

IDEAS 2015

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

INFORME DE PROYECTO #3

Octubre 26, 2016



Diego Ponce de Leon Barido, niuera LLC

Lâl Marandin, Pelican S.A

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO I

ANTECEDENTES DEL PROYECTO..... 1

AVANCES DEL PROYECTO 2

Cronograma General de Ejecución	2
Cronograma de ejecución	2
Resultados esperados	3
Ejecución de presupuesto	4
Principales Actividades realizadas	5

RESULTADOS DEL PROYECTO 7

Algoritmos de control	7
Algoritmo 1: Reducción de Pico de Demanda:.....	8
Algoritmo 2: Servicios auxiliares para caídas imprevistas del viento e incrementos imprevistos en la demanda energética neta.....	8
Implementación de los algoritmos de control.....	11
Evaluación de medidas de eficiencia energética	16
Revisión eléctrica	16
Revisión refrigeración.....	16

FIGURAS

Figura 1: Ejemplo de reposición de panel eléctrico en la tienda de un participante del Proyecto IDEAS	6
Figura 3: Generación y Demanda de la Red Eléctrica Nicaragüense.....	12
Figura 4: Status de Potencia (Watts) de un Refrigerador y su Relay:	13
Figura 5: Status de Temperatura dentro del Refrigerador:.....	14
Figura 6: Status de Temperatura de la Red de Comunicación.....	15

TABLAS

Tabla 1: Hitos del proyecto	3
Tabla 2: Ejecución actual de presupuesto	4
Tabla 3: Presupuesto total del proyecto	4

* * *

*

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*
- *Informe de Avances #2 – 15 junio 2016*

* * *

*

AVANCES DEL PROYECTO

CRONOGRAMA GENERAL DE EJECUCIÓN

Cronograma de ejecución

Conforme lo explicado en los informes de avances anteriores, 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: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Recolectar información de línea de base técnica</i> • <i>Recolectar información meteorológica local</i> • <i>Desarrollar los algoritmos de control y modelos predictivos</i> 	Junio 2016	Realizado
4	Informe de Avances #3: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Recolectar información meteorológica local</i> • <i>Poner en práctica control de demanda y recolectar datos.</i> Informe sobre la realización de actividades previas: línea de base de los participantes. Desarrollo de algoritmos de control y modelos predictivos. Instalación y prueba del controlador y comunicaciones	Septiembre 2016	Realizado

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 30 de septiembre 2016:

Tipo de gasto	BID (US\$)	PELICAN / niuERa (US\$)	Total (US\$)
Recursos humanos	-25,000	-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	-60,000	-65,000	-125,000

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	165,00
Firma del contrato	-10,000	-65,000	-75,000
Desembolso #1	-30,000		-30,000
Desembolso #2	-30,000		-30,000
Situación al 30/09/2016	70,000	0	30,000

Tabla 3: Presupuesto total del proyecto

PRINCIPALES ACTIVIDADES REALIZADAS

Desde el último reporte se han comenzado a controlar las cargas eléctricas, se han empezado a implementar medidas de eficiencia energética, revisiones eléctricas a las casas y micro-empresas; también se ha continuado con el seguimiento a los participantes. La interacción con los participantes ha sido vía los reportes energéticos mensuales y textos. Se ha persistido también con la recolección de datos meteorológicos. Los reportes energéticos mensuales, los textos, y los datos que están siendo obtenidos de la red meteorológica han sido descritos en el último reporte. En este reporte detallaremos los avances para controlar las cargas eléctricas, las medidas de eficiencia energética que se están implementando, y las revisiones eléctricas a las casas y micro-empresas.

El control de las cargas eléctricas y refrigeradores comenzó en julio del 2016 y lleva ya cuatro meses siendo monitoreadas. Actualmente se están controlando 20 refrigeradores y los participantes han mostrado altos niveles de satisfacción con los ahorros y con mínimas dificultades técnicas. Actualmente se están siguiendo dos señales para controlar las cargas eléctricas: una señal de predicción de precios de la red eléctrica nicaragüense, y una señal de viento. La señal de predicción de precios de la red eléctrica es una predicción que viene del centro de despacho de carga. El CNDC publica sus predicciones un día antes y se utiliza esa predicción para que los refrigeradores (y/o cargas frías) consuman menos energía durante ese periodo de tiempo al permitir que ellos oscilen dentro de un rango de temperatura más alto. De la misma manera, el ente operador regional tiene datos de alta resolución de 20 segundos que publica constantemente para monitorear el flujo de energía regional. Se utiliza esa información para construir un algoritmo que puede predecir con gran certitud si el sistema experimentara una caída de viento mayor del 5%. Si el sistema observa una caída mayor del 5% entonces se manda una señal a los refrigeradores que están disponibles para que estos consuman menos energía durante ese periodo de tiempo al permitir que ellos oscilen dentro de un rango de temperatura más alto.

Adicionalmente se ha comenzado un proceso de mejoramiento de las cargas frías que incluye reparar puertas, engranes, aislamientos térmicos, y se ha comenzado un proceso para reducir las pérdidas que existen en los circuitos de las casas de los participantes. Las encuestas y conversaciones con las que se continúan indican que todos los usuarios se sienten satisfechos con el proyecto. En términos de percepción, los usuarios sienten que mejoran sus finanzas energéticas desde que comenzó el proyecto, que entienden mejor su consumo, y en ocasiones algunos mencionan que gracias al proyecto su consumo energético se ha reducido. Aunque este reporte es de seguimiento, se espera que el siguiente reporte tenga más detalle acerca de los primeros hallazgos que están saliendo adelante gracias a la implementación de este proyecto.



Figura 1: Ejemplo de reposición de panel eléctrico en la tienda de un participante del Proyecto IDEAS

RESULTADOS DEL PROYECTO

ALGORITMOS DE CONTROL

Esta sección propone una explicación de los algoritmos de control para el seguimiento de los precios de energía regional, y caídas en el viento.

En el último reporte se discutieron los algoritmos que se iban a utilizar para controlar las cargas eléctricas. Aquí se documentan nuevamente para ser más explícitos. Actualmente estamos implementando dos tipos de control a las cargas eléctricas: (1) busca reducir los picos de demanda de Nicaragua, y (2) Provee de servicios auxiliares a la red cuando el viento se cae imprevistamente. En los casos cuando existen precios altos en la red eléctrica, podemos asegurar que la demanda reduzca durante esos momentos, y así provocar que los precios pico no sean tan altos (al haber menos demanda dentro de la red). El SIN puede ahorrar grandes cantidades de energía proveniente de fuentes fósiles pues en esas horas es cuando consume una gran cantidad de recursos fósiles. Por otro lado, para el segundo caso de control, cuando se cae el viento imprevistamente, el SIN tiene que utilizar recursos fósiles para seguir cumpliendo con la oferta demanda energética: es entonces cuando utilizamos los refrigeradores (y/o cargas frías) para que ellos consuman menos energía durante ese periodo de tiempo al permitir que oscilen dentro de un rango de temperatura más alto. A continuación presentamos un corto resumen de cómo funcionan los algoritmos a grandes rasgos.

Algoritmo 1: Reducción de Pico de Demanda:

1. El Servidor de niuEra observa una predicción al día siguiente de los precios de energía más altos y manda dos señales diarias durante los precios más altos durante las cuales un refrigerador o mantenedora puede desplazar su energía.
2. 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.

La FlexBox de cada refrigerador y nevera tiene inteligencia interna que tiene codificadas las horas cuando el refrigerador puede participar en un evento de reducción de pico de demanda.

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 más alta con el compresor prendido y la misma + 3°C.

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.

Finalmente, al final de cada evento, cada FlexBox tiene un número 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 e incrementos imprevistos en la demanda energética neta

3. 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 u 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 más baratos.
4. La FlexBox de cada refrigerador y nevera tiene inteligencia interna que tiene codificadas el número 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.

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 más alta con el compresor prendido y la temperatura más alta con el compresor prendido + 3°C.

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 participó en tres eventos similares, entonces la FlexBox no hace nada.

5. Finalmente, al final de cada evento, cada FlexBox tiene un número aleatorio para que este pueda prenderse de vuelta nuevamente. Esto impide que todos los refrigeradores, mantenedoras y/o niveras se prendan al mismo tiempo y así causen un impacto negativo a la red eléctrica.

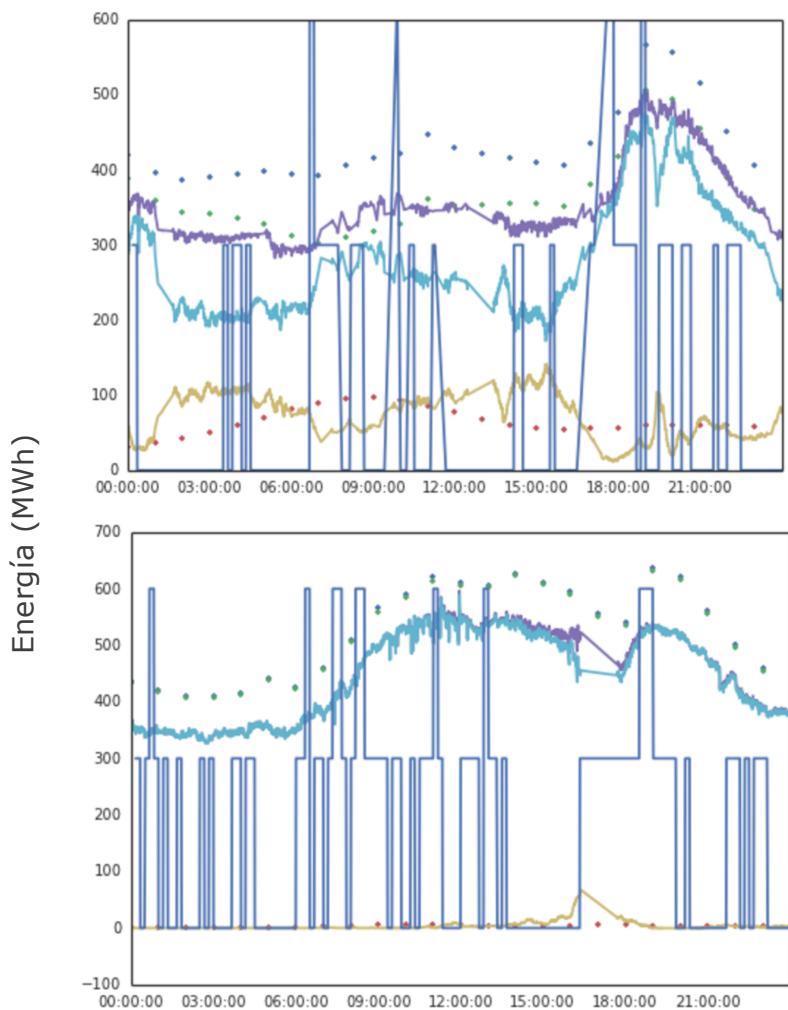


Figura 2: Ejemplo de dos días de señales para seguimiento de caídas del viento he incrementos en la demanda energética neta.

Fuente: niuEra

Nota: 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.

La Figura 1 demuestra con las líneas azules largas los eventos en los que el servidor de niuEra mandó una señal de flexibilidad energética. Con respecto al viento, la señal existe en los siguientes casos: 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 está por debajo de aquel predicho 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 más 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 sea implementado en su totalidad para el siguiente reporte.

Implementación de los algoritmos de control

Esta sección describe la implementación de los algoritmos de control para el seguimiento de los precios de energía regional, y caídas en el viento

En Julio del 2016 se empezaron a implementar los algoritmos de control de precios y viento en Nicaragua, los cuales llevan ya cuatro meses. En este momento, y hasta el mes de Enero 2017 se estarán controlando 20 refrigeradores dentro de las casas y pequeños negocios de los participantes, todos ellos mostrando altos niveles de satisfacción, y con mínimas dificultades técnicas.

Como se ha explicado anteriormente, estamos utilizando los datos del Centro Nacional de Despacho de Carga (CNDC) para mandar las señales de precio y viento cuando sea necesario. El CNDC publica sus predicciones un día antes y utilizamos esa predicción para que los refrigeradores (y/o cargas frías) consuman menos energía durante ese periodo de tiempo al permitir que ellos oscilen dentro de un rango de temperatura más alto.

De la misma manera, el ente operador regional (EOR) tiene datos de alta resolución de 20 segundos que publica constantemente para monitorear el flujo de energía regional. Utilizamos esa información para utilizar los algoritmos que han sido explicados anteriormente para retirar la demanda de las cargas frías (o refrigeradores) durante la duración de un evento de precio o de viento. A continuación describimos como se vería la implementación del algoritmo en tiempo real utilizando los datos históricos:

Paso 1: Utilizar algoritmo en la nube para programar cuando serán los precios más altos al día siguiente, y predecir cuándo hay caídas de viento.

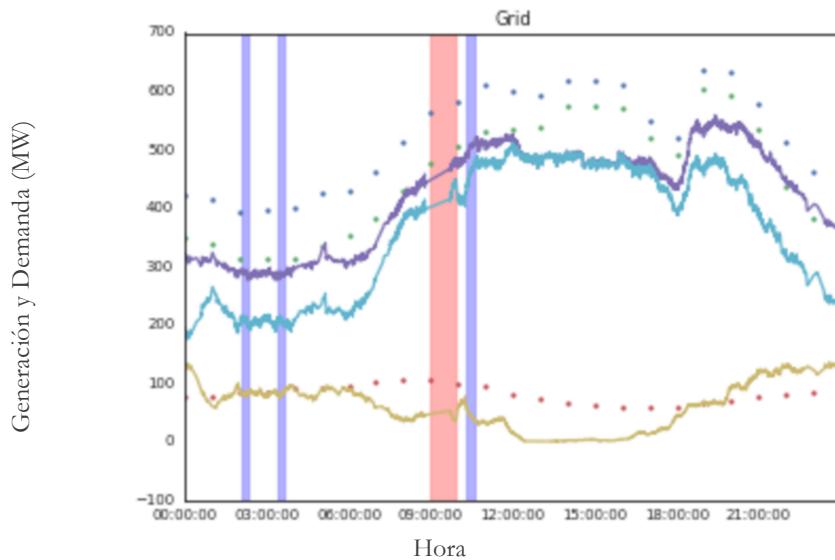


Figura 3: Generación y Demanda de la Red Eléctrica Nicaragüense.

Fuente: niuEra

Nota: Las barras moradas son eventos de viento. La barra roja es un evento de precio. Los puntos azules son la predicción de demanda, los puntos verdes son la predicción de demanda neta (demanda - generación eólica), y los puntos rojos son la predicción del viento. La curva morada es la demanda en tiempo real, la curva azul es la demanda neta en tiempo real, y la curva amarilla es la generación eólica en tiempo real.

La figura 2 demuestra cómo funcionan en tiempo real ambos algoritmos de control para el viento y el precio. El algoritmo predijo que cerca de las 3 am, cerca de las 4 am y cerca de las 12.00 pm iba a haber caídas de viento significativas (y así fue). Cuando esto sucede entonces la nube manda una señal a las cargas frías para que oscilen a una temperatura más alta durante 15 minutos durante el evento. Se puede observar la duración de 15 minutos para cada una de las barras moradas claras, que representan los eventos de viento. De la misma manera, se pueden observar las barras rojas, que representan eventos de precio. Como ha sido explicado anteriormente los eventos de precio pueden tener duración de una, dos, o tres horas dependiendo del evento. En esta ocasión, el evento fue solo de una hora.

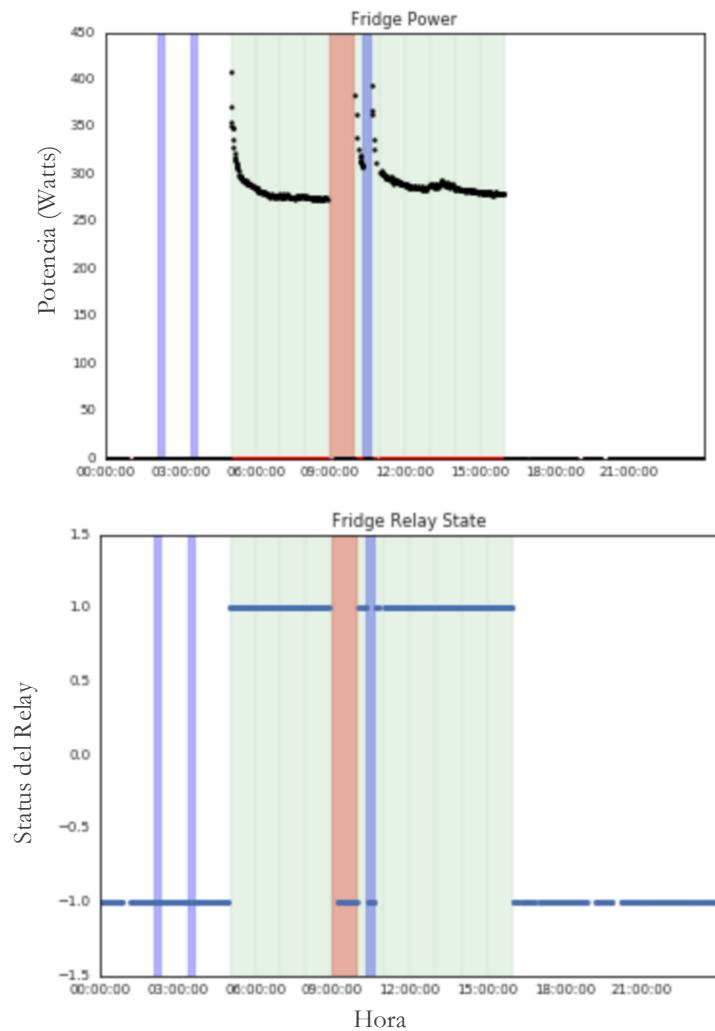


Figura 4: Status de Potencia (Watts) de un Refrigerador y su Relay:

Fuente: niuEra

Nota: Las barras verdes demuestran las horas del día cuando este freezer en particular estaba disponible para ser usado. En la primera figura, la curva negra demuestra la curva de potencia de un refrigerador en watts. En el segundo grafico las líneas azules demuestran el status del relay. Se puede apreciar que el relay esta apagado cuando nos encontramos en los eventos de viento y de precio.

La figura 3 demuestra el mecanismo por el cual se apagan las cargas frías cuando estamos dentro de los eventos de precio y viento que han sido descritos anteriormente. Se puede observar que las horas que el refrigerador está disponible son de las 6 am a las 5 pm. En Nicaragua, muchas personas desconectan su refrigerador, y por lo tanto, el refrigerador solo está disponible para prestar demanda flexible durante algunas horas (en esta ocasión de 6 am a 5 pm).

Esto se puede observar con las barras verdes claras en la Figura 4. También se puede apreciar que el status del relay es "-1" durante los eventos de

precio y viento. A medida que el status del relay cambia, también se está cortando la potencia al refrigerador, entonces se puede observar que el refrigerador (o carga fría) deja de consumir energía durante este tiempo. Sin embargo, se puede apreciar que cuando los eventos de precio y viento terminan, el relay regresa a un status de "1" y el refrigerador vuelve a consumir energía.

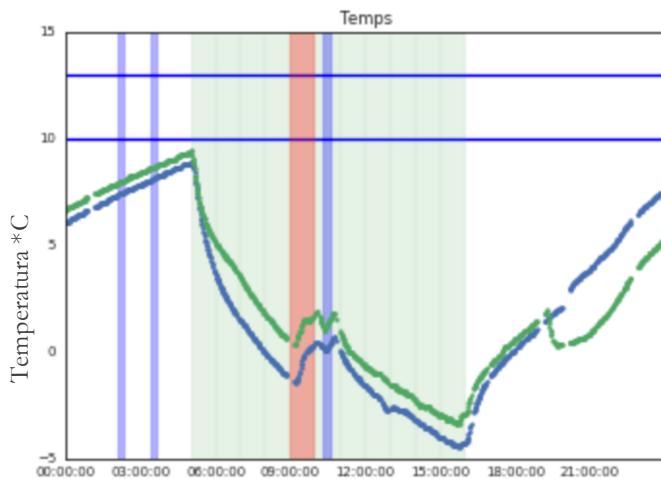


Figura 5: Status de Temperatura dentro del Refrigerador:

Fuente: niuEra

Nota: Las barras verdes demuestran las horas del día cuando esta nivera en particular estaba disponible para ser usado. Las curvas verdes y azules demuestran la temperatura interna del refrigerador, y las líneas horizontales azules son límites de temperatura dentro del refrigerador.

La figura 4 representa el status de la temperatura dentro de un refrigerador. Se puede observar que cuando el refrigerador está apagado (con el relay status en "1") la temperatura dentro del refrigerador incrementa. Durante las horas de la mañana cuando el refrigerador no está disponible, se puede observar que hay varios eventos de viento en los cuales el refrigerador no puede participar pues está apagado.

De la misma manera, se puede apreciar que la temperatura del refrigerador incrementa cuando el refrigerador está apagado. Cuando el refrigerador se prende a las 6 am, se puede observar que la temperatura empieza a reducir, pero empieza a subir un poco cuando el refrigerador se encuentra dentro de los eventos de precio y de viento (las barras verticales rojas y moradas que han sido descritas anteriormente).

Después de los eventos de viento y precio se puede observar que el refrigerador sigue enfriando normalmente. Finalmente, cuando se terminan las horas del día cuando el refrigerador está disponible (a las 5 pm), se

puede observar que la temperatura empieza a incrementar nuevamente. Las líneas azules horizontales son temperaturas que los usuarios utilizan regularmente para mantener la seguridad de los productos dentro de su refrigerador.

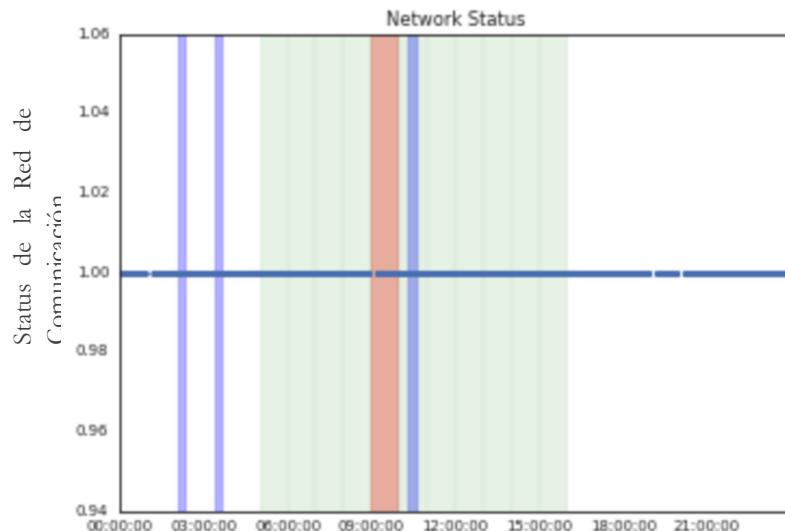


Figura 6: Status de Temperatura de la Red de Comunicación.

Fuente: niuEra

Finalmente, la Figura 5 es una representación del status de la red de comunicación. Se puede apreciar que la red de comunicación se mantiene estable y dentro del "Status 1". Hay perdidas de conexión pero estas son muy breves.

EVALUACIÓN DE MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

Esta sección evalúa las medidas de eficiencia energética dentro de refrigeradores y circuitos eléctricos dentro de los hogares y pulperías en Managua, Nicaragua.

Durante este periodo hemos empezado a evaluar diferentes medidas de eficiencia energética que deben ser implementadas dentro de los refrigeradores de los participantes al igual que correcciones que tienen que ser llevadas a cabo para mejorar la calidad de los circuitos eléctricos y evitar las perdidas. Aquí hacemos un pequeño resumen de las reparaciones que van a ser realizadas durante el siguiente periodo.

Revisión eléctrica

- Se necesita ordenar los paneles: hay que comprar una caja de 6 espacios y dos fusibles de 20 amperios cada uno, para hacer la distribución correcta, ya que si se deja como está se produce recalentamiento y puede causar un corto circuito en el futuro.
- El problema se puede arreglar poniendo todo dentro de un mismo panel, instalando una mufa de media en metálico e instalando un ductor de entrada #8 de cobre.
- Se recomienda cambiar la caja del panel (Panel nuevo)
- Se necesitan fusibles más grandes porque están todos conectados al mismo panel, además necesitan un panel más grande y nuevo.
- Instalar los fusibles y tomas corriente de manera individual (A3, A6, A11, A16, A17, A18, A19, A29) : 8

Revisión refrigeración

- Cambio de Puertas: 2
- Dimensión puerta 1 (A3): 1 metro 22cm x 70 cm (Congelador horizontal, marca: white westinghouse, modelos: WFC15M3AW, WFC15M4BW)
- También requiere cambio de empaque 1.21 m x 69 cm, grosor 2.5cm (empaque atornillado actualmente)
- Dimensión puerta 2 (A12): 1 metro con 4.5cm x 54 cm (Congelador horizontal, marca: white westinghouse, modelo: WF09M3BW)

- También requiere cambio de empaque de 1.02 m x 53 cm, grosor 2 cm (empaque atornillado actualmente)
 - Cambio de empaque: 8
 - Cambio de empaque (pegado): 4
 - Dimensión Puerta 1 (A18): Empaque (puerta inferior 58.5 cm x 93 cm de alto, ancho 2.5 cm, puerta superior 58.5 cm x 49.5 cm, , empaque adherido a puerta de espuma o empaque a presión)
 - Dimensión Puerta 2 (A22): Empaque 81.5 cm x 44.5 cm, grosor 1.5 cm, de espuma adaptada a puerta
 - Dimensión Puerta 3 (A16): Empaque para equipo modelo CR23 (1 m 37.5cm x 67.5 cm)
 - Dimensión Puerta 4 (A14): Empaque para la puerta 1.28 m, mantenedora Fogel BC-50 con tapa corrediza
 - Cambio de empaque (atornillado): 3
 - Dimensión Puerta 3 (A28): Empaque (58.5 cm x 69 cm, grosor 3 cm)
 - Cambio de bisagras: 3
 - Dimensión Puerta 1 (A12): 5.5 pulgadas (congelador white westinghouse)
 - Pintura (A3, A12, A16, A17, A25): 5
 - Platina (A12): 1
 - Limpieza del Condensador (A3): 1
 - Lubricación del motor (A28): 2
 - Insular tubería (A16): 1
 - Cambiar bushing del motor (micro motor o motor del evaporador) o lubricar el eje (A7): 1 (Modelo del refrigerador LG GM-353QC, de 5, de 6 o de 10)
 - Manguera para drenar el equipo (A3, A12): 2 (manguera plástica de 3/8)
 - Protector de Voltaje (Monivolt): 20
- Cambiar cable del refrigerador (A18) : 1

* * *

*