía solar térmica,

## **Micro inversor Solar**

Un micro inversor para paneles solares, es un dispositivo, que se encarga de convertir la corriente continua (CD) proveniente de los paneles solares en corriente alterna (CA) apta para uso doméstico.

## **Célula Fotoeléctrica**

Una célula fotoeléctrica, es un dispositivo electrónico que permite transformar la energía luminosa (fotones) en energía eléctrica (electrones) mediante el efecto fotovoltaico.

Compuestos de un material que presenta efecto fotoeléctrico: absorben fotones de luz y emiten electrones. Cuando estos electrones libres son capturados, el resultado es una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad.

La eficiencia de conversión media obtenida por las células disponibles comercialmente (producidas a partir de silicio mono cristalino) está alrededor del 11-12%, pero según la tecnología utilizada varía desde el 6% de las células de silicio amorfo hasta el 14-19% de las células de silicio mono cristalino.

La vida útil media a máximo rendimiento se sitúa en torno a los 25 años, período a partir del cual la potencia entregada disminuye. Al grupo de células fotoeléctricas para energía solar se le conoce como panel fotovoltaico.

## **Paneles fotovoltaicos**

Los paneles fotovoltaicos consisten en una red de células solares conectadas como circuito en serie para aumentar la tensión de salida hasta el valor deseado (usualmente se utilizan 12V o 24V) a la vez que se conectan varias redes como circuito paralelo para aumentar la corriente eléctrica que es capaz de proporcionar el dispositivo.

El tipo de corriente eléctrica que proporcionan es corriente continua, por lo que si

necesitamos corriente alterna o aumentar su tensión, se le añade un inversor, micro inversor y/o un convertidor de potencia.

Los materiales para los paneles fotovoltaicos, suelen ser silicio cristalino o arseniuro de galio. Los cristales de arseniuro de galio se fabrican especialmente para uso fotovoltaico, mientras que los cristales de silicio están disponibles en lingotes normalizados, más baratos, producidos principalmente para el consumo de la industria microelectrónica. El silicio poli cristalino tiene una menor eficacia de conversión, pero también menor costo. Las células de silicio más empleadas en los paneles fotovoltaicos se pueden dividir en tres subcategorías:

- Las células de silicio mono cristalino están constituidas por un único cristal de silicio. Este tipo de células presenta un color azul oscuro uniforme.
- Las células de silicio poli cristalino (también llamado multi cristalino) están constituidas por un conjunto de cristales de silicio, lo que explica que su rendimiento sea algo inferior al de las células mono cristalinas. Se caracterizan por un color azul más intenso.
- Las células de silicio amorfo. Son menos eficientes que las células de silicio cristalino pero también más barato. Este tipo de células es, por ejemplo, el que se emplea en aplicaciones solares como relojes o calculadoras.

### **Historia de los paneles fotovoltaicos**

El término fotovoltaico proviene del griego φῶς: phos, que significa "luz" y voltaico, que proviene del campo de la electricidad, en honor al físico italiano Alejandro Volta, que también proporciona el término voltio a la unidad de medida de la diferencia de potencial en el Sistema Internacional de Medidas. El término fotovoltaico se comenzó a usar en Inglaterra desde el año 1849. El efecto fotovoltaico fue reconocido por primera vez en 1839 por el físico francés Becquerel, pero la primera célula solar no se construyó hasta 1883. Su autor fue Charles Fritts,

quien recubrió una muestra de selenio semiconductor con un pan de oro para formar el empalme.

Este primitivo dispositivo presentaba una eficiencia de sólo un 1%. Russell Ohl patentó la célula solar moderna en el año 1946, aunque Sven Ason Berglund había patentado, con anterioridad, un método que trataba de incrementar la capacidad de las células fotosensibles.

La era moderna de la tecnología de potencia solar no llegó hasta el año 1954 cuando los Laboratorios Bell, descubrieron, de manera accidental, que los semiconductores de silicio dopado con ciertas impurezas, eran muy sensibles a la luz.

Estos avances contribuyeron a la fabricación de la primera célula solar comercial con una conversión de la energía solar de, aproximadamente, el 6%. La URSS lanzó su primer satélite espacial en el año 1957, y los EEUU un año después. En el diseño de éste se usaron células solares creadas por Peter Iles en un esfuerzo encabezado por la compañía Hoffman Electronics.

La primera nave espacial que usó paneles solares fue el satélite norteamericano Vanguard 1, lanzado en marzo de 1958.<sup>1</sup> Este hito generó un gran interés en la producción y lanzamiento de satélites geoestacionarios para el desarrollo de las comunicaciones, en los que la energía provendría de un dispositivo de captación de la luz solar. Fue un desarrollo crucial que estimuló la investigación por parte de algunos gobiernos y que impulsó la mejora de los paneles solares.

En 1970 la primera célula solar con heteroestructura de arseniuro de galio (GaAs) y altamente eficiente se desarrolló en la extinta URSS por Zhore Alferov y su equipo de investigación.

## Metodología

Se recopiló información sobre las condiciones ambientales tanto exteriores como interiores a las cuales está sometida la Institución Universitaria Pascual Bravo y en particular el laboratorio de refrigeración: altitud, latitud, longitud, humedad relativa, temperatura del bulbo seco y húmedo y velocidad del viento, las cuales se encontraron en la página Web del municipio de Medellín, secretaria de desarrollo y medio ambiente. (Medellín, 2014)

Se tomaron las dimensiones del laboratorio, altura, largo y ancho para lo cual se utilizó una lienza. Color y material de las paredes y número de luminarias y tiempo de operación de estas durante un día. De igual manera, se recogieron datos sobre cantidad de puertas, ventanas dimensiones de las mismas y materiales de los que están hechos. Esto se hizo de acuerdo con la instrucción que se recogió en la charla técnica que proporciono el asesor técnico de la empresa KIIMA S.A.S

Se averiguo en la decanatura el promedio de estudiantes que ocupan el laboratorio en los dos últimos semestres para cada jornada de clase, los datos estadísticos se recogieron en los archivos del área administrativa de los semestres 2015.1- 2 ., tiempo de clase, y número de clases semanales.

Se recogió datos sobre la capacidad térmica que produce las personas de acuerdo a la actividad que desarrollan, la cual fue obtenida en la tabla que suministra el libro “Personal, Inican”, en la sección de Calor latente, del cual se extrajo para un grupo de personas, en actividades propias de un recinto donde se realiza trabajo ligero.

Se ingresaron los datos anteriormente recogidos al programa software TRACE 700 DE TRANE COMPANY, facilitado en la asesoría por la empresa asesora KIIMA S.A.S. la cual entrego resultados en torno al tipo de equipo que se requiere para las condiciones con que cuenta

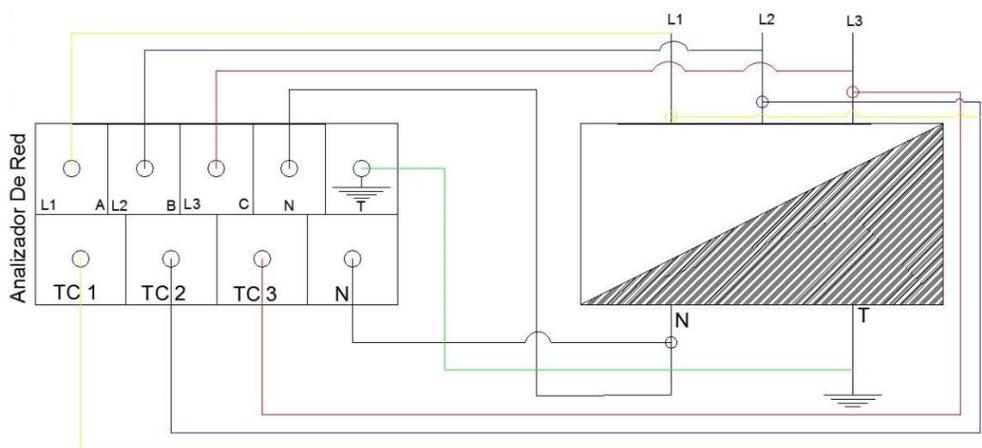
el laboratorio de refrigeración de la Institución Universitaria Pascual Bravo (IUPB).

Se visitó el laboratorio con la visual del interior del espacio y teniendo para la orientación de los techos la claridad de los puntos cardinales.

Se recogió información sobre las condiciones e incidencia de la radiación solar del país, Antioquia y Medellín en el HIMAT. (HIMAT, 2000)

Se indagó sobre la eficiencia, potencia y materiales de construcción de los diferentes paneles solares que se encuentran en el mercado y su costo en diferentes almacenas especializados en la ciudad de Medellín.

El analizador de red se instaló siguiendo las instrucciones de instalación que presenta el manual de instrucciones que se encuentran en el laboratorio de Maquinas 1 de la institución, fue contado a la caja de fuerza del laboratorio, de máquinas dos en la entrada que da alimentación al circuito del aire acondicionado se utilizaron las herramientas apropiadas, destornillados, alicates y multiamperímetro, se midió la corriente de cada fase que alimenta el laboratorio y la que alimenta el circuito del aire acondicionado en particular.



### Conexión del analizador de red.

Se Conectó el analizador de red y se realizaron las mediciones de energía activa, reactiva,

y aparente, obteniéndose resultados de consumo en tiempos de ocupación y desocupación del laboratorio, este se realizaron durante horas específicas de ocupación del laboratorio y durante varios días.

Se conectó el analizador de red cuando se alimenta con energía fotovoltaica proveniente de los paneles solares, se realizaron las mediciones de energía activa, reactiva, y aparente, obteniéndose los resultados del consumo, estas mediciones se realizaron en tiempos de ocupación y desocupación del laboratorio, durante el mismo periodo de tiempo que el de la red, se utilizaron las mismas herramientas que se utilizaron para la conexión a red.

## **Análisis de resultados**

Como se mencionó en la metodología, la primera actividad que se realizó fue la recopilación de las condiciones climáticas a la cual está sometida la ciudad de Medellín y en particular la Institución Universitaria Pascual Bravo en su laboratorio de refrigeración.

Esta Actividad se realizó, debido a que a la hora de ejecutar cualquier tipo de proyecto que para el caso fue el Aire Acondicionado Híbrido Solar, fue fundamental conocer y tener en cuenta las condiciones ambientales del lugar donde se desarrolló, se hizo necesario para lograr un adecuado funcionamiento de este, una mayor efectividad en su rendimiento y la acertada selección de sus componentes.

Se toma como referencia las condiciones climáticas de la ciudad de Medellín en los últimos meses basados en los registros históricos febrero a agosto de 2015.

### **Condiciones exteriores**

Latitud: 6.21667

Longitud: -75.6

Altitud: 1479 m.s.n.m

Humedad relativa: 45%

Temperatura Bulbo seco: 27°C

Temperatura Bulbo Húmedo: 22°C

Velocidad del viento: 21Km/h

### **Condiciones interior**

Velocidad del viento: 0 Km/h

Temperatura bulbo seco: 29°C

Humedad relativa: 55%

La temperatura deseada para el laboratorio es de 22°C.

Como se puede observar en los resultados, la velocidad del viento para el laboratorio de refrigeración es cero ya que este es un recinto cerrado y por lo tanto no se toma en cuenta. Los otros valores interiores y exteriores tanto de temperatura del bulbo seco y la humedad relativa no se alejan mucho entre ellos lo que es favorable porque según la normatividad española, cuando menor sea esa diferencia, menores serán las cargas térmicas. En este mismo sentido, fija como máximo de temperatura interior de climatización para un recinto en donde se realizan trabajos ligeros 21 °C (no se permiten valores menores a este) y una humedad relativa comprendida entre el 45% y el 60%. Según Código Técnico de Edificación. CTE-HE: Ahorro de energía y aislamiento térmico Español. Se tomó como base la normatividad española debido a que no se encontraron registros de normatividad Colombiana para estos recintos.

Cabe mencionar que la temperatura deseada para el laboratorio es de 22°C que también se ajusta a lo que establece la norma en mención; esta temperatura se considera aceptable para producir cierto grado de confort a los ocupantes del recinto y que puedan desarrollar sus labores académicas sin ninguna clase de estrés térmico.

El segundo paso para la ejecución del proyecto, fue la toma de las dimensiones del espacio donde se ubicó el Aire Acondicionado, conocer los materiales de lo que está fabricado y las diferentes aireaciones con los que cuenta.

Al igual que las condiciones ambientales tanto exteriores como interiores al cual está expuesto el espacio que se acondiciono; es de suma relevancia conocer los otros aspectos del espacio tales como: dimensiones, los materiales del cual está fabricada la estructura, color predominante en las paredes y cantidad de aireaciones, ventanas y Puertas, estos aspectos son

vitales ya que en instalaciones de aire acondicionado, es necesario que exista una renovación adecuada de aire, a fin de mantener una buena calidad del aire interior, cantidad de oxígeno adecuada, ausencia de malos olores, entre otros.

### **Dimensiones del laboratorio de refrigeración**

Altura cóncava mayor: 5m

Altura menor: 2.40m

Ancho: 8.65m

Largo: 10m

Color de las paredes: Crema

Material de las paredes: Adobe

Número de Ventanas: 1 de Ancho 6.50m X 1.40m de Alto

Iluminación: El laboratorio cuenta con 6 Lámparas fluorescentes T8 de 36W c/u, el total vatios de las 6 lámparas = 216W.

Horas diarias de Funcionamiento de las Luminarias: 8 horas

La carga térmica debida a las luces es carga sensible, disipada por convección y radiación, en función del tipo de iluminación. De modo orientativo en aplicaciones para espacios donde se realizan trabajos ligeros, se puede tomar un valor aproximado de 20 W/m<sup>2</sup>, pudiendo reducirse hasta valores en torno a 10 W/m<sup>2</sup> con luminarias de bajo consumo como las que tenemos en el laboratorio. En este aparte, no se incluyen cálculo ni formulas debido a que el software de diseño utilizado TRANE 700 los hace internamente y solo pide el dato de la cantidad de luminarias y los vatios de cada una de ellas.

En general se puede decir que el espacio con el que cuenta el laboratorio es propicio por los materiales de que están hechas las paredes, la cantidad de luminarias al interior del recinto y el espacio de la ventana favorecen a que carga térmica no sea muy amplia respecto a las condiciones exteriores.

La siguiente actividad fue la determinación del número promedio de estudiantes que ocuparon el laboratorio en los periodos 2015. 1-2 los datos estadísticos que se encuentran en los archivos del área administrativa. Fueron:

Número Promedio de Estudiantes: 25 Estudiantes promedio de Estudiantes por grupos que ocupan el espacio, la cantidad de estudiantes es adecuada para el espacio del laboratorio de refrigeración, como lo plantea la norma.

Como se mencionó en la metodología, la próxima actividad fue la determinación de la carga térmica de los ocupantes del recinto, Esto se hizo debido a que las personas emiten calor cuando transpiran, cuando respiran o el simple roce con otros materiales o personas, estos aspectos sumados al número de ocupantes hacen parte del calor latente y calor sensible que se tienen en cuenta para una adecuada selección del equipo, para determinar su capacidad de refrigeración y en última instancia su potencia eléctrica de consumo para así poder generar un ambiente confortable libre de estrés térmico para sus ocupantes.

Para la determinación del calor sensible y latente, se recogieron datos sobre la capacidad térmica que produce las personas de acuerdo a la actividad que desarrollan, la cual fue obtenida de la tabla 1 del anexo “calor latente y sensible, en Kcal/h, desprendido por una persona según la actividad y temperatura existente en el local”, que para este caso fue trabajo ligero en un taller a 22 °C que es la temperatura deseada del laboratorio. Esta tabla nos dio valores de calor latente 115 Kcal/h y sensible 75 Kcal/h. Cabe mencionar que estos datos solo se dan a modo de

información ya que los cálculos los realizó internamente el software TRANE 700 pero los valores de calor sensible y latente coinciden con los del programa. El software solo pide ingresar número de ocupantes y actividad que realizan (CambnioClimaticoGlobal.com, 1998).

Se estableció que el calor sensible que producen las personas junto con el calor que produce la iluminación, son dos factores de calentamiento bastante importante, a la hora de climatizar espacios, tal es su importancia que muchos grandes almacenes modernos de Europa, pueden calentarse en invierno gracias únicamente a su sistema de iluminación y al calor producido por los usuarios.

Hoy en día, existen en el mercado una amplia variedad de software que ayudan a la adecuada selección de sistemas de climatización, según los parámetros y condiciones tanto interiores como exteriores a los cuales se encuentra sometido el espacio a climatizar.

Los programas de cálculo, se constituyen una herramienta útil ya que realizan operaciones y cálculos complejos, además de ofrecer a sus usuarios una amplia gama de productos para que este escoja la que mejor se ajuste a sus necesidades y su poder de adquisición. También realizan una simulación para determinar el momento en el que tendrá lugar la carga máxima de refrigeración, así como su valor y potencia del equipo entre otros.

En la selección del equipo, se utilizó el software TRACE 700 de TRANE COMPANY este software mostró que de acuerdo a las condiciones internas y externas a las cuales está sometido el laboratorio de refrigeración, la capacidad requerida para el equipo fue de 2.4 TR (toneladas de Refrigeración) y que el equipo que más se acercaba a este valor por encima, es el SunSource Energy Systems HVAC, de Lennox con una capacidad de 3TR (valor estandarizado) y que según la equivalencia en el sistema internacional de unidades (SI) es 10551 W. En la tabla 2 del anexo se encuentra el pantallazo de los resultados arrojados por el programa.

En la selección del equipo, como se mencionó anteriormente, el software utilizado para los cálculos y selección del equipo fue el TRACE 700 de TRANE COMPANY ya que es uno de los programas líderes en el mercado en cuanto al cálculo de cargas térmicas, el diseño de sistemas de climatización, así como el análisis energético y económico de dichos sistemas, comparado con otros programas también de buen uso que existen en el mercado como el Hourly Analysis Program (HAP) 4.40 de Carrier; aunque ambos cumple con los estándares de sociedades especializadas, el TRANE 700 presento ciertas ventajas sobre el HAP. A continuación se presentan algunos aspectos comparativos en cuanto a ventajas, desventajas y similitudes de estos dos programas:

En cuanto a la introducción de las características geométricas del espacio a acondicionar, el HAP 4.40 permite definir un número ilimitado de salas, pero encuentra limitaciones a la hora de definir las UC3M Diseño del sistema HVAC del edificio eléctrico de una central de ciclo combinado 59 particiones interiores del edificio, ya que solo permite introducir dos particiones por sala, mientras que el TRACE 700 presenta las ventajas de permitir definir más particiones, así como de crear una serie de plantillas con características como la iluminación o las cargas internas, que se pueden aplicar a otras salas posteriormente si tener que introducirlas de nuevo.

Por otro lado, en cuanto a la introducción de las condiciones interiores de diseño en cada uno de los programas, ambos ofrecen unas posibilidades muy similares, permitiendo definir las diferentes cargas existentes, así como los horarios en los que se dan.

A la hora de seleccionar el sistema de climatización más adecuado para el problema previamente definido, tanto el HAP 4.40 como el TRACE 700 poseen una amplia base de datos, con los sistemas habitualmente empleados en las soluciones de climatización de los edificios. Sin embargo, el HAP 4.40 no permite introducir más elementos adicionales que el TRACE 700,

como puedan ser baterías de precalentamiento o humidificadores de aire. Por esta razón este programa permite ajustar más su solución a las necesidades de cada uno de los proyectos realizados.

En cambio, cuando se estudian aspectos económicos de los sistemas instalados, como su coste de utilización o el de amortización, el TRACE 700 ofrece mejores prestaciones, puesto que posee incluso información sobre tarifas eléctricas de diferentes compañías, que ayudan a conocer el sistema que resultará más barato.

Como se pudo observar en las comparaciones los dos programas son utilizados y confiables, pero el TRACE 700 ofrece mayores beneficios en cuanto a aspectos económicos y una amplia base de datos en sus registros.

El siguiente paso, después de tener la capacidad del equipo a instalar, fue el cálculo de los ductos, esta actividad se hizo con el fin de garantizar la so portabilidad en el techo y adecuada disposición para el mejor aprovechamiento del espacio del sistema de ductos que van a hacer el intercambio de aire al interior del recinto.

Material del Techo: Teja de barro

Material al Interior del techo: vigas de Madera

Orientación del Techo: Norte – Sur

Los ductos del sistema, fueron los rectangulares fabricados en lámina galvanizada de PIR-ALU, de igual manera los difusores. Cuando se presentan codos en los ductos, se aumenta la fricción lo cual llevó a que la utilización de codos en el sistema fueran radiales para mejorar el deslizamiento del aires y reducir las perdías al interior.

Con un valor de estanqueidad de sello tipo “C” según la certificación europea CEN/TC156/WG3N207 4ª revisión, Apto 4.3 CE Internacional. Nuestro sistema prácticamente

no tiene fugas de aire, lo que permite cumplir ampliamente con las condiciones de diseño de los sistemas, y por lo tanto logra una operación más eficiente de los mismos. Otra ventaja de nuestro sistema, es que mientras los sistemas tradicionales de construcción de ductos se permiten hasta un 40% de pérdida de aire por fugas según EURONORMA, PIR-ALU reduce prácticamente a CERO las pérdidas por fuga logrando un sistema más eficiente. Además de que las láminas son ligeras y fáciles de instalar, con una mejor operación de las unidades hay una importante reducción del efecto de Isla de Calor Urbano. Además de estas ventajas, la lámina galvanizada PIR-ALU, emplea un sistema constructivo hasta 50% más rápido que el sistema tradicional de lámina galvanizada + fibra de vidrio, el desperdicio máximo esperado del 10% y estandarizado de 5% y PIR-ALU pesa alrededor de 10 veces menos que los ductos tradicionales de lámina galvanizada + fibra de vidrio.

El siguiente paso fue el diseño de los planos. A la hora de diseñar, fue necesario contar con los planos de diseño para tener una idea global de lo que se desea implementar.

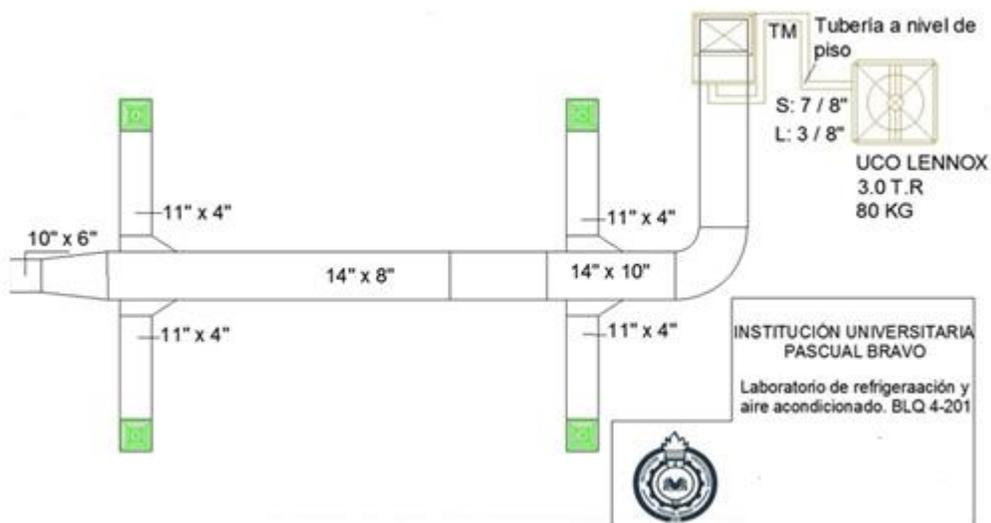
Para el diseño de los ductos, se utilizó el programa de diseño AutoCAD ya que es probablemente el software comercial más popular de CAD hoy en día. Este software fue desarrollado por Autodesk su primera versión fue realizada en el año 1982. AutoCAD es uno de los primeros programas informáticos de CAD que se ejecutaron en ordenadores personales y su popularidad sigue intacta hasta el día de hoy.

En esta actividad se recogieron los datos de las toneladas de refrigeración que nos dio el programa TRACE 700 para nuestro sistema y con base en ello se hicieron los cálculos necesarios para la capacidad del aire que iba a circular por ellos en pies cúbicos por minuto logrando así determinar las medidas de los ductos como sigue a continuación:

Los resultados para el sistema de conductos se tomó del resultado de la selección de

equipo y con la velocidad en cfm (pie cubico por minuto) la de unidad manejadora, dado esto, dio un resultado donde 1TR=400 cfm y tenemos una máquina de 3TR=1200 cfm. Siendo así, como resultado nos da un sistema de conductos de 14"x10", 14"x8" y 10"x6" con una fricción de 0.15" H<sub>2</sub>O/mmft<sup>2</sup>, y con sistema balanceado de 200cfm por difusor.

Longitud del ducto 8m, llevado a pies 26ft, con una caída de presión de 0.039"H<sub>2</sub>O, tipo de conducto (rectangular-pira-lu) y para la salida de aire se utilizaran 6 difusores 3D/4 vías con una fricción de 0.1"H<sub>2</sub>O.



### Plano mecánico del sistema de aire acondicionado

Como se Mencionó en la primera actividad del análisis, se conocieron las condiciones ambientales al que va a estar expuesto. Para el desarrollo de esta actividad, se recogió información sobre las condiciones e incidencia de la radiación solar del país, en especial de Medellín, esta se recogió en la página Web del el IMAC, del atlas de radiación solar y de la cartilla energías renovables de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). Esta

información fue de vital importancia, con ella se determinó si el proyecto iba a ser viable o no.

### **Condiciones climáticas de Medellín.**

La latitud y altitud de la ciudad de Medellín, dan como resultado que esté presente un clima templado y húmedo. En los días soleados a mediodía las temperaturas pueden llegar hasta los 30 °C. En un día parcialmente nublado las temperaturas promedio suben a los 27 °C al mediodía y en los lluviosos alcanza apenas los 24 °C.

Radiación solar según el Tipo de Cielo y Radiación Solar sobre Colombia por Regiones

<b>TIPO DE CIELO</b>	<b>RADIACION SOLAR en W/m<sup>2</sup></b>
<b>Constantemente nublado</b>	<b>Menos de 300</b>
<b>Nubosidad media</b>	<b>Entre 300 y 400</b>
<b>Nubosidad mínima</b>	<b>Entre 400 y 500</b>
<b>Cielo despejado</b>	<b>500 en adelante</b>

**Tabla 3. Radiación solar según el tipo de cielo**

Se pudo establecer que la máxima cantidad disponible de radiación solar sobre la superficie de la tierra en un día claro, fluctúa alrededor de 1 000 vatios pico por metro cuadrado (Cartilla, 2015).

<b>Región</b>	<b>Radiación Solar (kW/m<sup>2</sup>/año)</b>
<b>Guajira</b>	<b>1980 - 2340</b>
<b>Costa Atlántica</b>	<b>1260 - 2340</b>
<b>Orinoquia</b>	<b>1440 - 2160</b>
<b>Amazonia</b>	<b>1440 - 1800</b>
<b>Andina</b>	<b>1080 - 1620</b>
<b>Costa Pacífica</b>	<b>1080 - 1440</b>

Tabla 4. Radiación solar en Colombia por regiones

En Medellín el nivel de radiación solar promedio es de 4,5 kwh-m<sup>2</sup>/día, lo que hace el proyecto viable y permite diseñar el sistema para la autonomía requerida. Aunque los días completamente despejados en la capital Antioqueña son poco comunes, un día normal en Medellín es parcialmente nublado con intervalos de sol y de sombra, lo que genera que la tasa de insolación en Medellín sea baja, 5 o 6 horas de sol al día en promedio, comparada a la de ciudades como Barranquilla y Cartagena que tiene entre 7 y 8 horas de sol al día en promedio.

En este aparte, se presenta aspectos importantes de los paneles solares, como su potencia, corriente nominal, eficiencia y número de paneles instalados, material constitutivo y como se realizó la selección del mismo.

El panel solar ya viene incorporado al equipo que selecciono el software ya que este está estandarizado con el equipo de climatización y van de la mano, lo que varía es la potencia que adquiere el sistema de acuerdo a la cantidad de paneles que el usuario quiera incorporar. Para nuestro proyecto se utilizaron 4 paneles Sunmodule Mono cristalino con una capacidad de potencia 275 Wp (vatios pico) cada uno y generar 8.94 A de corriente nominal, cuenta con 4 micro inversores para conexión en serie y con la tecnología adaptada para alimentar el sistema de refrigeración del HVAC de Lennox.

La eficiencia de un panel se define según la ecuación 1 como la relación entre la potencia entregada W (kW) y el producto de área del panel solar A<sub>s</sub> (m<sup>2</sup>) y la incidencia de la radiación I<sub>p</sub> (kW\*m<sup>-2</sup>). Una incidencia de la radiación I<sub>p</sub> = 1 kW\*m<sup>-2</sup> es normalmente usado para calcular la eficiencia nominal (Infante Ferreira).

$$\eta_{sol-pow} = \frac{W}{I_p * A_s} = \frac{W}{Q_s}$$

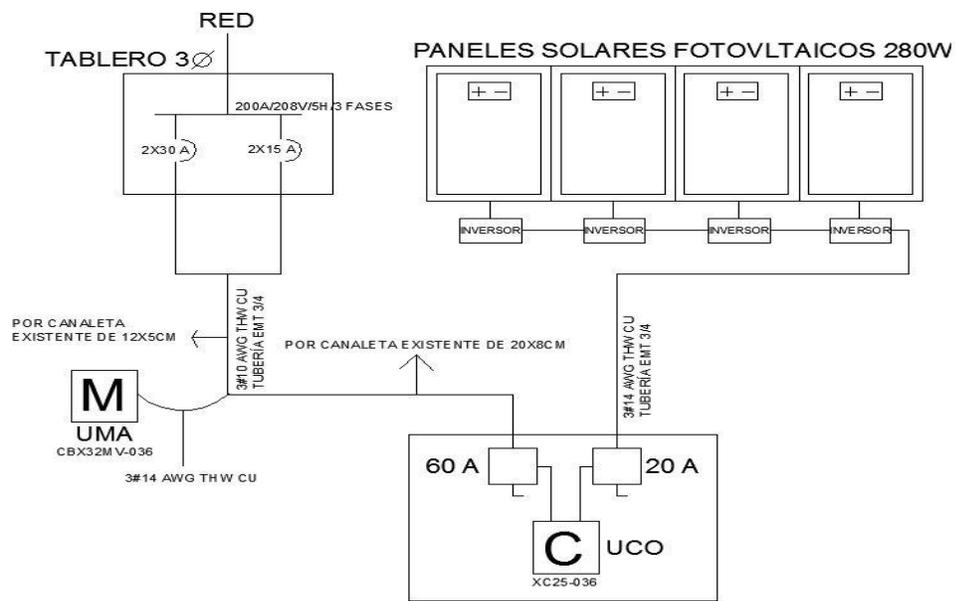
### Ecuación 1 eficiencia de un panel solar

El Sunmodule de 270 Wp tiene una eficiencia entre el 15.5 y 16.4%, tiene unas dimensiones de 6.14" x 6.14" (156 mm x 156 mm), Peso de 19 kg aprox.

En el mercado existen distintos tipos de paneles solares, sin embargo, los mono cristalinos, poli cristalinos se encuentran entre los más populares. Cada uno de ellos tiene sus ventajas y Desventajas frente al otro.

### **Conexión del analizador de redes**

Con el objetivo de encontrar problemas en el óptimo funcionamiento del sistema de climatización o simplemente asegurarse de su buen funcionamiento, se conectó en su gabinete principal un analizador de redes en un periodo de 24/05/2016 02:01:54 p.m. hasta 28/05/2016 02:57:34 p.m. dando un total en horas de 4 días (96h). La idea de conectar un analizador de redes en un sistema fotovoltaico híbrido nos dio una idea de lo que pueden ser ventajas o desventajas en el uso de este tipo de sistema ya que puede que presenten más o menos problemas o que estén en condiciones muy similares de inconvenientes



Plano eléctrico del sistema de aire acondicionado

Los datos arrojados por el analizador de red fueron:

GABINETE PRINCIPAL 240/120V		Tiempo de Medición [h]
ENERGIA ACTIVA [kWh]	849,35	26:20:00
ENERGIA REACTIVA [kVARh]	16,689	
ENERGIA APARENTE [kVAh]	1528,7	
PRECIO CONSUMO kWh [COP]	317.546,48	

Tabla 1. Consumos kWh sólo con red.

<b>GABINETE PRINCIPAL 240/120V</b>		Tiempo de Medición [h]
ENERGIA ACTIVA (kWh)	763,64	33:00:00
ENERGIA REACTIVA (kVARh)	16,804	
ENERGIA APARENTE (kVAh)	1326,143	
PRECIO CONSUMO kWh [COP]	285.502,08	

Tabla 2. Consumos kWh red + paneles solares

Se tomaron diferentes medidas en el consumo del sistema de aire acondicionado discriminando si trabajaba con energía solar o sólo con la red eléctrica arrojando los resultados mostrados en la tabla 1 y la tabla 2 tomando para el precio de la energía un valor de 373,870 \$/kWh según la cuenta de servicios públicos de la IUPB de Abril del 2016.

Los intervalos de tiempo distribuidos entre el 24 y el 28 de mayo fueron:

<b>Intervalos de tiempo según tipo de funcionamiento del sistema de aire acondicionado híbrido</b>					
Ciclo	Fecha inicio	Fecha final	Hora inicio	Hora final	Descripción
1	24-may-16	25-may-16	02:02 p. m.	05:45 a. m.	<b>Hibrido</b>
2	26-may-16	27-may-16	06:00 p. m.	06:00 a. m.	<b>Solo red</b>
3	27-may-16		06:00 a. m.	06:00 p. m.	<b>Hibrido</b>
4	27-may-16	28-may-16	06:00 p. m.	08:20 a. m.	<b>Solo red</b>
5	28-may-16		08:20 a. m.	02:02 p. m.	<b>Hibrido</b>

Tabla 3. Especificación de intervalos de tiempo según tipo de funcionamiento.

El costo del consumo tanto solo con red como con paneles solares no estuvo muy alejado aunque se presentó un mayor consumo en los intervalos donde el sistema funcionó sólo con la red. Al ser los consumos muy parecidos, se ve con claridad el aporte que están representando los paneles solares para disminuir costos de energía y lo favorable que es esto a largo plazo.

### **Especificaciones técnicas del equipo**

A continuación se presentan las especificaciones técnicas de algunas de las partes más importantes del equipo de aire acondicionado seleccionado:

#### **Unidad manejadora (UMA)**

Este equipo es el encargado de hacer la transferencia de calor entre el aire del ambiente interior y el gas refrigerante que es conducido por un serpentín o radiador, el cual es atravesado por el aire forzado por un ventilador.

La unidad manejadora del Sunsource de Lennox tiene una capacidad de ventilación de 1200 cfm, cuenta con un motor ventilador tipo centrífugo (variable), un serpentín, una válvula de expansión y su tubería de refrigeración tiene un diámetro de 3/8 descarga y 7/8 succión y su sistema de control es compatible con WI-FI.



### **Unidad condensadora (UCO)**

La unidad condensadora, de este equipo es la encargada de hacer la transferencia de calor entre el gas refrigerante y el ambiente exterior, por medio de un serpentín o radiador, el cual es atravesado por el aire forzado por un ventilador.

La unidad condensadora del equipo seleccionado, tiene una capacidad de 3TR y cuenta con un motor ventilador axial, un serpentín, un compresor tipo scroll (inverter), su tubería de refrigeración tiene un diámetro de 3/8 en descarga y 7/8 en succión y su sistema de control es compatible con WI-FI.



### **Paneles fotovoltaicos**

El sistema cuenta con 4 paneles mono cristalinos, con una capacidad de generar 16 amperios de (I) nominal y cuenta con 4 micro inversores para conexión en serie y con la tecnología adaptada a este sistema de refrigeración. (Duque, 2015)



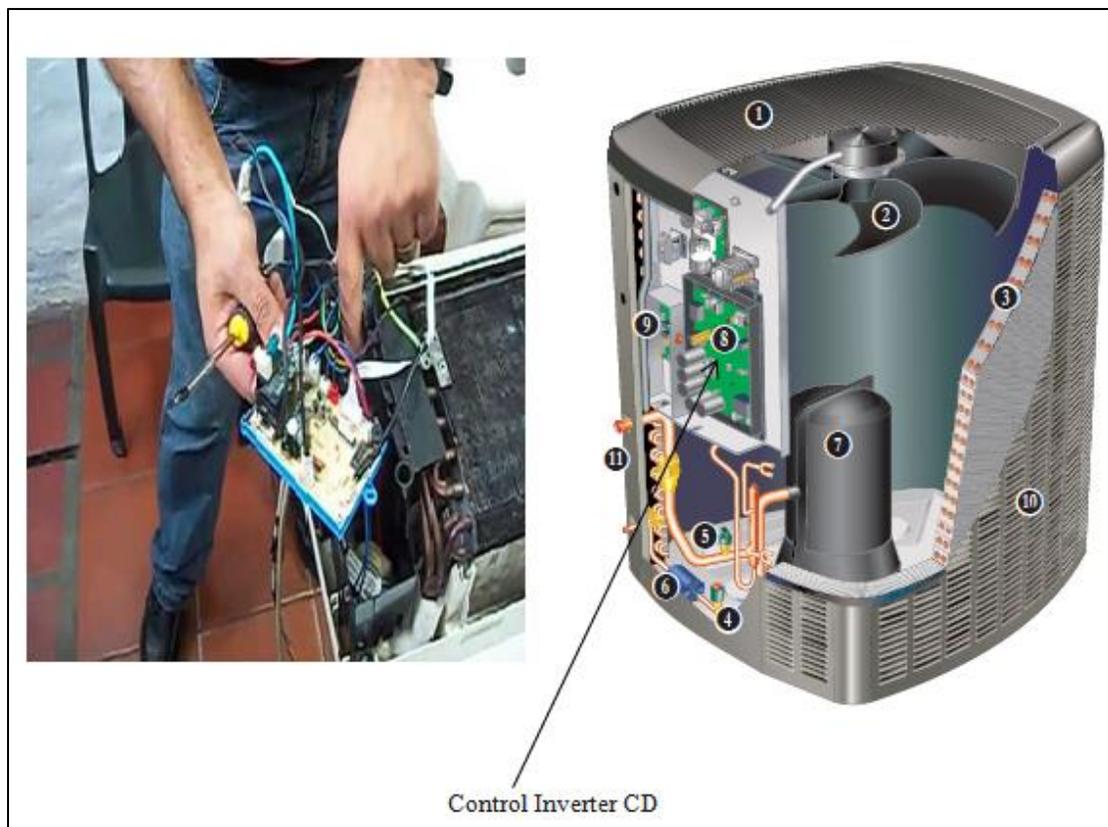
### **MICRO INVERSOR SOLAR**



### **Control inverter cd**

- Convierte el voltaje de línea de CA en voltaje CD variable filtrado.
- Proporciona el funcionamiento continuo del compresor, mientras ajusta la capacidad de acuerdo con la temperatura interior.
- Ajusta la salida del compresor en incrementos tan pequeños como 1%.

- La detección precisa de la carga de refrigeración evita cambios frecuentes en la capacidad y garantiza una operación eficiente y económica.
- El circuito de corrección de factor de potencia (PFC) supervisa el bus de CC para condiciones de voltaje alto, bajo y anormal para proteger el compresor.
- Dos LEDs (rojo y verde) indican el estado operativo del inversor y ayudan en la solución de problemas.
- El filtro de ruido reduce la interferencia electromagnética no deseada (EMI).
- El reactor inversor (montado por separado) añade inductancia a la línea entre el inversor y el compresor para limitar el aumento de corriente y proteger el compresor.



Ductos PIR-ALU



## Conclusión

Según los cálculos de TR (toneladas de refrigerante) arrojados por el software **TRACE700**, se escogió para el montaje el aire acondicionado SunSource XC25, de la empresa Estadunidense Lennox ya que este brinda la mejor opción en cuanto a la necesidad que se requiere para el laboratorio de refrigeración de la IUPB, debido a que es una unidad de climatización que recoge la radiación solar y la transforma en energía eléctrica a través de los paneles fotovoltaicos que la integran, se puede decir con absoluta seguridad que el sistema SunSource está diseñado para reducir costos de energía en su funcionamiento y permite generar más energía de la que consume. De igual manera, estos sistemas de aire acondicionado, aparte de cumplir con la función de brindar confort, cumplen con una tarea mucho más importante, ayudar a cuidar nuestro entorno, actualmente por todos los medios y formas posibles, los equipos, maquinas, construcciones, y demás, buscan a cabalidad que sean productos amigables con nuestro medio ambiente, conjugándose así con uno de los aspectos más importantes este proyecto el URE (Uso Racional de la Energía). Otro aspecto muy claro y que no se puede obviar, es que cuando se piensa en sistemas de climatización, es exitoso utilizar las que cuentan con tecnología inverter; a pesar de que estos equipos cuyo compresor se regula con esta tecnología, pueden inicialmente resultar una inversión costosa, visto y analizando todos los factores que ofrece y el porcentaje de ahorro tanto energético como económico traducido en la cuenta de mensual de servicios, es una inversión que vale la pena considerar además de que se contribuye a la conservación y mejor aprovechamiento de los recursos energéticos.

Una vez conocidos los aspectos teóricos de mayor relevancia para el cálculo como lo son: las condiciones ambientales tanto interiores y exteriores del recinto que se va a acondicionar, número de ocupantes y actividad que desarrollan en el espacio, entre otras, resulta evidente la

ayuda que puede aportar el uso de programas informáticos a la hora de calcular las cargas térmicas en el edificio, así como a la hora de seleccionar posteriormente los sistemas y equipos más adecuados.

La potencia que necesita el sistema de climatización para su funcionamiento, es de 7,033 W; con los 4 paneles solares instalados, cada uno de 275 Wp (vatios pico) se tiene una potencia total de 1,100 Wp (vatios pico), los cuales son aportados a la red para el funcionamiento del aire acondicionado, esta potencia por sí sola no sufre la demanda necesaria, por lo cual se hace necesario el aporte de la red para poner el marcha el equipo.

Como se puede observar en la tabla 1. Consumos kW/h sólo con red, y la tabla 2. Consumos kW/h red + paneles solares = (Hibrido), los consumos energéticos de ambos sistemas no estuvieron muy alejados el uno del otro, siendo que el sistema Hibrido tuvo una mayor cantidad de horas de funcionamiento con 6 horas y 40 minutos mas que funcionamiento del equipo solo con la red, la diferencia de precio consumo KW/h [COP] entre ambos sistemas fue de tan solo \$ 32.044,4. Aunque que se ve con claridad el aporte que están representando los paneles solares para disminuir costos de energía. Cabe mencionar que el sistema Hibrido funcionando a intervalos de tiempo aún mayores por ejemplo de 8 horas diarias, podría representar a largo plazo consumos energéticos mucho menores que si el sistema funcionara solo con la red y por ende esto se podría traducir económicamente en ahorros de consumo de hasta \$ 20'213.446,43 anuales, con una tasa de retorno de 2,29 años (a modo de información la inversión que se hizo para el proyecto fue de \$ 46'317.998).

### **Recomendaciones**

El aire acondicionado Lenox SunSource CX 25 tiene una capacidad estándar de 3 TR (Toneladas de Refrigeración); según la información suministrada por el software TRACE 700-TRANE el aire acondicionado requerido para el proyecto fue de 2.4TR quedando así un remanente potencial de refrigerante de 0,6TR que se podría aprovechar para la climatización de otros espacios aledaños al laboratorio de refrigeración. En este mismo sentido, cabe mencionar que el equipo cuando está en marcha no funciona a plena carga solo aprovecha un 0,75 Wp (vatios pico) del refrigerante equivalente a un 25% de su capacidad.

La energía tomada del sol puede generar inicialmente un ahorro del 50% del consumo actual de un equipo convencional, pero el porcentaje de ahorro se puede aumentar según la cantidad de paneles solares que sean acoplados, esto quiere decir que entre más paneles más ahorro se tendrá.

Otra de las posibilidades que nos ofrece este sistema es la funcionalidad de asociar la iluminación de la zona al sistema, ya que los paneles y su sistema de comunicación son capaces de suplir esta necesidad.

## Bibliografía

- (K.F. Fong, T. C. (2008). Renewable and Sustainable Energy Reviews 12 (2008) 891-959) ; . En (. Zondag, *Comparative study of different solar cooling systems for buildings in* (págs. 891-959). Ho Kom: Ho Kom. Obtenido de A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews
- Acondicionado, D. A. (12 de Enero de 2007). *www.definicionabc.com*. Obtenido de [www.definicionabc.com](http://www.definicionabc.com)
- Albertini, M. (30 de Noviembre de 2015). La UIT publica datos mundiales anuales sobre las TIC . *MEDIA CENTRE UTI*, pág. 45.
- Álvarez, C. (2011 de diciembre de 2011). Cuando las placas fotovoltaicas son más baratas que la red eléctrica. En C. Álvarez, *Placas fotovoltaicas* (pág. 298). Madrid: El País. Obtenido de Tweets por @clementealvarez: <http://blogs.elpais.com/eco-lab/2011/12/cuando-las-placas-fotovoltaicas-son-mas-baratas-que-la-red-electrica.html>
- CambioClimaticoGlobal.com. (6 de Mayo de 1997). *Cambio Climático, Calentamiento Global y Efecto Invernadero*. Obtenido de CambioClimaticoGlobal.com: <http://cambioclimaticoglobal.com/blog/>
- CambnioClimaticoGlobal.com. (6 de Mayo de 1998). *Cambio Climatico Global y Efecto Invernadero*. Obtenido de CambnioClimaticoGlobal.com: <http://cambioclimaticoglobal.com/blog/>
- cienciaytecnologia533. (8 de junio de 2013). [HTTPS://ES.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/ENERG%C3%ADA\\_ALTERNATIVA](HTTPS://ES.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/ENERG%C3%ADA_ALTERNATIVA). Obtenido de <https://cienciaytecnologia533.wordpress.com/>
- Delta Volt SAC. (2016). Energía Renovable - Solar, Eólica e Hidráulica. *Sol, Viento y Agua: Fuentes de Energía Limpia*.
- Duque, B. y. (2015). Tesis de grado ITPB. Medellín.

elfinanciero. (5 de octubre de 2006). Enfrentemos juntos los desafíos. *El Financiero*, págs. 9-15.

Obtenido de [elfinanciero.com.mx/economia/tarifas-electricas-ewntre las mas caras del mundo.htm](http://elfinanciero.com.mx/economia/tarifas-electricas-ewntre-las-mas-caras-del-mundo.htm)

Energía Aplicada. (2012). Estudio comparativo de los sistemas de refrigeración solar con colectores solares integrados en el edificio para su uso en regiones subtropicales como Hong Kong. En C. L. KF Fong, *Energía Aplicada* (págs. 189-195 Vol 90 No 1). Hong Kong: J. Yan.

España, M. d. (1999). Materiales didácticos. *Información general : gestor.contenidos@cnice.mec.*, 100-200.

Fluminense, TGH Universidade Federal. (02 de Febrero de 2012). *ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOSÂ E DO MEIO AMBIENTE*. Obtenido de Artigo do COBENGE 2012 XL Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia:  
[http://www.tgh.uff.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=6&Itemid=10](http://www.tgh.uff.br/index.php?option=com_content&view=article&id=6&Itemid=10)

Fotovoltaicas, M. C. (28 de Febrero de 2001). *Energía solar fotovoltaica*. Obtenido de [miliarium.com/bibliografia/monografias/Energia/EnergiasRenovables/EnergiaSolarFotovoltaica.asp](http://miliarium.com/bibliografia/monografias/Energia/EnergiasRenovables/EnergiaSolarFotovoltaica.asp)

HIMAT. (2000). Investigación Meteorológica de Colombia. En G. P. Mosquera. Bogotá : Santafé.

[http://enciclopedia.us.es/index.php/Calidad\\_de\\_vida](http://enciclopedia.us.es/index.php/Calidad_de_vida). (30 de octubre de 2011).

[http://enciclopedia.us.es/index.php/Calidad\\_de\\_vida](http://enciclopedia.us.es/index.php/Calidad_de_vida). Obtenido de

[http://enciclopedia.us.es/index.php/Calidad\\_de\\_vida](http://enciclopedia.us.es/index.php/Calidad_de_vida)

<http://www.elfinanciero.com.mx/mercados>. (2015). EF MERCADOS. *EL FINANCIERO*.

INSHT-. (8 de NOVIEMBRE de 1995). *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT)*.

Obtenido de

[http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/FichasNotasPracticas/Ficheros/np\\_enot\\_99.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/FichasNotasPracticas/Ficheros/np_enot_99.pdf)

K.F. Fong \*, T. C. ( 8 de December de 2009). *Comparative study of different solar cooling systems for buildings*. Obtenido de [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com), [www.elsevier.com/locate/solener](http://www.elsevier.com/locate/solener)

K.F. Fong \*, T. C. (9 de diciembre de 2009). Obtenido de <http://cambioclimaticoglobal.com/blog/>

Medellín, S. M. (2014). Condiciones Ambientales de Medellin. En M. d. Medellín. Medellín: Municipio de Medellín.

News from the REN21 Network. (4 de Junio de 2006). *REN21 promotes renewable energy*. Obtenido de [secretariat@ren21.net](mailto:secretariat@ren21.net): [www.ren21.net](http://www.ren21.net)

Nieto, A. (2016). (Antonio Nieto, 2016); ([mundohvacr.com.mx/mundo/2016/09/crece-capacidad-almacenamiento-refrigerado/](http://mundohvacr.com.mx/mundo/2016/09/crece-capacidad-almacenamiento-refrigerado/)).

SAIREC . (29 de septiembre de 2010). Renewable energies. *Energía Solar*, págs. 227-244.

SOLAR MOUNTING QUOTE. (2012). SOLAR MOUNTING QUOTE. *TOP50 SOLAR*.

UPME, SIMEC. (6 de Octubre de 2015). *Energía Sustentable en Colombia*. Obtenido de [www.si3ea.gov.co/ure/](http://www.si3ea.gov.co/ure/)

[wikipedia.org](http://wikipedia.org). (21 de Mayo de 2010). [es.wikipedia.org/wiki/Confort](http://es.wikipedia.org/wiki/Confort). Obtenido de [es.wikipedia.org/wiki/Confort](http://es.wikipedia.org/wiki/Confort)

[www.eficienciaenergetica.gov.co](http://www.eficienciaenergetica.gov.co). (18 de Octubre de 2014 ). *Reglamento Técnico de Etiquetado -RETIQ*. Obtenido de [eficienciaenergetica.gov.co](http://eficienciaenergetica.gov.co): [www.eficienciaenergetica.gov.co](http://www.eficienciaenergetica.gov.co)

## Anexos

ACTIVIDAD REALIZADA	28 °C		27 °C		26 °C		22 °C	
	Sensible	Latente	Sensible	Latente	Sensible	Latente	Sensible	Latente
Sentado en reposo. Escuela.	45	45	50	40	55	35	60	30
Sentado trabajo ligero. Instituto.	45	55	50	50	55	45	60	40
Oficinista, actividad ligera.	45	70	50	65	55	60	60	50
Persona de pie. Tienda.	45	70	50	75	55	70	65	60
Persona que pasea. Banco.	45	80	50	75	55	70	65	60
Trabajo sedentario.	50	90	55	85	60	80	70	70
Trabajo ligero taller.	50	140	55	135	60	130	75	115
Persona que camina.	55	160	60	155	70	145	85	130
Persona que baila.	70	185	75	175	85	170	95	155
Persona en trabajo penoso.	115	250	120	250	125	245	130	230

Anexo 1. Calor Sensible y latente por persona de acuerdo a la actividad que realiza

Aire Acondicionado Solar

Room Checksums

By Trane

Room - 001

COOLING COIL PEAK				CLG SPACE PEAK				HEATING COIL PEAK				TEMPERATURES			
Peaked at Time:		Mo/H: 8 / 15		Mo/H: 8 / 13		Mo/H: Heating Design		Mo/H: Heating Design		Mo/H: Heating Design		Cooling		Heatin	
Outside Air:		OADBWSHR: 91 / 81 / 179		OADB: 54		OADB: 85		OADB: 85		OADB: 85		SADB		SADB	
Space	Plenum	Net	Perce	Space	Perce	Space Peak	Coil Peak	Perce	Space Peak	Coil Peak	Perce	Ra Return	80.8	72.3	
Sens. + Btuh	Sens. + Lat Btuh	Total Btuh	Of (%)	Sensible Btuh	Of (%)	Space Sens Btuh	Tot Sens Btuh	Of (%)	Space Sens Btuh	Tot Sens Btuh	Of (%)	Ret/OA Fr	80.8	72.3	
<b>Envelope Loads</b>				<b>Envelope Loads</b>				<b>Envelope Loads</b>				<b>AIRFLOW\$</b>			
Skyllite Solar	0	0	0	0	0	Skyllite Solar	0	0	0	0	0.00	Roof Cond	0	0	
Skyllite Cond	0	0	0	0	0	Skyllite Cond	0	0	0	0	0.00	Glass Solar	2,135	8	
Roof Cond	0	8,724	31	0	0	Roof Cond	0	1,991	0	1,991	###	Glass/Door	594	2	
Glass Solar	2,135	0	2,135	8	3,683	Glass Solar	0	0	0	0	0.00	Wall Cond	909	4	
Glass/Door	594	0	594	2	296	Glass/Door	646	646	###	646	###	Partition/Door	2,169	13	
Wall Cond	909	131	1,040	4	500	Wall Cond	795	1,005	###	795	###	Floor	357	2	
Partition/Door	2,169	0	2,169	8	2,169	Partition/Door	-1,291	-1,291	###	-1,291	###	Adjacent Floor Infiltration	0	0	
Floor	357	0	357	1	357	Floor	-212	-212	###	-212	###	Main Sec Fan	873	873	
Adjacent Floor Infiltration	0	0	0	0	0	Adjacent Floor Infiltration	0	0	0.00	0	0.00	Nom AHU	0	0	
Sub Total	8,164	8,856	15,019	53	8,985	Sub Total	-83	2,136	###	2,136	###	Infil	0	0	
<b>Internal Loads</b>				<b>Internal Loads</b>				<b>Internal Loads</b>				<b>ENGINEERING CKS</b>			
Lights	2,184	0	2,184	8	2,184	Lights	0	0	0.00	0	0.00	MinStop/Return	873	873	
People	10,522	0	10,522	37	5,848	People	0	0	0.00	0	0.00	Exhaust	0	0	
Misc	683	0	683	2	683	Misc	0	0	0.00	0	0.00	Rm Ech	0	0	
Sub Total	13,389	0	13,389	47	8,713	Sub Total	0	0	0.00	0	0.00	Auxiliar	0	0	
Ceiling Load	1,366	-1,366	0	0	1,044	Ceiling Load	339	0	0.00	339	0.00	Leakage	0	0	
Ventilation	0	0	0	0	0	Ventilation	0	0	0.00	0	0.00	Leakage	0	0	
Adj Air Trans	0	0	0	0	0	Adj Air Trans	0	0	0	0	0	Exhaust	0	0	
Dehumid. Ov Sizing	0	0	0	0	0	OvUndr	0	0	0.00	0	0.00	Rm Ech	0	0	
OvUndr	0	0	0	0	0	Exhaust Heat	0	0	0.00	0	0.00	Auxiliar	0	0	
Exhaust Heat	0	0	0	0	0	OA Preheat Diff.	0	0	0.00	0	0.00	Leakage	0	0	
Sup. Fan Heat	0	0	0	0	0	RA Preheat Diff.	-276	###	0.00	-276	###	Leakage	0	0	
Ret. Fan Heat	0	0	0	0	0	Additional Reheat	0	0	0.00	0	0.00	% OA cfm/ft <sup>2</sup>	1.87	1.87	
Duct Heat	0	0	0	0	0	System Plenum Heat	0	0	0.00	0	0.00	cfm/ton	368.88	368.88	
Underfr Sup Ht	0	0	0	0	0	Underfr Sup Ht Pkup	0	0	0.00	0	0.00	ft <sup>3</sup> /ton	107.54	107.54	
Supply Air Leakage	0	0	0	0	0	Supply Air Leakage	0	0	0.00	0	0.00	Btu/hr-ft <sup>2</sup> No.	60.75	0.00	
Grand Total	20,918	7,490	28,409	100.00	16,741	Grand Total	278	1,862	100.00	278	1,862		23		

COOLING COIL SELECTION										AREAS		HEATING COIL SELECTION			
Total	Sens	Coil	Enter DBWSHR			Leave DBWSHR			Gross	Glass	Capacity	Coil	Ent	Lvg	
ton	MBh	MBh	cfm	°F	°F	g/ft	°F	°F	g/ft	ft <sup>2</sup>	ft <sup>2</sup>	ft <sup>2</sup>	°F	°F	
Main	2.4	28.4	23.7	673	80.8	81.7	68.1	51.0	49.4	80.0	Floor	488	0	0	0.0
Aux Clg	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Part	695	0	0	0.0
Opt	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Int	0	0	0	0.0
											ExFtr	488	0	0	0.0
Total	2.4	28.4									Roof	488	0	0	0.0
											Wall	269	43	16	0.0
											Opt	0	0	0	0.0
											Est	0	0	0	0.0
											Total	0.0	0.0	0.0	0.0

Project: Tels Duque Inc  
 Dataset: Tels Duque Inc  
 TRACED 700 v8.2.4 calculated at 05:30 PM on 09/10/2015  
 Alternative - 1 System Checksums Report Page 1 of 1

Anexo 2. Pantallazo del Software TRANE 700 donde se sugiere las TR a considerar