



Cofinanciado por la Unión Europea



# Introducción de Equipos de Aire Acondicionado Ecoeficientes tipo split con R-290 en Costa Rica

Implementado por





Como empresa federal, la GIZ asiste al Gobierno de la República Federal de Alemania en su labor para alcanzar sus objetivos en el ámbito de la cooperación internacional para el desarrollo sostenible.

**Publicado por:**  
Deutsche Gesellschaft für  
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Domicilios de la Sociedad  
Bonn y Eschborn, Alemania

Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5  
65760 Eschborn, Germany  
T: +49 6196 79-0  
F +49 61 96 79-11 15

E: [philipp.denzinger@giz.de](mailto:philipp.denzinger@giz.de)  
I: [www.giz.de/en](http://www.giz.de/en), [www.giz.de/proklima](http://www.giz.de/proklima), [www.green-cooling-initiative.org](http://www.green-cooling-initiative.org)

**Denominación del programa/proyectos:**

Contribuciones Frescas para Combatir el Cambio Climático (C4)  
Promoción de las Energías Renovables y la Eficiencia Energética en Centroamérica (Fase III) 4E  
Una eliminación sostenible y respetuosa con el clima de las sustancias que agotan la capa de ozono (SPODS)

**Responsable:**

Bernhard Siegele (GIZ Proklima); Isabel Anna-Kathrin von Griesheim (GIZ 4E)

**Autores:**

Philipp Denzinger (GIZ Proklima), Manuel Enrique Salas Salazar

**Revisión:**

Maximo Esteban Fernandez Mora, Karla Hernandez Chanto (GIZ 4E); Moritz von Schweinitz; Jose Alberto Rodríguez Ledezma (DIGECA); Yoltic Zúñiga Gamboa (DIGECA); Rodolfo Elizondo Hernández (DIGECA/PNUD); Kenneth Román Castro (DIGECA/PNUD).

**Diseño:**

Oscar Rosabal Ross

**Fotografías/fuentes:**

© GIZ Proklima, Gianfranco Vivi (foto portada y fotos número: 1-7; 14-18 y fotos de las páginas: 11, 13, 14, 20, 27, 28, 48, 49, 53, 57 y 60); Moritz von Schweinitz (fotos número: 8-13)

**Enlaces de URL:**

Esta publicación contiene enlaces a sitios web externos. La responsabilidad del contenido de los sitios externos listados siempre recae en sus respectivos editores. En el momento de la primera publicación de los enlaces a estas páginas, GIZ verificó el contenido de terceros para determinar si podía dar lugar a responsabilidad civil o penal. Sin embargo, la revisión constante de los enlaces a sitios externos no puede esperarse razonablemente sin una indicación concreta de una violación de los derechos. Si la propia GIZ tiene conocimiento o es notificada por un tercero de que un sitio externo al que ha proporcionado un enlace da lugar a responsabilidad civil o penal, eliminará inmediatamente el enlace a este sitio. GIZ se distancia expresamente de dichos contenidos.

**En nombre de:**

Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania (BMZ), y cofinanciado por la Unión Europea (UE)  
53113 Bonn, Alemania

**En nombre de:**

Ministerio Federal de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear de Alemania (BMU)  
División KI II 7 Financiamiento Internacional para el Clima, Iniciativa Internacional sobre el Clima (IKI)  
11055 Berlín, Alemania

La presente publicación ha sido elaborada con el apoyo financiero de la Unión Europea (UE), el Ministerio Federal para el Medio Ambiente, la Conservación de la Naturaleza y la Seguridad Nuclear (BMU) y el Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ). Su contenido es responsabilidad exclusiva de Philipp Denzinger y Manuel Enrique Salas Salazar y no necesariamente refleja los puntos de vista de la Unión Europea (UE) y del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) y Ministerio Federal para el Medio Ambiente, la Conservación de la Naturaleza y la Seguridad Nuclear (BMU).

Impreso en papel 100% reciclado, certificado según los estándares FSC.

San José, 2020

# Índice

|   |    |
|---|----|
| Lista de figuras                        | 5  |
| Lista de tablas                         | 6  |
| Lista de anexos                         | 7  |
| Lista de abreviaturas                   | 8  |
| Antecedentes del proyecto               | 9  |
| Agradecimientos por comentarios y apoyo | 11 |
| Resumen                                 | 12 |
| Introducción                            | 14 |
| Entrenamiento                           | 20 |
| Proyecto demostrativo                   | 28 |
| Metodología                             | 29 |
| MOPT                                    | 31 |
| Resultados monitoreo energético mopt    | 33 |
| Hotel ambassador                        | 35 |
| Resultados                              | 39 |
| ICE                                     | 41 |
| Resultados                              | 43 |
| Otras demostraciones                    | 43 |
| Conclusiones del monitoreo energético   | 45 |
| Costos de operación                     | 49 |
| Potencial de mitigación                 | 53 |
| Estrategia de escalamiento              | 57 |
| Conclusiones                            | 60 |
| Bibliografía                            | 63 |
| Publicaciones/paginas pertinentes       | 65 |
| Anexos                                  | 67 |

## Lista de figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Gráfica de corriente contra tiempo, monitoreo energético MOPT.  | 33 |
| Figura 2. Gráfica de consumo eléctrico contra tiempo, monitoreo energético MOPT.  | 34 |
| Figura 3. Gráfica de corriente contra tiempo, monitoreo energético Hotel Ambassador.                                    | 39 |
| Figura 4. Gráfica de consumo eléctrico contra tiempo, monitoreo energético Hotel Ambassador.                            | 40 |
| Figura 6. Total de días de uso de cada unidad ecoeficiente.   | 44 |
| Figura 7. Horas promedio de encendido diario de cada unidad ecoeficiente.   | 44 |
| Figura 8. Corriente promedio requerida en el uso de cada unidad ecoeficiente.   | 45 |
| Figura 9. Consumo energético promedio diario de cada unidad ecoeficiente.   | 45 |
| Figura 10. Conversión de carga de refrigerante tradicional a carga equivalente estimada de refrigerante de hidrocarburo | 52 |
| Figura 11. Emisiones de GEI proyectadas para el aire acondicionado unitario, años 2010 – 2050.                          | 54 |

## Lista de tablas

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Entrenamientos realizados.   | 22 |
| Tabla 2. Estándares de seguridad implementados en Costa Rica.   | 24 |
| Tabla 3. Nivel mínimo de Relación de Eficiencia Energética Estacional (REEE) para acondicionadores de aire con flujo de refrigerante variable, tecnología Inverter. | 25 |
| Tabla 4. Nivel mínimo de Relación de Eficiencia Energética (REE) para los acondicionadores de aire, tecnología "on/off".  | 25 |
| Tabla 5. Características principales de los equipos AA en estudio.  | 31 |
| Tabla 6. Datos promedios de prueba intensiva, MOPT  | 35 |
| Tabla 7. Características principales de los equipos AA en estudio.  | 36 |
| Tabla 8. Datos promedios de prueba intensiva, Hotel Ambassador  | 40 |
| Tabla 9. Características principales de los equipos AA en estudio.  | 43 |
| Tabla 10. Datos históricos unidades Godrej  | 43 |
| Tabla 11. Unidades monitoreadas   | 44 |
| Tabla 12. Resumen estudios intensivos   | 46 |
| Tabla 13. Comparación de datos históricos contra estudios intensivos respecto a consumo eléctrico diario  | 46 |
| Tabla 14. Ahorros monetarios potenciales de unidades ecoeficientes contra otros tipos de unidades   | 50 |
| Tabla 15. Ahorros monetarios potenciales y estimados en las instituciones participantes al cambiar las unidades de AA.  | 51 |
| Tabla 16. Comparación económica teórica de unidades ecoeficientes contra unidades del mercado (1951 hrs/a.)   | 51 |
| Tabla 17. Comparación de emisiones entre R-410A y R-290 y potencial de mitigación.  | 55 |

## Lista de anexos

|  |    |
|--|----|
| Anexo 1. Distribución de las unidades importadas.  | 67 |
| Anexo 2. Especificaciones generales de unidades Godrej   | 67 |
| Anexo 3. Especificaciones de compresores de las unidades Godrej.   | 68 |
| Anexo 4. Estándares de seguridad por implementarse en Costa Rica.  | 68 |
| Anexo 5. Monitoreo energético, unidad de AA ecoeficiente de 12 000 BTU/h, GIZ 1.                             | 69 |
| Anexo 6. Monitoreo energético, unidad de AA de referencia de 12 000 BTU/h, REF 1.                            | 69 |
| Anexo 7. Monitoreo energético, unidad de AA ecoeficiente de 18 000 BTU/h, GIZ 2.                             | 70 |
| Anexo 8. Monitoreo energético, unidad de AA de referencia de 24 000 BTU/h, REF.                              | 70 |
| Anexo 9. Datos históricos del monitoreo energético, MOPT.  | 71 |
| Anexo 10. Ahorros teóricos según eficiencia, MOPT  | 72 |
| Anexo 11. Monitoreo energético, unidad de AA ecoeficiente de 12 000 BTU/h, GIZ.                              | 72 |
| Anexo 12. Monitoreo energético, unidad de AA de referencia de 13 500 BTU/h, REF 3.                           | 73 |
| Anexo 13. Datos históricos del monitoreo energético, Hotel Ambassador.                                       | 74 |
| Anexo 14. Ahorros teóricos según eficiencia, Hotel Ambassador.   | 74 |
| Anexo 15. Resumen del monitoreo energético histórico realizado en otras ubicaciones.                         | 75 |
| Anexo 16. Datos históricos del monitoreo energético por ubicación.   | 75 |
| Anexo 17. Comparación de tecnología Inverter con diferentes refrigerantes.                                   | 76 |
| Anexo 18. Tabla resumen de cálculo de tasa de rentabilidad interna financiera (TIR) a 10 años, 12 000 BTU/.  | 77 |
| Anexo 19. Tabla resumen de cálculo de tasa de rentabilidad interna financiera (TIR) a 10 años, 18 000 BTU/h. | 78 |
| Anexo 20. GIZ Proklima malla curricular de entrenamientos en manejo de refrigerantes R-290 y R-600a.         | 79 |
| Anexo 21. Diagrama de instalación de equipo de AA tipo split con refrigerante R-290.                         | 81 |
| Anexo 22. Altura de instalación de equipo AA con R-290 de acuerdo con el tamaño de la habitación.            | 81 |

## Lista de abreviaturas

|        |  |
|--------|--|
| AA     | Aire Acondicionado   |
| BAU    | Escenario de negocios de como de costumbre ( por sus siglas en inglés, Business As Usual)                                  |
| BMU    | Ministerio Federal Alemán del Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (por sus siglas en alemán) |
| BMZ    | Ministerio Federal Alemán de Cooperación Económica y Desarrollo  |
| BTU/h  | Unidad Térmica Británica por hora, usada como alternativa al kW (1 kW = 3412.12 BTU/h)                                     |
| CDB    | CEDES Don Bosco  |
| C4     | Proyecto Contribuciones Frescas para Combatir el Cambio Climático  |
| DIGECA | Dirección de Gestión de Calidad Ambiental  |
| DCC    | Dirección de Cambio Climático  |
| EE     | Eficiencia Energética  |
| FS     | Fundación Samuel   |
| GCF    | Fondo Verde del Clima (por sus siglas en inglés, Green Climate Fund)   |
| GEI    | Gases de Efecto Invernadero  |
| GIZ    | Agencia de Cooperación para el Desarrollo  |
| HCFC   | Hidroclorofluorocarbonos   |
| HFC    | Hidrofluorocarbonos  |
| HEAT   | HEAT GmbH (Habitat, Application and Technology)  |
| HPMP   | Por sus siglas en inglés, HCFC Phase-out Management Plan   |
| ICE    | Instituto Costarricense de Electricidad  |
| IKI    | Iniciativa Internacional sobre el Clima (BMU)  |
| INA    | Instituto Nacional de Aprendizaje  |
| MEP    | Ministerio de Educación Pública de Costa Rica  |
| MINAE  | Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica   |
| MLF    | Fondo Multilateral del Protocolo de Montreal   |
| MOPT   | Ministerio de Obras Públicas y Transporte de Costa Rica  |
| NDC    | Contribuciones Nacionalmente Determinadas (por sus siglas en inglés, National Determined Contributions)                    |
| ODS    | Objetivos de Desarrollo Sostenible   |
| ONUDI  | Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial  |
| PCG    | Potencial de Calentamiento Global  |
| PNUD   | Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo   |
| RAA    | Refrigeración y Aire Acondicionado   |
| REE    | Radio de Eficiencia Energética   |
| REEE   | Radio de Eficiencia Energética Estacional (por sus siglas en inglés, Seasonal Energy Efficiency Ratio)                     |
| SAE    | Sociedad de Ingenieros de Automoción (por sus siglas en inglés, Society of American Engineers)                             |
| SAO    | Sustancia Agotadora de Ozono   |
| SEPSE  | Secretaría de Planificación del Subsector Energía  |
| SICA   | Sistema de Integración Centroamericana   |
| SPODS  | Proyecto "Una eliminación sostenible y respetuosa con el clima de las sustancias que agotan la capa de ozono"              |
| TIR    | Tasa de rentabilidad interna financiera  |
| ToT    | Entrenamiento de entrenadores (por sus siglas en inglés, Training of Trainers)   |
| UCE    | Unidad de Coordinación Energética (SICA)   |
| 4E     | Programa Promoción de las Energías Renovables y la Eficiencia Energética en Centroamérica                                  |

## ANTECEDENTES DEL PROYECTO

Los procesos de implementación en el mercado nacional de equipos de aire acondicionado ecoeficientes, que operan con refrigerante natural R-290, ha sido gestionado por la Cooperación alemana para el desarrollo GIZ y por la Dirección de Gestión de Calidad Ambiental (DIGECA), del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) del Gobierno de Costa Rica, en colaboración con el Sistema de la Integración Centroamericana (SICA). Esta iniciativa no habría sido posible sin el apoyo de diferentes proyectos y programas internacionales.

El proyecto Contribuciones Frescas para Combatir el Cambio Climático (C4), que es implementado por la GIZ, tiene como objetivo final apoyar al Gobierno de Costa Rica a reducir la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) del sector de refrigeración, aire acondicionado y espumas con el fin del cumplir con las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC por sus siglas en inglés). El proyecto es implementado por la Unidad Nacional de Ozono de DIGECA y por GIZ. C4 es financiado por el Ministerio Federal Alemán para el Medio Ambiente, la Conservación de la Naturaleza y la Seguridad Nuclear (BMU) bajo su Iniciativa Climática Internacional (IKI). Este proyecto contribuyó con la donación de 50 unidades de aire acondicionado ecoeficientes (R-290), herramientas y consumibles para los entrenamientos y la facilitación del taller de capacitación con expertos españoles.

El programa "Promoción de las Energías Renovables y la Eficiencia Energética en Centroamérica (4E)" fue

encargado a la GIZ por el Ministerio Federal Alemán de Cooperación y Desarrollo Económico (BMZ) y se implementa en la región desde 2012. En su tercera fase (2019) el programa 4E tiene como objetivo reducir el consumo de energía en Centroamérica, trabajando con representantes de todos los países de la zona (Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica y Panamá) promoviendo medidas de eficiencia energética. A través del programa se promueven también los intercambios regionales de información y la colaboración con el sector privado para incorporar con éxito generación de energía renovable en el sistema eléctrico regional. El programa 4E aportó la donación de 50 unidades de aire acondicionado ecoeficientes (R-290) adicionales, y la facilitación de una, capacitación en sistemas inteligentes de monitoreo de la eficiencia energética, a cargo de un experto de la India en el uso de este hardware. El programa también colaboró con el desarrollo de presente estudio con la idea de compartir y transferir el proyecto a otro de los países de la región.

El proyecto "Una eliminación sostenible y respetuosa con el clima de las sustancias que agotan la capa de ozono (Sustainable and climate-friendly Phase-out of Ozone Depleting Substances, SPODS)" apoya a determinados países de América Latina y el Caribe en sus procesos de transformación en el cumplimiento de sus compromisos en el marco del Protocolo de Montreal en relación con la eliminación de las Sustancias que Agotan la capa de Ozono (SAO) y al mismo tiempo con la mitigación de la contaminación

por los HFC. SPODS es financiado por la Comisión de la Unión Europea y BMZ y es ejecutado conjuntamente por la GIZ y PNUD en Costa Rica. El proyecto SPODS de GIZ colaboró con la realización de las capacitaciones previamente mencionadas que involucró la participación de facilitadores internacionales, materiales para el entrenamiento de los participantes así como el monitoreo de la eficiencia energética de las unidades donadas y el presente estudio.

Por último, en el caso de Costa Rica, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) ejecuta el proyecto "Plan de gestión de eliminación de HCFC" (HCFC Phase-out Management Plan, HPMP) con DIGECA en Costa Rica. El proyecto busca solidificar el compromiso de reducir el consumo de sustancias HCFC a 2,5% en el 2030, (siempre y cuando el importador demuestre la necesidad de HCFC para usos críticos definidos por el Protocolo de Montreal, de lo contrario la reducción será total) y totalmente eliminado para el 2040, mediante la regulación y contribuyó con la facilitación y acceso a herramientas para la realización de los entrenamientos en el complejo educativo CEDES Don Bosco (CDB), y refrigeradoras con R600a, consumibles y materiales para entrenamientos a INA, MEP, Fundación Samuel y también CDB, así como con el financiamiento de la instalación de algunas de las unidades.



© GIZ Proklima, Gianfranco Vivi, 2019.

## AGRADECIMIENTOS POR COMENTARIOS Y APOYO

Agradecemos a la Dirección de Gestión de Calidad Ambiental (DIGECA) del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) su cooperación en este proyecto en general. Además, agradecemos a INA, FS, MEP, CDB, MOPT, ICE y Hotel Ambassador por su cooperación en este proyecto. Se agradece la colaboración y apoyo a todas las personas, instituciones y empresas que asistieron en la recolección de datos y asesoramiento de este estudio.

## RESUMEN

La Cooperación Alemana para el Desarrollo (GIZ) y el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), en colaboración con el Sistema de la Integración Centroamericana (SICA) desarrollaron un proyecto piloto de implementación de equipos de AA ecoeficientes que operan con refrigerantes de bajo Potencial de Calentamiento Global (PCG), como el R-290 y con alta eficiencia energética. En este sentido, se planificaron dos estrategias para facilitar la ampliación del mercado de equipos de aire acondicionado (AA) tipo split que operan con refrigerantes R-290 en Costa Rica. Las estrategias se apoyaron en la importación y donación de 100 unidades de AA tipo split con R-290, importadas de la casa manufacturera Godrej, de la India.

Se desarrolló un programa de entrenamientos para que técnicos y técnicas nacionales e internacionales de diferentes instituciones desarrollaran sus capacidades en el manejo de equipos con refrigerante R-290. En diciembre de 2018 se realiza un primer entrenamiento dirigido por un instructor de la India, de la casa manufacturera Godrej. Instructores internacionales de España y Colombia apoyaron también el segundo y tercer entrenamiento, donde se terminó de capacitar a varios instructores nacionales. Los instructores nacionales de INA y Fundación Samuel condujeron los siguientes entrenamientos. El objetivo de estos entrenamientos fue capacitar a instructores y técnicos para que incorporen el manejo de equipos de AA tipo split con R-290 dentro de las mallas curriculares de sus institutos de formación. Parte de los equipos a donar y herramientas se destinaron a institutos de formación nacionales.

La segunda actividad del proyecto fue la ejecución de proyectos de demostración con AA con R-290. Basándose en un concurso nacional, tres instituciones principales recibieron 20 AA con R-290 cada una. La estrategia fue un proyecto demostrativo en el que se buscó evidenciar las ventajas de un equipo de AA ecoeficiente con R-290 al comparar contra equipos de AA convencionales. Parte del equipo importado se donó a instituciones interesadas en formar parte del proyecto. Mediante un programa de monitoreo energético, se logró realizar dos estudios intensivos de más de 24 horas, comparando las unidades Godrej contra otras convencionales. Los estudios se realizaron en el Hotel Ambassador y en las oficinas centrales del MOPT, ambas ubicadas en San José. En estas localidades también se instalaron una gran cantidad de monitores energéticos. Al analizar los valores históricos y contrastarlos contra los valores de las pruebas intensivas, se determina que las unidades ecoeficientes con R-290

consumen al menos un 40% menos de energía eléctrica al comparar contra las unidades de referencia de tecnología convencional instaladas en los edificios de las instituciones participantes. Se analizó además datos históricos de monitoreo energético de las diferentes unidades instaladas en otras localidades.

Considerando los resultados de los estudios intensivos y el análisis del monitoreo energético a largo plazo, se puede estimar ahorros en costos de operación de estos equipos al comparar contra equipos con la misma o similar capacidad térmica (BTU). A diez años se puede recuperar potencialmente la inversión de una unidad ecoeficiente. Además, al evaluar teóricamente los costos de mantenimiento e instalación, se concluye que existe una tasa de rentabilidad interna (TIR) de 38,19% para unidades de 12 000 BTU/h y de 44,61% para unidades de 18 000 BTU/h, comparando con las unidades de tecnología Inverter más vendidas en el año 2019.

Se estima también un potencial de mitigación de 2,2 toneladas de CO<sub>2</sub>eq en contraste contra un equipo tradicional. Cabe destacar que, debido a la alta contribución de fuentes de energía renovables en Costa Rica para la generación eléctrica, las acciones de mitigación de emisiones indirectas en el sector RAA ejercerán un impacto muy bajo. El mayor potencial de mitigación se encuentra en la reducción de las emisiones a causa de los refrigerantes. El refrigerante R-290 tiene un valor de Potencial de Calentamiento Global (PCG) mucho menor que los refrigerantes tradicionales.

Se ha preparado material educativo y existe actualmente normas que favorezcan la implementación de esta tecnología. Por otra parte, estándares de seguridad para Costa Rica se han desarrollado e implementado. También se han llevado a cabo eventos nacionales e internacionales para informar y educar a personas tomadoras de decisiones políticas en el tema. Existe entonces un gran potencial de escalamiento y de multiplicación del conocimiento y la implementación de estas tecnologías.

Se ha preparado material educativo y existe actualmente normas que favorezcan la implementación de esta tecnología. Por otra parte, estándares de seguridad para Costa Rica se han desarrollado e implementado. También se han llevado a cabo eventos nacionales e internacionales para informar y educar a personas tomadoras de decisiones políticas en el tema. Existe entonces un gran potencial de escalamiento y de multiplicación del conocimiento y la implementación de estas tecnologías.





© GIZ Proklima, Gianfranco Vivi, 2019.

# INTRODUCCIÓN

La Cooperación alemana para el desarrollo GIZ y el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) promueven conjuntamente la instalación y el uso de aires acondicionados ecoeficientes, que no agotan la capa de ozono y que cuentan con un potencial de calentamiento global mínimo. Para alcanzar este fin, se planteó un proyecto en colaboración con el Sistema de Integración Centroamericana (SICA), en busca fomentar el uso de equipos de aire acondicionado (AA) tipo split, que tengan una mejor eficiencia energética y que utilicen refrigerantes con una menor huella de carbono. Para promover la inserción de este tipo de equipos, en el marco de los proyectos de cooperación que implementa con DIGECA/MINAE, GIZ realizó la importación de 100 unidades de AA tipo split con refrigerante con bajo potencial de calentamiento global (PCG), el R-290, que tiene un PCG de apenas 3<sup>1</sup>. Estas unidades utilizan además compresores con tecnología *Inverter*<sup>2</sup>, la cual es más eficiente que los compresores convencionales. Estas unidades que cuentan con esas dos tecnologías se conocerán para efectos de este documento como unidades ecoeficientes. El refrigerante R-290 es también más eficiente que los refrigerantes convencionales de acuerdo con sus propiedades termodinámicas<sup>3</sup>, ambos factores suman para que estas unidades tengan una calificación de eficiencia REEE<sup>4</sup> de 20,68, calificación mayor que el promedio de las unidades vendidas en Costa Rica (calificación REEE de 19 de acuerdo con el año 2019).

Los refrigerantes juegan un papel muy importante en el aporte al calentamiento global del sector de refrigeración y aire acondicionado (RAA), ya que

son responsables de las emisiones directas. Las emisiones directas suceden cuando el refrigerante se fuga o se libera en su totalidad al desecharse o cambiar el equipo, lo cual sucede cuando no hay buenas prácticas al desmantelar del equipo, ya que el refrigerante puede recuperarse. Para caracterizar el impacto cada sustancia tiene un PCG asociado, qué básicamente es una manera de convertir los kilogramos de refrigerante en kilogramos equivalentes de CO<sub>2</sub>. Los refrigerantes tradicionales para AA tienen PCG entre los valores de 1760 y 1923, mientras que la alternativa de refrigerantes naturales tiene valores de PCG menores, como el R-290 que tiene un PCG de solamente 3.

Debido a la alta contribución de fuentes de energía renovables en Costa Rica para la generación eléctrica<sup>5</sup>, las acciones de mitigación en el sector RAA ejercerán un impacto muy bajo en las emisiones indirectas. El mayor potencial de mitigación se encuentra en la reducción de las emisiones directas<sup>6</sup>.

El proyecto piloto por describir es único en la región latinoamericana. Nunca se había planificado una implementación de equipos de AA con R-290 con esta profundidad y alcance. En otra ocasión, GIZ Proklima realizó una serie de entrenamientos de manejo de equipos de AA con refrigerantes naturales, en dicho caso R-290, en Colombia. Sin embargo, de esos entrenamientos no se puede comparar con el proyecto presente. Se busca entonces, sentar las bases para el uso de este tipo de tecnología en distintos sectores del país y ser un ejemplo a seguir en eficiencia energética y bajo impacto ambiental en el sector RAA para los demás países de la zona.

1 IPCC, 2005: Special Report on Safeguarding the Ozone and the Global Climate System.

2 Tecnología de variación de frecuencia que controla la velocidad del compresor, resultando en una operación mucho más eficiente.

3 GIZ, 2019: R-290 Split Air Conditioners Guide.

4 En idioma inglés como: Seasonal energy efficiency ratio (REEE).

5 Casa Presidencial, 2019: Por quinto año consecutivo, Costa Rica superará 98% de generación eléctrica renovable.

6 Emisiones directas son aquellas emitidas por el refrigerante de los equipos del sector RAA. Emisiones indirectas representan el impacto ambiental de la producción eléctrica para la operación de los equipos del sector RAA.



Foto 1. Herramientas necesarias para la instalación de equipo de AA con R-290.

Previo al desarrollo del proyecto, se realizaron pasos y procesos para dimensionar el alcance y los objetivos de este. Por ejemplo, se realizó un inventario de emisiones GEI nivel 2 para el sector RAA<sup>7</sup>. Primero se evaluó la situación del momento en el país respecto a estos temas. Se indagó respecto a la presencia de equipos de AA y el conocimiento del sector técnico en esta materia. Seguidamente se planificó la compra y donación de 100 unidades ecoeficientes a distintas instituciones públicas, sector privado interesado e institutos de formación.

Las unidades de AA tipo split se financiaron mediante dos proyectos implementados por GIZ Proklima C4 (Contribuciones Frescas para Combatir el Cambio Climático) y 4E en cooperación con MINAE, Promoción de las Energías Renovables y la Eficiencia Energética en Centroamérica (4E). Ambos proyectos apoyaron la compra de 50 unidades (18 de 12000 BTU/h y 32 de 18000 BTU/h cada proyecto), 100 unidades en total, para una inversión total alrededor de \$50.000. El proyecto C4 invirtió alrededor de \$50.000 para herramientas y consumibles para los entrenamientos. El proyecto SPODS, "Una eliminación sostenible y respetuosa con el clima de las sustancias que agotan la capa de ozono", colaboró con costos adicionales como los costos asociados a los instructores adicionales. El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

(PNUD) colaboró con la compra de herramientas, consumibles y demás costos como los instructores, para los entrenamientos desarrollados en CEDES Don Bosco (CDB), INA y Fundación Samuel. Los modelos de los equipos importados han sido examinados por un laboratorio externo a Godrej<sup>8</sup> en India. Se atestigua en estas pruebas la calidad de los equipos y su eficiencia energética<sup>9</sup>.

El proyecto consiste en dos secciones: entrenamiento y demostración. De los 100 equipos AA con R-290 importados, 67 se han utilizado en la demostración. Se instalaron en edificios de distintas compañías e instituciones. Adicionalmente, a cada equipo se le adjuntó un dispositivo que contabiliza el uso energético y otras variables de interés, como temperatura y humedad. Este tipo de dispositivo también se instaló en equipos AA viejos que ya se encontraban en los diferentes edificios, para poder llevar un control y comparar el uso energético de ambos tipos de AA. Los proyectos 4E y SPODS apoyan la realización de este monitoreo energético, además de financiar el estudio presente aparte de C4.



Foto 2. Instalación de unidades de AA con refrigerante R-290 como parte de un entrenamiento en las oficinas de GIZ, Pavas.

<sup>7</sup> MINAE, 2019: Inventario de Gases de Efecto Invernadero de Refrigeración y Aire Acondicionado para Costa Rica (2012–2016).

<sup>8</sup> Fabricante de este tipo de unidades de A/C con refrigerante natural.

<sup>9</sup> Sierra Aircon Pvt. Ltd., 2017: Test Report, Cooling Capacity Test for Split Type (Inverter) Air Conditioners.

Los otros equipos importados fueron destinados principalmente a cuatro institutos de formación, con el fin de utilizarlos como herramientas de aprendizaje, y unos pocos se apartaron como piezas de repuesto. También se donó a los institutos de formación herramientas y consumibles para realizar entrenamientos y capacitaciones con R-290 y R-600a. Los entrenamientos realizados también instrúan en el manejo de equipos con R-600a, otro refrigerante natural, para refrigeración doméstica.

El refrigerante R-290 es inflamable en ciertas condiciones, por lo que hay que instruir al personal técnico en procedimientos para evitar atmósferas inflamables, eliminación de fuentes de ignición y reducir las consecuencias de una combustión. Cabe destacar, que R-290 tiene las mejores propiedades termodinámicas posibles al comparar con otros refrigerantes utilizados en equipos de AA tipo split, como R-22, R-407C y R-410a<sup>10</sup>. Estas propiedades y otras características hacen que el R-290 sea más eficiente que otros refrigerantes.



Foto 3. Instalación de unidad Godrej durante entrenamiento de manejo de R-290 y R-600A.

El objetivo de la instalación de estas unidades es implementar un monitoreo energético mediante dispositivos que se colocaron en todas las unidades. Estos dispositivos fueron equipados con sensores para leer y registrar variables como corriente, consumo eléctrico, temperatura y humedad. Los dispositivos de monitoreo energético

estaban conectados a red WIFI y envían datos en línea a un servidor designado para esta tarea. Además, se colocaron también dispositivos de monitoreo en equipos que ya se encontraban en esas instalaciones, para poder comparar los datos reportados de esas unidades contra las unidades ecoeficientes importadas. Adicional al monitoreo a largo plazo, se realizaron dos pruebas intensivas por más de 24 horas para contrastar con mayor detalle el funcionamiento de unidades ecoeficientes y unidades convencionales.

Acompañando los resultados de las pruebas intensivas en el proyecto demostrativo, y con los datos recolectados a lo largo del monitoreo energético de las demás unidades, se obtiene distintos valores aproximados de ahorro monetario al preferir un equipo ecoeficiente sobre un AA con HFC de tecnología convencional (instalado promedio y ventas promedio en Costa Rica) en distintos sectores, como el residencial, comercial y público. Para el año 2019, cuando se importaron las unidades ecoeficientes, las unidades tradicionales más vendidas en el mercado, también de tecnología Inverter pero con refrigerante R-410A, tienen en promedio calificaciones REEE 19, por lo que son más ineficientes que las unidades ecoeficientes de este proyecto<sup>11</sup>. El equipo de AA instalado promedio en Costa Rica tenía en 2016 un REE 3,2<sup>12</sup>.

Además, estos equipos no requieren recargas ya que los equipos poseen sistemas de alerta y prevención de fugas más rigurosos que los sistemas con refrigerantes convencionales. Estos equipos, además de los sistemas de falla que apagan inmediatamente el equipo, se instalan con medidas de mitigación que reducen enormemente el riesgo de inflamabilidad, como ubicación dentro del cuarto y carga de refrigerante (la cual suele ser menor que la de un refrigerante tradicional).<sup>13</sup> Además, alrededor del 70% del refrigerante se ubica en la unidad condensadora, la cual se coloca normalmente fuera de la habitación, minimizando el riesgo de explosión.

<sup>10</sup> GIZ, 2019: R-290 Split Air Conditioners Guide.

<sup>11</sup> GIZ, 2020: Estudio de mercado sobre la eficiencia energética de las AA tipo split en Costa Rica.

<sup>12</sup> MINAE (2019) Inventario de Gases de Efecto Invernadero de Refrigeración y Aire Acondicionado para Costa Rica (2012-2016).

<sup>13</sup> Ver Anexo 21 y 22.

El uso de las unidades ecoeficientes tiene entonces un gran potencial de mitigación, tanto económico como ambiental. Una unidad convencional de AA emite 3,7 toneladas de CO<sub>2</sub>eq a lo largo de 10 años, mientras que una unidad ecoeficiente emite 2,2 toneladas menos de CO<sub>2</sub>eq a lo largo de 10 años.<sup>14</sup> Para el año 2050, esto podría significar un potencial de ahorro de 300 000 toneladas de CO<sub>2</sub>eq al año en equipos de AA unitario, de acuerdo con el escenario de mitigación y eficiencia energética.<sup>15</sup>

Al ser este el primer proyecto de esta magnitud en la región, se pretende escalar las estrategias implementadas, capacitando más instructores, técnicos y técnicas, obteniendo más evidencia mediante el monitoreo energético, y así liderar la implementación definitiva de equipos de AA ecoeficientes en el país y la región latinoamericana.

<sup>14</sup> Según 13% tasa de fugas de refrigerante promedio al año en Costa Rica en equipos de AA tipo split basado en, GIZ, 2020a: Estudio de fugas en equipos de aire acondicionado tipo split en Costa Rica.

<sup>15</sup> MINAE (2019) Inventario de Gases de Efecto Invernadero de Refrigeración y Aire Acondicionado para Costa Rica (2012–2016).



© GIZ Proklima, Gianfranco Vivi, 2019.

Foto 4. Participante del primer entrenamiento realizado en el INA.



© GIZ Proklima, Gianfranco Vivi, 2019.

# ENTRENAMIENTO

La inserción e integración efectiva de equipos de AA con refrigerante R-290, es un proceso que requiere ser acompañado por otro proceso paralelo de educación y formación. El refrigerante R-290 es un hidrocarburo, que presenta inflamabilidad en ciertas condiciones, razón por la cual los sistemas requieren equipos adicionales de seguridad y es necesario un manejo diferente del gas. Parte del proyecto de demostración de GIZ en cooperación con DIGECA, se plantea llevar a cabo una serie de entrenamientos a entrenadores (ToT), de diferentes institutos de formación, tanto nacionales como internacionales.

Esfuerzos previos se han desarrollado a través de GIZ Proklima para capacitar a personas miembro del sector RAA en materia de refrigerantes naturales. Se ha gestionado que técnicos, técnicas, instructoras, instructores y tomadores de decisiones políticas, de INA, MEP, DIGECA y de otras empresas del sector privado, participen en distintas versiones de la actividad "Cool Training", en Alemania. El Cool Training es una serie de entrenamientos internacionales en el uso seguro de refrigerantes naturales en el sector RAA. Estos entrenamientos promueven a nivel global las tecnologías sostenibles de climatización y está enfocado en capacitar personal de países en vías de desarrollo<sup>16</sup>.

La estrategia de entrenamientos desarrollada no tiene precedentes dentro del ámbito del sector RAA en Latinoamérica. Previamente, GIZ Proklima había realizado una serie de entrenamientos sobre AA con R-290 en Colombia, pero no con la dimensión de la estrategia implementada en este proyecto. Se realizó seis entrenamientos en Costa Rica, con apoyo de instructores extranjeros de India, España y Colombia. Se capacitó a un total de 98 instructores,

instructoras, técnicas y técnicos, nacionales y extranjeros.

Para la participación de los entrenamientos, se estableció el requisito de contar con la certificación de buenas prácticas en el manejo de refrigerantes, otorgado por DIGECA<sup>17</sup>. El entrenamiento está compuesto por módulos teóricos y prácticos, donde existen actividades de evaluación. El currículo completo de los módulos se puede ver en el Anexo 20. Algunos de los temas a capacitar y evaluar en los módulos son los siguientes:

- Formación en soldadura.
- Manipulación de los refrigerantes naturales y sus cilindros.
- Precauciones de seguridad y riesgo en la manipulación de refrigerantes naturales.
- Diseño de un sistema de sellado.
- Instalación, puesta en marcha y mantenimiento de un equipo con R-290.
- Reglamentos, normas de seguridad y directrices.
- Procedimientos, herramientas y equipos para el uso de refrigerantes inflamables.
- Recuperación de refrigerante.
- Reparación de refrigeradora doméstica R600a.

Todos los días de la semana finalizaban con una evaluación.

<sup>16</sup> Green Cooling Initiative: <https://www.green-cooling-initiative.org/cool-training/>

<sup>17</sup> DIGECA (2019): Requisitos para solicitar el carnet de "Buenas prácticas de refrigeración y manejo de refrigerantes".

| Fecha y lugar   | Tema   | Instituciones participantes   | Países participantes   |
|---|--|---|--|
| 3 a 6 de diciembre 2018<br>INA, DCC,<br>MiTransporte GIZ,<br>Hotel Ambassador | ToT con casa de<br>manufactura (India) AA<br>R-290<br><br>Entrenador: Godrej                                       | <b>Total: 18</b><br>INA, MEP, Fundación Samuel,<br>CDB e importadores (Leaho,<br>Omega y Beirute)   | Costa Rica   |
| 27 a 31 de mayo 2019<br><br>INA   | ToT AA R-290 y R-600A<br>refrigeración doméstica<br><br>Entrenador: HEAT<br>(España) e independiente<br>(Colombia) | <b>Total: 16</b><br>SSSIR S.A. de C.V., Instituto<br>Tecnológico de León, Fundación<br>Samuel, CEDES Don Bosco, INA,<br>IPN   | Costa Rica<br>México   |
| 3 a 7 de junio 2019<br><br>INA  | ToT AA R-290 y R-600A<br>refrigeración doméstica<br><br>Entrenador: HEAT<br>(España) INA                           | <b>Total: 16</b><br>INA, INADEH, Colegio<br>Profesional Ozanam, CEV, JTCB<br>INSAFOR, Universidad Galileo,<br>Instituto Técnico Vocacional Dr.<br>Imrich Fischmann, Cuba<br>Energía, Salesianito MADES,<br>Fundación Samuel | Panamá<br>Honduras<br>El Salvador<br>Guatemala<br>Cuba<br>Paraguay<br>Costa Rica |
| 10 a 14 de junio 2019<br><br>INA  | ToT AA R-290 y R-600A<br>refrigeración doméstica<br><br>Entrenador: INA  | <b>Total: 16</b><br>INA, PNUD, ICE, Beirute, Fondo<br>IN, GTOZ, Omega, Fundación<br>Samuel  | Venezuela<br>Nicaragua<br>Panamá<br>Cuba<br>Costa Rica                           |
| 9 a 13 de diciembre<br>2019<br><br>Fundación Samuel                           | ToT AA R-290 y R-600A<br>refrigeración doméstica<br><br>Entrenador: Fundación<br>Samuel                            | <b>Total: 16</b><br>MEP, ICE, Refrimundo, CEDES<br>Don Bosco, INA, Beirute, Omega   | Costa Rica   |
| 16 a 20 de diciembre<br>2019<br><br>Fundación Samuel                          | ToT AA R-290<br><br>Entrenador: Fundación<br>Samuel  | <b>Total: 16</b><br>Fundación Samuel,<br>Tecniservicios H 2000, Seytel S.<br>A. de C.V., S y M Ingeniero S.A.<br>de C.V., HIMO, Tundra, CCSS,<br>ICE, INA, MOPT, Refrimundo   | El Salvador<br>Costa Rica  |
| <b>Total</b>  | <b>6 ToTs</b>  | <b>98 participantes</b>   | <b>11 países</b>   |

Tabla 1. Entrenamientos realizados.



© GIZ Proklima, Gianfranco Vivi, 2019.

Foto 5. Instalación de unidad Godrej en Hotel Ambassador, durante la primera semana de entrenamiento. Acompaña al técnico el instructor de Godrej, Shneekant Jamble.

Para seleccionar los beneficiarios y los participantes de los entrenamientos se realizaron una serie de concursos. El primer concurso seleccionó a las empresas e instituciones beneficiarias de las 67 unidades Godrej para la estrategia demostrativa. Estas empresas e instituciones aceptaron los equipos mediante un convenio con DIGECA y GIZ, en el que acordaban responsabilizarse por la instalación y mantenimiento del equipo, además de participar en un monitoreo energético a realizar con las mismas unidades.

Un segundo concurso para seleccionar tres empresas del sector RAA, que recibiría una capacitación para la instalación de unidades de Godrej. Se escogió a tres empresas y adicionalmente a técnicos de INA, MEP, FS y CDB participaron en los entrenamientos.

Por último, se realizó un concurso más para que distintas empresas aplicaran por un espacio de participación en los entrenamientos.

Los entrenamientos implementados se denominan ToT por sus siglas en inglés (Training of trainers). En total se realizaron seis entrenamientos ToT entre diciembre 2018 y diciembre 2019, donde

participaron 98 entrenadores y técnicos de 11 países. En diciembre de 2018 se realizó el primer ToT, donde se contó con la participación de un entrenador de la India, específicamente de la casa de manufactura de los equipos, Godrej. En el siguiente entrenamiento, se contó con la participación de un entrenador de España, en representación de HEAT GmbH, firma de consultoría internacional en temas ambientales, tanto técnicos como políticos, y con de un entrenador independiente de Colombia. HEAT GmbH acompañó el proceso en un entrenamiento adicional, donde también colaboró impartiendo el entrenamiento un entrenador del INA, que ya habían recibido los entrenamientos previos. Los siguientes entrenamientos fueron impartidos tanto por personal del INA como de la Fundación Samuel.

El enfoque de trabajo de GIZ en este ámbito, a nivel global, se compone de tres fases: desarrollar capacidades (capacitaciones), certificar y registrar.

La formación de técnicos especializados, tanto teórica como práctica, vinculada con el programa nacional de certificación de técnicos es la mejor manera de crear y verificar la competencia del personal que manipula refrigerantes, que realiza

instalaciones y que lleva a cabo el mantenimiento. Todas las medidas de fortalecimiento de la capacidad, así como el apoyo a los centros de capacitación, se han llevado a cabo en conformidad con las mejores prácticas internacionales. Las capacitaciones se pueden llevar a cabo en solamente una semana.



Foto 6. Entrenamiento de instalación de equipo AA tipo split con R-290, GIZ, Pavas.

El material preparado para estos entrenamientos han sido producto de la experiencia de GIZ Proklima de más 20 años en el área, donde se han desempañado en estrategias de capacitación en tecnologías sostenibles como estos entrenamientos y los Cool Training. Los módulos fueron preparados de acuerdo con diferentes estándares y procedimientos de seguridad internacionales.

Existen muchos estándares diferentes para varias aplicaciones del sector RAA que usan refrigerantes naturales a base de hidrocarburos como R-290 y R-600a. Dentro de los estándares y reglamentos internacionales, se destacan el estándar europeo EN

378<sup>18</sup>, el cual se utilizó para diseñar los módulos de entrenamiento. En la tabla 2 se enumeran los estándares pertinentes vigentes en Costa Rica.

| Norma Técnica Nacional  |
|---|
| INTE / ISO 817:2019: Refrigerantes - Designación y clasificación de seguridad.  |
| INTE / ISO 5149-1: 2020 (MOD)<br>Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Requisitos de seguridad y medioambientales. Parte 1: definiciones, clasificación y criterio de selección.                   |
| INTE / ISO 5149-2: 2020 (MOD)<br>Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Requisitos de seguridad y medioambientales. Parte 2: diseño, construcción, realización de pruebas, marcado y documentación. |
| INTE / ISO 5149-3: 2020 (MOD)<br>Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Requisitos de seguridad y medioambientales. Parte 3: sitio de instalación.  |
| INTE / ISO 5149-4: 2020 (MOD)<br>Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Requisitos de seguridad y ambientales. Parte 4: operación, mantenimiento, reparación y recuperación.                        |
| INTE W94: 2020:<br>Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Competencia del personal.   |

Tabla 2. Estándares de seguridad implementados en Costa Rica.

18 UNE, Normalización Española (2017): UNE-EN 378-4:2017.

Actualmente, GIZ colabora con INTECO en generar estándares para las diferentes aplicaciones del sector RAA que utilizan refrigerantes naturales y adaptar estándares internacionales al ámbito nacional<sup>19</sup>. Además, en el Anexo 4 se presenta una lista con los estándares de seguridad actualmente en desarrollo en el país.

De gran interés se destaca el estándar de INTECO, INTE E14 – 1: 2019<sup>20</sup>, el cual dicta lineamientos sobre la eficiencia energética en equipos de aire acondicionado hasta capacidades térmicas de 65,000 BTU/h (tabla 3 y 4).

| Clasificación del equipo                    | BTU/h                                       | REEE<br>Wt/We<br>(BTU/hW) |
|---|---|---------------------------|
| Tipo paquete                                | Hasta 19050<br>(65000)                      | 4,39 (15)                 |
| Tipo dividido, central con ductos           |   |                           |
| Tipo dividido, descarga directa, sin ductos | Hasta 10600<br>(36168)                      | 4,68 (16)                 |
|   | Mayor que 10600 (36168) hasta 19050 (65000) | 4,39 (15)                 |

Tabla 3. Nivel mínimo de Relación de Eficiencia Energética Estacional (REEE) para acondicionadores de aire con flujo de refrigerante variable, tecnología Inverter.<sup>21</sup>

| Clasificación del equipo                    | BTU/h <sup>23</sup>    | REEE <sup>24</sup><br>Wt/We<br>(BTU/hW) <sup>25</sup> |
|---|------------------------|---|
| Tipo ventana                                | Hasta 5859<br>(24000)  | 3,22 (11)   |
| Tipo paquete                                | Hasta 19050<br>(65000) | 3,22 (11)   |
| Tipo dividido, central con ductos           |                        |   |
| Tipo dividido, descarga directa, sin ductos |                        |   |

Tabla 4. Nivel mínimo de Relación de Eficiencia Energética (REE) para los acondicionadores de aire, tecnología "on/off".<sup>22</sup>

Con los entrenamientos ToT, se genera un efecto multiplicador del alcance de la capacitación en refrigerantes R-290 y R-600a, ya que cada persona que atiende a este entrenamiento es un entrenador certificado para instruir a otras y otros técnicos. Aunado a esto y los equipos de AA con R-290 y herramientas donadas, los institutos de formación están en capacidad de ofrecer cursos en esta materia. Los entrenamientos impartidos, además, instruyeron a los participantes en materia de monitoreo de eficiencia energética. Se proyecta que, en un futuro cercano, el manejo de equipos con refrigerantes naturales esté incluido dentro de la malla curricular de la formación de técnicos de aire acondicionado y refrigeración.

En el área de servicio técnico de equipos de AA se evidencia una gran disparidad de género entre el personal técnico. Por ello no es sorprendente

<sup>19</sup> Más información sobre estándares en el sector RAA y refrigerantes naturales en: GIZ Proklima (2018): International Safety Standards in Air Conditioning Refrigeration and Heat Pump. UNEP (2017): Application of Safety Standards to RACHP.

<sup>20</sup> INTECO (2019): INTE E14-1:2019.

<sup>21</sup> Ibid.

<sup>22</sup> Ibid.

<sup>23</sup> Valores nominales de BTU/h.

<sup>24</sup> En idioma inglés como: Energy Efficiency Ratio (REE).

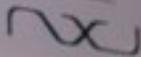
<sup>25</sup> El valor de REE se determina en el conjunto condensador y evaporador.

que las mujeres conformen menos del 1% del personal del servicio de AA. Muestra de ello, dentro de los participantes instructores, solamente había una instructora. Sin embargo, de las 98 personas participantes, cuatro eran mujeres, lo cual es más de lo usual.

Dentro de la estrategia y el plan de acción de GIZ en colaboración con DIGECA, se plantea instaurar un sistema modular de entrenamiento. Para que Costa Rica esté lista y equipada para adoptar la nueva tecnología climática y de AA eficiente, se necesitan de personas con especialidades técnicas de servicio, que estén informadas y bien capacitadas, así como centros de capacitación actualizados con la última tecnología ecológica. Dentro de esta estrategia se busca desarrollar varios centros de capacitación, capacitar a más técnicos. Con el programa de entrenamiento llevado a cabo en este proyecto se generó una primera base de registro de técnicos, técnicas, entrenadores y entrenadoras capacitadas en el manejo de refrigerantes R-290 y R-600a.



Goorej



POWER

SAVING

GREEN

INVERTER AC

5.20 ISEER



© GIZ Proklima, Gianfranco Vivi, 2019.

# PROYECTO DEMOSTRATIVO

La implementación de monitoreo energético en las unidades de AA tipo split con R-290 ecoeficiente, y en unidades previamente instaladas en cada edificio, permite observar a través de una gran cantidad de datos el verdadero comportamiento de cada unidad, sin importar el tipo.

Se puede saber mucho de antemano sobre el rendimiento de un equipo de AA con sus especificaciones. Sin embargo, no se logra ofrecer el mejor pronóstico posible respecto a su consumo energético y el eventual ahorro en el uso de un equipo ecoeficiente, como las unidades importadas en este proyecto. El rendimiento va a variar según la latitud, la orientación respecto al sol, volumen y ocupación de la habitación y la naturaleza del uso, es decir, es muy difícil que dos unidades se utilicen de la misma manera. Por estas razones, es muy difícil pronosticar el consumo energético y demás factores asociados sin tener datos de calidad de campo. El monitoreo energético ofrece la oportunidad de examinar datos a través de grandes períodos de tiempo, minimizando así los efectos en las diferencias de uso.

Además, del monitoreo energético a largo plazo, en el proyecto demostrativo se realizó dos pruebas intensivas, una en las oficinas centrales del MOPT y otra en el hotel Ambassador. En estas se utilizó unidades ecoeficientes y unidades que ya estaban en las instalaciones. La prueba se realizó por más de 24 horas, al mismo tiempo y en condiciones muy similares. Se consigue de esta manera contrastar las diferencias de funcionamiento respecto a consumo eléctrico y eficiencia de equipos de AA convencionales contra los equipos ecoeficientes, comparando unidades en condiciones y usos similares.

### Metodología

El proyecto contempla implementar un monitoreo energético, el cuál ofrecerá datos de calidad para su respectivo análisis. Utilizar y obtener datos de calidad es necesario para una correcta retroalimentación y progreso hacia los objetivos planteados, no solo para este proyecto, sino a nivel país para la reducción de la huella de carbono y el impacto ambiental respecto a emisiones indirectas.



© GIZ Proklima, Gianfranco Vivi, 2019.

Foto 7. Unidad Godrej instalado en una habitación del hotel Ambassador, San José.

Con el monitoreo energético también se busca mejorar la eficiencia energética en el uso de los equipos de AA.

Un equipo de AA impacta al ambiente de dos maneras: emisiones directas y emisiones indirectas. Las emisiones directas se refieren al impacto de los refrigerantes, mientras que las emisiones indirectas contabilizan el impacto de la red eléctrica y el consumo de electricidad. Las emisiones indirectas consideran entonces cómo se obtiene la energía de la red y qué tan sostenible y amigable con el ambiente son las fuentes energéticas. En el caso de Costa Rica, donde la electricidad proviene casi en su totalidad de fuentes amigables con el ambiente, la red eléctrica aporta poco a estas emisiones. Esto significa, que el gran peso de las emisiones en el país recae en el consumo de refrigerantes, en las emisiones directas. Es particularmente esencial para el caso de Costa Rica, contar con equipo eficiente y con refrigerantes con bajo PCG, ya que ahí radica el mayor potencial de mitigación<sup>26</sup>.

Como se ha mencionado anteriormente, las unidades importadas de AA tipo split trabajan con el refrigerante R-290. Además, cuentan con tecnología *Inverter* y una calificación REEE bastante alta de 20,68. Es de interés monitorear estas unidades funcionando con regularidad y en espacios de oficina para poder cuantificar los ahorros en gasto eléctrico y así contar con datos de campo para promover estas tecnologías, que resultarían en mayor sostenibilidad ambiental y económica en el sector de AA.

El sistema de monitoreo energético utilizado consiste en dos partes fundamentales:

- Sensores de consumo y flujo eléctrico Sonoff POW1/2, con un sistema operativo ("firmware") open-source modificado y adaptado al proyecto.
- Un sistema centralizado en "la nube" de recepción, colección, mantenimiento y evaluación de los datos.

Los monitores están conectados eléctricamente en serie a los equipos AA y constantemente miden parámetros como el voltaje, corriente, componentes activos/reactivos y el acumulado de energía consumido, y transmiten los valores al servidor central mediante el protocolo estandarizado MQTT (ISO/IEC 20922).

Los monitores opcionalmente también cuentan con sensores para diferentes parámetros ambientales como temperatura y/o humedad relativa.

El sistema de monitoreo se desarrolló e implementó como un prototipo de una plataforma más amplia de colección y evaluación de una red de sensores de monitoreo energético de nodos "Internet of Things" de bajo costo basados en código y protocolos de comunicación abiertos y libres.

Varios sensores también cuentan con un "QR code" que permiten que un usuario final puede acceder a un portal informativo del proyecto GIZ de eficiencia energética en una página web, el cual también indica el historial de consumo energético del sensor escaneado.

Los datos recolectados también se podrán compartir de forma anonimizada con personas e instituciones interesadas, bajo la filosofía de "Datos Abiertos" (Open Data en inglés), si se solicitan.



Foto 8. Ejemplar de los monitores energéticos

<sup>26</sup> Casa Presidencial, 2019: Por quinto año consecutivo, Costa Rica superará 98% de generación eléctrica renovable.

El sistema de monitoreo enfrentó a varios retos no previsible en su implementación. Entre estos cabe señalar políticas TI no permisivas de unas ubicaciones, patrones de uso de los AA extremadamente variables y retos en las instalaciones eléctricas. Irónicamente, en unas ubicaciones, los usuarios parecen haber usado los AA especialmente poco, con el fin de ahorrar energía, resultando en una cantidad menor de datos estadísticamente interesantes. Para enfrentar estos retos, se realizaron pruebas intensivas programadas en dos ubicaciones, y se aplicaron filtros a los datos históricos obtenidos. Estos filtros tuvieron como objetivo seleccionar los días de uso ordinario de los equipos, es decir, que se utilizaron a cabalidad y no que se prendieron un momento por equivocación o menos de 30 minutos. Esto permitió observar datos de mayor calidad y relevancia, y en cierta manera igualando las condiciones para comparar el rendimiento de los diferentes equipos.

## MOPT

A las oficinas centrales del MOPT en San José, se destinaron 20 unidades. Se utilizaron como reemplazo de unidades de AA convencionales e ineficientes. A todas las unidades se les instaló el dispositivo de monitoreo energético. Adicional al monitoreo energético de largo plazo, se realizó el estudio intensivo durante tres días para un total de 63 horas.

Se seleccionó dos unidades de AA de referencia y dos unidades ecoeficientes recién instaladas por la GIZ en oficinas de tamaños comparables.

| Unidad                          | BTU/h                | Refrigerante | Tecnología   | Eficiencia (REEE)              |
|---------------------------------|----------------------|--------------|--------------|--------------------------------|
| GIZ 1<br>Godrej <sup>27</sup>   | 12 000               | R-290        | Inverter     | 20,86                          |
| REF 1<br>Samsung <sup>28</sup>  | 12 000               | R-22         | Convencional | 3,6 EER<br>12,28 <sup>29</sup> |
| GIZ 2<br>Godrej                 | 18 000               | R-290        | Inverter     | 20,86                          |
| REF 1<br>Innovair <sup>30</sup> | 24 000 <sup>31</sup> | R-22         | Inverter     | 14,44                          |

Tabla 5. Características principales de los equipos AA en estudio.

La prueba se realizó desde el viernes 2 de agosto del 2019, iniciando a las tres de la tarde. Finalizó el lunes 5 de agosto a las seis de la mañana. Todos los equipos se programaron para mantener una misma temperatura, a 20°C, inferior a la temperatura ambiente en el exterior del edificio, al menos durante el día.

<sup>27</sup> Especificaciones generales de las unidades Godrej en el Anexo 2.

<sup>28</sup> Unidad convencional tipo split que se utiliza regularmente en horario de oficina.

<sup>29</sup> Dato estimado. Se debe mencionar que calcular el valor REEE para una unidad convencional (velocidad fija), es muy difícil. Este valor es solo un aproximado.

<sup>30</sup> Unidad Inverter tipo split que se utiliza regularmente en horario de oficina, entre cinco o seis horas.

<sup>31</sup> Se toma los datos de esta unidad y se aplica un factor de 0.75, para tener datos aproximados de una unidad de 18 000 BTU/h.



© GIZ Proklima, Gianfranco Vivi, 2019.

Foto 9. Equipo de AA con R-290 GIZ 1.



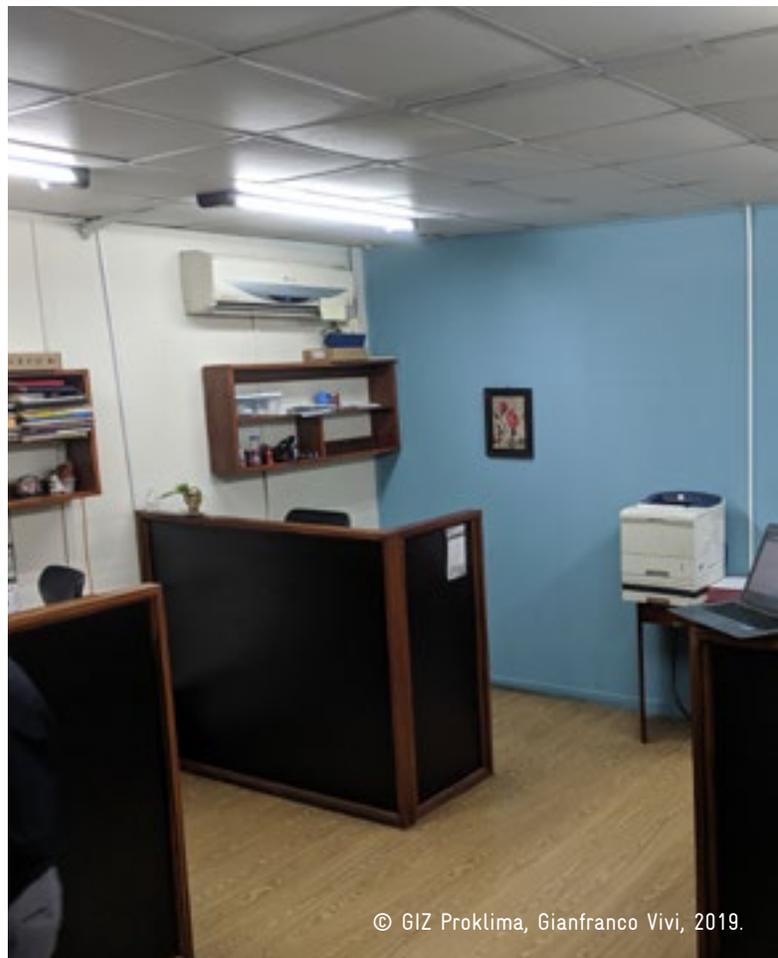
© GIZ Proklima, Gianfranco Vivi, 2019.

Foto 10. Equipo de AA de referencia, REF 1.



© GIZ Proklima, Gianfranco Vivi, 2019.

Foto 11. Equipo de AA R-290 GIZ 2.



© GIZ Proklima, Gianfranco Vivi, 2019.

Foto 12. Equipo de AA de referencia REF 2.

### Resultados monitoreo energético MOPT

El monitoreo energético lleva un control de distintas variables energéticas como: voltaje, corriente, potencia aparente, potencia reactiva, factor de potencia, consumo eléctrico (kWh), temperatura y humedad. El valor de consumo eléctrico es acumulativo, mientras que las otras lecturas son instantáneas. El análisis de resultados se concentra en los datos de corriente y consumo eléctrico. Los demás datos se pueden observar en los anexos 5, 6, 7 y 8<sup>32</sup>.

Las unidades en este estudio se utilizan principalmente entre semana de lunes a viernes desde las 08:00 hasta las 17:00 horas. Además, se suele utilizar los sábados, no más de seis horas. Se puede considerar que estos equipos tienen una alta demanda de uso en comparación contra equipos instalados en hoteles y en sector residencial.

Se utiliza durante el día y en espacios con alta presencia de personas.

En la Figura 1 se puede observar las diferencias en la magnitud de la corriente instantánea entre los cuatro equipos. Hay que destacar que el equipo denominado REF 2 tiene una capacidad de enfriamiento de 24 000 BTU/h, por lo que realmente no es comparable con la unidad ecoeficiente GIZ 2 ni con las otras unidades. Los equipos GIZ 1 y REF 1 sí son completamente comparables al tener la misma capacidad de enfriamiento. Sin embargo, el contraste entre las unidades ecoeficientes y las unidades de referencia es bastante notorio. Es completamente razonable suponer, que un equipo de referencia 18 000 BTU/h presentaría un contraste de igual magnitud, y lo mismo al contrastar la unidad de referencia del estudio contra una unidad ecoeficiente de 24 000 BTU/h.

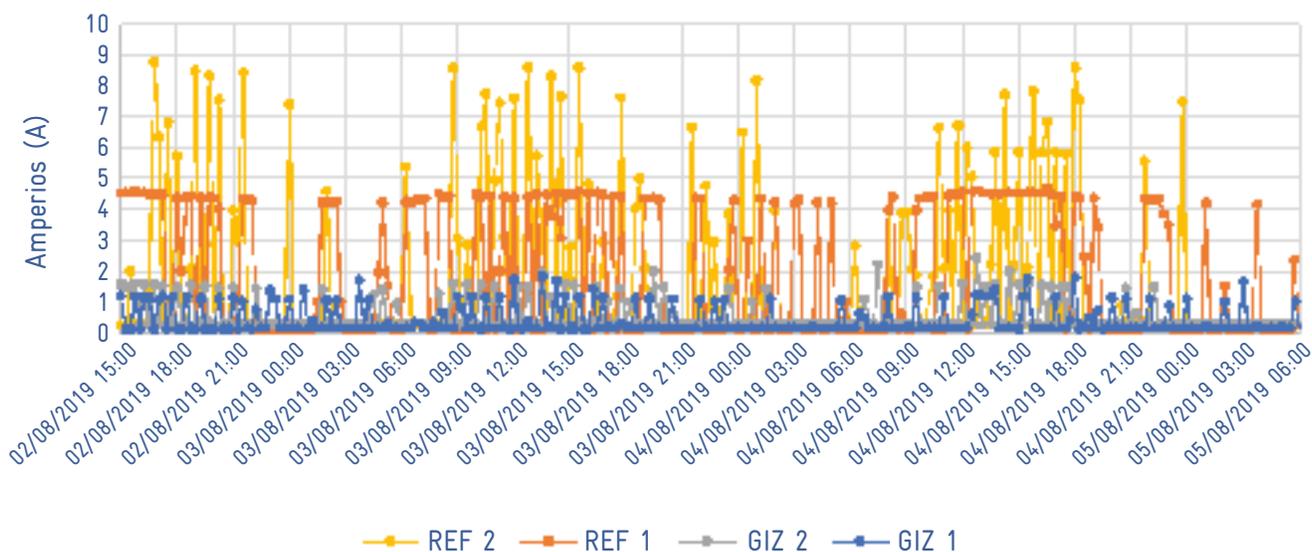


Figura 1. Gráfica de corriente contra tiempo, monitoreo energético MOPT.

Se visibiliza claramente que las unidades ecoeficientes demandan una cantidad pequeña de electricidad al comparar contra las unidades de referencia. De hecho, hay muy poca diferencia entre las unidades ecoeficientes, a pesar de la diferencia entre las capacidades térmicas. En las unidades de referencia sí hay una gran diferencia entre ellas. El comportamiento de *REF 2* es mucho más errático y con valores instantáneos más altos que *REF 1*, pero eventualmente *REF 1* reportó una corriente promedio mayor. Esto podría significar que el equipo *REF 1* requiere estar encendido por más tiempo, para poder sostener la temperatura programada. Se ve además el efecto de la radiación de la temperatura de ambiente exterior, ya que se registra menos corriente en la noche.

En la Figura 2 observamos el consumo eléctrico de las cuatro unidades. Este dato es acumulativo, dada la naturaleza misma de la unidad kWh, por lo que se reinicia el dato al empezar la prueba,

para registrar y sumar a partir de ese punto. Se destaca con claridad el mayor consumo de eléctrico en las unidades de referencia, en concordancia con los datos de corriente. Se aprecia, un aumento en el consumo entre las 12:00 y las 15:00 horas, las horas más calientes del día. Las unidades ecoeficientes no presentan una afectación notable por las horas más calientes del día, logran mantener la una demanda eléctrica más constante. También se visualiza como la unidad *REF 1* consume más que la unidad *REF 2*, lo cual es de esperar al haber presentado una mayor cantidad de corriente durante la prueba. Esto puede significar que la unidad *REF 1* es utilizada con mayor frecuencia que la unidad *REF 2*. Nuevamente, la diferencia entre las unidades ecoeficientes es pequeña, y al comparar ambas contra las unidades de referencia se vuelve a presentar una gran diferencia.

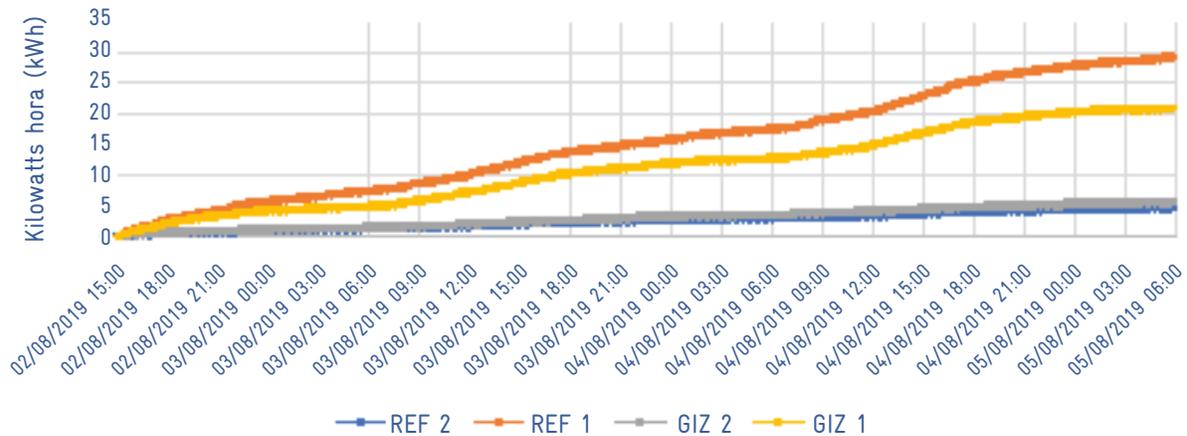


Figura 2. Gráfica de consumo eléctrico contra tiempo, monitoreo energético MOPT.

| Unidad   | Corriente promedio (A) | Consumo eléctrico total (kWh) | Potencia promedio (kWh) |
|--|------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| GIZ 1<br>Godrej<br>12k BTU<br>Inverter                 | 0,46                   | 4,66                          | 0,07                    |
| REF 1<br>Samsung<br>12k BTU                            | 2,06                   | 29,30                         | 0,47                    |
| GIZ 2<br>Godrej<br>18 k BTU<br>Inverter                | 0,60                   | 5,44                          | 0,09                    |
| REF 2 <sup>33</sup><br>Innovair<br>12k BTU<br>Inverter | 1,34                   | 15,70                         | 0,25                    |

Tabla 6. Datos promedios de prueba intensiva, MOPT.

En la Tabla 6 se resume los datos promedios de todas las lecturas de corriente, el consumo eléctrico al finalizar las 63 horas, y el dato de potencia promedio, es decir, el consumo eléctrico dividido por las horas. El dato de potencia promedio sería la cantidad de energía de la corriente eléctrica utilizada por segundo en estos equipos, considerando entonces la naturaleza del uso, sus momentos de mayor demanda y los momentos donde opera en estado de ocio o inactiva. Se visualiza entonces una gran diferencia entre las unidades ecoeficientes y las unidades de referencia. Estos números no son completamente comparables, ya que la unidad REF 2 tiene una capacidad de enfriamiento de 24 000 BTU/h, pero sí es una clara indicación del posible ahorro energético gracias a una unidad ecoeficiente.

Como parte de la colaboración con el MOPT, se ha planteado llevar a cabo una estrategia de escalamiento. Esta implica primero realizar un inventario de las unidades de AA existentes,

considerando el impacto ambiental. Seguidamente, se establecerá normas de buenas prácticas y finalmente se desarrollará un plan para reemplazar los equipos a dismantelar con equipos de AA ecoeficientes.

Aparte de la prueba intensiva, se ha recolectado datos de las unidades a lo largo de todo el tiempo que han sido instaladas, que se pueden ver en el Anexo 9. Se destaca que el consumo eléctrico diario de las unidades *Inverter* ecoeficientes de 12 000 BTU/h fue de 1,16 kWh (un ahorro en comparación con las unidades de referencia de la misma capacidad de 72,04%), mientras que las unidades de 18 000 BTU/h tuvieron un consumo eléctrico diario de 1,72 kWh, para un ahorro de 17,44%<sup>34</sup> al comparar contra la unidad REF 2 *Inverter*.

Los valores presentados pueden variar mucho, ya que el gasto energético y la eficiencia de un equipo de AA dependen en gran manera de los hábitos de los usuarios, tamaño del cuarto, presencia de ventanas, latitud y orientación respecto al sol. En el Anexo 10, se resumen en una tabla los cálculos para el ahorro teórico según las eficiencias REEE de los equipos. Las unidades ecoeficientes de 12 000 BTU/h podrían significar un ahorro del 21,06% promedio, mientras las unidades ecoeficientes de 18 000 BTU/h un ahorro de 30,77% promedio, ambas comparaciones contra las unidades de referencia de la Tabla 5.

### Hotel Ambassador

El Hotel Ambassador se ubica en el Paseo Colón, San José. Se destinó en este edificio 20 equipos de AA ecoeficientes. Se instalaron los monitores energéticos en 18 unidades y en otras unidades ya instaladas en el edificio seleccionadas como referencia. Además del monitoreo a largo plazo, el estudio intensivo tuvo un total de 26 horas.

<sup>33</sup> Los datos de MOPT 2 han sido corregidos por un factor de 25%, dado a que es una unidad con capacidad térmica de 24 000 BTU/h. Se busca simular los valores de una unidad de 18 000 BTU/h.

<sup>34</sup> Ibid.

| Unidad                         | BTU/h  | Refrigerante | Tecnología   | Eficiencia (REEE)                          |
|--------------------------------|--------|--------------|--------------|--|
| GIZ 1<br>Godrej <sup>35</sup>  | 12 000 | R-290        | Inverter     | 20,86<br>REEE                              |
| REF 1<br>Carrier <sup>36</sup> | 13 500 | R-22         | Convencional | 3,12<br>REE<br>10,63 <sup>37</sup><br>REEE |

Tabla 7. Características principales de los equipos AA en estudio.

La unidad *GIZ 3* es uno de los equipos donados de la marca Godrej. La unidad *REF 3* es un equipo de la marca Carrier que no cuenta con tecnología Inverter.

Las unidades se encendieron en habitaciones vacías de tamaño similar, con puertas y ventanas cerradas. La prueba inició el lunes 29 de julio del 2019 alrededor de las 15:00 horas y terminó el martes 30 de julio alrededor de las 19:00 horas. Además, ambas habitaciones no tienen una pared o ventana que tenga contacto directo con el exterior del edificio. Las temperaturas objetivo (20°C) de las unidades se programaron para que la temperatura del cuarto estuviera debajo de la temperatura promedio del exterior.

La habitación 211 contiene una unidad de aire acondicionado marca Carrier de ventana de aproximadamente 20 años. Esta unidad no cuenta con un termostato digital exacto, así que se usó la configuración que se detalla en la siguiente imagen. Mediante mediciones de temperatura (sensores Dallas e infrarrojo) se determinó que esta configuración es aproximadamente equivalente a una temperatura de 20 °C.



Foto 13. Equipo de AA de referencia Carrier del Hotel Ambassador.

<sup>35</sup> Especificaciones generales de las unidades Godrej en el Anexo 2.

<sup>36</sup> La unidad es convencional de tipo ventana. Se utilizan normalmente alrededor de seis horas, cuando hay huéspedes en la habitación.

<sup>37</sup> Dato estimado. Se debe mencionar que calcular el valor REEE para una unidad convencional (velocidad fija), es muy difícil. Este valor es solo un aproximado.



© GIZ Proklima, Gianfranco Vivi, 2019.

Foto 14. Equipo de AA R-290 GIZ 3.



© GIZ Proklima, Gianfranco Vivi, 2019.

Foto 15. Hotel Ambassador en Paseo Colón.

## Resultados

La habitación 209, la cual contiene la unidad ecoeficiente, por factores no conocidos, demoró varias horas hasta alcanzar una temperatura de equilibrio. Por lo tanto, a continuación, se comparan intervalos de tiempo ligeramente desfasados. No se considera que esto afecta los valores obtenidos de una forma significativa. Los gráficos con todas las variables del monitoreo se pueden observar en los Anexos 11 y 12<sup>38</sup>.

Estas unidades son evidentemente del sector comercial, específicamente del sector hotelero. Esto significa que no suele ser utilizadas con regularidad, pero cuando sí se requiere, se utilizan de manera exhaustiva. Se programan bajas temperaturas y no es extraño que las personas huéspedes manejen el equipo sin cuidado, dejando encendido la unidad al salir de la habitación.

En la Figura 3 se observa claramente que la unidad *REF 3* requiere de más corriente eléctrica para mantener la temperatura objetivo del cuarto. Previamente se mencionó que la unidad ecoeficiente *GIZ 3*, por un factor desconocido, alcanzó la temperatura objetivo con un retraso temporal. Se sospecha que las condiciones iniciales de la habitación pudieron haber sido diferentes que las del cuarto con la unidad *REF 3*. Prueba de esto, la curva de corriente de la unidad ecoeficiente *GIZ 3* mantiene un valor casi constante desde el inicio de la prueba hasta alrededor de las 01:00 horas del día 30. A partir de este momento, la curva de corriente denota mayoritariamente un funcionamiento en estado de ocio, intercalado con períodos de funcionamiento. Estos períodos de funcionamiento coinciden en grandes rasgos con los períodos de funcionamiento de la unidad *REF 3*. Se visualiza además que la unidad *REF 3* tiene una corriente en estado ocio mayor.

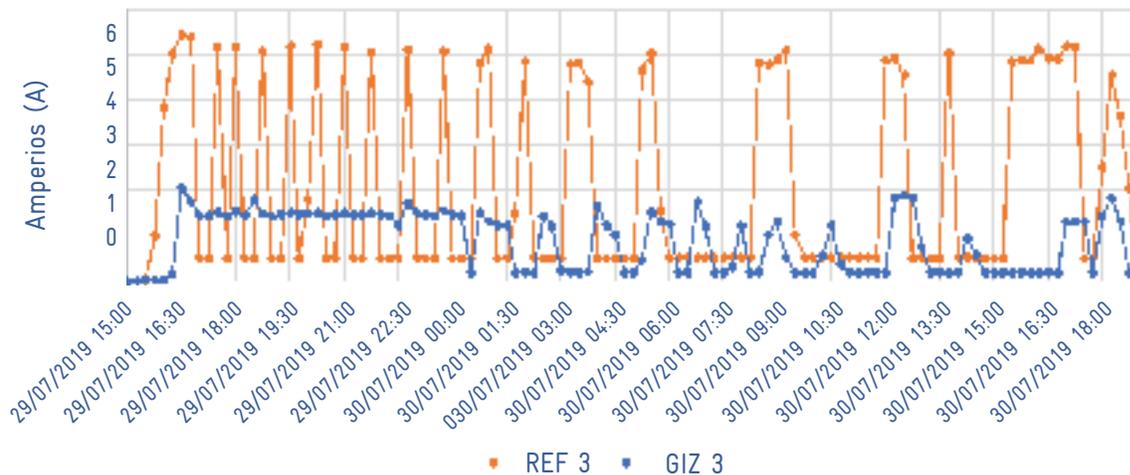


Figura 3. Gráfica de corriente contra tiempo, monitoreo energético Hotel Ambassador.

En la Figura 4 se compara el consumo eléctrico entre las dos unidades. Tal y como se espera de acuerdo con los datos de corriente eléctrica, la unidad REF 3 consume más que la unidad ecoeficiente GIZ 3. Se logra detallar un declive en la curva de consumo de la unidad ecoeficiente GIZ 3, que coincide con el momento de estabilización de temperatura y de funcionamiento determinado en la curva de corriente eléctrica. La curva de REF 3 se mantiene con una pendiente constante, operando entonces de manera similar durante toda la prueba. Las curvas parecen indicar que estas unidades no se vieron afectadas por el aumento de temperatura durante el día. Se mantuvo el comportamiento alternado entre funcionamiento activo y funcionamiento ocioso. Esto se puede explicar por la ubicación seleccionada para llevar las pruebas, evitando la incidencia de radiación solar. Se observa que ambas habitaciones ofrecían condiciones muy similares.

| Unidad           | Corriente promedio (A) | Consumo eléctrico total (kWh) | Potencia promedio (kWh) |
|------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| GIZ 3<br>Godrej  | 0,91                   | 4,79                          | 0,18                    |
| REF 3<br>Carrier | 1,90                   | 12,63                         | 0,49                    |

Tabla 8. Datos promedios de prueba intensiva, Hotel Ambassador.

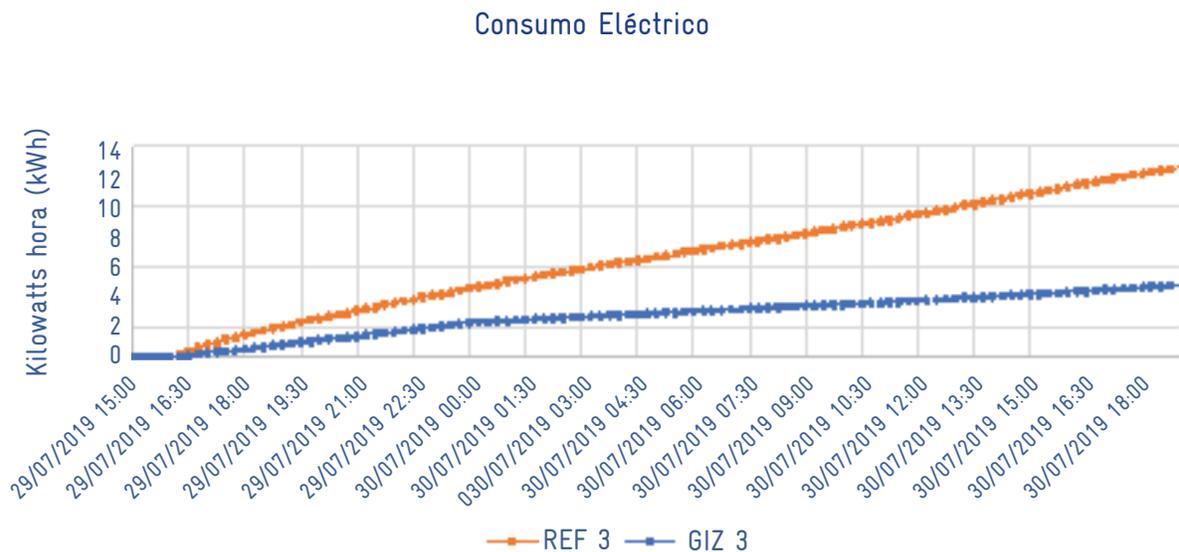


Figura 4. Gráfica de consumo eléctrico contra tiempo, monitoreo energético Hotel Ambassador.

Las potencias promedio obtenidas para las unidades tienen una gran diferencia entre sí, comparables con los resultados obtenidos en la prueba intensiva en el MOPT. Se destacan dos puntos de esta tabla. Primero, la potencia de la unidad ecoeficiente *GIZ 3* es un poco más que el doble de la potencia de *GIZ 1*, a pesar de que son de la misma marca y modelo. Sin embargo, se mantuvo una diferencia significativa respecto a la unidad de referencia. En segundo lugar, la unidad *REF 3* y la unidad *REF 1* tienen potencias promedio casi idénticas, lo que sugiere que son unidades que han tenido un uso y desgaste parecido.

En el Hotel Ambassador se destinó 20 unidades ecoeficientes y 18 dispositivos de monitoreo energético. Los datos históricos de todas las unidades monitoreadas en Hotel Ambassador se pueden ver en el Anexo 13. Al comparar las unidades ecoeficientes de 12 000 BTU/h contra las unidades Carrier, se encuentra una diferencia de 63,87% en el consumo eléctrico diario (kWh). El consumo eléctrico diario de las unidades ecoeficientes fue de 1,10 kWh. También se colocaron dos unidades ecoeficientes de

18 000 BTU/h en las salas de eventos del hotel. Tuvieron un consumo diario de 2,57 kWh, lo cual es mayor a las unidades ecoeficientes instaladas en MOPT. Al ser una sala muy grande de eventos y no oficinas, el uso requirió de mayor energía debido al tipo de actividad desarrollado, con más aforo y por más horas seguidas. De igual manera, en el Anexo 14 se puede observar la estimación teórica de ahorro, la cual es del 39,47%.

### ICE

La empresa pública ICE recibió 20 unidades ecoeficientes. El ICE estaba interesado en llevar a cabo su propio programa de monitoreo, y la información de este proyecto todavía no está disponible. Sin embargo, si se realizó un monitoreo a menor escala en colaboración con GIZ. En el Laboratorio de Eficiencia Energética del ICE se instalaron dos unidades ecoeficientes, en ambas capacidades de enfriamiento. Las unidades se pusieron a funcionar sin parar por varios días seguidos y por períodos de tiempo más largos.



© GIZ Proklima, Gianfranco Vivi, 2019.

Foto 16. Unidad ecoeficiente con capacidad de 12 000 BTU/h (izquierda).



© GIZ Proklima, Gianfranco Vivi, 2019.

Foto 17. Unidad de condensación de la unidad ecoeficiente de 18 000 BTU/h.

| Unidad                           | BTU/h  | Refrigerante | Tecnología | Eficiencia |
|----------------------------------|--------|--------------|------------|------------|
| GIZ 1 Godrej <sup>39</sup>       | 12 000 | R-290        | Inverter   | 20,86      |
| GIZ 5 Godrej                     | 18 000 | R-290        | Inverter   | 20,86      |
| REF 4 Comfort star <sup>40</sup> | 12 000 | R-410A       | Inverter   | 15,00      |

Tabla 9. Características principales de los equipos AA en estudio.

A la hora de la instalación del monitor energético en la unidad REF 4, se conectó solamente a la unidad interior, es decir, al evaporador, sus circuitos asociados, el panel de información (luces LED) y ventiladores. La gran mayoría del consumo energético no fue medido por este monitor, como el consumo de la unidad de condensación. Las dos unidades fueron instaladas en el laboratorio de calibración, y programadas a la misma temperatura de 23 °C.

## Resultados

| BTU/h  | Días | Corriente promedio (A) | Consumo eléctrico total (kWh) | Consumo eléctrico diario (kWh) |
|--------|------|------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 12 000 | 21   | 0,31                   | 14,60                         | 0,70                           |
| 18 000 | 22   | 0,65                   | 44,10                         | 2,00                           |

Tabla 10. Datos históricos unidades Godrej.

Las unidades han sido utilizadas de diferente manera. Ha predominado el uso continuo, es decir, sin apagar del todo durante días completos. Estas unidades operaron siempre con la temperatura programada. Las unidades se utilizaron en distintos períodos de tiempo.

El monitoreo en general no ha podido ser tan ambicioso como se esperaba. No se concedió acceso a la red de internet del ICE, por lo que se facilitó un enrutador wifi adicional. Los dispositivos de monitoreo energético no cuentan con memoria interna, por lo que la información no enviada por la falta de conexión se ha perdido. Tampoco se ha logrado definir ciertos aspectos de la colaboración de ICE con GIZ, por lo que hacía falta el uso de contraseñas y demás pasos de seguridad para acceder a información debido a la falta de establecimiento de permisos y regularidad del intercambio de información. Sin embargo, está contemplado resolver estos inconvenientes y realizar mejores pruebas y más ambiciosas en el futuro.

Se han instalado dos unidades que han sido llevadas al extremo, al utilizarse de manera continua por varios días, en condiciones de laboratorio, y no han fallado ni se han sobrecalentado. Las unidades ecoeficientes han estado a la altura de las pruebas y se han comportado de manera similar al equipo de referencia.

## Otras demostraciones

Los dispositivos de monitoreo energético también se instalaron en otros equipos donados a otras instituciones. Las unidades monitoreadas fueron utilizadas de diferente manera y en diferentes condiciones. Se observa y se analiza los valores históricos de uso, los cuales ofrecen información y evidencia sobre el funcionamiento de las unidades ecoeficientes. Las instituciones de los edificios donde se colocaron las unidades son instituciones dedicadas a la protección de ambiente y sus ecosistemas. Dada a esta razón, se observa que las unidades fueron utilizadas con mucho celo, sólo para actividades o instantes realmente necesarios, y no por mucho tiempo, por lo cual se dificultó el aislamiento de un patrón de conducta representativo y comparable.

<sup>39</sup> Especificaciones generales de las unidades Godrej en el Anexo 2.

<sup>40</sup> Unidad Inverter tipo split previamente instalada en el laboratorio. Esta habitación en específico requiere que los equipos se utilicen a lo largo de todo el día.

| Unidad ecoeficiente <sup>41</sup> | Ubicación        | BTU/h  |
|-----------------------------------|------------------|--------|
| GIZ 5                             | DCC              | 18 000 |
| GIZ 6                             | DIGECA           | 18 000 |
| GIZ 7                             | MINAE            | 18 000 |
| GIZ 8                             | MiTransporte GIZ | 18 000 |
| GIZ 9                             | MiTransporte GIZ | 18 000 |

Tabla 11. Unidades monitoreadas.

Estas unidades fueron utilizadas de manera cotidiana, en salas de reunión, sin hacer ningún experimento planificado. No se contemplaron unidades de referencia ya que en esos espacios no se tenía equipos de AA previamente, o todos los equipos de AA del espacio ya eran ecoeficientes que operaban con el refrigerante R-290. En el Anexo 15 se encuentra una tabla con el resumen histórico de varias variables en el uso de cada unidad.

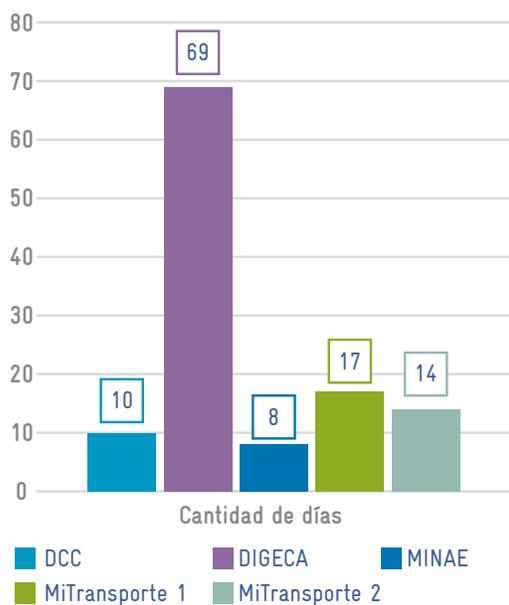


Figura 6. Total de días de uso de cada unidad ecoeficiente.

En la Figura 6 se observa como la unidad *GIZ 6*, instalada en las oficinas de DIGECA, ha operado más días que las otras unidades. Las unidades en general están colocadas en espacios de reunión, por lo que no es usual que se utilicen de manera seguida, y de utilizarse, se haría por ratos y no por toda la jornada laboral. Las unidades tienen más de un año de haber sido instaladas: *GIZ 5*, *GIZ 8* y *GIZ 9* se instalaron en diciembre de 2018; *GIZ 6* y *GIZ 7* en abril de 2019.

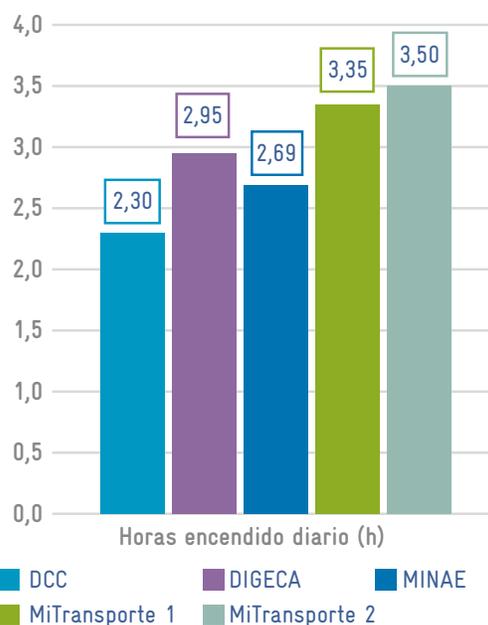


Figura 7. Horas promedio de encendido diario de cada unidad ecoeficiente.

Mediante el monitoreo energético, se puede hacer una estimación del tiempo encendido diario de cada equipo. Esto se realiza mediante la lectura de la corriente. Se establece con este parámetro un límite, el cual define si el equipo está encendido o apagado. Esto no funciona con otros equipos, como los de referencia, ya que el comportamiento del equipo y la corriente en estado ocioso son diferentes. Para el ejercicio de la Figura 7 se definió el límite de encendido como 2,5 A, superior a la corriente de ocio o de "standby". Se observa que las unidades se utilizaron normalmente entre dos y cuatro horas, a excepción de la unidad *GIZ 7* que se usó cerca de media hora diariamente.

41 Especificaciones generales de las unidades Godrej en el Anexo 2.

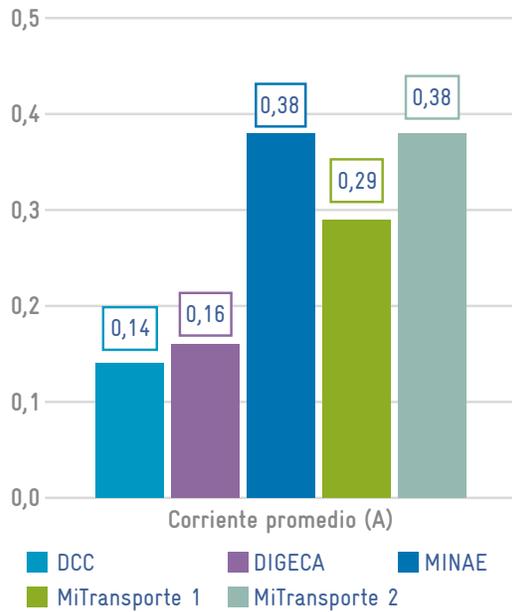


Figura 8. Corriente promedio requerida en el uso de cada unidad ecoeficiente.

En la Figura 8 se puede empezar a discernir el tipo de uso que tuvieron las unidades. Se destaca que *GIZ 9* requirió una mayor cantidad promedio de corriente para satisfacer las condiciones de su entorno y las condiciones programadas de operación. Por ejemplo, programar una temperatura muy baja cuando está muy caliente afuera del cuarto o del edificio, o utilizar la unidad y tener una ventana abierta en el cuarto.

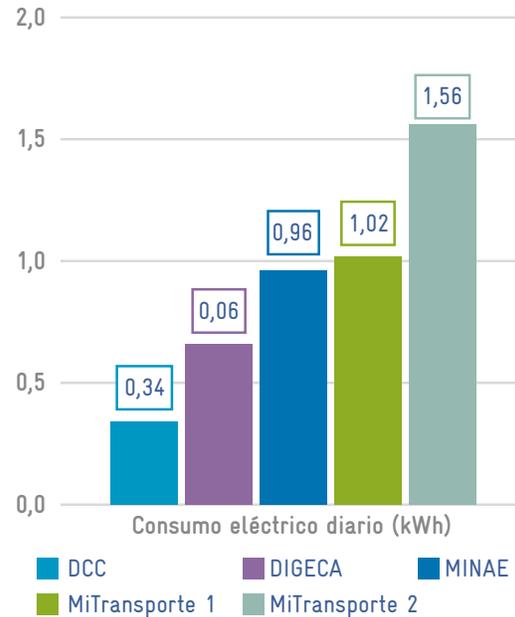


Figura 9. Consumo energético promedio diario de cada unidad ecoeficiente.

Se puede entender de la Figura 9, que la unidad *GIZ 5* operó requirió menos consumo eléctrico ya que se encendía la menor cantidad de días y seguramente trabajaba con condiciones más estables. Estos factores inciden en que sea la unidad sea la más eficiente. Además, se destaca que la unidad *GIZ 9* es la que necesitó más consumo eléctrico, lo cual coincide con que también es la unidad que se utilice más horas al día y con mayor requerimiento de corriente eléctrica. Esta unidad y *GIZ 8* están en un gran salón de donde se suele realizar eventos que duran todo el día y con un gran aforo. Esto explica su consumo eléctrico mayor.

### Conclusiones del monitoreo energético

Se evidencia a través de los datos analizados, que las unidades ecoeficientes consumen menos energía, operan con menor corriente tanto en estado activo como en estado ocioso, y responden de mejor manera ante los cambios de la temperatura externa.

| Unidad                          | Corriente promedio (A) | Consumo eléctrico total (kWh) | Potencia promedio (kWh) |
|---------------------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| GIZ 1 MOPT                      | 0,46                   | 4,66                          | 0,07                    |
| REF 1 Convencional MOPT         | 2,06                   | 29,30                         | 0,47                    |
| Diferencia %                    | 77,67                  | 84,10                         | 85,11                   |
| GIZ 2 MOPT                      | 0,60                   | 5,44                          | 0,09                    |
| REF 2 Inverter MOPT             | 1,34                   | 15,70                         | 0,25                    |
| Diferencia %                    | 55,06                  | 65,34                         | 63,64                   |
| GIZ 3 Hotel Ambassador          | 0,91                   | 4,79                          | 0,18                    |
| REEF 3 Ventana Hotel Ambassador | 1,9                    | 12,63                         | 0,49                    |
| Diferencia %                    | 52,11                  | 62,07                         | 63,27                   |
| PROMEDIO DIFERENCIA             | 61,61                  | 70,50                         | 70,67                   |

Tabla 12. Resumen estudios intensivos<sup>42</sup>.

En la Tabla 12 se resume las diferencias entre las unidades evaluadas en los estudios intensivos. Si bien las unidades no son estrictamente comparables, ya que tienen diferente capacidad térmica, exceptuando el primer caso, si ayuda a tener una idea aproximada del posible ahorro energético al utilizar una unidad ecoeficiente. En los tres casos contrastados, la potencia y el consumo eléctrico fue dos veces y hasta cuatro veces menor en las unidades ecoeficientes.

| Ubicación                | BTU/h | Prueba intensiva | Datos Históricos | Promedio |
|--------------------------|-------|------------------|------------------|----------|
| MOPT <sup>44</sup>       | 12k   | 84,10%           | 72,04%           | 78,07%   |
| MOPT <sup>45</sup>       | 18k   | 65,34%           | 17,44%           | 41,39%   |
| Ambassador <sup>46</sup> | 12k   | 62,07%           | 67,87%           | 62,97%   |
| Promedio                 | 14k   | 70,50%           | 51,12%           | 60,81%   |

Tabla 13. Comparación de datos históricos contra estudios intensivos respecto a consumo eléctrico diario<sup>43</sup>.

En la Tabla 13 se puede apreciar los resultados comparativos de las dos fuentes de datos: las pruebas intensivas en MOPT y en el Hotel Ambassador, respectivamente 63 y 26 horas, y los datos históricos de todas las unidades con capacidades térmicas de enfriamiento correspondientes en dichas instalaciones. En todos los casos se respetaron las diferentes tecnologías, es decir, las unidades comparadas en los datos históricos y en las pruebas intensivas son todas del mismo tipo. En MOPT, las unidades de 12 000 BTU/h de referencia son de tecnología convencional, y la unidad de 18 000 BTU/h es *Inverter*. En el Hotel Ambassador las unidades de referencia son todas Carrier tipo ventana.

El monitoreo energético es difícil de llevar a cabo ya que las unidades se utilizan de diferente manera. Bajo esta idea se realizó las pruebas, ya que hay certeza que los equipos se están utilizando de la misma manera. Sin embargo, los equipos no se utilizan de manera continua por todo el día, y tampoco se recomienda este tipo de funcionamiento. Debido a esto se buscó contrastar esta información contra los datos históricos (ver Anexo 16). El consumo eléctrico diario cambia bastante entre estos dos tipos de datos, pero se aprecia que las diferencias

<sup>42</sup> Las diferencias en esta tabla se refieren a la diferencia porcentual respecto a la unidad de referencia. Por ejemplo, la unidad GIZ 1 consumió 84,10% menos corriente eléctrica que REF 1.

<sup>43</sup> Información de datos históricos en los Anexos 9 y 13.

<sup>44</sup> REF 1 contra GIZ 1 para la prueba intensiva. En los datos históricos se consideraron todas las unidades de 12 000 BTU/h de tecnología convencional instaladas en MOPT, unidades Godrej y unidades previamente instaladas.

<sup>45</sup> REF 2 contra GIZ 2 para la prueba intensiva. En los datos históricos se consideraron todas las unidades de 18 000 BTU/h de tecnología Inverter instaladas en MOPT, unidades Godrej y unidades previamente instaladas.

<sup>46</sup> REF 3 contra GIZ 3 para la prueba intensiva. En los datos históricos se consideraron todas las unidades de 12 000 BTU/h de tecnología ventana instaladas en el Hotel Ambassador, unidades Godrej y unidades previamente instaladas.

porcentuales no cambiaron significativamente. Por esta razón, se utiliza el promedio de ambos datos, ya que así se contempla el uso idéntico (en la prueba intensiva) y el uso diario de los equipos, el cuál varía en horas y cantidad de días. Se resalta que en ambos tipos de datos hay más diferencia entre las unidades ecoeficientes y la unidad convencional, que contra las unidades tipo ventana. Este resultado se debe a la complejidad que lleva conseguir datos con condiciones similares. En la prueba intensiva, la unidad ecoeficiente tardó mucho tiempo particularmente para estabilizar la temperatura, lo que acortó distancia con el consumo de la unidad Carrier. Mientras que, en los datos históricos, las unidades ecoeficientes se utilizaron en promedio 31,07 días, mientras que las unidades Carrier, que se utilizaron 22,67 días (ver Anexo 16). Lo ideal habría sido que se hayan utilizado con una cantidad de días similar, es de esperar que la diferencia sea mayor que con la unidad convencional.

A pesar de las diferencias de uso, en cantidad de días y horas por día, y las eventualidades de la prueba intensiva, la gran cantidad de datos históricos ofrecen robustez a los resultados, y en cierta manera confirman los valores de las pruebas intensivas, ya que son bastante similares, exceptuando la comparación en MOPT en unidades de 18 000 Btu/h, ya que son de tecnología *Inverter*. Se puede estimar conservativamente, que entre los equipos de tecnología convencional instalados tanto en el MOPT como en el Hotel Ambassador, y una unidad ecoeficiente con refrigerante R-290, hay una diferencia en el consumo eléctrico de al menos un 40%.

Se recomienda que los fabricantes de equipos de AA incluyan desde fábrica dispositivos de monitoreo energético como parte de cada unidad de AA,

muchos equipos ya tienen inclusive WIFI integrado, lo cual serviría como medio para la transmisión de datos. Un estudio preliminar estima el costo adicional de producción en, aproximadamente, menos de 10\$ por unidad. Estos sensores deben poder transmitir sus datos mediante un protocolo estandarizado (por ejemplo, MQTT) a un servidor configurable. Esto permitiría, a bajo costo, crear una red muy amplia de monitoreo energético a nivel internacional. Si no se pudiera incorporar sensores en la misma fábrica, se recomienda el desarrollo de un sensor externo estandarizado para el mismo fin.

Se nota un alto interés en la posibilidad de poder controlar equipos de AA de forma inteligente. En un Hotel, la recepción podría remotamente encender los AA antes de que el huésped entra a su habitación, y apagar el AA cuando el huésped salga del Hotel. Esto podría conllevar ahorros energéticos importantes, sin impactar la experiencia del huésped. En otros hoteles, se expresó interés en la posibilidad de cobrar a huéspedes por un consumo energético excesivo. Este enfoque tal vez se podría incorporar en un programa de "ecoturistas", donde se incentiva o por lo menos se concientiza a los usuarios del impacto de consumo energético que tienen sus acciones.

Se recomienda también definir un esquema estadístico estándar de evaluación y comparación de monitoreo energético. De esta manera, el monitoreo energético se puede escalar y los resultados entre diferentes versiones serían contrastables.



*Handwritten signature*

NXW  
INDIA'S  
BEST AC  
SHER

18000575A00427

FOR SERVICE AND  
REPAIRS ONLY  
DO NOT REMOVE  
THIS LABEL  
18000575A00427



© GIZ Proklima, Gianfranco Vivi, 2019.

# COSTOS DE OPERACIÓN

Las unidades ecoeficientes han mostrado un menor consumo energético. En este proyecto se ha comparado el funcionamiento de estas unidades contra unidades de diferentes tipos. A continuación, se compara los costos y el ahorro monetario contra estos tipos de equipos de AA.

En la Tabla 14<sup>47</sup> se utilizó solamente la tarifa comercial de ICE<sup>48</sup>. De acuerdo con estimaciones para nuestra latitud y zona climática, se asume que un equipo se utiliza alrededor de 1951 horas promedio al año<sup>49</sup>. Este uso representaría el uso potencial de estas unidades, sin embargo, tanto en MOPT como en el Hotel Ambassador se utilizan menos horas al año. Según las estimaciones realizadas con el monitoreo energético, estas unidades podrían operar alrededor de 800 horas promedio al año. Por lo tanto, el cálculo estimado utiliza este dato.

De acuerdo con el costo de inversión de una unidad *Inverter* con refrigerante R-290, aproximadamente \$600 para 12.000 BTU/h y \$800 para 18.000 BTU/h, se podría recuperar la inversión promedio en 10

años al cambiar por una unidad split convencional y ventana, tanto con el ahorro potencial como con el estimado. En el caso de la unidad ventana, se ha explicado que se puede esperar un mayor ahorro en el consumo eléctrico, lo que implicaría un mayor ahorro monetario. En todo caso, estos equipos son viejos y utilizan refrigerantes como el R-22, el cual está en proceso de desuso y eliminación<sup>50</sup>. Por otro lado, el ahorro de una unidad ecoeficiente al comparar contra unidades split *Inverter*, puede y debería incentivar a los consumidores que están por reemplazar equipos, a reemplazarlos con una unidad ecoeficiente como las presentadas en este proyecto.

Los cálculos de costos dispuestos en la Tabla 14 no son totales, y el costo verdadero, y por ende el ahorro, son aún más grandes. Las tarifas utilizadas representan únicamente el cobro por consumo de energía (kWh). Hace falta considerar el cobro por consumo de potencia (kW) y además tipificar el volumen de energía consumida por tipo de edificio, ya que hay tarifas diferenciadas después de cierto límite por consumo<sup>51</sup>. Por ende, costos operacionales

| Comparación                           | BTU/h  | Consumo energético diario (kWh) | Consumo energético en un año potencial (1951 horas) (kWh) | Ahorro en un año potencial (1951 horas), tarifa comercial (\$) | Ahorro en 10 años potencial (1951 horas), tarifa comercial (\$) | Consumo energético en un año estimado (800 horas) (kWh) | Ahorro en un año estimado (800 horas), tarifa comercial (\$) | Ahorro en 10 años estimado (800 horas), tarifa comercial (\$) |
|---------------------------------------|--------|---------------------------------|---|--|---|---|--|---|
| R-290 inverter y ventana convencional | 12 000 | 1,10                            | 351,08  | 119,26   | 1.192,59  | 148,11  | 50,31  | 503,12  |
| R-290 inverter y split convencional   | 12 000 | 1,16                            | 371,07  | 263,80   | 2.637,98  | 156,54  | 111,29   | 1.112,90  |
| R-290 inverter y split inverter       | 18 000 | 1,72                            | 550,15  | 77,60  | 775,99  | 232,10  | 32,74  | 327,37  |

Tabla 14. Ahorros monetarios potenciales de unidades ecoeficientes contra otros tipos de unidades.

47 Se utilizaron las comparaciones y los porcentajes de ahorro de consumo eléctrico promedio según la Tabla 13.

48 RICE, 2020: Tarifas eléctricas para el año 2020.

49 UNEP, 2019: Energy – Efficient and Climate – Friendly Air Conditioners. MODEL REGULATION GUIDELINES; MINAE (2019) Inventario de Gases de Efecto Invernadero de Refrigeración y Aire Acondicionado para Costa Rica (2012–2016) (en español).

50 EPA: Phaseout of Ozone – Depleting Substances (ODS).

51 Por ejemplo, en tarifa comercial, cada kWh por debajo de 3000 kWh cuesta ¢116,15. Cada kWh por encima de 3000 kWh se cobra a ¢69,50.

son suficientes para cubrir la inversión de una unidad ecoeficiente, en el caso de que se utilicen 1.951 horas al año, dato estimado según la latitud y clima de nuestro país. Sin embargo, para el caso de 800 horas de uso al año, dato obtenido según el monitoreo energético realizado, la inversión se recupera solamente al comparar las unidades ecoeficientes contra la unidad ventana y split convencionales. Se destaca que sí hay un ahorro al comparar contra la unidad split Inverter, que no llega a ser suficiente para cubrir la inversión, sí es considerable y debería ser un tema al considerar al cambiarse un equipo convencional por uno más moderno. Se entendería que un reemplazo atractivo sería el cambio por una unidad ecoeficiente, entre las unidades comparadas.

| Ubicación                | BTU/h  | Unidades potenciales a reemplazar | Ahorro potencial en un año, tarifa comercial (1951 horas) (\$) | Ahorro estimado en un año, tarifa comercial (800 horas) (\$) |
|--------------------------|--------|-----------------------------------|--|--|
| Ambassador <sup>52</sup> | 12 000 | 15                                | 1.788,88   | 754,68   |
| Ambassador <sup>53</sup> | 18 000 | 5                                 | 388,00   | 163,69   |
| MOPT <sup>54</sup>       | 12 000 | 8                                 | 2.110,39   | 890,32   |
| MOPT <sup>55</sup>       | 18 000 | 12                                | 931,19   | 392,85   |

Tabla 15. Ahorros monetarios potenciales y estimados en las instituciones participantes al cambiar las unidades de AA.

La tecnología *Inverter* con refrigerante R-290 se puede también comparar observando no solo los costos operacionales como se ha hecho, sino también observando los costos de instalación, mantenimiento, factura eléctrica y eficiencia. Se compara teóricamente a continuación la tecnología *Inverter* con refrigerante tradicional contra la misma tecnología, pero con refrigerante natural R-290.

| Refrigerante                                 | 12 000 BTU/h            |        | 18 000 BTU/h            |        |
|--|-------------------------|--------|-------------------------|--------|
|  | R-410A                  | R-290  | R-410A                  | R-290  |
| Uso típico (tarifa) <sup>56</sup>            | Residencial y comercial |        | Residencial y comercial |        |
| Capacidad (kW)                               | 3,5                     | 3,5    | 5,3                     | 5,3    |
| REEE   | 19 <sup>57</sup>        | 20,86  | 19 <sup>58</sup>        | 20,86  |
| Consumo eléctrico anual (kWh)                | 1.232                   | 1.123  | 1.847                   | 1.684  |
| Facturación eléctrica anual (\$)             | 270,88                  | 246,88 | 406,32                  | 370,32 |
| Ahorro energético de unidad ecoeficiente (%) | -8,86%                  |        | -8,86%                  |        |
| Ahorros potenciales a 10 años <sup>59</sup>  | 267,69                  |        | 401,33                  |        |
| TIR  | 38,19%                  |        | 44,61%                  |        |

Tabla 16. Comparación económica teórica de unidades ecoeficientes contra unidades del mercado (1951 hrs/a).

En Costa Rica, para el año 2019, la gran mayoría de las unidades de AA tipo split con tecnología *Inverter* en el mercado, tienen un REEE promedio de 19.<sup>60</sup> En la Tabla 16 se resume dos cálculos financieros: el cálculo teórico de ahorro según eficiencia y la tasa de rentabilidad interna (TIR). Se compara entonces el modelo más presente en el mercado contra las unidades ecoeficientes importadas. Las unidades importadas tienen un valor agregado mayor al operar con un refrigerante distinto, por lo que tienen un mayor costo de inversión. Sin embargo, al considerar la mayor eficiencia energética, y costos de instalación y mantenimiento, se llega a la conclusión que a 10 años es más rentable adquirir un equipo ecoeficiente. Se argumenta entonces en caso de renovar un equipo de AA, se debería renovar con una unidad ecoeficiente. Los cálculos se pueden observar en los Anexos 17, 18 y 19.

<sup>52</sup> Comparación R-290 Inverter y ventana convencional, según Tabla 14.

<sup>53</sup> Comparación R-290 Inverter y split Inverter, según Tabla 14.

<sup>54</sup> Comparación R-290 Inverter y split convencional, según Tabla 14.

<sup>55</sup> Comparación R-290 Inverter y split Inverter, según Tabla 14.

<sup>56</sup> Se utilizó el promedio de la tarifa residencial superior a 200 kWh de ₡139,00, y de la tarifa comercial menor a 3.000 kWh de ₡69,50.

<sup>57</sup> GIZ, 2020: Estudio de mercado sobre la eficiencia energética de las AA tipo split en Costa Rica.

<sup>58</sup> Ibid.

<sup>59</sup> Solamente se considera diferencias teóricas por las eficiencias de los equipos. Hace falta considerar el uso y mantenimiento.

<sup>60</sup> GIZ, 2020: Estudio de mercado sobre la eficiencia energética de las AA tipo split en Costa Rica.

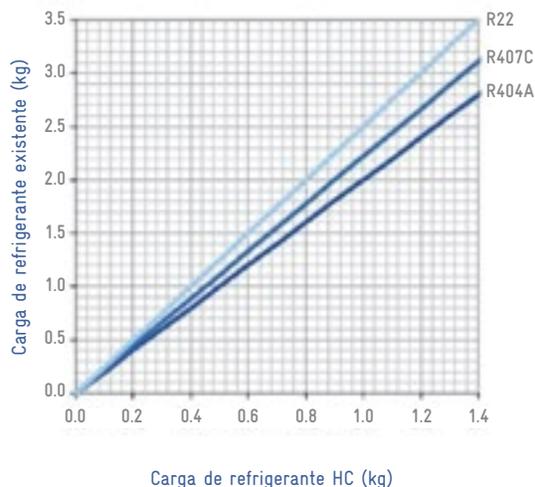


Figura 10. Conversión de carga de refrigerante tradicional a carga equivalente estimada de refrigerante de hidrocarburo (Ej.: R-290)<sup>61</sup>.

Sin embargo, no se consideró los costos económicos y ambientales de los equipos de AA que utilizan refrigerantes HCFC y HFC, los cuales son sustancias SAO y con alto PCG. Además de estas emisiones, tampoco se consideró los costos de recuperación de refrigerantes, almacenamiento y logística de recarga de refrigerantes, pruebas y destrucción de viejos refrigerantes.

Los costos de mantenimiento se consideraron de igual manera, al mismo precio. Sin embargo, los costos de mantenimiento son inferiores en equipos de AA con R-290 ya que tienen menor incidencia de fugas. Además, por ser una sustancia más eficiente, se requiere menos carga que los refrigerantes tradicionales (ver Figura 10). Se debe mencionar, que los precios de los refrigerantes tradicionales, como R-22 y R-410A, incrementarán en el futuro, se implementará uso de cuotas permitidas al año, y en algunas ocasiones impuestos, que se han implementado para desmotivar el uso de esas sustancias, como parte de los diferentes compromisos mundiales y nacionales para reducir el impacto ambiental, como el Protocolo de Montreal y los NDC (Contribuciones Nacionalmente Determinadas)<sup>62</sup>. Por otro lado, los refrigerantes naturales son promovidos. Se espera que a mediano plazo la zona latinoamericana siga esta tendencia.

<sup>61</sup> GIZ Proklima, 2011: Operation of Split Air Conditioning Systems with Hydrocarbon Refrigerant.

<sup>62</sup> European Environmental Agency, 2019.



© GIZ Proklima, Gianfranco Vivi, 2019.

# POTENCIAL DE MITIGACIÓN

Actualmente la presencia de equipos de AA amigables con el ambiente y ecoeficientes en Latinoamérica es muy reducida. En muchos países la tecnología no ha ingresado formalmente al mercado, y en los países que sí han avanzado en esta materia todavía no se ha realizado una implementación completa y con poca participación en el mercado. El proyecto descrito ha sido uno de los esfuerzos más ambiciosos en la región en busca de ese objetivo. La mayoría de la tecnología disponible utiliza refrigerantes que agotan la capa de ozono (HCFC), o sus alternativas, los refrigerantes HFC, que no dañan la capa de ozono, pero sí tienen un alto PCG, por lo que inciden de gran manera en el efecto invernadero. A pesar de la alta producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables en Costa Rica, un equipo de AA emite alrededor de 3,7 toneladas de CO<sub>2</sub>eq a lo largo de su vida útil (10 años)<sup>63</sup>. Actualmente en Costa Rica existe 300,000 unidades de AA y las ventas están aumentando. El sector de Refrigeración y Aire Acondicionado (RAA) es responsable de aproximadamente el 12% de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en 2012<sup>64</sup>. El Gobierno de Costa Rica tiene planes climáticos ambiciosos

y ha implementado un sistema para reconocer a empresas y organizaciones con una correcta gestión de las emisiones GEI<sup>65</sup>. Para alcanzar esta meta, se debe transitar a refrigerantes con menor PCG, como lo son los refrigerantes naturales (R-290).

En la Figura 11 se observa la proyección de las emisiones GEI de acuerdo con tres distintos escenarios. El escenario BAU (Business As Usual), representa la situación donde la industria sigue el mismo curso que ha llevado. El escenario MIT: REF (mitigación y refrigerantes) ilustra el caso en el que se apliquen medidas de mitigación y que ocurra una transición a refrigerantes naturales como R-290. Finalmente, MIT: REF+EE añade el uso de equipos altamente eficientes al escenario anterior. En equipos de AA unitario existe el potencial de ahorro de 4,52 megatoneladas de CO<sub>2</sub>eq acumuladas para el año 2050. Se pueden lograr ahorros adicionales en las emisiones al aumentar más drásticamente el despliegue de los equipos con tecnología *Inverter* de gran eficiencia energética<sup>66</sup>.

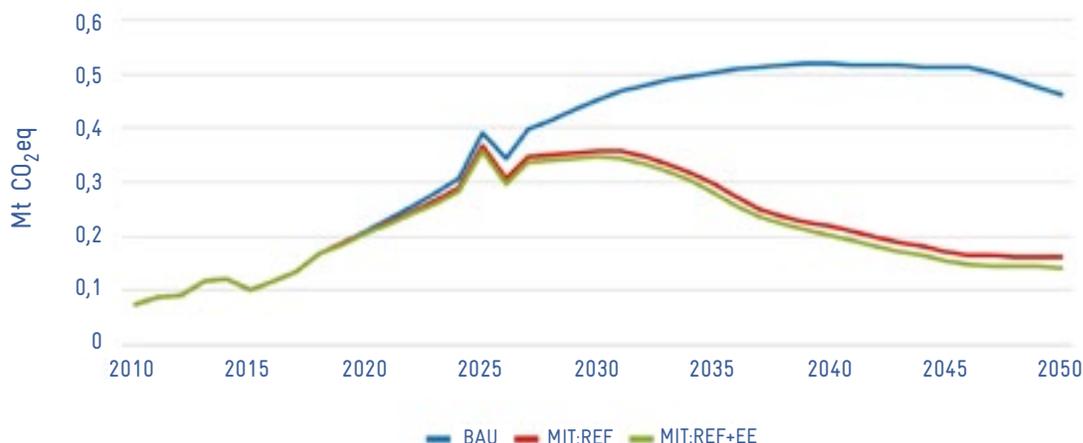


Figura 11. Emisiones de GEI proyectadas para el aire acondicionado unitario, años 2010 – 2050.

<sup>63</sup> Según 13% tasa de fugas de refrigerante promedio al año en Costa Rica en equipos de AA tipo split basado en, GIZ, 2020a: Estudio de fugas en equipos de aire acondicionado tipo split en Costa Rica.

<sup>64</sup> MINAE, 2019: Inventario de Gases de Efecto Invernadero de Refrigeración y Aire Acondicionado para Costa Rica (2012-2016).

<sup>65</sup> DCC, 2018: Programa País Carbono Neutral versión 2.0.

<sup>66</sup> MINAE, 2019: Inventario de Gases de Efecto Invernadero de Refrigeración y Aire Acondicionado para Costa Rica (2012-2016).

Una unidad ecoeficiente tiene un potencial de mitigación de promedio 2,2 toneladas de CO<sub>2</sub>eq en comparación contra una unidad convencional, es decir, una emisión total de 1,5 toneladas a lo largo de su vida útil (10 años), considerando tanto emisiones directas (relacionadas con los refrigerantes utilizados) como emisiones indirectas (emisiones producto de la generación eléctrica).<sup>67</sup>

| Durante una vida útil de 10 años                       | Unidad R-410A Inverter (1950 horas al año) | Unidad R-290 Inverter (1950 horas al año) |
|--|--|---|
| Emisiones indirectas (toneladas CO <sub>2</sub> eq)    | 1,5  | 1,5                                       |
| Emisiones directas (toneladas CO <sub>2</sub> eq)      | 2,2  | 0,001                                     |
| Emisiones totales (toneladas CO <sub>2</sub> eq)       | 3,7  | 1,5                                       |
| Potencial de mitigación (toneladas CO <sub>2</sub> eq) | 0  | 2,2                                       |

Tabla 17. Comparación de emisiones entre R-410A y R-290 y potencial de mitigación.<sup>68</sup>

En otros países con un factor de emisión de red eléctrica<sup>69</sup> y tasa de fugas mayores, esta diferencia entre las unidades convencionales y las ecoeficientes podría ser hasta diez veces mayor. Las unidades ecoeficientes de este proyecto, y otros modelos

que están en el mercado internacional, se están diseñando con altas clasificaciones de eficiencia REEE (Índice Estacional de Eficiencia Energética). Estas unidades ecoeficientes proveen entonces ahorros energéticos y monetarios.

Por la alta generación eléctrica a partir de fuentes renovables en Costa Rica<sup>70</sup>, existe un bajo factor de emisión de la red eléctrica, por lo que las emisiones indirectas ya son bastantes bajas. El mejor enfoque sería mitigar las emisiones directas. Refrigerantes tradicionales como el R-22 y el R-410A tienen valores de PCG bastante altos, de 1.760 y 1.923 respectivamente, mientras que R-290 tiene un valor de PCG de solamente 3<sup>71</sup>.

<sup>67</sup> Según 13% tasa de fugas de refrigerante promedio al año en Costa Rica en equipos de AA tipo split basado en, GIZ, 2020a: Estudio de fugas en equipos de aire acondicionado tipo split en Costa Rica.

<sup>68</sup> Cálculos estimados al considerar una unidad de 18 000 Btu/h con carga de 0,85 kg, con fugas de: instalación (2%), tasa anual (13%) y al final de vida útil (95%). Esto resulta en 2,2 toneladas CO<sub>2</sub>eq con R-410a y menos de 15 kg con R-290.

<sup>69</sup> En kgCO<sub>2</sub>/kWh, se refiere a las emisiones asociadas en la generación eléctrica para una red eléctrica.

<sup>70</sup> Casa Presidencial, 2019: Por quinto año consecutivo, Costa Rica superará 98% de generación eléctrica renovable.

<sup>71</sup> IPCC, 2013: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.



© GIZ Proklima, Gianfranco Vivi, 2019.

Foto 18. Unidad condensadora Godrej instalada en el Laboratorio de Eficiencia Energética ICE.



© GIZ Proklima, Gianfranco Vivi, 2019.

# ESTRATEGIA DE ESCALAMIENTO

Como se ha descrito, equipos de AA tipo split no se encuentran realmente en el mercado latinoamericano. De hecho, los fabricantes suelen ser de países China y de India (como las unidades Godrej importadas). Este proyecto ha sido una demostración exitosa de una implementación de una cantidad significativa de unidades. Adicional a las unidades donadas, cuatro instituciones nacionales de entrenamiento recibieron equipos, herramientas necesarias y las capacitaciones correspondientes para ofrecer cursos en materia de manejo de gases refrigerantes naturales. Esta facultad adquirida por los institutos de entrenamiento generará un efecto multiplicador en el alcance de estos equipos. Los entrenamientos contaron en total con la participación de 98 participantes de 11 países, lo que cementa una buena base y un potencial efecto multiplicador cuando se desarrolle estrategias de escalamiento en la región. Se está preparando también una estrategia de mitigación y la inclusión del sector RAA dentro del plan país NDC (Contribuciones Nacionalmente Determinadas por sus siglas en inglés)<sup>72</sup>. Además, MINAE y GIZ han preparado una propuesta al Fondo Verde del Clima, GCF por sus siglas en inglés (Green Climate Fund)<sup>73</sup> para preparar de implementación de la Enmienda Kigali del Protocolo de Montreal. Existe mucho interés en estos equipos y hay otros países interesados en iniciar sus propios programas de entrenamiento y de introducción de AA con R-290.

Se han llevado a cabo varios eventos que han avanzado la conversación del enfoque amigable con el ambiente de refrigeración y aire acondicionado. En 2019 se desarrolló el taller "Contribuciones a la meta nacional de descarbonización de la economía de Costa Rica", donde se invitó a empresas relevantes para una demostración y se realizó una donación de unidades ecoeficientes<sup>74</sup>. También se organizó el "Recorrido Tecnológico con refrigerantes naturales"<sup>75</sup>, donde GIZ y DIGECA introdujo a personas tomadoras de decisiones políticas y representantes de la industria de 17 países respecto a equipos de AA con R-290.

Estos eventos y el esfuerzo de este proyecto han preparado el panorama y aumentado el conocimiento general sobre estas alternativas. Se busca desarrollar un inventario de equipos en MOPT, lo cual es seguido por una estrategia de renovación, donde se utilizará unidades ecoeficientes. También en MOPT se pretende realizar un monitoreo energético más ambicioso y a largo plazo, para definir con más datos el ahorro energético que proveen estos equipos, además de identificar prácticas que inciden en mayor consumo eléctrico.

En ICE está pendiente realizar el estudio intensivo del monitoreo energético. También hay planes para llevar a cabo pruebas de eficiencia energética además de un monitoreo energético a largo plazo, similar al monitoreo por realizar en MOPT.

Muchas otras instituciones y compañías han mostrado gran interés en la tecnología de AA con R-290. Sin embargo, el presente proyecto de implementación no logrado establecer una cadena de suministro. Dicha tarea está planificada dentro del proyecto con el fondo GCF mencionado, como también solventar la compatibilidad de frecuencia entre la frecuencia nominal de los equipos y la frecuencia del suministro eléctrico en Costa Rica.

Se prevé que en el futuro próximo la implementación de unidades de AA con refrigerante R-290 sea mucho más agresiva, a la luz de eventos recientes. Finalmente, en Europa ingresará en el mercado este tipo de unidades, específicamente de la casa manufacturera Midea, de China. Este equipo fue el único que ganó el estricto sello ecológico alemán "Blue Angel"<sup>76</sup>. También existen otras compañías como ElectriQ, quién es uno de los grandes comerciantes de accesorios y equipos eléctricos en el Reino Unido, ya vende unidades de AA con R-290<sup>77</sup>. En Colombia también se está realizando avances desde la compañía Thermotar, donde se han diseñado diferentes equipos como AA central (unidad condensadora, ductos, unidades paquetes, chiller y cassette), que operan con R-290. En el

72 UNFCCC: NDC Spotlight.

73 Green Climate Fund: <https://www.greenclimate.fund/about>

74 DIGECA, 2019b. (página web)

75 DIGECA, 2019c: Recorrido Tecnológico con refrigerantes naturales. (página web)

76 Hydrocarbons21, 2020: Highly Rated Midea R-290 Room AA Expected in Germany This Year.

77 Electriq, 2020: ElectriQ, 2020: Environmentally friendly smart Wifi controlled wall mounted inverter split air conditioner with heat pump eiQ-12WMINV-V3 12,000 BTU.

corto plazo se pretende desarrollar equipos de AA tipo split con este refrigerante<sup>78</sup>. Además, ya se ha preparado e implementado ciertas medidas que favorecen la entrada de más equipos de AA con R-290. La regulación europea EU F-Gas prohíbe el uso de refrigerantes HFC con valores de PCG mayores a 150 en equipos de AA portables, a partir del presente año. Existen al menos ocho empresas de manufactura de estos equipos, se han vendido centenares de miles de unidades de AA portables y se espera que todos los equipos nuevos sean con R-290 a partir también del año 2020. Cabe resaltar, que más de 600.000 unidades de AA con refrigerante

R-290 se han instalado en India desde el 2009 sin ningún problema, y cerca de 370.000 unidades de AA con R-290 se instalarán en el 2020 en China. Además, bajo el Fondo Multilateral del Protocolo de Montreal, las líneas de producción de AA van a cambiar a R-290 en el futuro cercano. La tendencia es clara y sería entonces cuestión de tiempo para que este tipo de unidades de AA estén disponibles globalmente.

<sup>78</sup> Thermotar, 2020: Refrigerante R-290.



© GIZ Proklima, Gianfranco Vivi, 2019.

# CONCLUSIONES

El proyecto descrito ha sido un paso exitoso en el camino hacia la implementación de alternativas amigables con el ambiente en el sector RAA. Se gestionó la importación y donación de 100 unidades ecoeficientes de AA tipo split, las cuales operan con refrigerante natural R-290 de bajo PCG y son altamente eficiente, con calificaciones REEE de 20,86.

La transición a refrigerantes de bajo PCG puede traer otros beneficios adicionales a la reducción de las emisiones de los GEI. Tales beneficios colaterales son: el ahorro de energía y costos a través de la mejora de la eficiencia energética, la creación de empleo local mediante el uso de técnicos calificados que son capaces de instalar y mantener de manera segura los equipos de RAA con refrigerantes inocuos para el clima, o la producción local y regional de refrigerantes naturales y equipos con alta eficiencia energética utilizando refrigerantes naturales.

La campaña de entrenamientos realizada entre diciembre 2018 y diciembre 2019 ha resultado en la capacitación de 98 instructores, instructoras, técnicos y técnicas en materia de manejo de equipos con refrigerantes naturales. Estas personas están capacitadas en dar instalación y servicio a refrigeradoras con R-600a y equipos de AA con R-290. Las 98 personas participantes provenían de 11 países de la región, donde la participación extranjera mayoritariamente fue de países centroamericanos. El 5% de participantes fueron mujeres, lo cual es una participación mayor a la esperada, debido a la gran disparidad de género presente en el sector de servicio.

Cuatro institutos nacionales de formación cuentan con instructores capacitados, equipos e insumos necesarios para ofrecer cursos en manejo de refrigerantes naturales, planificados para el futuro próximo, y se proyecta implementar estas temáticas dentro de sus mallas curriculares, y tres de estos institutos cuentan además unidades ecoeficientes donadas por el proyecto. Esto generará un efecto multiplicador sobre la cantidad de personas capacitadas en el servicio de estos equipos. Los institutos de formación, entrenadores y técnicos muestran gran interés en esta tecnología. Contar con una base robusta en el área técnica, facilitará en gran medida la inserción de estos equipos en

el mercado, ya que cuentan con un respaldo de mantenimiento seguro y confiable. La campaña de entrenamientos es entonces una pieza más en la misión de reducir el consumo de energía y las emisiones de GEI.

Los entrenamientos se han desarrollada con la experiencia de GIZ Proklima en el área, el conocimiento propio de la compañía Godrej, y principalmente adhiriéndose a estándares internacionales en el manejo de refrigerantes naturales. Actualmente, GIZ y DIGECA/MINAE continúan trabajando en colaboración con INTECO para construir los estándares nacionales a utilizar para esta tecnología, basándose por supuesto en los estándares internacionales.

La tecnología R-290, mediante el estudio demostrativo, ha sido utilizado por casi dos años sin mostrar problema alguno. Las pruebas intensivas, donde se comparaban unidades de diferentes tecnologías contra unidades ecoeficientes, mostraron claras diferencias en el consumo energético. Los datos históricos del monitoreo energético también presentan esta tendencia, donde las unidades ecoeficientes consumen al menos un 40% en promedio menos de energía eléctrica al compararlas contra unidades instaladas previamente en las oficinas centrales del MOPT y el Hotel Ambassador. La tecnología AA con R-290 se ha utilizado a lo largo de un año y medio sin problemas. Se presenta ahorros energéticos, ahorros de costos y mitigación de emisiones de CO<sub>2</sub>eq. Se visualizó además las diferencias en la demanda eléctrica dependiendo el tipo de uso diario que experimentan las unidades. Las unidades suelen requerir una alta potencia en promedio si son utilizadas por tiempos cortos, donde la temperatura no llega a estabilizarse.

Al traducir el ahorro energético en ahorro económico, se analiza primero los costos operacionales, es decir, el consumo energético. Al comparar el funcionamiento de la tecnología Inverter con refrigerante R-290 contra tecnologías convencionales (ventana y split convencional), se evidencia que un plazo de 10 años se recupera la inversión de una unidad ecoeficiente, sea de 12 000 BTU/h o de 18 000 BTU/h, en los casos de uso teórico al año (1951 horas) y uso estimado según datos del monitoreo energético realizado (800 horas). En el caso de la

comparativa con la tecnología Inverter en equipo tipo split, sólo se cubre la inversión en el uso anual teórico (1951 horas). Sin embargo, sí hay ahorros en el uso anual estimado (800 horas), lo que presenta un punto a favor de las unidades ecoeficientes ante la posible situación de recambio de una unidad de tecnología convencional. Además, al estudiar los costos de mantenimiento e instalación teóricos, se concluye que existe una tasa de rentabilidad interna (TIR) de 38,19% para unidades de 12 000 BTU/h y de 44,61% para unidades de 18 000 BTU/h, comparando con las unidades de tecnología *Inverter* promedio vendidas en el año 2019 en Costa Rica. Esto significa que, ante la renovación de equipos viejos de AA, hay un sólido argumento a favor de la selección de las unidades ecoeficientes implementadas en este proyecto.

El menor consumo de energía eléctrica presenta un gran potencial de mitigación en la emisión de GEI. Las emisiones totales de una unidad ecoeficiente se estiman en 1,5 toneladas de CO<sub>2</sub>eq, lo que significa un ahorro de 2,2 toneladas de CO<sub>2</sub>eq en comparación con las alternativas comerciales con HFC. El bajo consumo energético es una oportunidad para disminuir las emisiones indirectas, sin embargo, como Costa Rica tiene una alta generación eléctrica a partir de fuentes renovables, el enfoque que puede mitigar las emisiones de mayor manera es la disminución de emisiones directas, consecuencia de las sustancias refrigerantes utilizadas. En este aspecto, las unidades ecoeficientes son claramente la mejor alternativa, ya que refrigerantes naturales como R-290 tienen un PCG de solamente 3, contrario a refrigerantes tradicionales como R-22 y R-410 que tienen PCG de 1.760 y 1.923 respectivamente. Una implementación de unidades ecoeficientes altamente energéticas puede representar un ahorro de más de 0,3 megatoneladas de CO<sub>2</sub>eq anualmente para el año 2050.

Existen muchas posibilidades para escalar esta tecnología en Costa Rica y en la región centroamericana. Hay interés por parte de entidades nacionales como el MOPT, además de proyectos internacionales como el GCF en apoyar iniciativas que fomenten el uso de unidades de AA ecoeficientes. Actualmente, los equipos de AA tipo split con R-290 están ingresando en los mercados europeos, ya que históricamente han predominado en India y China. Esta tecnología es una oportunidad para reducir el impacto ambiental del sector RAA y ya está siendo incorporada por otras latitudes. Iniciativas como este proyecto materializan el inicio de estas implementaciones en Costa Rica y la región.

## Bibliografía

Casa Presidencial, 2019: Por quinto año consecutivo, Costa Rica superará 98% de generación eléctrica renovable. Disponible en: <https://www.presidencia.go.cr/comunicados/2019/09/por-quinto-ano-consecutivo-costa-rica-superara-98-de-generacion-electrica-renovable/> (Accedido el 30 de junio del 2020).

CHEA, 2019: Annual CHEA conference in Foshan 2019.

CNFL, 2020: Resumen de Tarifas Eléctricas CNFL. Disponible en: [https://www.cnfl.go.cr/documentos/direccion\\_comercializacion/resumen\\_tarifas.pdf](https://www.cnfl.go.cr/documentos/direccion_comercializacion/resumen_tarifas.pdf) (Accedido el 29 de julio del 2020).

DCC, 2019: Programa País Carbono Neutral versión 2.0. Disponible en: <https://cambioclimatico.go.cr/metas/descarbonizacion/programa-pais-carbono-neutral-version-2-0/> (Accedido el 31 de julio del 2020).

DIGECA, 2019: Buenas prácticas de refrigeración y manejo de refrigerantes. Disponible en: <http://www.digeca.go.cr/noticias/requisitos-para-solicitar-el-carnet-de-buenas-practicas-de-refrigeracion-y-manejo-de> (Accedido el 30 de junio del 2020).

DIGECA, 2019b: Taller: Contribuciones a la meta nacional de descarbonización de la economía de Costa Rica. Disponible en: <http://www.digeca.go.cr/eventos/taller-contribuciones-la-meta-nacional-de-descarbonizacion-de-la-economia-de-costa-rica> (Accedido el 10 de agosto del 2020).

DIGECA, 2019c: Recorrido Tecnológico con refrigerantes naturales. Disponible en: <http://www.digeca.go.cr/noticias/costa-rica-es-sede-para-intercambio-regional-sobre-importancia-de-refrigerantes-naturales> (Accedido el 10 de agosto del 2020).

ElectriQ, 2020: Environmentally friendly smart Wifi controlled wall mounted inverter split air conditioner with heat pump eiQ-12WMINV-V3 12,000 BTU. Disponible en: <https://www.electriq.co.uk/p/eiq-12wminv/electriq-12000-btu-panasonic-powered-smart-wall-mounted-split-air-conditioner-with-heat-pump-5-meters-pipe-kit-and#!#maindesc> (Accedido el 30 de julio del 2020).

European Environmental Agency, 2019: Emissions and supply of fluorinated greenhouse gases in Europe. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/emissions-and-consumption-of-fluorinated-2/assessment-2> (Accedido el 30 de julio del 2020).

EPA (United States Environmental Protection Agency): Phaseout of Ozone – Depleting Substances (ODS). Disponible en: <https://www.epa.gov/ods-phaseout> (Accedido el 30 de julio del 2020).

GIZ Proklima, 2011: Operation of Split Air Conditioning Systems with Hydrocarbon Refrigerant. Colbourne, D., Hühren, R. Eschborn, Alemania. Disponible en: <https://hydrocarbons21.com/files/giz-split-ac-hc-conversion-guide.pdf> (Accedido el 30 de junio del 2020).

GIZ Proklima, 2018: International Safety Standards in Air Conditioning Refrigeration and Heat Pump. Disponible en: [https://www.international-climate-initiative.com/fileadmin/Dokumente/2018/180712\\_Safety\\_Standards.pdf](https://www.international-climate-initiative.com/fileadmin/Dokumente/2018/180712_Safety_Standards.pdf)

GIZ, 2019: R-290 Split Air Conditioners Resource Guide. Becker, L., Munzinger, P. Eschborn, Alemania. Disponible en: <https://www.green-cooling-initiative.org/news-media/publications/publication-detail/2019/10/01/r290-split-air-conditioners-resource-guide> (Accedido el 30 de junio del 2020).

GIZ (2020): Estudio de mercado sobre la eficiencia energética de las AA tipo split en Costa Rica.

GIZ (2020a): Estudio de fugas en equipos de aire acondicionado tipo split en Costa Rica. Go Meta, 2019: Monitoreo Energético. Von Schweinitz, M. Disponible en: <http://energia.gometa.org/>

Godrej & Boyce (2019) MANUAL DE CAPACITACIÓN PARA AIRES ACONDICIONADOS CON HIDROCARBUROS TIPO SPLIT DE GODREJ (REFRIGERANTE R-290) (en español) Compartido a solicitud.

Hydrocarbons21, 2020: Highly Rated Midea R-290 Room AA Expected in Germany This Year. Disponible en: [http://hydrocarbons21.com/articles/9638/highly\\_rated\\_midea\\_r290\\_room\\_ac\\_expected\\_in\\_germany\\_this\\_year?mc\\_cid=09434ab3e0&mc\\_eid=2d1daa5356](http://hydrocarbons21.com/articles/9638/highly_rated_midea_r290_room_ac_expected_in_germany_this_year?mc_cid=09434ab3e0&mc_eid=2d1daa5356) (Accedido el 03 de agosto del 2020).

IEC Webstore ,2019: IEC 60335-2-89:2019. Disponible en: <https://webstore.iec.ch/publication/62243> (Accedido el 15 de julio del 2020). INTECO (2019): INTE E14-1:2019. Disponible en: <https://www.inteco.org/shop/product/inte-e14-1-2019-eficiencia-energetica-acondicionadores-de-aire-parte-1-requisitos-y-limites-de-eficiencia-energetica-para-acondicionadores-de-aire-con-capacidades-nominales-hasta-19050-w-65000-btu-h-4086> (Accedido el 15 julio del 2020).

IPCC, 2013: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Myhre, G., D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestedt, J. Huang, D. Koch, J.-F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura and H. Zhang,[Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Disponible en: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5\\_Chapter08\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf)

IPCC, 2005: Special Report on Safeguarding the Ozone and the Global Climate System. De Jager, D., Kuijpers, L., Manning M. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Disponible en: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/sroc\\_full-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/sroc_full-1.pdf)

MINAE, 2019: Inventario de Gases de Efecto Invernadero de Refrigeración y Aire Acondicionado para Costa Rica (2012-2016). Disponible en: [www.digeca.go.cr/sites/default/files/documentos/racinventoryc4-cr-span-v5\\_002.pdf](http://www.digeca.go.cr/sites/default/files/documentos/racinventoryc4-cr-span-v5_002.pdf) (Accedido el 10 de agosto del 2020).

Sierra Aircon Pvt. Ltd. (2017): Test Report, Cooling Capacity Test for Split Type (Inverter) Air Conditioners. Kumar, S., Dhiman, S., Mugdal, D. Thermotar, 2020: Refrigerante R-290. Disponible en: <https://thermotar.com/r290/> (Accedido el 03 de agosto del 2020).

UNE, Normalización Española (2017): UNE-EN 378-4:2017. Disponible en: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0059170> (Accedido el 15 de julio del 2020).

UNEP, 2017: Application of Safety Standards to RACHP. Disponible en: <https://ozone.unep.org/sites/default/files/2019-08/application-of-safety-standards-to-RACHP.pdf> (Accedido el 17 de julio del 2020).

UNEP, 2019: United for Efficiency, Energy – Efficient and Climate – Friendly Air Conditioners. MODEL REGULATION GUIDELINES. Disponible en: [https://united4efficiency.org/wp-content/uploads/2019/11/U4E\\_AA\\_Model-Regulation\\_20191029.pdf](https://united4efficiency.org/wp-content/uploads/2019/11/U4E_AA_Model-Regulation_20191029.pdf) (Accedido el 17 de julio del 2020) UNFCCC, 2019: NDC Spotlight. Disponible en: <https://unfccc.int/process/the-paris-agreement/nationally-determined-contributions/ndc-spotlight#:~:text=NDCs%20are%20national%20climate%20plans,the%20concept%20of%20national%20determination>. (Accedido el 05 de agosto del 2020).

UNFCCC, 2019: NDC Spotlight. Disponible en: <https://unfccc.int/process/the-paris-agreement/nationally-determined-contributions/ndc-spotlight#:~:text=NDCs%20are%20national%20climate%20plans,the%20concept%20of%20national%20determination>. (Accedido el 05 de agosto del 2020).

## Publicaciones/paginas pertinentes

ElectriQ – User manual for ElectriQ, 2020: Environmentally friendly smart Wifi controlled wall mounted inverter split air conditioner with heat pump eiQ-12WMINV-V3 12,000 BTU [https://www.appliancesdirect.co.uk/files/pdf/eIQ-9\\_12WMINV\\_R290%20Split%20user%2020200426.pdf](https://www.appliancesdirect.co.uk/files/pdf/eIQ-9_12WMINV_R290%20Split%20user%2020200426.pdf)

DIGECA/MINAE – página web (en español) <http://www.digeca.go.cr/>

GIZ Proklima (2020), información sobre “Cool Trainings” – entrenamientos sobre refrigerantes naturales en Alemania (en inglés) <https://www.green-cooling-initiative.org/cool-training/>

GIZ Proklima (2017) Guía para el Desensamble Manual de Refrigeradores y Aires Acondicionados [https://www.international-climate-initiative.com/fileadmin/Dokumente/2017/171219\\_ES-weee-columbia.pdf](https://www.international-climate-initiative.com/fileadmin/Dokumente/2017/171219_ES-weee-columbia.pdf)

GIZ Proklima (2019) Guía de Recursos de Acondicionadores de Aire Split con R-290 (en inglés) <https://www.green-cooling-initiative.org/news-media/publications/publication-detail/2019/10/01/r290-split-air-conditioners-resource-guide>

GIZ Proklima (2018) Normas Internacionales de Seguridad en Aire Acondicionado, Refrigeración y Bomba de Calor (en español) [https://www.green-cooling-initiative.org/fileadmin/user\\_upload/Publications/ES\\_International\\_Safety\\_Standards\\_in\\_Air\\_Conditioning\\_Refrigeration\\_and\\_Heat\\_Pump.pdf](https://www.green-cooling-initiative.org/fileadmin/user_upload/Publications/ES_International_Safety_Standards_in_Air_Conditioning_Refrigeration_and_Heat_Pump.pdf)

GIZ Proklima (2015) Tecnologías de enfriamiento verde: Tendencias del mercado en determinados subsectores de la refrigeración y el aire acondicionado (en inglés) [https://www.giz.de/en/downloads/giz2015\\_en\\_gci\\_study\\_market\\_trends.pdf](https://www.giz.de/en/downloads/giz2015_en_gci_study_market_trends.pdf)

GIZ Proklima (2013) Buenas prácticas en la instalación y el mantenimiento de los acondicionadores de aire de las habitaciones: Manual para técnicos de refrigeración y aire acondicionado (RAA) (en inglés) <http://ozonecell.in/wp-content/themes/twentyseventeen-child/Documentation/assets/pdf/Trainer%20Handbook.pdf>

GIZ Proklima (2012) Buenas prácticas de Refrigeración (en español) <https://www.ctc-n.org/sites/www.ctc-n.org/files/resources/giz2011-es-buenas-practicas-de-refrigeracion.pdf>

GIZ Proklima (2012) Directrices para el uso seguro de los refrigerantes de hidrocarburos. Un manual para ingenieros, técnicos, formadores y políticos – Para un enfriamiento respetuoso con el clima (en inglés) [https://www.green-cooling-initiative.org/fileadmin/Publications/2012\\_Proklima\\_Guidelines\\_for\\_the\\_safe\\_use\\_of\\_hydrocarbons.pdf](https://www.green-cooling-initiative.org/fileadmin/Publications/2012_Proklima_Guidelines_for_the_safe_use_of_hydrocarbons.pdf)

Godrej & Boyce (2019) MANUAL DE CAPACITACIÓN PARA AIRES ACONDICIONADOS CON HIDROCARBUROS TIPO SPLIT DE GODREJ (REFRIGERANTE R-290) (en español)  
Compartido a solicitud

Godrej & Boyce (2019) MANUAL DE SERVICIO Para Godrej Aire-Acondicionado Modelo SGC 12 GIG 5 DG0G & GIC 18 LAH 5 GWQG  
Compartido a solicitud

Green Cooling Initiative - página web (en inglés) [www.green-cooling-initiative.org](http://www.green-cooling-initiative.org)

MINAE (2019) Inventario de Gases de Efecto Invernadero de Refrigeración y Aire Acondicionado para Costa Rica (2012-2016) (en español)  
[http://www.digeca.go.cr/sites/default/files/documentos/racinventoryc4-cr-span-v5\\_002.pdf](http://www.digeca.go.cr/sites/default/files/documentos/racinventoryc4-cr-span-v5_002.pdf)

UNEP (2017) Aplicación de las normas de seguridad a los equipos de Refrigeración, Aire Acondicionado y Bombas de Calor - una perspectiva de por vida (en inglés)  
<https://ozone.unep.org/sites/default/files/2019-08/application-of-safety-standards-to-RACHP.pdf>

UNEP, 2019: United for Efficiency, Energy - Efficient and Climate - Friendly Air Conditioners. MODEL REGULATION GUIDELINES (en inglés o español)  
<https://united4efficiency.org/resources/model-regulation-guidelines-for-energy-efficient-and-climate-friendly-air-conditioners/>

## ANEXOS

Anexo 1. Distribución de las unidades importadas.

|   | Programa     | 12.000 BTU | 18.000 BTU      | TOTAL      |
|---|--------------|------------|-----------------|------------|
| <b>Proyecto Demostrativo</b>            |              |            |                 |            |
| MOPT                                    | 4E           | 8          | 12              | 20         |
| MOPT                                    | 4E           | 8          | 12              | 20         |
| Ambassador                              | C4           | 13         | 5               | 18         |
| MINAE (DCC, DIGECA, Edificio Principal) | 4E           | 0          | 1               | 1          |
| FIFCO                                   | 4E           | 0          | 1               | 1          |
| GIZ MiTransporte                        | C4           | 0          | 1               | 3          |
| Beirute                                 | C4           | 1          | 1               | 2          |
| <b>Entrenamientos</b>                   |              |            |                 |            |
| INA                                     | C4           | 0          | 8 <sup>79</sup> | 8          |
| Fundación Samuel                        | C4           | 0          | 6               | 6          |
| MEP (Calle Blancos)                     | 4E           | 0          | 4               | 4          |
| CEDES Don Bosco                         | C4           | 0          | 4               | 4          |
| Unidades de repuesto                    | C4/4E        | 4          | 5               | 9          |
| <b>Total</b>                            | <b>C4/4E</b> | <b>36</b>  | <b>64</b>       | <b>100</b> |

Anexo 2. Especificaciones generales de unidades Godrej.

| <b>Especificaciones generales<sup>80</sup></b>             |                   |                   |
|--|-------------------|-------------------|
| Nombre del modelo  | GSC 12 GIG 5 DG0G | GIC 18 LAH 5 GW0G |
| Función  | Cooling           | Cooling           |
| Tensión nominal  | 230               | 230               |
| Rango de tensión de funcionamiento                         | 140-280           | 187-265           |
| Capacidad de enfriamiento total (W)                        | 3440              | 5300              |
| Capacidad de enfriamiento al 50% (W)                       | 1720              | 2650              |
| Entrada nominal (W)  | 830               | 1380              |
| Entrada nominal al 50% (W)                                 | 310               | 448               |
| Corriente nominal (A)                                      | 3,9               | 6,7               |
| Caudal de aire (m <sup>3</sup> /h) (Turbo/Alto/Medio/Bajo) | 630/580/510/470   | 1400/1100/900/800 |
| REEE (BTU/Wh)  | 20,86             | 20,86             |
| Código de producto   | 5NKYGG            | 40101701SD00653   |

79 Estos equipos fueron solamente prestados para los entrenamientos y no han sido entregados al INA formalmente.

80 Godrej &amp; Boyce (2019): Manual de Servicio para Godrej Aire-Acondicionado Modelo SGC 12 GIG 5 DG0G &amp; GIC 18 LAH 5 GW0G.

## Anexo 3. Especificaciones de compresores de las unidades Godrej.

| Compresores <sup>81 82</sup>           | GSC 12 GIG 5 DG0G   | GIC 18 LAH 5 GW0G   |
|--|---------------------|---------------------|
| N° de modelo del compresor             | GMCC (DSM165D19UDT) | GMCC (DTN210D32UFZ) |
| Tipo de compresor                      | Rotativo            | Rotativo            |
| Corriente nominal (A)                  | 5,1                 | 6,2                 |
| Corriente de arranque (A)              | 13                  | NA                  |
| Capacidad total (W)                    | 2885                | 3680                |
| Entrada de potencia (W)                | 725                 | 895                 |
| Protector de sobrecarga                | Interno             | OLP Interno         |
| Rango de temperatura de operación (°C) | 16-31°C             | 16-50°C             |
| Manta para la carcasa proporcionada    | Sí                  | Sí                  |

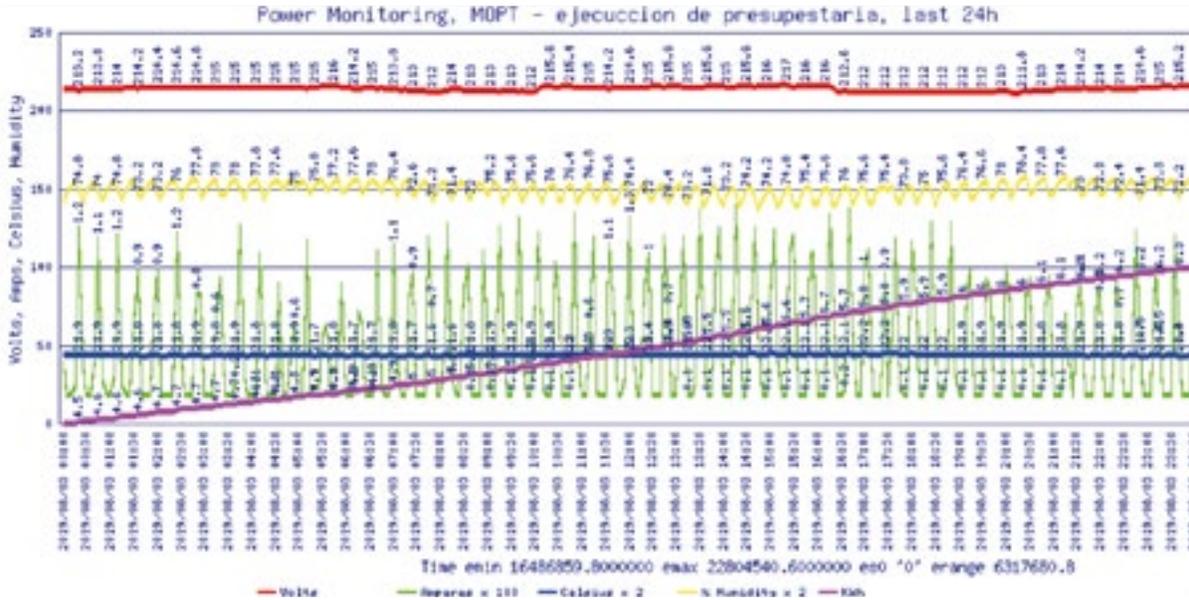
## Anexo 4. Estándares de seguridad por implementarse en Costa Rica.

| Estándares de seguridad en desarrollo, Costa Rica   |
|---|
| Norma Técnica Nacional basada en ISO 22712: <i>Sistemas de refrigeración y bombas de calor competencia del personal</i>   |
| Norma Técnica Nacional basada en IEC 60335-2-40: <i>Seguridad para equipos eléctricos de hogar, incluyendo aires acondicionados</i>   |
| Norma Técnica Nacional basada en ISO 13585: 2012: <i>Prueba de calificación de soldadores y operadores de soldadura fuerte</i>  |
| Norma Técnica Nacional<br>Obligación legal para todos los interesados, con el requisito de que sólo los técnicos formados en el marco del MNC pueden ser quienes realicen los trabajos de instalación y mantenimiento de los equipos. |

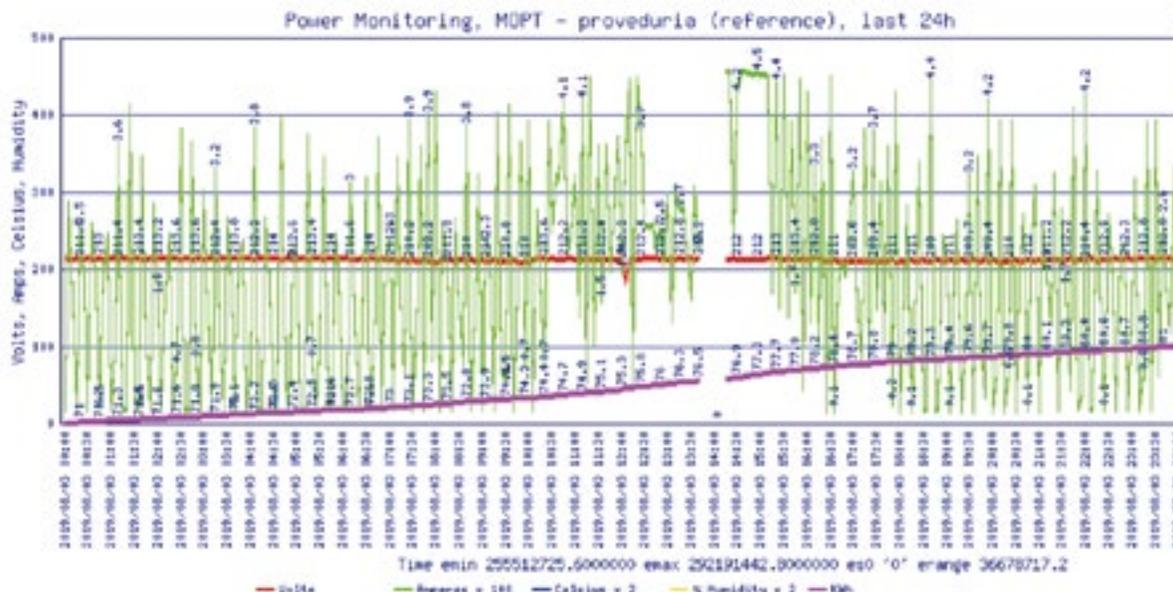
81 Ibid.

82 GMCC, 2016: Hermetic DC Inverter Compressor Specification.

Anexo 5. Monitoreo energético, unidad de AA eficiente de 12 000 BTU/h, GIZ 1.<sup>83</sup>



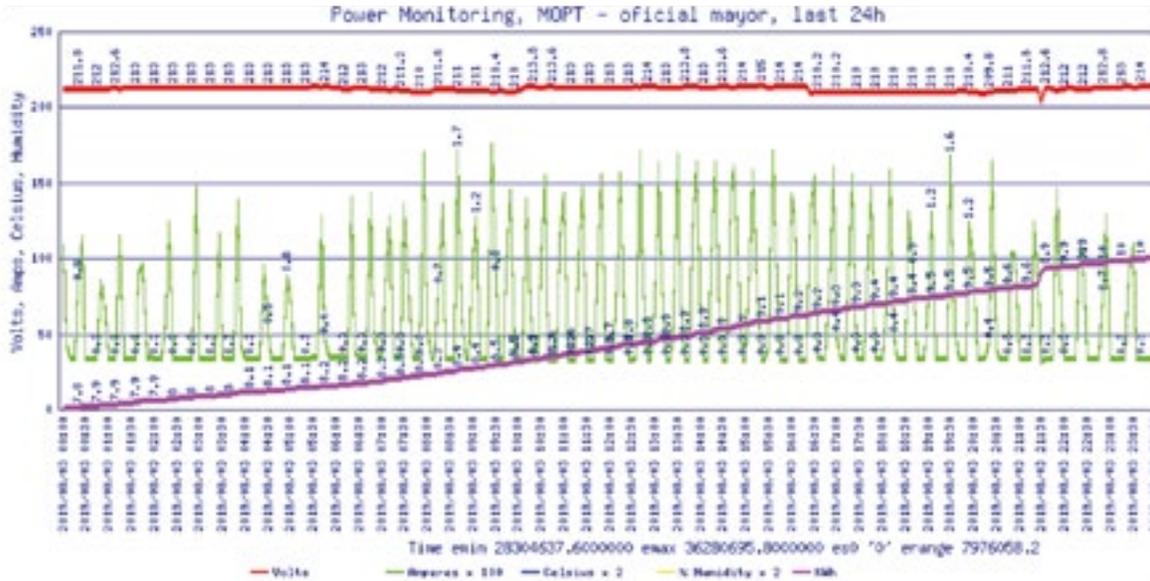
Anexo 6. Monitoreo energético, unidad de AA de referencia de 12 000 BTU/h, REF 1.<sup>84</sup>



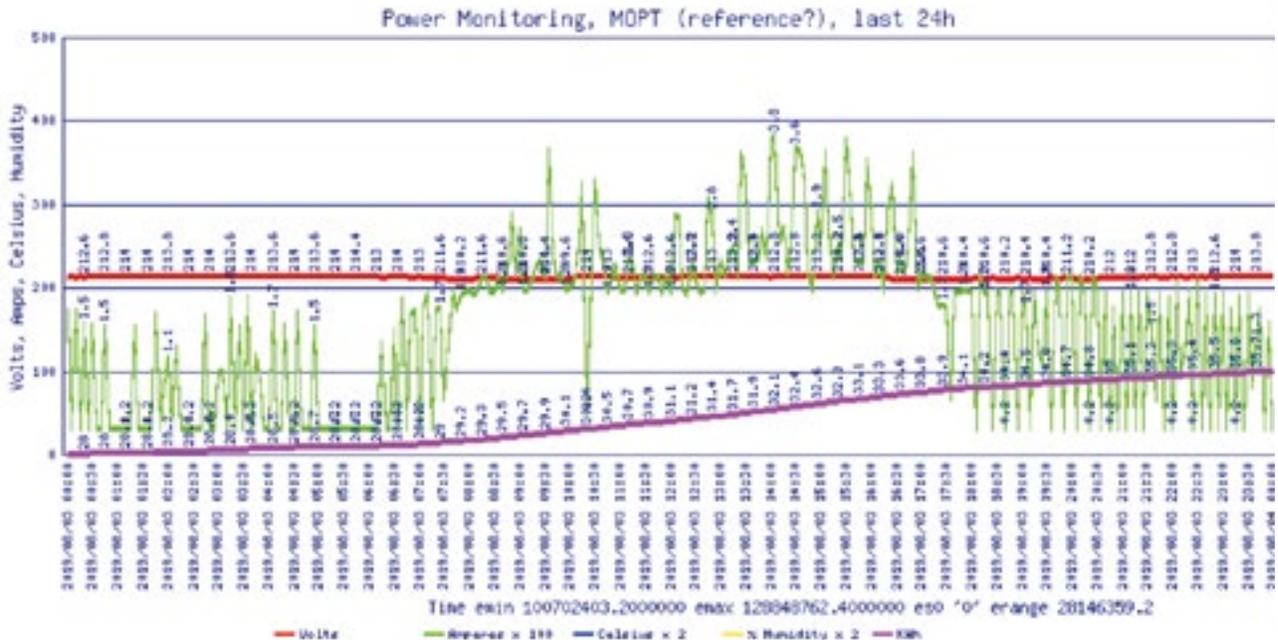
83 Go Meta, 2019: Monitoreo Energético; Cálculos y diseño propios.

84 Ibid.

Anexo 7. Monitoreo energético, unidad de AA ecoeficiente de 18 000 BTU/h, GIZ 2.<sup>85</sup>



Anexo 8. Monitoreo energético, unidad de AA de referencia de 24 000 BTU/h, REF.<sup>86</sup>



85 Ibid.  
86 Ibid.

Anexo 9. Datos históricos del monitoreo energético, MOPT.<sup>87</sup>

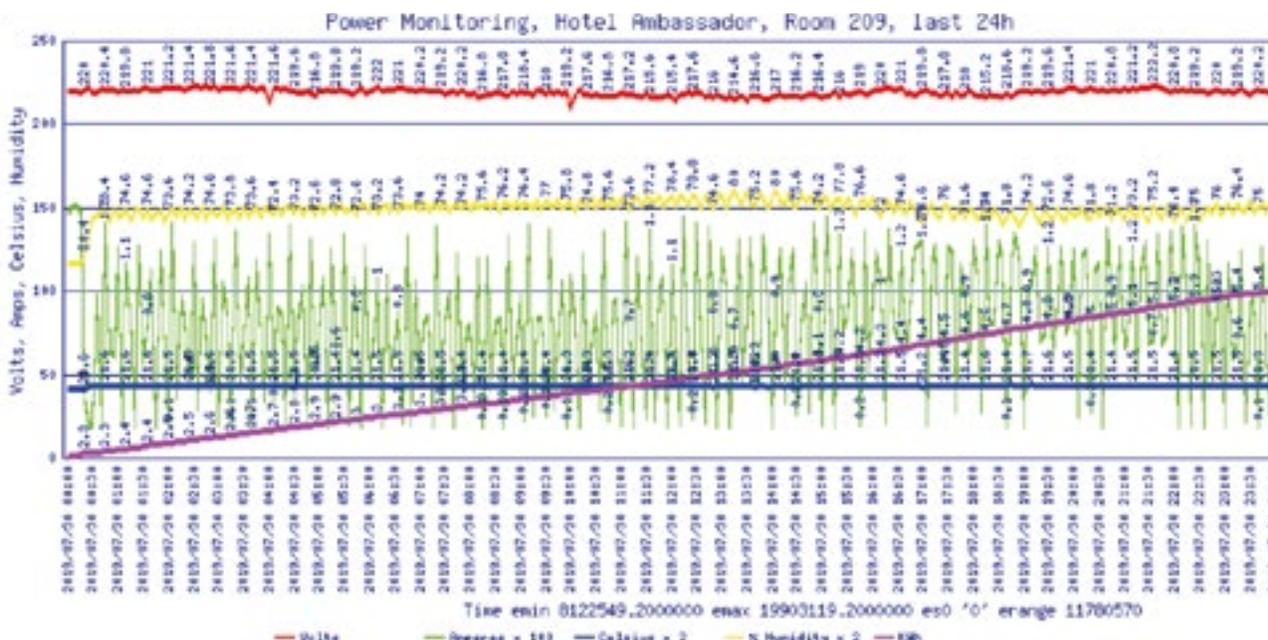
| No.             | Ubicación | Unidad                             | Clasificación       | BTU/h | Días         | Corriente promedio (A) | Consumo eléctrico total (kWh) | Consumo eléctrico diario (kWh) |
|-----------------|-----------|------------------------------------|---------------------|-------|--------------|------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 1               | MOPT      | Bienes informáticos                | GIZ                 | 18000 | 129          | 0.75                   | 410.60                        | 3.18                           |
| 2               | MOPT      | Despacho transporte                | GIZ                 | 18000 | 112          | 1.12                   | 584.10                        | 5.22                           |
| 3               | MOPT      | Ejecución presupuestaria           | GIZ                 | 12000 | 110          | 0.21                   | 98.80                         | 0.90                           |
| 4               | MOPT      | Informática RRHH                   | GIZ                 | 18000 | 109          | 0.19                   | 56.50                         | 0.52                           |
| 5               | MOPT      | Obras por contrato                 | GIZ                 | 18000 | 54           | 0.39                   | 96.60                         | 1.79                           |
| 6               | MOPT      | Obras por contrato anexo           | GIZ                 | 12000 | 24           | 0.19                   | 19.00                         | 0.79                           |
| 7               | MOPT      | Oficial mayor                      | GIZ                 | 18000 | 14           | 0.19                   | 10.50                         | 0.75                           |
| 8               | MOPT      | Oficial mayor                      | Referencia Inverter | 18000 | 13           | 0.02                   | 36.70                         | 2.82                           |
| 9               | MOPT      | Planificación institucional 1      | GIZ                 | 18000 | 124          | 0.43                   | 225.20                        | 1.82                           |
| 10              | MOPT      | Planificación institucional 2      | GIZ                 | 18000 | 120          | 0.53                   | 297.60                        | 2.48                           |
| 11              | MOPT      | Proveeduría                        | Referencia          | 12000 | 57           | 0.42                   | 236.40                        | 4.15                           |
| 12              | MOPT      | Proveeduría programación control 1 | GIZ                 | 12000 | 60           | 0.26                   | 62.60                         | 1.04                           |
| 13              | MOPT      | Proveeduría programación control 2 | GIZ                 | 12000 | 59           | 0.33                   | 77.70                         | 1.32                           |
| 14              | MOPT      | Referencia                         | Referencia Inverter | 24000 | 67           | 0.56                   | 182.90                        | 2.73                           |
| 15              | MOPT      | Sala edificaciones                 | GIZ                 | 18000 | 2            | 0.17                   | 1.20                          | 0.60                           |
| 16              | MOPT      | Sesiones ministro                  | GIZ                 | 18000 | 59           | 0.31                   | 78.90                         | 1.34                           |
| 17              | MOPT      | Sesiones viceministro              | GIZ                 | 12000 | 39           | 0.17                   | 25.40                         | 0.65                           |
| <b>Promedio</b> |           |                                    |                     |       | <b>67.76</b> | <b>0.37</b>            | <b>147.10</b>                 | <b>1.89</b>                    |

87 Ibid.

Anexo 10. Ahorros teóricos según eficiencia, MOPT.<sup>88</sup>

|  | 12 000 BTU/h            |                       | 18 000 BTU/h            |                       |
|--|-------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|
|  | Convencional            | Ecoeficiente Inverter | Inverter <sup>89</sup>  | Ecoeficiente Inverter |
| Uso típico (tarifa)                          | Residencial y comercial |                       | Residencial y comercial |                       |
| Capacidad de enfriamiento (kW)               | 3,5                     | 3,5                   | 3,5                     | 3,5                   |
| REEE   | 3,60                    | 6,11                  | 4,23                    | 6,11                  |
| Factor de Carga (CDM)                        | 0,75                    | 1,0                   | 1,0                     | 1,0                   |
| Consumo eléctrico anual (kWh)                | 1.422,46                | 1.122,40              | 2.430,65                | 1.683,60              |
| Facturación eléctrica anual (c)              | 181.088,82              | 143.190,14            | 310.089,76              | 214.785,22            |
| Facturación eléctrica anual (\$)             | 312,22                  | 246,88                | 534,64                  | 370,32                |
| Ahorro energético de unidad ecoeficiente (%) | -21,06%                 |                       | -30,77%                 |                       |

Anexo 11. Monitoreo energético, unidad de AA ecoeficiente de 12 000 BTU/h, GIZ.<sup>90</sup>

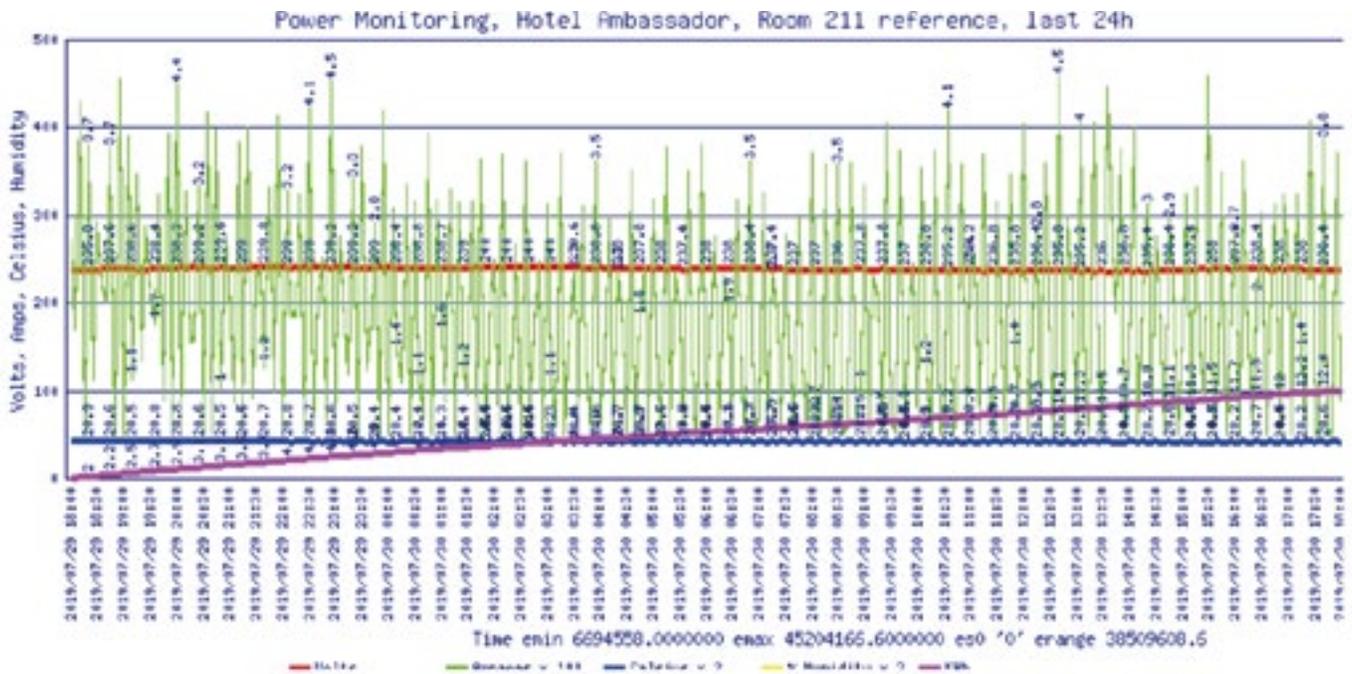


88 Cálculos y diseño propios.

89 Comparación con unidades de 24 000 BTU/h.

90 Go Meta, 2019: Monitoreo Energético; Cálculos y diseño propios.

Anexo 12. Monitoreo energético, unidad de AA de referencia de 13 500 BTU/h, REF 3.91



Anexo 13. Datos históricos del monitoreo energético, Hotel Ambassador.<sup>92</sup>

| No.      | Ubicación  | Unidad            | Clasificación | BTU/h | Días | Corriente promedio (A) | Consumo eléctrico total (kWh) | Consumo eléctrico diario (kWh) |
|----------|------------|-------------------|---------------|-------|------|------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 1        | Ambassador | 201               | GIZ           | 12000 | 57   | 0,34                   | 92,50                         | 1,62                           |
| 2        | Ambassador | 203               | GIZ           | 12000 | 42   | 0,33                   | 59,30                         | 1,41                           |
| 3        | Ambassador | 204               | Referencia    | 13500 | 10   | 0,71                   | 39,20                         | 3,92                           |
| 4        | Ambassador | 205               | Referencia    | 13500 | 48   | 0,46                   | 12,40                         | 2,57                           |
| 5        | Ambassador | 209               | GIZ           | 12000 | 70   | 0,28                   | 75,00                         | 1,07                           |
| 6        | Ambassador | 211               | Referencia    | 13500 | 10   | 0,46                   | 26,20                         | 2,62                           |
| 7        | Ambassador | 212               | GIZ           | 12000 | 35   | 0,24                   | 34,80                         | 0,99                           |
| 8        | Ambassador | 213               | GIZ           | 12000 | 62   | 0,34                   | 79,90                         | 1,29                           |
| 9        | Ambassador | 302               | GIZ           | 12000 | 10   | 0,19                   | 6,00                          | 0,60                           |
| 10       | Ambassador | 303               | GIZ           | 12000 | 28   | 0,34                   | 35,80                         | 1,28                           |
| 11       | Ambassador | 304               | GIZ           | 12000 | 11   | 0,28                   | 11,20                         | 1,02                           |
| 12       | Ambassador | 310               | GIZ           | 12000 | 111  | 0,25                   | 105,80                        | 0,95                           |
| 13       | Ambassador | 312               | GIZ           | 12000 | 88   | 0,33                   | 117,00                        | 1,33                           |
| 14       | Ambassador | 313               | GIZ           | 12000 | 73   | 0,28                   | 73,20                         | 1,00                           |
| 15       | Ambassador | 314               | GIZ           | 12000 | 10   | 0,17                   | 6,10                          | 0,61                           |
| 16       | Ambassador | 315               | GIZ           | 12000 | 14   | 0,28                   | 15,90                         | 1,14                           |
| 17       | Ambassador | 405               | GIZ           | 12000 | 7    | 0,30                   | 7,30                          | 1,04                           |
| 18       | Ambassador | Sala de eventos   | GIZ           | 18000 | 18   | 0,58                   | 54,90                         | 3,05                           |
| 18       | Ambassador | Sala de eventos 2 | GIZ           | 18000 | 18   | 0,48                   | 37,70                         | 2,09                           |
| Promedio |            |                   |               |       | 38   | 0,35                   | 52,69                         | 1,56                           |

Anexo 14. Ahorros teóricos según eficiencia, Hotel Ambassador.<sup>93</sup>

|  | 12 000 BTU/h            |                              |
|--|-------------------------|------------------------------|
|  | Convencional            | Ecoeficiente <i>Inverter</i> |
| Uso típico (tarifa)                          | Residencial y comercial |                              |
| Capacidad de enfriamiento (kW)               | 4,0                     | 3,5                          |
| REEE   | 3,12                    | 6,11                         |
| Factor de Carga (CDM)                        | 0,75                    | 1,0                          |
| Consumo eléctrico anual (kWh)                | 1869,29                 | 1122,40                      |
| Facturación eléctrica anual (¢)              | 238474,16               | 143190,14                    |
| Facturación eléctrica anual (\$)             | 411,17                  | 246,88                       |
| Ahorro energético de unidad ecoeficiente (%) | -39,47%                 |                              |

<sup>92</sup> Go Meta, 2019: Monitoreo Energético; Cálculos y diseño propios.

<sup>93</sup> Cálculos y diseño propios.

Anexo 15. Resumen del monitoreo energético histórico realizado en otras ubicaciones.<sup>94</sup>

| Unidad         | Canti-<br>dad de<br>días | Corriente<br>promedio<br>(A) | Consumo<br>eléctrico<br>total<br>(kWh) | Consumo<br>eléctrico<br>diario<br>(kWh) | Total<br>Horas (h) | Tiempo<br>Encendido<br>diario <sup>95</sup><br>(%) | Horas<br>Encendido<br>diario (h) |
|----------------|--------------------------|------------------------------|--|---|--------------------|--|----------------------------------|
| DCC            | 10                       | 0,14                         | 3,40                                   | 0,34                                    | 23,00              | 9,6%   | 2,30                             |
| DIGECA         | 69                       | 0,16                         | 45,40                                  | 0,66                                    | 203,50             | 12,3%  | 2,95                             |
| MINAE          | 8                        | 0,38                         | 7,70                                   | 0,96                                    | 21,50              | 11,2%  | 2,69                             |
| MiTransporte 1 | 17                       | 0,29                         | 17,40                                  | 1,02                                    | 57,00              | 14,0%  | 3,35                             |
| MiTransporte 2 | 14                       | 0,38                         | 21,80                                  | 1,56                                    | 49,00              | 14,6%  | 3,50                             |

Anexo 16. Datos históricos del monitoreo energético por ubicación.<sup>96</sup>

| Ubicación               | Tipo | BTU/h | Unidades | Días de<br>uso pro-<br>medio | Corriente<br>promedio<br>(A) | Consumo<br>energético<br>total<br>promedio<br>(kWh) | Consumo<br>energético<br>diario<br>promedio<br>(kWh) |
|-------------------------|------|-------|----------|------------------------------|------------------------------|---|--|
| Ambassador              | GIZ  | 12000 | 14       | 44,14                        | 0,28                         | 51,41   | 1,10   |
| Ambassador              | REF  | 13500 | 3        | 22,67                        | 0,54                         | 62,93   | 3,04   |
| Ambassador              | GIZ  | 18000 | 2        | 18,00                        | 0,53                         | 46,30   | 2,57   |
| MOPT                    | GIZ  | 12000 | 3        | 62,67                        | 0,26                         | 71,47   | 1,16   |
| MOPT                    | GIZ  | 18000 | 11       | 75,18                        | 0,40                         | 166,39  | 1,72   |
| MOPT                    | REF  | 12000 | 1        | 57,00                        | 0,42                         | 236,40  | 4,15   |
| MOPT                    | REF  | 24000 | 2        | 40,00                        | 0,29                         | 109,80  | 2,78   |
| ICE                     | GIZ  | 12000 | 1        | 21,00                        | 0,31                         | 14,60   | 0,70   |
| ICE                     | GIZ  | 18000 | 1        | 22,00                        | 0,65                         | 44,10   | 2,00   |
| Otras<br>demostraciones | GIZ  | 18000 | 5        | 23,60                        | 0,27                         | 19,14   | 0,91   |

<sup>94</sup> Go Meta, 2019: Monitoreo Energético; Cálculos y diseño propios.

<sup>95</sup> Valor estimado de acuerdo con definición propia de encendido. No se recomienda utilizarlo para cálculos adicionales.

<sup>96</sup> Go Meta, 2019: Monitoreo Energético; Cálculos y diseño propios.

Anexo 17. Comparación de tecnología Inverter con diferentes refrigerantes.<sup>97</sup>

| BTU/h                                 | 12 000 BTU/h            |                      | 18 000 BTU/h            |                      |
|---------------------------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|
|                                       | Refrigerante            | Tradicional (R-410A) | R-290                   | Tradicional (R-410A) |
| Tarifa por tipo de uso                | Residencial y comercial |                      | Residencial y comercial |                      |
| Horas diarias de uso                  | 6                       | 6                    | 6                       | 6                    |
| Horas anuales de uso                  | 1950                    | 1950                 | 1950                    | 1950                 |
| Capacidad de enfriamiento (kW)        | 3,52                    | 3,52                 | 5,28                    | 5,28                 |
| REEE                                  | 19,00                   | 20,86                | 19,00                   | 20,86                |
| Factor de Carga CDM                   | 1,0                     | 1,0                  | 1,0                     | 1,0                  |
| Consumo energético anual (kWh)        | 1.231,53                | 1.122,40             | 1.847,29                | 1.683,60             |
| Facturación eléctrica anual (colones) | 157.112,15              | 143.190,14           | 235.668,22              | 214.785,22           |
| Facturación eléctrica anual (dólares) | 270,88                  | 246,88               | 406,32                  | 370,32               |
| Ahorro energético de R-290            | -8,86%                  |                      | -8,86%                  |                      |

97 Cálculos y diseño propios.

Anexo 18. Tabla resumen de cálculo de tasa de rentabilidad interna financiera (TIR) a 10 años, 12 000 BTU/h.<sup>98</sup>

| Escenario de Comparación 12 000 BTU/h Inverter             |          |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|--|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Año  | 1        | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       | 7       | 8       | 9       | 10      |
| Flujos de efectivo en AA con R-410A Inverter (\$)          |          |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| Costo de AA  | -614,77  | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    |
| Costo de instalación                                       | -162,07  | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    |
| Mantenimiento  | -54,02   | -54,02  | -54,02  | -54,02  | -54,02  | -54,02  | -54,02  | -54,02  | -54,02  | -54,02  |
| Facturación eléctrica                                      | -299,38  | -299,38 | -299,38 | -299,38 | -299,38 | -299,38 | -299,38 | -299,38 | -299,38 | -299,38 |
| Flujo de efectivo neto                                     | -1130,24 | -353,41 | -353,41 | -353,41 | -353,41 | -353,41 | -353,41 | -353,41 | -353,41 | -353,41 |
| Flujo de efectivo en AA con R-290 Inverter (\$)            |          |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| Costo de AA  | -706,99  | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    |
| Costo de instalación                                       | -162,07  | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    |
| Mantenimiento  | -54,02   | -54,02  | -54,02  | -54,02  | -54,02  | -54,02  | -54,02  | -54,02  | -54,02  | -54,02  |
| Facturación eléctrica                                      | -272,85  | -272,85 | -272,85 | -272,85 | -272,85 | -272,85 | -272,85 | -272,85 | -272,85 | -272,85 |
| Flujo de efectivo neto                                     | -1195,93 | -326,88 | -326,88 | -326,88 | -326,88 | -326,88 | -326,88 | -326,88 | -326,88 | -326,88 |
| Diferencia de flujos de efectivo (R-290 menos tradicional) | -65,69   | 26,53   | 26,53   | 26,53   | 26,53   | 26,53   | 26,53   | 26,53   | 26,53   | 26,53   |
| TIR  | 38%      |         |         |         |         |         |         |         |         |         |

98 Cálculos y diseño propios.

Anexo 19. Tabla resumen de cálculo de tasa de rentabilidad interna financiera (TIR) a 10 años, 18 000 BTU/h.<sup>99</sup>

| Escenario de Comparación 182 000 BTU/h Inverter            |          |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|--|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Año  | 1        | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       | 7       | 8       | 9       | 10      |
| Flujos de efectivo en AA con R-410A Inverter (\$)          |          |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| Costo de AA  | -838,42  | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    |
| Costo de instalación                                       | -162,07  | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    |
| Mantenimiento  | -54,02   | -54,02  | -54,02  | -54,02  | -54,02  | -54,02  | -54,02  | -54,02  | -54,02  | -54,02  |
| Facturación eléctrica                                      | -449,07  | -449,07 | -449,07 | -449,07 | -449,07 | -449,07 | -449,07 | -449,07 | -449,07 | -449,07 |
| Flujo de efectivo neto                                     | -1503,58 | -503,10 | -503,10 | -503,10 | -503,10 | -503,10 | -503,10 | -503,10 | -503,10 | -503,10 |
| Flujo de efectivo en AA con R-290 Inverter (\$)            |          |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| Costo de AA  | -964,18  | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    |
| Costo de instalación                                       | -162,07  | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    |
| Mantenimiento  | -54,02   | -54,02  | -54,02  | -54,02  | -54,02  | -54,02  | -54,02  | -54,02  | -54,02  | -54,02  |
| Facturación eléctrica                                      | -409,28  | -409,28 | -409,28 | -409,28 | -409,28 | -409,28 | -409,28 | -409,28 | -409,28 | -409,28 |
| Flujo de efectivo neto                                     | -1589,55 | -463,30 | -463,30 | -463,30 | -463,30 | -463,30 | -463,30 | -463,30 | -463,30 | -463,30 |
| Diferencia de flujos de efectivo (R-290 menos tradicional) | -85,97   | 39,79   | 39,79   | 39,79   | 39,79   | 39,79   | 39,79   | 39,79   | 39,79   | 39,79   |
| TIR  | 17.89%   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |

99 Cálculos y diseño propios.

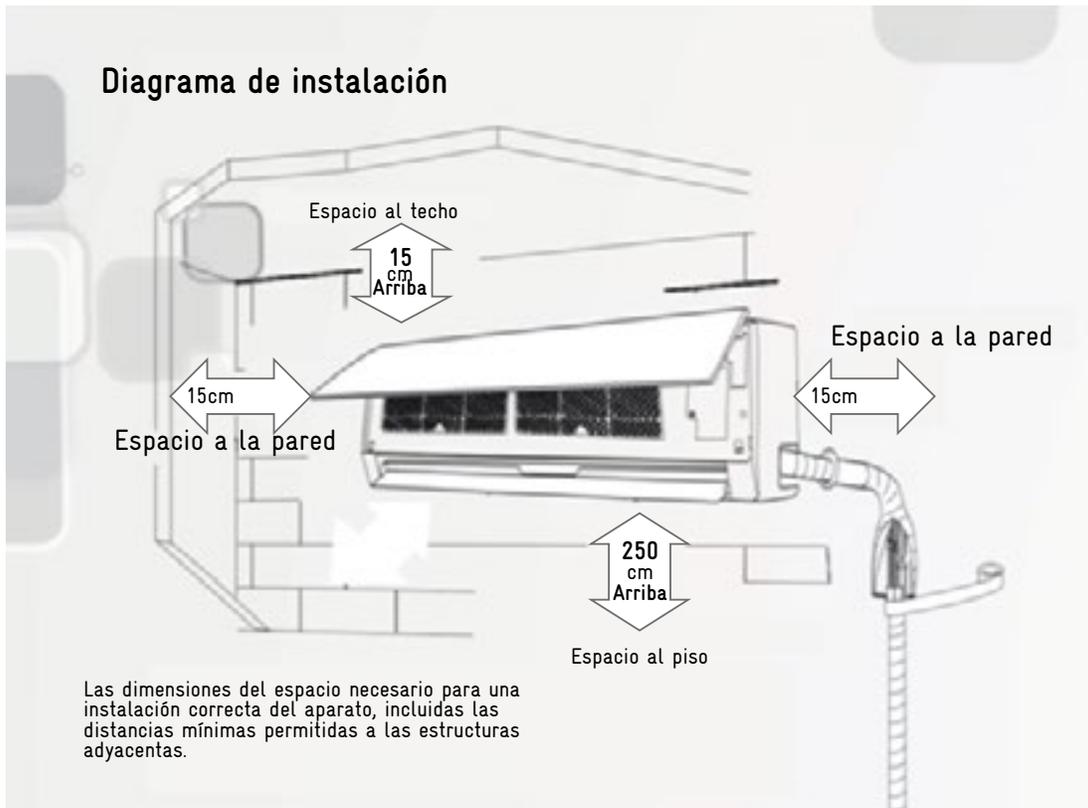
Anexo 20. GIZ Proklima malla curricular de entrenamientos en manejo de refrigerantes R-290 y R-600a.

Formación en A/A tipo split con R-290 y refrigeración doméstica con R600a – Agenda de formación (Módulos) – Uso seguro de refrigerantes de hidrocarburos

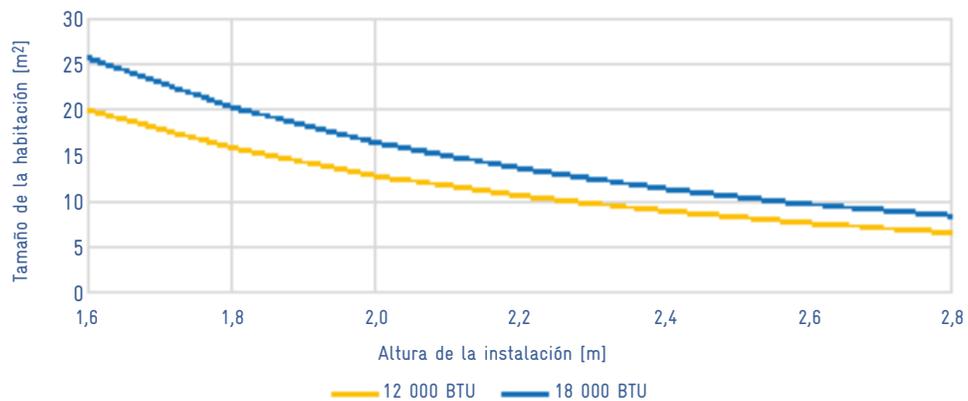
|               | Día 1 (lunes) Formación en soldadura   | Día 2 (martes) Entrenamiento en soldadura fuerte/ Entrenamiento HC                              | Día 3 (Miércoles) Entrenamiento HC   | Día 4 (jueves) Entrenamiento HC  | Día 5 (viernes) Entrenamiento HC  |
|---------------|--|---|--|--|---|
| 08:00 a 12:00 | <p><b>A0 Apertura oficial e introducción (45 min.)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Presentación de los participantes</li> <li>- Expectativas, objetivos y programa del seminario</li> <li>- Reglas</li> </ul> <p><b>B1 Soldadura fuerte (60') Teoría</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Importancia de la soldadura fuerte en la industria RACHP</li> <li>- Teoría de la soldadura</li> <li>- Seguridad de la soldadura fuerte y herramientas</li> <li>- Importancia de la soldadura fuerte para el uso con hidrocarburos</li> <li>- Operación de soldadura</li> <li>- Certificación de competencia de los soldadores - muestra de soldadura fuerte - Uso de conectores de prensado</li> <li>- Instalación de filtro deshidratador (si corresponde)</li> <li>- Sellado de las conexiones de mantenimiento de los tubos de proceso (en caso de pinch-off)</li> </ul> <p><b>BP1 Ejercicio práctico</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Construcción de la probeta de soldadura fuerte (135')</li> <li>- Reunión informativa con los participantes: Descripción del trabajo, lista de herramientas, evaluación de riesgos - Preparación del lugar de trabajo</li> <li>- Ejecución de los trabajos según las necesidades</li> <li>- Prepare y practique hasta 5 piezas de trabajo de prueba para soldadura fuerte</li> </ul> | <p><b>BP1 continúa (240')</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ver Día 1</li> </ul> | <p><b>Repetición (¿qué aprendimos ayer?)</b></p> <p><b>A3 Cilindros y manipulación de cilindros (30')</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Manipulación de cilindros</li> <li>- Almacenamiento de cilindros</li> <li>- Transporte de cilindros</li> </ul> <p><b>A4 Reglamentos, normas de seguridad y directrices (165')</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Legislación nacional, marcas de seguridad de los productos</li> <li>- Estándares internacionales RACHP</li> <li>- Equipo intrínsecamente seguro - Atmósferas explosivas - Limitaciones de tamaño de carga para refrigerantes inflamables - ¿Cómo me afectan las normas?</li> <li>- Ejercicios de cálculo y ejemplos</li> </ul> <p><b>A5 Procedimientos, herramientas y equipos para el uso de refrigerantes inflamables (45')</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Enfoque básico para trabajar con refrigerantes inflamables</li> <li>- El triángulo de combustión</li> <li>- El ambiente de trabajo</li> <li>- Zonas Temporales Inflamables</li> </ul> | <p><b>Repetición (¿qué aprendimos ayer?)</b></p> <p><b>A10 Recuperación de refrigerante (50')</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Liberación de refrigerantes naturales a la atmósfera</li> <li>- Ventilación de refrigerante de hidrocarburos</li> <li>- Quemar refrigerantes inflamables HC</li> <li>- Recuperación de refrigerante inflamable</li> </ul> <p><b>A11 Prueba de estanqueidad (40')</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Importancia de las actividades de detección de fugas de refrigerante</li> <li>- Requisitos legales y estándar de estanqueidad</li> <li>- Las fugas más comunes</li> <li>- Métodos de prueba de fugas (directo/indirecto)</li> </ul> <p><b>A12 Seguridad eléctrica (30')</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Las cinco reglas de la seguridad eléctrica - Ensayos obligatorios de seguridad eléctrica</li> </ul> <p><b>AP1 Ejercicio práctico - Instalación de la unidad vacía (120') o AP1.1 Instalación de la unidad precargada (120')</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Preparación y evaluación de riesgos - Instalación de la unidad interior/exterior, tuberías de) transferencia de refrigerante, aislamiento</li> <li>- Cableado eléctrico de proceso y conexiones de cables - Prueba de presión y lavado de circuitos</li> <li>- Preparación para la puesta en marcha</li> <li>- Herramientas e instrucciones como las que se dan en el resumen de la sesión</li> </ul> | <p><b>Repetición (¿qué aprendimos ayer?)</b></p> <p><b>AP3 Ejercicio práctico - Revisión final de fugas, etiquetado, reporte y entrega de la refrigeración R-290 A/A &amp; Ref- R600a (120')</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Preparación</li> <li>- Comprobación de funcionamiento, comprobación de seguridad eléctrica, comprobación final de fugas</li> <li>- Documentación y comunicación con los clientes</li> <li>- Entrega</li> <li>- Herramientas e instrucciones como las que se dan en el resumen de la sesión</li> <li>- Evaluación final (120')</li> <li>- Prueba de evaluación teórica - Recapitulación</li> </ul> |

| Pausa para el almuerzo      | 12:00 – 13:00   | 12:00 – 13:00  | 12:00 – 13:00   | 12:00 – 13:00   | 12:00 – 13:00  |
|-----------------------------|---|--|---|---|--|
| <p>13:00 a 16.30/ 17:00</p> | <p>Continuación de las prácticas de soldadura fuerte (210')</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- material para la muestra de ensayo</li> <li>- Realizar los quemados necesarios - Producir el espécimen de ensayo de acuerdo con el dibujo suministrado</li> <li>- Realizar la soldadura fuerte bajo protección de gas inerte (OFDN)</li> <li>- Ejecutar la prueba de presión y la prueba de fugas - Sellado de tubos de proceso</li> <li>- Limpieza y marcado de la muestra</li> <li>- Limpieza</li> <li>- Entrega de la lista de comprobación y de la muestra de ensayo</li> </ul> <p>Evaluación diaria</p> | <p><b>A1 Introducción a la refrigeración y a los refrigerantes naturales (60')</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Refrigeración y aire acondicionado - Aspectos medioambientales de los refrigerantes y alternativas respetuosas con el medio ambiente - Aplicación de refrigerantes inflamables (diferentes tipos de equipos y ejemplos)</li> </ul> <p><b>A2 Precauciones de seguridad y riesgo en la manipulación de refrigerantes (90')</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Seguridad y protección de la salud en el lugar de trabajo</li> <li>- ¿Por qué ocurren los accidentes? ¿Cómo evitarlos? (PPE)</li> <li>- Sustancias bajo presión - Marcas de seguridad</li> <li>- Protección contra incendios</li> <li>- Primeros auxilios</li> </ul> <p><b>A3 Cilindros y manipulación de cilindros (30')</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cilindros de gas comprimido</li> <li>- Codificación de colores y etiquetado de cilindros</li> <li>- Montaje de cilindros</li> </ul> | <p><b>A5 Procedimientos, herramientas y equipos para el uso de refrigerantes inflamables (45' incl. 30' de demostración)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Herramientas y equipos de trabajo específicos para el uso con refrigerantes inflamables</li> </ul> <p><b>A8 Diseño de sistema sellado (50' incl. demostración de (10')</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Componentes importantes para el diseño de sistemas sellados</li> <li>- Finalidad y función de los diferentes tubos de transferencia de refrigerante - Opciones de unión para tubos de transferencia de refrigerante</li> </ul> <p><b>A9 Instalación, puesta en marcha y mantenimiento de R-290 A/A (40')</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Preparación de la instalación</li> <li>- Enrutamiento y soporte de tuberías de transferencia de refrigerante</li> <li>- Aislamiento de la tubería</li> <li>- Puesta en marcha</li> <li>- Reparación o modificación de un sistema</li> </ul> <p><b>ADR Reparación de refrigeradora doméstica R600a (60')</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Visión general de los frigoríficos domésticos</li> <li>- Refrigeración básica</li> <li>- El uso de uniones prensadas</li> <li>- Provisión de sistemas sellados</li> <li>- Operación de refrigeradores domésticos con HC</li> <li>- Solución de problemas</li> <li>- Mantenimiento y reparación</li> <li>- Lavado con OFDN (y HC)</li> <li>- Pruebas de presión con OFDN</li> <li>- Cambios de filtro</li> <li>- Seguridad eléctrica y puesta en marcha</li> </ul> <p>Evaluación diaria</p> | <p><b>Repetición (¿qué aprendimos ayer?)</b></p> <p><b>A10 Recuperación de refrigerante (50')</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Liberación de refrigerantes naturales a la atmósfera</li> <li>- Ventilación de refrigerante de hidrocarburos</li> <li>- Quemar refrigerantes inflamables HC</li> <li>- Recuperación de refrigerante inflamable</li> </ul> <p><b>A11 Prueba de estanqueidad (40')</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Importancia de las actividades de detección de fugas de refrigerante</li> <li>- Requisitos legales y estándar de estanqueidad</li> <li>- Las fugas más comunes</li> <li>- Métodos de prueba de fugas (directo/indirecto)</li> </ul> <p><b>A12 Seguridad eléctrica (30')</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Las cinco reglas de la seguridad eléctrica - Ensayos obligatorios de seguridad eléctrica</li> </ul> <p><b>AP1 Ejercicio práctico - Instalación de la unidad vacía (120') o AP1.1 Instalación de la unidad precargada (120')</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Preparación y evaluación de riesgos</li> <li>- Instalación de la unidad interior/exterior, tuberías de) transferencia de refrigerante, aislamiento</li> <li>- Cableado eléctrico de proceso y conexiones de cables</li> <li>- Prueba de presión y lavado de circuitos</li> <li>- Preparación para la puesta en marcha</li> <li>- Herramientas e instrucciones como las que se dan en el resumen de la sesión</li> </ul> <p>Evaluación diaria</p> | <p><b>Cierre (60')</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Foto</li> <li>- Evaluación escrita del taller</li> <li>- Certificados y despedida</li> </ul> |

Anexo 21. Diagrama de instalación de equipo de AA tipo split con refrigerante R-290.<sup>100</sup>



Anexo 22. Altura de instalación de equipo AA con R-290 de acuerdo con el tamaño de la habitación.



<sup>100</sup> Godrej & Boyce (2019) MANUAL DE CAPACITACIÓN PARA AIRES ACONDICIONADOS CON HIDROCARBUROS TIPO SPLIT DE GODREJ (REFRIGERANTE R-290) (en español).



Deutsche Gesellschaft für  
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Oficina registrada Bonn and Eschborn

Friedrich-Ebert-Allee 36  
+ 49 53113 Bonn, Germany  
T +492284460-0  
F +492284460-1766

Dag-Hammarskjöld-Weg 1 - 5  
65760 Eschborn, Germany  
T +49619679-0  
F +49619679-1115

E [info@giz.de](mailto:info@giz.de)  
I [www.giz.de](http://www.giz.de)