

IDEAS 2015

Diseño de soluciones inclusivas para incrementar
la flexibilidad de la red eléctrica en Nicaragua

INFORME DE PROYECTO #2

15 junio 2016



Autores

NiuEra, LLC: Diego Ponce León Barido

PELICAN, S.A: Lâl Marandin

INDICE DE CONTENIDOS

ANTECEDENTES DEL PROYECTO	1
AVANCES DEL PROYECTO	2
Cronograma General de Ejecución	2
Cronograma de ejecución	2
Resultados esperados.....	2
Ejecución de presupuesto	3
Principales Actividades	4
RESULTADOS DEL PROYECTO	5
Información de línea de base técnica	Error! Bookmark not defined.
Eficiencia energética	Error! Bookmark not defined.
Temperaturas	Error! Bookmark not defined.
Otros	Error! Bookmark not defined.
Análisis de datos	5
Consumo eléctrico	5
Correlaciones y comportamientos	6
Análisis de datos térmicos.....	8
Análisis de la red GSM (Claro)	12
Algoritmos de control y modelos predictivos.....	14

* * *

*

Figuras

Figura 1: Perfiles de consumo de los participantes	5
Figura 2: Correlación de datos de línea de base.....	6
Figura 3: Correlación entre la temperatura ambiente y los datos FlexBox (aperturas, consumo de energía de la refrigeradora, temperatura interior, consumo eléctrico total del hogar). 7	
Figura 4: Comparación de las temperaturas internas en casas y microempresas con los datos de la estación meteorológica	9
Figura 5: Perfiles de temperaturas internas en casas y microempresas	10
Figura 6: Consumos energéticos normalizados por unidad e Índice de Eficiencia para todas las unidades	11
Figura 7: Resultados de las pruebas de latencia y ancho de banda en la red GSM	14

Tablas

Tabla 1: Hitos del proyecto.....	3
Tabla 2: Ejecución actual de presupuesto	3
Tabla 3: Presupuesto total del proyecto.....	3

* * *

*

ANTECEDENTES DEL PROYECTO

El Concurso de Innovación Energética (IDEAS) es una iniciativa que busca apoyar el desarrollo de proyectos innovadores que promuevan energía renovable, eficiencia energética, biocombustibles y acceso a la energía en zonas rurales. Esta convocatoria fue lanzada en octubre de 2014. Tras un proceso de selección en el que se consideraron 282 propuestas provenientes de los 26 países miembros prestatarios del BID, fueron seleccionados 6 ganadores en todo el continente, dentro de los cuales estaba el equipo de multidisciplinario de Nicaragua.

Los informes de avances entregados a la fecha fueron los siguientes:

- *Informe de Avances #1 – 11 abril 2016*

* * *

*

AVANCES DEL PROYECTO

CRONOGRAMA GENERAL DE EJECUCIÓN

Cronograma de ejecución

Conforme lo explicado en el Informe de Avances #1, a partir de la firma del convenio en enero del 2016, se aceleró la ejecución con las siguientes actividades:

- *Compra de los equipos “FlexBox”*
- *Compra de equipos de comunicación (modems)*
- *Compra de contratos 3G de data (Claro)*
- *Instalación de equipos*
- *Calibración de equipos y seguimiento técnico*
- *Enlace social y seguimiento a los participantes*

En el siguiente trimestre entre abril 2016 y la fecha, se ha avanzado en:

- *Análisis de los datos adquiridos*
- *Elaboración de informes mensuales de avances*
- *Instalación de 5 modems de prueba para la transmisión de datos en tiempo real*
- *Seguimiento a los participantes*

Resultados esperados

Hito	Productos	Fecha	Estatus
1	Firma de contrato	Diciembre 2015	Realizado
2	Informe de Avances #1: <ul style="list-style-type: none">- <i>Selección de participantes</i>- <i>Instalación de equipos</i>- <i>Instalación de estación meteorológica</i>- <i>Línea de base social de participantes</i>	Abril 2016	Realizado
3	Informe de Avances #2:	Junio 2016	El presente

	<ul style="list-style-type: none"> - Recolectar información de línea de base técnica - Recolectar información meteorológica local - Desarrollar los algoritmos de control y modelos predictivos 		Informe
--	--	--	---------

Tabla 1: Hitos del proyecto

Ejecución de presupuesto

A continuación presentamos un resumen de la ejecución de fondos para la realización del proyecto con fecha del 15 de junio 2016:

Tipo de gasto	BID (US\$)	PELICAN / NiuERa (US\$)	Total (US\$)
Recursos humanos	-5,000	-30,000	-35,000
Costos de viajes		-5,000	-5,000
Equipos	-27,500		-27,500
Otros costos directos	-7,500	-22,500	-30,000
Auditoría	0	0	0
Otros costos indirectos		-7,500	-7,500
Total	-40,000	-65,000	-105,000

Tabla 2: Ejecución actual de presupuesto

El presupuesto del proyecto total del proyecto se enseña a continuación:

Tipo de gasto	BID (US\$)	PELICAN / NiuERa (US\$)	Total (US\$)
Recursos humanos	25,000	30,000	55,000
Costos de viajes	15,000	5,000	20,000
Equipos	35,000		35,000
Otros costos directos	7,500	\$22,500	30,000
Auditoría	5,000		5,000
Otros costos indirectos	12,500	7,500	20,000
Total	100,000	\$65,000	165,000
<i>Firma del contrato</i>	<i>-10,000</i>	<i>-65,000</i>	<i>-75,000</i>
<i>Desembolso #1</i>	<i>-30,000</i>	<i>0</i>	<i>-30,000</i>
Situación al 15/06/2016	60,000	0	60,000

Tabla 3: Presupuesto total del proyecto

PRINCIPALES ACTIVIDADES

Desde el ultimo reporte se ha continuado con el seguimiento a los participantes y se ha empezado a interactuar con ellos vía mensajes de texto. De la misma manera se empezaron a entregar reportes energéticos a los participantes consistiendo de un análisis de su consumo de energía total, información del consumo energético de sus refrigeradores y mantenedoras, información visualizada de su recibo energético y una comparación con el resto de los participantes. Los reportes energéticos también vienen con información detallada y recomendaciones de eficiencia energética que se pueden llevar a cabo dentro de los hogares y microempresas. Un ejemplo de estos reportes energéticos va adjunto a este reporte.

Además de continuar con el seguimiento y comenzar comunicación con los participantes vía los mensajes de texto, se instalaron cinco módems de seguimiento para analizar la capacidad de la red de Claro, y se instalaron 20 modems adicionales para hacer un análisis completo de la red de Claro a nivel ciudad (Managua). La razón del análisis a la red Claro fue para evaluar la latencia y la capacidad de transmisión de datos de la red de comunicaciones. Debido a que nuestro proyecto necesita mandar mensajes de texto a las cargas eléctricas desde de nuestro servidor tenemos que asegurarnos que los mensajes llegan rápidamente y que la cantidad de datos dentro de cada mensaje no afecta la duración de cada viaje del servidor a las cargas eléctricas.

Finalmente se comenzó el diseño y prototipo de nuestro algoritmo de control de cargas. Se cuenta actualmente con dos algoritmos, el primero hace un tipo de respuesta a la demanda a la que se denomina ‘reducción de pico’ y el segundo participa en ‘seguimiento al viento’ y ‘la demanda energética neta’; es decir, cuando hay caídas en el viento no planeadas por el centro de despacho de carga, o incrementos de la demanda energética neta (demanda menos viento y menos interconexiones) apagamos las cargas eléctricas de nuestros participantes.

Las encuestas y conversaciones con las que continuamos indican que todos los usuarios se sienten contentos con el proyecto. En términos de percepción, los usuarios sienten que mejoran mejor sus finanzas energéticas desde que comenzó el proyecto, que entienden mejor su consumo, y en ocasiones algunos de ellos mencionan que gracias al proyecto su consumo energético ha reducido. No hay manera en que el proyecto haya podido haber incrementado o reducido el consumo energético de los participantes pero nuestras encuestas y conversaciones están sacando a luz varios comportamientos que es importante entender para la proliferación de las redes inteligentes en países como Nicaragua.

* * *

*

RESULTADOS DEL PROYECTO

ANÁLISIS DE DATOS

En esta sección se presenta un análisis exploratorio de los datos recogidos hasta la fecha por los sensores « FlexBox » instalados en las PYMEs y los hogares seleccionados, equipos con módems Huawei E3531. Se incluye una estimación del parámetro de consumo eléctrico y térmico, aspectos de eficiencia térmica, un breve análisis de la red de comunicaciones, y un resumen de los desafíos y oportunidades de implementación de campo que se han presentado hasta la fecha.

Consumo eléctrico

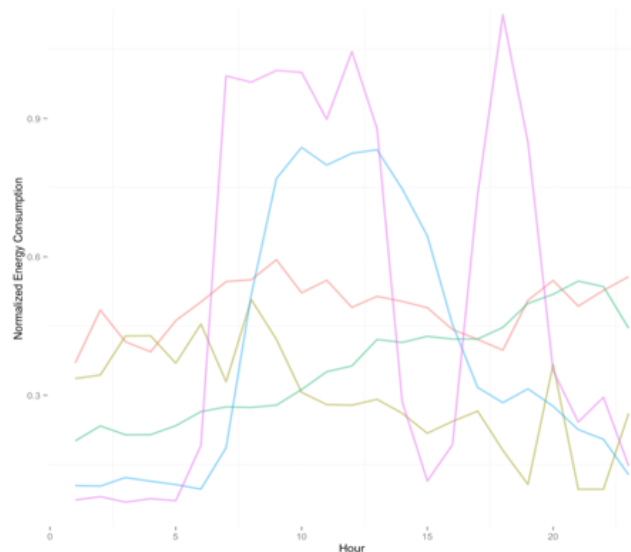


Figura 1: Perfiles de consumo de los participantes

Fuente: Niuera

El consumo normalizado de electricidad a nivel micro (en promedio y/o medio) se puede agrupar en 5 perfiles diferentes (carga diaria por hora). Los cinco perfiles diarios de carga agrupadas se pueden separar de la siguiente forma:

- 1) los usuarios que tienen su mayor consumo en el medio de la día,
- 2) los usuarios que tienen dos picos que se producen en la mitad del día y de la noche,

- 3) aquellos cuya demanda aumenta constantemente a lo largo del día
- 4) aquellos que sólo tienen un alto consumo por la mañana y por la noche,
- 5) y finalmente los que presentan un consumo disperso durante todo el día, pero con el mayor consumo el medio del día.

En promedio, los hogares y las microempresas consumen 16% más energía (media: 28% más energía). Realizamos una correlación entre la hora del día y la temperatura ambiente (°C), durante cada hora del día y la comparamos a la temperatura interior de los refrigeradores y mantenedoras (°C), al consumo de energía del refrigerador (Wh), y al consumo de energía del hogar (Wh), lo cual nos permitió ver que existe tanto una dependencia con la temperatura ambiente y la hora (con factores de correlación variables) a través de nuestro grupo de casas y micro-empresas (Figura 2).

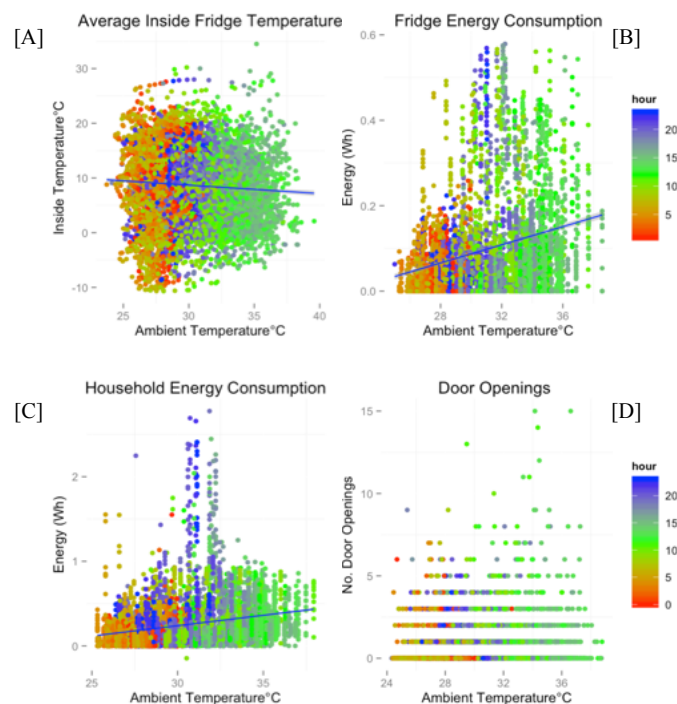


Figura 2: Correlación de datos de línea de base

Fuente: Niuera

Correlaciones y comportamientos

Al analizar los datos, se observa:

- una relación negativa muy débil entre la temperatura interior de la refrigeradora y la temperatura del ambiente (Pearson $r = -0.06$, $N = 16,000$, $p < 0.001$),
- una relación positiva moderada entre el consumo de energía de la refrigeradora y temperatura ambiente (Spearman no paramétrico $r = -0.43$, $N = 10,000$, $p < 0.001$),
- una moderada relación positiva entre el consumo de energía en el hogar y la temperatura ambiente (Spearman no paramétrico $r = -0.45$, $N = 16,000$, $p < 0.001$),

- y una relación muy débil entre la temperatura ambiente y las aperturas de las puertas por los usuarios (Spearman no paramétrico $r = -0.16$, $N = 16,000$, $p < 0.001$).

Si bien estas correlaciones pueden ser relativamente débiles cuando se observa al grupo entero de casas y microempresas, se observa una gran variabilidad dentro de este grupo cuando el análisis se hace individualmente en cada casa y micro-empresa, como se puede ver en la Figura 3 a continuación. Por ejemplo, la Figura 3 representa que 8 y 3 unidades presentan correlaciones moderadas ($0.4 \leq r < 0.6$; $p < 0.001$) y fuertes ($0.6 \leq r < 0.8$; $p < 0.001$) respectivamente entre la temperatura ambiente y la temperatura interna del refrigerador, así como existen 6 y 3 unidades que experimentan correlaciones moderadas ($p < 0.001$) y ($p < 0.001$) y fuertes entre la temperatura ambiente y el consumo eléctrico total del hogar.

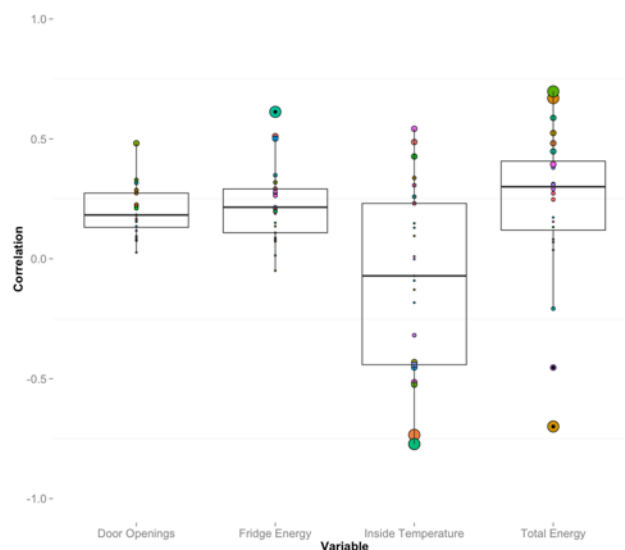


Figura 3: Correlación entre la temperatura ambiente y los datos FlexBox (aperturas, consumo de energía de la refrigeradora, temperatura interior, consumo eléctrico total del hogar)

Fuente: Niuera

La correlación entre el consumo de energía de la refrigeradora y la temperatura ambiente es positiva, pero esta relación parece ser moderada y fuerte en solo unas casas y micro-empresas (2 y 1 unidades, respectivamente; $p < 0.001$). Las variaciones de correlación entre la temperatura del ambiente y en el interior de la refrigeradora con el consumo de energía del equipo sugiere que existe toda una gama de comportamientos de los usuarios del sistema. Por ejemplo, algunos usuarios pueden desenchufar su refrigeradora cuando la temperatura ambiente de la sala es muy alta, mientras que otros dejan su equipo encendido, usando más energía para preservar (o reducir) su temperatura interna durante ese tiempo.

De la misma manera, una fuerte correlación positiva entre la temperatura interior del equipo y la temperatura ambiente de la sala podría sugerir que los usuarios escogen desenchufar el equipo durante las partes más calientes del día, y una fuerte correlación negativa podría sugerir que estos son los momentos del día en que los usuarios deciden al contrario

encenderlo (en consecuencia, sería la hora del día durante la cual la refrigeradora utiliza la mayor parte de su energía). La correlación entre el consumo total de energía en el hogar y la temperatura ambiente del hogar sugiere que, si bien hay algunas familias que aumentan su consumo a temperaturas más altas, también hay otras que modifican su comportamiento a fin de reducir su consumo (por ejemplo, apagando varias congeladoras y refrigeradoras). Hay muchos más puntos a investigar con estos datos, incluyendo la oportunidad de instalar aislamiento térmico para mejorar la eficiencia energética de los equipos, así como el desarrollo de informes energéticos detallados.

Análisis de datos de temperatura

Existen varios parámetros clave para determinar el potencial técnico de cargas eléctricas que son controladas por termostatos como los aires acondicionados y los refrigeradores (TCL, por sus siglas en inglés), y para la construcción de algoritmos de control más precisos para su agregación a gran escala. La temperatura ambiente de la ciudad (temperatura ciudad), la temperatura ambiente de la cocina (temperatura ambiente), y la temperatura interna de los equipos, el consumo de energía, y las características térmicas (resistencia, capacitancia, y ancho la pared, por ejemplo) son parámetros ampliamente utilizados para el diseño de distintos algoritmos de control. A gran escala, las agregaciones de TCLs pueden ser representadas a través tanto de su capacidad de energía y de potencia.

Para definir la capacidad de energía (la cantidad máxima de energía que puede ser almacenada) y la capacidad de potencia (el rango de potencia de un dispositivo de almacenamiento) se necesitan varios parámetros, incluyendo:

- *b* (la cantidad de tiempo que tarda una carga de frío para atravesar su banda muerta (intervalo de temperaturas en el cual el equipo descansa) en modo “Encendido”)
- el ancho de la banda muerta (medido en °C)
- los puntos de ajuste de temperatura de un TCL (°C)
- la resistencia térmica (°C / kWh)
- la capacitancia térmica (kWh / °C)
- el coeficiente de rendimiento (COP, por sus siglas en inglés)
- y la demanda del consumo (kW)

Los modelos TCL encontrados en la literatura permiten que la temperatura ambiente de la casa varíe cuando se modelan acondicionadores de aire y bombas de calor, pero la temperatura ambiente de la casa se mantiene fija en el caso de modelar la capacidad de energía y potencia en los refrigeradores. A pesar de que estas dinámicas y correlaciones entre temperatura, consumo energético y potencia pueden variar según las regiones y los sitios de estudio, una temperatura ambiente fija también significaría que el ciclo de trabajo de una refrigeradora se mantiene constante, así como las capacidades de potencia y energía, y el consumo de energía anual medio. Como veremos a continuación, este es un supuesto que no se respeta en Managua.

Al comparar la temperatura ambiente de nuestra estación meteorológica instalada en Managua, contra la temperatura ambiente y la humedad dentro de las casas y la humedad en

el interior de los hogares y las microempresas, se encontró que las casas y las microempresas experimentaron directamente la temperatura ambiente, y con frecuencia experimentan temperaturas más altas durante la parte más caliente de los días debido a la ausencia de reflectante o aislante térmico en las construcciones citadinas. Durante la madrugada (0-6 am) todos, excepto dos casas, experimentaron temperaturas más bajas que la temperatura ambiente de la estación meteorológica, pero esto cambia a las 6 de la mañana cuando aproximadamente la mitad de los hogares experimentan temperaturas más altas que la estación meteorológica, ver Figura 4:

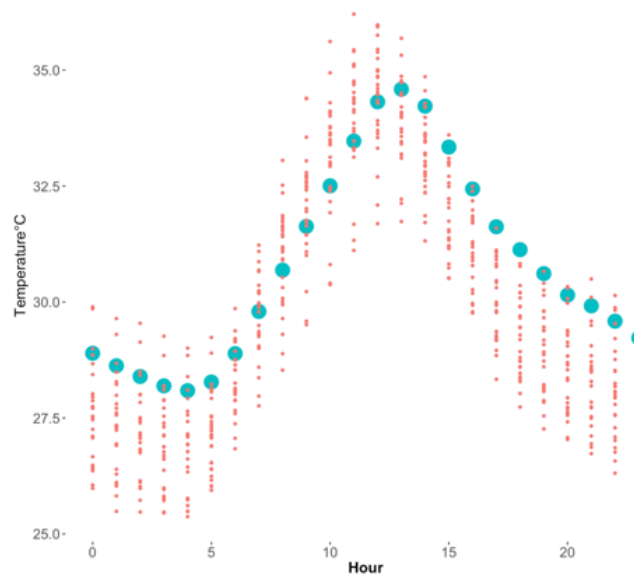


Figura 4: Comparación de las temperaturas internas en casas y microempresas con los datos de la estación meteorológica. Los datos de las casas y micro-empresas se encuentra en rojo, mientras que los datos de la estación meteorológica son de color azul.

Fuente: Niuera

La temperatura ambiente de nuestra estación meteorológica y las casas y micro-empresas nos permite entender la variabilidad temporal horaria y diaria: la variabilidad de la temperatura se correlaciona bien entre la estación meteorológica y todas los hogares, pero se detectó una amplia variabilidad de la temperatura ambiente dentro de todos los hogares y micro-empresas (4°C). Un aislamiento térmico de mala calidad podría plantear problemas importantes no solamente para programas de eficiencia energética domésticos o comerciales, pero también podría afectar significativamente la salud pública. Nuestros datos sugieren que no sólo la temperatura ambiente varía significativamente durante el día, sino también que los picos de temperaturas calientes afectan de manera significativa las personas y los equipos de refrigeración en las casas y las microempresas.

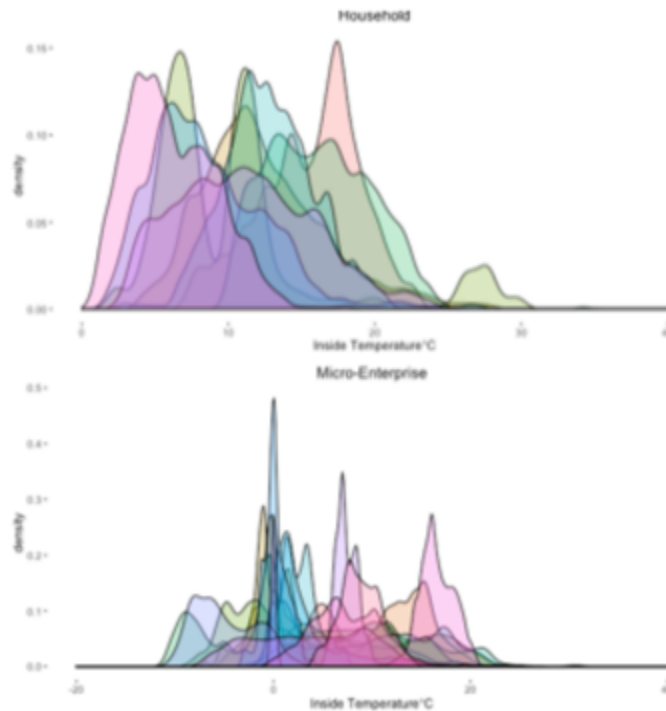


Figura 5: Perfiles de temperaturas internas en casas y microempresas

Fuente: Niuera

En promedio, y como lo demuestra la Figura 6, el consumo de las cargas es mayor durante el mediodía en el momento más caliente y cuando los hogares realizan la mayoría de sus aperturas de puertas. La Figura 6 representa datos normalizados (0-1) de todas las unidades para poder comparar el consumo de energía a través del tiempo a lo largo del período de estudio. Las informaciones del etiquetado de los equipos de refrigeración identificados en el campo indican un rango entre -20°C y 5°C para los puntos de ajuste de la temperatura de las diferentes unidades de congelación y refrigeración (Figura 5). Sin embargo los datos medidos sugieren que las unidades oscilaron entre -10°C y podrían alcanzar hasta 35°C (Figura 5, Tabla 1). Esta variabilidad podría ser una consecuencia de las pérdidas de aparatos y de los comportamientos de los usuarios que incluyen la apertura y cierre de las puertas y la desconexión temporal de las cargas observadas en la mayoría de los casos. Por otra parte, se nota que el ciclo de trabajo (la relación entre el tiempo que tarda una refrigeradora para atravesar su banda muerta en estado activo con respecto al tiempo total de activado y desactivado del compresor) fluctúa durante el día.

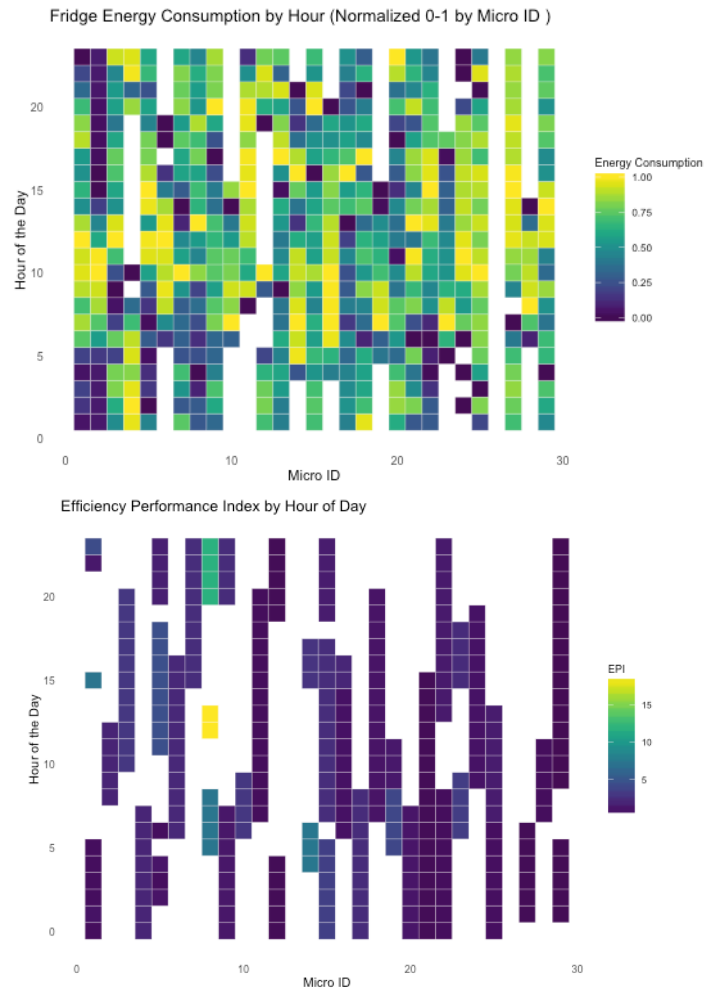


Figura 6: Consumos energéticos normalizados por unidad e Índice de Eficiencia para todas las unidades

Fuente: Niuera

Con respecto al ciclo de trabajo, los datos de campo sugieren que las congeladoras y refrigeradoras pasan más tiempo con el compresor prendido durante el mediodía (cuando es más caliente y cuando hay más actividad) que otras partes del día. En nuestro análisis también comparamos el coeficiente de rendimiento (COP, por sus siglas en inglés), que se midió en un entorno experimental en la Universidad de Berkeley (CA, EEUU), a un índice de rendimiento de eficiencia, que se calcula a partir de los datos. Encontramos que mientras que el COP experimental varió entre 0.01 y 0.03 y se mantuvo bastante constante durante todo el día (con un mínimo de alteraciones térmicas o de comportamiento), el índice de eficiencia de rendimiento (EPI, por sus siglas en inglés) observado en el campo varió drásticamente entre 0.0045 (mínimo) y 18 (máximo).

Si bien podría parecer que el índice EPI es consistente a través de las unidades de campo (Figura 6) se observa que la eficiencia en el rendimiento de la refrigeradora (la cantidad de trabajo necesario para eliminar el calor de un reservorio frío) cambia durante el día. En las horas más activas y más calientes del día se observan valores más bajos del EPI que otros días. La potencia nominal de estos aparatos varió desde 0.1 hasta 2.2 kW de acuerdo con la

etiqueta del fabricante; esto resultaría en una gama de consumo anual medio entre 280 y 6000 kWh según los modelos. Nuestros datos de campo sugieren que el consumo de energía anual medio real fue de 1400 kWh para todo el cluster. Los resultados de nuestros datos de campo y de la experimentación podrían informar mejor a la modelización TCL para proveer servicios auxiliares a la red dado que los modelos teóricos normalmente suponen que los valores de las capacidades de energía y potencia y la eficiencia de rendimiento permanecen constantes durante el ciclo de trabajo.

Parameter	Symbol (Units)	Mean (SD: Min -- Max)
Ambient temperature	θ_a (°C)	30 (3: 10 -- 41)
Dead-band width	δ (°C)	9 (4: -10 -- 35)
Temperature set point ¹	θ_{set} (°C)	-20 -- 5
Duty cycle	D (-)	0.52 (0.31: 0.1 -- 0.9)
Coefficient of performance ²	η (-)	0.01 - 0.03
Efficiency performance index	η_e (-)	1.8 (2.4: .0045 - 18)
Power consumption ¹	P (kW)	0.1 -- 2.2
Mean Annual Energy Consumption per TCL ¹	MAEC (kWh)	280 -- 6000
Actual Mean Annual Energy Consumption per TCL	AMAEC (kWh)	1400

[1] From product details found in the field and from local refrigerator and freezer providers.

[2] From controlled laboratory experiments. The literature suggests that the COP ranges between 1.5 and 2.5, we did not observe this in our controlled experiment. COP is a ratio of Q_c (heat removed from a cold reservoir) over W_{ref} (the work input required to remove heat from the cold reservoir). Experimentally, we calculated the COP for a freezer and refrigerator that were empty, but on the field we assumed freezers and refrigerators to be 3/4 full. That is, we used the heat capacity of air and water to calculate the efficiency performance index for our field data.

[3] The rest of the data was obtained from the field.

Tabla 1: Parámetros de Aparatos TCL con Datos de Campo

Fuente: Niuera

Análisis de la red GSM (Claro)

Como parte de una prueba de la latencia y banda ancha de la red de comunicaciones, instalamos cinco módems 3G Huawei E3531 en cinco hogares y microempresas. Se adquirieron planes de datos de 1 GB mensuales para cada módem y dos pruebas fueron codificadas e implementadas para probar la latencia de red y banda ancha.

La latencia se refiere al tiempo necesario para establecer y responder a una solicitud de conexión. En este contexto, se mide el tiempo que se necesita para que la FlexBox cree un paquete de datos, lo envíe al servidor, que este sea recibido por el servidor y enviado de vuelta por el servidor hasta la FlexBox. Se midió la latencia a través de pings cada 30 segundos, con 6 pings enviados desde el FlexBox al servidor, y haciendo el camino al revés. En cuanto al propósito de realizar control de respuesta a la demanda, la latencia es muy importante ya que queremos que las señales de control puedan viajar rápidamente en la red. Los módems pueden tomar entre milisegundos a decenas de segundos para establecer una conexión y enviar un paquete de datos: esto puede modificar totalmente el tipo de servicio que se podría proporcionar de forma confiable en los servicios auxiliares o mercado SPOT.

La banda ancha se refiere a la velocidad de los flujos de datos a través de la red después del establecimiento de la conexión; por lo general esta se tiene en cuenta cuando se considera la transmisión de datos brutos. Se midió la banda ancha mediante la apertura de una conexión de protocolo de control de transmisión (TCP) entre el FlexBox y el servidor y la transmisión de 3 megabits (MB) de números generados al azar.

Para efectos de control de respuesta a la demanda, las señales de control son generalmente muy pequeñas y el tiempo de comunicación está dominado por latencia, considerada como el factor más determinante de los servicios auxiliares a la red. En nuestras pruebas, y en el caso de que la red haya fallado y que las pruebas de datos de latencia y ancho de banda no se pudieron enviar, las pruebas se almacenan como “caso de fallo” en el FlexBox. Una vez que la red fue restaurada, los datos se envían al servidor y se analiza para entender cuántos fracasos se produjeron basándose en la cantidad de números faltantes (así como para calcular cuánto tiempo había transcurrido entre los intentos exitosos). En la Figura 7 a continuación se pueden ver los resultados de las pruebas de latencia y banda ancha para los distintos modems instalados en todas la zonas del proyecto, en Managua.

La media de la latencia promedio es de 642 milisegundos (desviación estándar: 185 milisegundos) a través de todos los dispositivos y la media de la latencia máxima en todos los dispositivos es 945 milisegundos (desviación estándar: 415 milisegundos) con el valor máximo de latencia alcanzando 38.000 milisegundos (38s). Las pruebas de latencia muestran una gran variabilidad entre sí, durante todo el día, aunque todos ellos están conectados a la misma red (3G de Claro), se realiza un ping al mismo servidor, y están utilizando la misma tecnología (Huawei E3531) ejecutando el mismo software. Los análisis futuros describirán cómo estas diferentes probabilidades de eventos, duración del evento, e intervalos de tiempo entre los eventos estén relacionados con el momento en que la red eléctrica necesita más que los potenciales recursos TLC estén disponibles.

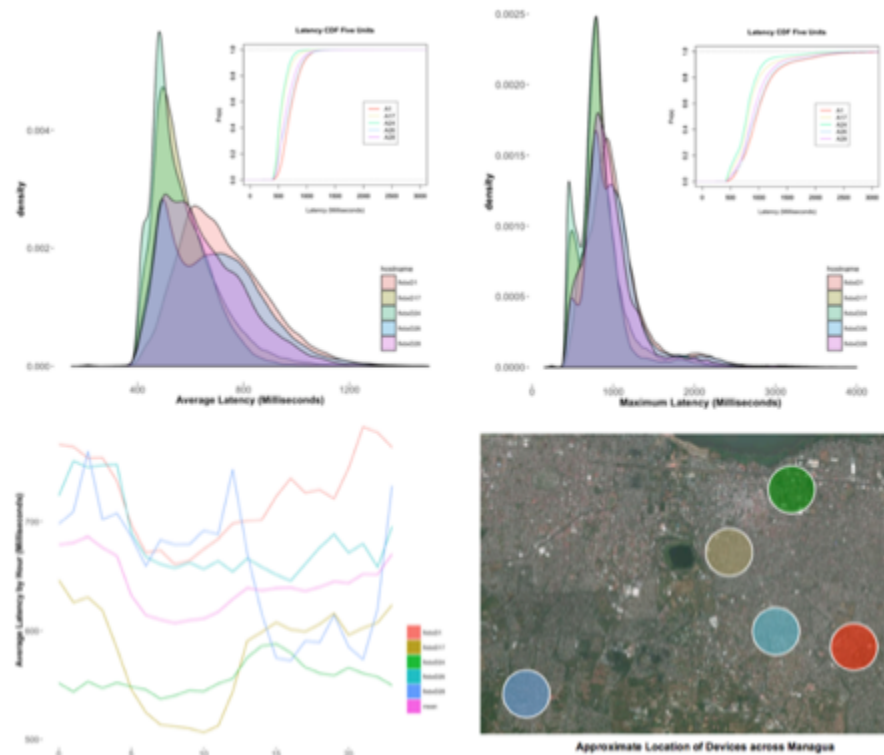


Figura 7: Resultados de las pruebas de latencia y ancho de banda en la red GSM

Fuente: Niuera

ALGORITMOS DE CONTROL Y MODELOS PREDICTIVOS

Para el desarrollo del algoritmo de control se tomaron en cuenta dos requisitos: (1) el primero busca reducir los picos de demanda de Nicaragua, y (2) el segundo busca de proveer de servicios auxiliares a la red en casos cuando el viento se cae imprevistamente o cuando la demanda energética neta (demanda total menos viento y menos interconexiones) cae imprevistamente. Cuando se cae el viento imprevistamente, o cuando se incrementa la demanda energética neta imprevistamente, Nicaragua tiene que utilizar recursos fósiles para seguir cumpliendo con la oferta demanda energética. Cuando el desbalance es alto, entonces los recursos que la red eléctrica utiliza son los mas contaminantes y también los mas caros. La respuesta a la demanda presenta recursos auxiliares que son limpios y baratos. A continuación se presenta como funcionan los algoritmos a grandes rasgos.

Algoritmo 1: Reducción de Pico de Demanda:

1.1 *El Servidor de NiuEra observa una predicción al día siguiente de los precios de energía mas altos y manda dos señales diarias durante los precios mas altos durante las cuales un refrigerador o mantenedora puede desplazar su energía.*

1.1.1 *El Servidor puede mandar tres señales distintas de reducción de pico de demanda: de duración de una hora para picos extremos, de dos horas para picos consecutivos, y*

- de tres horas, cuando existen tres horas consecutivas que incrementan los precios consecutivamente durante el día.*
- 1.2 *La FlexBox de cada refrigerador y mantenedora tiene inteligencia interna que tiene codificadas las horas cuando el refrigerador puede participar en un evento de reducción de pico de demanda.*
- 1.2.1 *Si la FlexBox recibe una señal del servidor del pico de demanda y si esta señal cae dentro de sus horas de participación entonces la FlexBox apaga el refrigerador. Durante el evento se permite que la temperatura oscile entre la temperatura mas alta con el compresor prendido y la temperatura mas alta con el compresor prendido + 3°C.*
- 1.2.2 *Si la Flexbox recibe una señal del servidor del pico de demanda y si esta señal no cae dentro de sus horas de participación entonces la FlexBox mantiene el refrigerador prendido.*
- 1.3 *Finalmente, al final de cada evento, cada FlexBox tiene un numero aleatorio para que este pueda prenderse de vuelta nuevamente. Esto impide que todos los refrigeradores y/o mantenedoras se prendan al mismo tiempo y así causen un impacto negativo a la red eléctrica.*

Algoritmo 2: Servicios Auxiliares para Caídas Imprevistas del Viento y Incrementos Imprevistos en la Demanda Energética Neta

- 2.1 *El Servidor de NiuEra observa una predicción en tiempo real (15-20 mn) de la situación del viento y la demanda energética neta. Si el servidor predice o observa una reducción imprevista constante en el viento, y si existe un incremento imprevisto en la demanda energética, se manda una señal a las FlexBox para que estas se apaguen por 15 minutos, dándole tiempo así a la red eléctrica para que se recupere con recursos mas baratos.*
- 2.2 *La FlexBox de cada refrigerador y mantenedora tiene inteligencia interna que tiene codificadas el numero de veces que un refrigerador o mantenedora puede participar en un evento de flexibilidad energética. Cada refrigerador puede participar un máximo de tres veces en un evento de flexibilidad energética.*
- 2.2.1 *Si la FlexBox recibe una señal del servidor para un evento de flexibilidad energética de caída imprevista de viento o de incremento imprevisto de demanda energética neta, entonces esta se apaga por 15 minutos. Durante el evento se permite que la temperatura oscile entre la temperatura mas alta con el compresor prendido y la temperatura mas alta con el compresor prendido + 3°C.*
- 2.2.2 *Si la Flexbox recibe una señal del servidor para un evento de flexibilidad energética de caída imprevista de viento o de incremento imprevisto de demanda energética neta y si la FlexBox ya participo en tres eventos similares, entonces la FlexBox no hace nada.*
- 2.3 *Finalmente, al final de cada evento, cada FlexBox tiene un numero aleatorio para que este pueda prenderse de vuelta nuevamente. Esto impide que todos los*

refrigeradores y/o mantenedoras se prendan al mismo tiempo y así causen un impacto negativo a la red eléctrica.

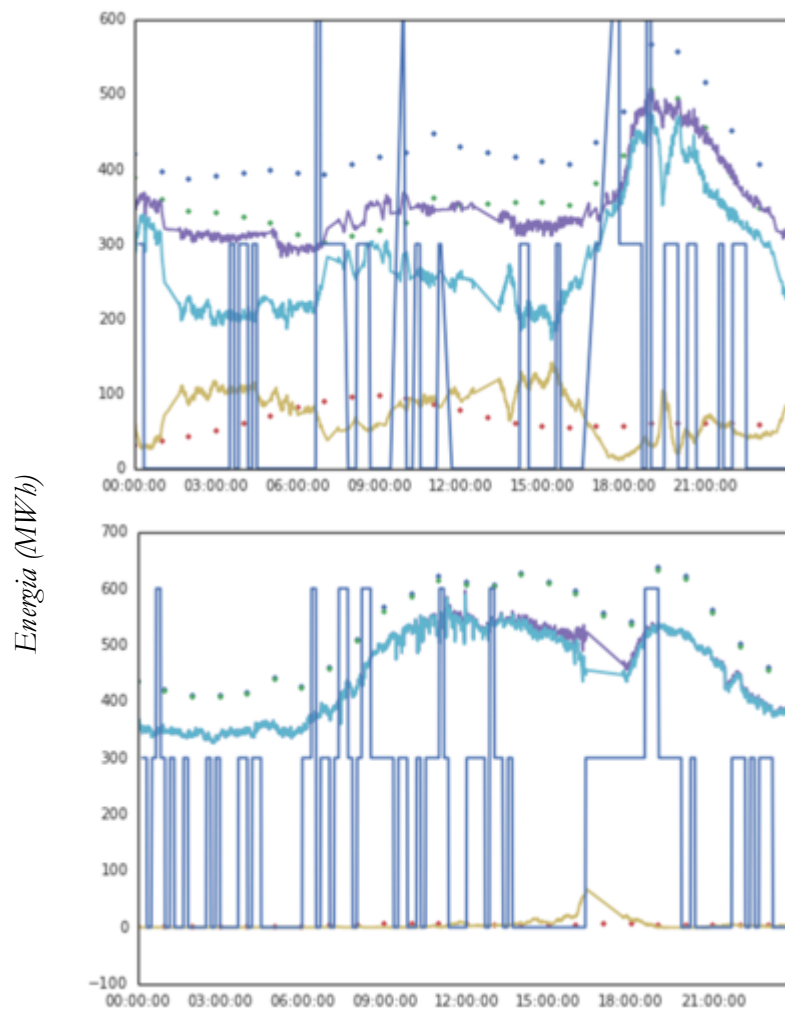


Figura 8: Ejemplo de dos días de señales para seguimiento de caídas del viento o de incrementos en la demanda energética neta. Las líneas verticales cortas señalan eventos que son de seguimiento de viento o de incremento en la demanda energética neta. Las líneas largas son eventos que cumplen con los dos requisitos: incrementos en la demanda energética neta imprevista y caídas imprevistas del viento.

Fuente: Niuera

La Figura 8 demuestra con las líneas azules largas los eventos en los que el servidor de NiuEra mando una señal de flexibilidad energética. Con respecto al viento, la señal de viento existe si el viento no ha cambiado en los últimos 15 minutos, si el viento ha caído en los últimos 15 minutos, y si el viento esta por debajo de aquel predecido un día antes. Con respecto a la demanda energética, la señal existe si la demanda tiene un crecimiento repentino en los últimos 15 minutos, y esa tasa de crecimiento es mas alta que la tasa de crecimiento promedio de intervalos de 15 minutos. Aunque este algoritmo solamente se ha implementado en los datos, se espera que esto este implementado en su totalidad para el siguiente reporte.