

AGREGADOR DE RESPUESTA DE LA DEMANDA BASADO EN INCENTIVOS.

VICTOR ANDRÉS HERNÁNDEZ ARIAS

PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR A EL TÍTULO DE:
INGENIERO ELÉCTRICO

DIRECTOR:

I.E., MSc. PhD. EDWIN RIVAS TRUJILLO

CODIRECTOR:

I.I., MSc. Candidato PhD. LUIS ALEJANDRO ARIAS BARRAGÁN

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad de Ingeniería
Proyecto curricular Ingeniería Eléctrica
Bogotá D.C., Colombia
2017.

AGRADECIMIENTOS

A mi madre Nuria Arias Manrique por haberme invitado a inscribirme en la carrera de ingeniería eléctrica en la Universidad Distrital su infinito apoyo, amor y comprensión que me dio durante el largo de la carrera y que Dios la tenga en el lugar que se merece, que todos los triunfos que vienen de ahora en adelante son para ella.

Al profesor Edwin Rivas Trujillo por su apoyo moral, teórico y de información, experimentados consejos, valiosa guía y sobre todo por la confianza depositada en mí.

Al profesor Luis Alejandro Arias Barragán por haberme acompañado en cada paso del proceso, por cada consejo dado sin ellos no hubiera sido posible este trabajo y lo más importante por toda la paciencia que tuvo.

A mi padre Víctor Adriano Hernández Vargas por apoyarme en cada una de mis decisiones por el apoyo económico, moral e incondicional, y por los consejos que me ha suministrado a lo largo de mi vida.

A mi hermano Juan Camilo Hernández Arias, familiares y amigos por cada momento especial que he pasado junto a ustedes, por brindarme momentos de esparcimiento y escucharme siempre que ha sido necesario.

A Diana Paola Lara Sisa por su valiosa compañía, por animarme a trabajar día a día en el proyecto y por todos sus buenos consejos.

Y por último a la Universidad Distrital y a cada uno de los docentes que sembraron semillas de conocimiento en mí, sin ustedes esto no hubiera sido posible.

Mil gracias y eterna gratitud.

GLOSARIO

Agregador: En Colombia es un ente que se encarga de la gestión de demanda eléctrica y es intermediario entre el operador y los sectores de consumo (Comercial, Industria e institucional), ofertando en los servicios de confiabilidad, respuesta al precio y reserva operativa (XM "Respuesta de la demanda", 2016), en Colombia actualmente no existe un ente agregador para usuarios residenciales.

Cargo por confiabilidad: Remuneración que se paga a un agente generador por la disponibilidad de activos de generación con las características y parámetros declarados para el cálculo de la ENFICC, que garantiza el cumplimiento de la Obligación de Energía Firme que le fue asignada en una Subasta para la Asignación de Obligaciones de Energía Firme es la que puede comprometerse para garantizar a los usuarios la confiabilidad en la prestación del servicio de energía eléctrica bajo condiciones críticas. (CREG "Resolucion 071", 2006)

Contrato bilateral: Cuando los contratantes se obligan recíprocamente (Codigo civil Colombiano, 2017).

Contribución: Aporte del 20% del costo del servicio (CU) para subsidiar los consumos de personas de menores ingresos (CREG "Resolucion 079", 1997).

Día feriado: Días del mes compuestos por sábados, domingos y festivos “Termino adaptado de: (Moran & Ramirez, 2015)”.

Día laboral: Días del mes compuestos por lunes, martes, miércoles, jueves, viernes no festivos “Termino adaptado de: (Moran & Ramirez, 2015)”.

Eficiencia energética: La eficiencia energética es el consumo inteligente de la energía. Las fuentes de energía son finitas, y por lo tanto, su correcta utilización se presenta como una necesidad del presente para que podamos disfrutar de ellas en un futuro (Gonzalez, 2012).

Incentivos: “Mecanismo para incentivar a los usuarios a la participación de los programas de respuesta de la demanda y así compensar los desequilibrios de oferta y demanda” (Minou, Stamoulis, Thanos, & Chandan, 2015), trabajo se adoptan las siguientes metodologías (Descuento de energía consumida en la tarifa, Pagos anuales o mensuales por desconexión y subsidios en un porcentaje de la tarifa).

Mercado de capacidad: En Colombia está regulado por el cargo por confiabilidad, es la forma de asegurar por medio de contratos energía firme en momentos el que el sistema lo requiera (Zhang, Zhou, Xu, & Sun, 2015).

Mercado de energía: Es un mercado competitivo creado a partir de la reestructuración del sector eléctrico desarrollada en las Leyes 142 y 143 de 1994, en el cual participan generadores, transmisores, distribuidores, comercializadores y consumidores intensivos de electricidad o usuarios no regulados; cuyo propósito es el intercambio de grandes bloques de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional – SIN a precios eficientes (SUPERSERVICIOS "Mercado de Energía Mayorista", 2014).

Obligaciones de energía firme: Vínculo resultante de la Subasta o del mecanismo que haga sus veces, que impone a un generador el deber de generar, de acuerdo con el Despacho Ideal, una cantidad diaria de energía durante el Período de Vigencia de la Obligación, cuando el Precio de Bolsa supere el Precio de Escasez. (CREG "Resolucion 071", 2006).

Operador: Según (Moghadam, Saebi, Javidi, & Bayaz, 2015), se define en dos tipos el administrador del mercado de transacciones energéticas y el administrador del sistema de transporte y distribución.

Programa control de picos principales: Se refiere al primer programa de respuesta de la demanda de la investigación, está basado en realizar el control directo de la carga durante las horas

de mayor consumo del sistema “Programa inspirado en los servicio de control de carga: (Marulanda, 2014)”.

Programa control total de picos: Se refiere al segundo programa de respuesta de la demanda de la investigación, está basado en los programas de regulación y propone la participación de desconexión del usuario cuando superan un valor de demanda (Potencia limite) “Programa inspirado en el servicio de regulación: (Marulanda, 2014)”.

Programa de despacho de desconexión: Abreviatura despacho, se refiere al tercer programa de respuesta de la demanda de la investigación, está basado en los programas de oferta de la demanda y propone la participación de desconexión del usuario cuando el agregador reciba ofertas del mercado energético (Aleatorias o no aleatorias) “Programa inspirado en el mercado de bolsa: (Marulanda, 2014)”.

Recurso Energético Distribuido: Son las diferentes fuentes de energía que pueden aportar generación, desconexión o almacenamiento de forma no centralizada a la red (Generación distribuida, Respuesta de la demanda y Almacenamiento de energía). (Nunna & Doolla, 2011).

Respuesta de la demanda: Se refiere a mecanismos por los cuales los clientes de un sistema eléctrico cambian su consumo de electricidad en respuesta a una señal de precio, incentivos, o directamente mediante la intervención del operador de la red (Del Rosso & Ghia).

Subsidio: Porcentaje en que el país financia el recibo de energía eléctrica de los estratos 1 y 2 (Resolucion N° 079, 1997), para este trabajo se puede aumentar este porcentaje en un 20% participando en el programa de control de picos principales.

Usuario: Participante de un programa de respuesta de la demanda, también se le puede denominar proveedor (Sachdev & Singh, 2016), se organizan en grupos de 10 para el presente trabajo según similitudes en la curva de demanda.

RESUMEN

La crisis energética del año 2016 obligo al gobierno nacional a realizar la campaña apagar-paga con el fin de controlar el estado de emergencia energética. La campaña la cual arrojó resultados positivos, se basó en un sistema de incentivos y penalizaciones aplicadas directamente en el recibo de energía eléctrica para los usuarios comerciales y residenciales; lo que demuestra que el país puede solucionar sus problemas energéticos gestionando adecuadamente su demanda (Ministerio de minas y energía, 2016).

Por ende, resulta necesario estudiar la gestión de la demanda como solución o apoyo al sistema energético en momentos de escasez, así que se plantea la pregunta problema ¿Cómo modelar un agregador de respuesta de la demanda para disminuir los picos de la curva de carga horaria en el sector residencial de tal modo que sea atractivo financieramente? Para tal fin este proyecto fin de carrera plantea tres etapas, en la primera se programa las condiciones, características y servicios del agregador; en la segunda se esboza las estrategias de remuneración(por incentivos) del mismo y los usuarios residenciales, finalmente se desarrolla un aplicativo que permite simular el comportamiento de mil usuarios del estrato 4 aplicando tres diferentes programas de RD (Control de picos principales, Control total de picos y Programa de despacho de desconexión) con lo que se determina la curva de demanda después de aplicar los servicios de RD, la energía desconectada y la ganancia obtenidas por día, para posteriormente realizar un flujo de caja para el estudio financiero.

Estructura del proyecto: El presente documento está organizado de la siguiente manera, en el capítulo 2 y 3 se desarrolla el marco teórico y el estado del arte, que permiten contextualizar la temática; en el capítulo 4 se plantea las condiciones, características y servicios de agregador; en el capítulo 5 se realizan las estrategias para remunerar el mismo y a los usuarios participantes; en el capítulo 6 se desarrolla un aplicativo de respuesta de la demanda para un caso de estudio propuesto.

Finalmente, se exponen los análisis de resultados, las conclusiones, recomendaciones, trabajos futuros y aportes.

En el ANEXO 1, se presenta la caracterización de la capacidad de la demanda de los usuarios estrato 4, base para desarrollar la curva de demanda; ANEXO 2, se realiza un manual sobre el aplicativo de respuesta de la demanda, en los ANEXOS 3 y 4, se presenta la formulación matemática y su respectivo modelamiento, así como los algoritmos empleados para implementar el aplicativo.

Contenido

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1. Planteamiento del problema..... | 1 |
| 1.2. Justificación del problema..... | 2 |
| 1.3. Objetivos | 2 |
| 1.3.1. Objetivo General..... | 2 |
| 1.3.2. Objetivos Específicos..... | 2 |
| 1.4. Alcances y limitaciones..... | 3 |
| 2. MARCO TEÓRICO | 4 |
| 2.1. Definición y programas de Respuesta a la demanda..... | 4 |
| 2.1.1. Respuesta de la demanda basada en precios..... | 5 |
| 2.1.2. Respuesta de la demanda basada en incentivos | 7 |
| 2.2. Mercado de Respuesta de la demanda..... | 11 |
| 2.3. Precios para remunerar la Respuesta de la Demanda..... | 12 |
| 2.3.1. Precio de bolsa | 13 |
| 2.3.2. Precio de escasez..... | 14 |
| 3. ESTADO DEL ARTE RD..... | 15 |
| 4. CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO, CARACTERÍSTICAS Y SERVICIOS DEL AGREGADOR | 23 |
| 4.1. Condiciones y Características de funcionamiento | 23 |
| 4.2. Servicios del agregador | 26 |
| 4.2.1. Programa control de picos principales (Control directo de carga) | 27 |
| 4.2.2. Programa control total de picos (Servicio de regulación)..... | 27 |
| 4.2.3. Programa de despacho desconexión (Oferta de la demanda) | 28 |
| 5. REMUNERACIÓN DEL AGREGADOR | 30 |
| 5.1.1. Precio de bolsa | 30 |
| 5.1.2. Precio de escasez..... | 30 |
| 5.2. Remuneración del usuario..... | 31 |
| 5.2.1. Remuneración servicio de control de picos principales..... | 32 |
| 5.2.2. Remuneración servicio control total de picos..... | 32 |
| 5.2.3. Remuneración servicio de despacho de desconexión | 32 |
| 6. CASO DE ESTUDIO Y ESTUDIO FINANCIERO..... | 34 |
| 6.1. Escenario del Agregador | 35 |
| 6.2. Valores a inscribir en el aplicativo..... | 35 |

| | |
|---|-----|
| 6.3. Resultados de la simulación | 36 |
| 6.4. Estudio financiero | 41 |
| ANÁLISIS DE RESULTADOS | 46 |
| CONCLUSIONES | 48 |
| RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS | 50 |
| APORTES | 52 |
| Bibliografía | 54 |
| ANEXO 1. CAPACIDAD DE LA DEMANDA DE LOS USUARIOS ESTRATO 4. | 64 |
| Curva de demanda día laboral | 64 |
| Construcción de curva de demanda días feriados. | 66 |
| Curvas de carga de horarios feriados:..... | 67 |
| Construcción de curva de días feriados: | 69 |
| Curva Final y desviaciones:..... | 73 |
| ANEXO 2. MANUAL DEL APLICATIVO AGREGADOR (SIMULADOR DE RESPUESTA DE LA DEMANDA BASADO EN INCENTIVOS). | 76 |
| ANEXO 3. ALGORITMOS DEL APLICATIVO DE AGREGADOR DE RESPUESTA DE LA DEMANDA BASADO EN INCENTIVOS. | 103 |
| ANEXO 4. MODELAMIENTO MATEMATICO AGREGADOR DE RESPUESTA DE LA DEMANDA BASADO EN INCENTIVOS. | 106 |

Índice de Figuras.

| | |
|---|----|
| Figura 1. Programas de respuesta de la demanda (Fuente: Autor)..... | 10 |
| Figura 2 Precio de bolsa Colombia año 2016-2017 (XM "Precio de bolsa", 2017)..... | 14 |
| Figura 3 Precio de escasez Colombia año 2016-2017 (XM "Precio de escasez", 2017)..... | 14 |
| Figura 4. Temáticas referentes a RD 155 artículos (Fuente: Autor)..... | 22 |
| Figura 5. Comunicación MATLAB- Excel del aplicativo (Fuente: Autor)..... | 34 |
| Figura 6. Ofertas de despacho de desconexión para día laboral y día feriado (Fuente: Autor).... | 36 |
| Figura 7. Resultado programa de picos principales día laboral (Fuente: Autor)..... | 37 |
| Figura 8. Resultado programa de picos principales de feriado (Fuente: Autor)..... | 38 |
| Figura 9. Resultado programa control total de picos día laboral (Fuente: Autor)..... | 38 |
| Figura 10. Resultado programa control total de picos día feriado (Fuente: Autor)..... | 39 |
| Figura 11. Resultado programa despacho aleatorio día laboral (Fuente: Autor)..... | 39 |
| Figura 12. Resultado programa despacho aleatorio día feriado (Fuente: Autor)..... | 40 |
| Figura 13. Resultado programa despacho no aleatorio día laboral (Fuente: Autor)..... | 41 |
| Figura 14. Resultado programa despacho no aleatorio día feriado (Fuente: Autor)..... | 41 |
| Figura 15. Flujo de caja programa control de picos principales (Fuente: Autor)..... | 43 |
| Figura 16. Flujo de caja programa control total de picos (Fuente: Autor)..... | 44 |
| Figura 17. Flujo de caja programa despacho de desconexión aleatorio (Fuente: Autor)..... | 44 |
| Figura 18. Flujo de caja programa despacho de desconexión no aleatorio (Fuente: Autor)..... | 45 |
| Figura 19 Curva final días laborales, Desviación STC positiva y negativa (Castellanos & Lopez, 2016)..... | 65 |
| Figura 20 Curva de carga horaria con cambio en la hora 5 en los días laborales..... | 67 |
| Figura 21 Curva de demanda año 2007 XM (XM "CARACTERISTICAS DEL SISTEMA ELECTRICO COLOMBIANO", 2007)..... | 68 |
| Figura 22 Curva de carga de un transformador del año 2013 de la universidad de Antioquia (Agudelo, Velilla, & Lopez, 2014)..... | 68 |
| Figura 23 Curva de potencia días feriados y laborables del año 2015 del ESPOL (Moran & Ramirez, 2015)..... | 69 |
| Figura 24 Curva de carga horaria para días feriado de la curva 1 (Fuente: Autor)..... | 71 |
| Figura 25 Curva de carga horaria para días feriados de la curva 2 (Fuente: Autor)..... | 73 |
| Figura 26 Curva final días feriados con desviación (Fuente: Autor)..... | 75 |
| Figura 27. Compilador MATLAB R2012b..... | 76 |
| Figura 28. Extractor compilador MATLAB R2012b..... | 76 |
| Figura 29. Instalación compilador MATLAB PASO 1..... | 77 |
| Figura 30. Instalación compilador MATLAB PASO 2..... | 77 |
| Figura 31. Instalación compilador MATLAB PASO 3..... | 78 |
| Figura 32. Instalación compilador MATLAB PASO 4..... | 78 |
| Figura 33. Instalación compilador MATLAB PASO final..... | 79 |
| Figura 34. Archivos del aplicativo..... | 79 |
| Figura 35. Ejecutable del aplicativo..... | 79 |
| Figura 36. Presentación aplicativo..... | 80 |
| Figura 37. Ayuda del aplicativo..... | 80 |
| Figura 38. Selección de programa de RD en el aplicativo..... | 81 |
| Figura 39. Variables de entrada programa control de picos principales..... | 82 |
| Figura 40. Pantalla de resultado programa de picos principales día laboral..... | 82 |
| Figura 41. Resultado programa de picos principales día laboral..... | 83 |

| | |
|---|-----|
| Figura 42. Pantalla de resultado programa de picos principales día feriado | 83 |
| Figura 43. Resultado programa de picos principales día feriado..... | 84 |
| Figura 44. Variables de entrada programa control total de picos | 84 |
| Figura 45. Pantalla de resultado programa control total de picos día laboral..... | 85 |
| Figura 46. Resultado programa control total de picos día laboral | 85 |
| Figura 47. Pantalla de usuarios participante control total de picos día laboral..... | 86 |
| Figura 48. Usuarios participantes control total de picos día laboral..... | 86 |
| Figura 49. Pantalla de resultado programa control total de picos día feriado..... | 87 |
| Figura 50. Resultado programa control de picos día feriado | 87 |
| Figura 51. Pantalla de usuarios participantes control total de picos día feriado..... | 88 |
| Figura 52. Usuarios participantes control total de picos día feriado..... | 88 |
| Figura 53. Variables de entrada programa despacho de desconexión | 89 |
| Figura 54. Variables de entrada despacho aleatorio | 89 |
| Figura 55. Pantalla de resultado programa despacho aleatorio día laboral..... | 90 |
| Figura 56. Resultado programa despacho aleatorio día laboral | 90 |
| Figura 57. Pantalla de usuarios participantes despacho aleatorio laboral..... | 91 |
| Figura 58. Usuarios participantes despacho aleatorio laboral | 91 |
| Figura 59. Pantalla de resultado programa despacho aleatorio día feriado | 92 |
| Figura 60. Resultado programa despacho aleatorio día feriado..... | 92 |
| Figura 61. Pantalla de usuarios participantes despacho aleatorio feriado | 93 |
| Figura 62. Usuarios participantes despacho aleatorio feriado | 93 |
| Figura 63. Pantalla solicitud de potencia del operador y potencia anterior día laboral | 94 |
| Figura 64. Solicitud de potencia del operador y potencia anterior día laboral | 94 |
| Figura 65. Pantalla de solicitud de potencia del operador y potencia anterior día feriado | 95 |
| Figura 66. Solicitud de potencia del operador y potencia anterior día feriado | 95 |
| Figura 67. Variables de entrada despacho no aleatorio | 96 |
| Figura 68. Pantalla de resultado programa despacho no aleatorio día laboral..... | 96 |
| Figura 69. Resultado programa despacho no aleatorio día laboral | 97 |
| Figura 70. Pantalla de usuarios participantes despacho no aleatorio laboral..... | 97 |
| Figura 71. Usuarios participantes despacho no aleatorio laboral | 98 |
| Figura 72. Pantalla de información despacho no aleatorio laboral | 98 |
| Figura 73. Información despacho no aleatorio laboral | 99 |
| Figura 74. Pantalla de resultado programa despacho no aleatorio día feriado | 99 |
| Figura 75. Resultado programa despacho no aleatorio día feriado..... | 100 |
| Figura 76. Pantalla de usuarios participantes despacho no aleatorio feriado | 100 |
| Figura 77. Usuarios participantes despacho no aleatorio feriado | 101 |
| Figura 78. Pantalla de información despacho no aleatorio feriado..... | 101 |
| Figura 79. Información despacho no aleatorio feriado | 102 |
| Figura 80. Algoritmo programa control de picos principales (Fuente: Autor). | 103 |
| Figura 81. Algoritmo programa control total de picos (Fuente: Autor). | 104 |
| Figura 82. Algoritmo programa despacho de desconexión (Fuente: Autor). | 105 |

Índice de Tablas.

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Ventajas y desventajas agregador RD por precios (Fuente: Autor)..... | 7 |
| Tabla 2 Ventajas y desventajas del agregador RD por incentivos (Fuente: Autor)..... | 9 |
| Tabla 3 Cuadro comparativo respuesta de la demanda (Fuente: Autor)..... | 11 |
| Tabla 4. Estado del arte RD (Fuente: Autor) | 15 |
| Tabla 5. Subsidios y contribuciones por estrato. | 24 |
| Tabla 6. Franjas horarias durante el día. | 29 |
| Tabla 7. Valores a inscribir en el aplicativo | 35 |
| Tabla 8. Consolidado de resultados del aplicativo de respuesta de la demanda. (Fuente: Autor).36 | |
| Tabla 9 Datos Curva final, desviación estándar positiva y negativa (Castellanos & Lopez, 2016). | 65 |
| Tabla 10 Dato curva final día laboral, desviación estándar positiva y negativa (Promedio hora 5). | 66 |
| Tabla 11 Curva de carga horaria de días feriados de la curva 1 (Fuente: Autor). | 70 |
| Tabla 12 Curva de carga horaria de días feriados de la curva 2 (Fuente: Autor). | 71 |
| Tabla 13. Índices de desviación días feriados..... | 74 |
| Tabla 14 Datos curva final días feriados, desviación estándar positiva y negativa (Fuente: Autor). | 74 |

1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta el planteamiento del proyecto, los objetivos, los alcances y limitaciones del proyecto.

1.1. Planteamiento del problema

A mediados del año 2016 se presentó en Colombia un fenómeno climático denominado fenómeno del niño que generó sequía de los embalses, para este caso la legislación Colombiana cuenta con el cargo por confiabilidad, recursos financieros que reciben las empresas generadoras, pero normativamente no están obligados a rendir cuentas (Pinto, 2015), razón por la cual se implementó la campaña apagar-paga, basada en un sistema de incentivos y penalizaciones de ahorro de energía por parte de los usuarios comerciales y residenciales (Ministerio de minas y energía, 2016). Por lo tanto, es necesario analizar la respuesta de la demanda como estrategia de ahorro de energía. Se plantea la pregunta ¿Cómo flexibilizar técnica y económicamente la respuesta de la demanda de usuarios residenciales con el fin de disminuir los picos de la demanda (curva de carga horaria)?

Surge un nuevo agente en el mercado denominado **agregador** de la respuesta de la demanda (Thomson Reuters, 2016) de los usuarios finales que bajo esta situación se convierten en proveedores de energía para la red eléctrica y así mismo ofrece la solución de disminuir los picos de demanda. Por lo tanto la gestión del agregador puede evitar interrupciones del servicio aumentando la confiabilidad del sistema, presentándose una disminución de las restricciones de generación, beneficios financieros, sociales y ambientales para el generador como para el usuario final (Marulanda, 2014).

1.2. Justificación del problema

En el sector residencial la curva de carga horaria presenta el mayor pico de demanda en el periodo de tiempo comprendido generalmente entre las 18:00 a 20:00 horas (Rojas, 2016), durante este pico el sistema trabaja en límites técnicos de operación y corre riesgos de corte del suministro. Es pertinente introducir un agregador que gestione la respuesta de la demanda de tal forma que el pro-usuario (proveedor y usuario de energía) mejore sus hábitos de consumo y asuma los costos reales del sistema mediante incentivos y penalizaciones (Rodriguez Mercedes, 2013).

Dado a que el sector residencial tiene una participación del cuarenta por ciento (40%) en la demanda de energía eléctrica de la ciudad de Bogotá (Eduardo, y otros, 2013) los agregadores cuentan con una amplia oferta en el mercado de energía.

1.3.Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Proponer un agregador de respuesta de la demanda basado en incentivos para usuarios residenciales.

1.3.2. Objetivos Específicos

1. Definir los servicios, las condiciones normativas y financieras globales para un agregador de respuesta de la demanda.
2. Plantear las estrategias de remuneración para un agregador en particular de respuesta de la demanda y sus usuarios.
3. Elaborar un caso de estudio con base en los objetivos anteriormente citado, donde se simule la respuesta de la demanda con 1000 usuario y se evalué con base en un flujo de caja la rentabilidad del agregador.

1.4. Alcances y limitaciones

Dentro de los alcances del presente trabajo de investigación se considera el planteamiento de las características, condiciones de funcionamiento y servicios de un agregador de respuesta de la demanda con diferentes programas de incentivos para el sector residencial.

Se aclara que no se plantea una estrategia empresarial, es decir, no se tiene en cuenta los empleados de la empresa, estrategias publicitarias, inversiones iniciales, solo se plantea la remuneración por los servicios prestados.

Se plantea un caso de estudio en el que se tiene un rango de curvas preestablecidas por un promedio y una desviación, para diferentes usuarios en el que se le aplican diferentes servicios con valores de cargas gestionables y tasas de participación de forma aleatoria, esta aleatoriedad limita el control de los usuarios puesto que impide analizarlos de forma individual dado a que su curva siempre va a estar cambiando con una desviación entre curvas muy alta, pero la desviación de todos los usuarios finales en conjunto es baja dado a el tamaño de la muestra es considerablemente grande “Cien grupos de usuarios”, es por esta razón que se analizan los resultados en conjunto.

En el estudio financiero se hace una aproximación de los costes de inversión del agregador para poder hacer un flujo de caja con los resultados obtenidos en el caso de estudio, esta parte se hace de forma descriptiva y general al trabajo realizado.

2. MARCO TEÓRICO

La respuesta de la demanda (RD), se define como el conjunto de estrategias para influir en el consumo de energía de los diferentes participantes de este mercado por medio de incentivos o precios, que representan un ahorro monetario al usuario y al operador del sistema, logrando que por medio de un adecuado manejo de los recursos “eficiencia energética” todos los participantes salgan beneficiados (Anil , Arigoni, Shailendra, & Benoit, 2009). Las empresas encargadas de gestionar este recurso se denominan agregadores y son los intermediarios entre el usuario o proveedor y el operador, pactando reglas con los usuarios según los diferentes programas en que participan.

En este capítulo se define la respuesta a la demanda, sus servicios, clasificación, ventajas, desventajas y antecedentes de programas basado en incentivos y propuestas en Colombia, además diferentes experiencias internacionales.

2.1. Definición y programas de Respuesta a la demanda

La respuesta de la demanda se refiere al cambio en el consumo energético debido a las variaciones de las condiciones del mercado (Wenxian, Chin, Tat, Xiang, & Yu, 2014).

Para esto el sistema requiere contadores inteligentes, infraestructura de comunicaciones, sistemas de control y agregadores (Palomino, 2014), que puedan en conjunto realizar la gestión de la demanda para reducir la carga de la red en horario pico, aliviándola en los momentos de sobrecarga.

Dentro de los programas y políticas que actúan sobre la demanda eléctrica (Rodriguez Mercedes, 2013) se cuentan los programas de ahorro y eficiencia energética junto con la gestión activa de la demanda (Respuesta de la demanda) esta última se divide en dos modalidades, la primera respuesta libre a precios dinámicos (Precios) y la segunda mecanismos de control directo de la demanda

(Incentivos), el agente del agregador es el encargado de hacer la coordinación o agregar la respuesta de un conjunto de consumidores en la gestión activa de su demanda, facilitando los requisitos técnicos necesarios para su participación en los mercados de energía y servicios complementarios (Rodríguez Mercedes, 2013), los consumidores a los que se les realice la gestión activa de la demanda serán denominados como usuarios proveedores de demanda (Thomson Reuters, 2016).

Con los planes en respuesta de la demanda se plantea que cambie la curva horaria en cualquiera de estas tres formas (Marulanda, 2014):

1. Disminución de la demanda pico: Con la “RD” se plantean incentivos para que los usuarios no consuman energía durante las horas pico.
2. Traslado de la demanda pico a horas no pico: Con la “RD” se plantean incentivos o diferentes precios para que los usuarios consuman más energía en horas valle y menos en horas pico, logrando así trasladar demanda de horas pico a valle.
3. Aplanamiento de la curva de demanda: Con la “RD” implementar medidas en que toda la curva se reduzca en general, pero en mayor medida en los horarios pico.

Se tienen dos modelos de respuesta de la demanda que trabajan bajo diferentes premisas: el de precios basado en tarifas de tiempo con resultados a corto plazo y el de incentivos basado en pagos por la desconexión o disminución con resultados a largo plazo (Mecanismo tradicional) (Nieto, 2012).

2.1.1. Respuesta de la demanda basada en precios

El modelo de precios tiene como objetivo principal trasladar los picos demanda a horas valle a través de metodologías dinámicas de fijación de precios y tarifas, los proveedores de este tipo de programas reciben señales relacionadas con el precio y la tarifa periódicamente, de esta manera

están en condiciones de programar su consumo y tomar decisiones con base en el precio de la energía (Rodríguez Mercedes, 2013) (Marulanda, 2014) (Nieto, 2012).

Entre los principales programas del modelo de precios se encuentran:

1. RTP “Precios en tiempo real”: los precios en tiempo real reflejan la variación de los precios hora a hora y notifican a los usuarios de estos cambios en periodos cortos de tiempo.
2. ToU “Tiempo de uso”: los precios en tiempo de uso pueden dividir la tarifa en hora valle y pico, recalculando los costos con muy baja frecuencia y notificando con mucha antelación.
3. CPP “Precios por picos críticos”: Los precios por picos críticos superpone tarifas muy elevadas durante unas pocas horas del año en la que se espera que el consumo de energía sea el más alto.
4. Day A-Head “Día siguiente”: Los precios de día siguiente los datos de operación se describen el día anterior.

Los programas mencionados anteriormente son los más representativos, existen diferentes variaciones de los mismos que modifican los horarios o establecen constantes por zonas. En la Tabla 1 se identifican las ventajas y desventajas de esta modalidad.

Tabla 1 *Ventajas y desventajas agregador RD por precios (Fuente: Autor).*

| AGREGADOR POR PRECIOS | |
|---|--|
| <i>Ventajas</i> | <i>Desventajas</i> |
| Medidas para la reducción de la curva de demanda funcionan a corto plazo. | No permite corregir a totalidad los hábitos de consumo de los usuarios. |
| Participación voluntaria del proveedor. | La desconexión de la demanda es voluntaria por tanto el agregador no tiene asegurado una cantidad de energía para ofertar. |
| No se requiere un sistema de control robusto, enfocado en mediciones y comunicaciones. | Obliga cambio de la modalidad de tarifa a un sistema de cobro por horas |
| Aplana (Suaviza) curva de demanda. | Al aplanar la curva de demanda se reduce en consumo de energía, pero no necesariamente elimina los picos del sistema |
| Las normas apoyarían la rápida participación de usuarios a los programas de RD por precios. | Requiere cambio normativo y tarifario. |

2.1.2. Respuesta de la demanda basada en incentivos

Los programas basados en incentivos tiene como objetivo principal la reducción de picos de demanda, ofreciendo a sus usuarios pagos o penalizaciones según el programa en que participen (Rodriguez Mercedes, 2013) (Marulanda, 2014) (Nieto, 2012).

Entre los principales programas de este modelo se encuentran:

1. Oferta de la demanda: Este programa se vende a precio de bolsa y participa en el despacho energético.

2. Control directo de carga: El agregador realiza los cortes de forma remota cuando lo considera conveniente con el fin de mejorar la confiabilidad del sistema en horas de alta demanda.
3. Emergencia: El agregador anuncia la ocurrencia de un evento de emergencia y el tiempo de disminución o corte de carga, la disminución de carga se realiza de forma voluntaria no hay penalización.
4. Demanda Interrumpible: Similar a emergencias, pero la desconexión no es voluntaria y se puede imponer penalización por incumplimiento.
5. Demanda como recurso de capacidad: Los proveedores realizan las reducciones de carga ante contingencias el incumplimiento puede acarrear penalizaciones.
6. Control de frecuencia: Se emplea ante desbalances entre generación y demanda, la reserva es rodante si puede actuar de forma rápida y no rodante si se demora más de diez minutos.
7. Servicio de regulación: La demanda aumenta o disminuye en respuesta a señales en tiempo real enviadas por el operador del sistema. (Marulanda, 2014).

En la Tabla 2 se muestran ventajas y desventajas de los programas de respuesta de la demanda basados en incentivos:

Tabla 2 *Ventajas y desventajas del agregador RD por incentivos (Fuente: Autor).*

| AGREGADOR POR INCENTIVOS | |
|---|---|
| <i>Ventajas</i> | <i>Desventajas</i> |
| A medida que los programas vayan creciendo se tendrá el control parcial de gran parte de la demanda del país. | Medidas para la reducción de la curva de demanda funcionan a largo plazo. |
| La desconexión de la demanda es obligatoria por tanto el agregador tiene asegurado una cantidad de energía mínima para ofertar. | Participación no voluntaria del proveedor en algunos programas. |
| No es necesario cambiar la modalidad de tarifa a un sistema de tiempo. | Sistema de control más robusto respecto al modelo de precios, por tanto más costoso. |
| Ideal para disminuir pico de demanda. | No es ideal para el aplanamiento de la curva de demanda en general, es decir reducir consumo. |
| Ideal para mercados de confiabilidad y económicos. | Puede que el mercado no lo acepte, es decir, que el público no quiera participar en estos programas por sus reglas. |

La Figura 1 representa los diferentes programas de respuesta de la demanda del capítulo 2.1 del presente trabajo, se realiza un mayor énfasis en los programas de respuesta de la demanda basados en incentivos.

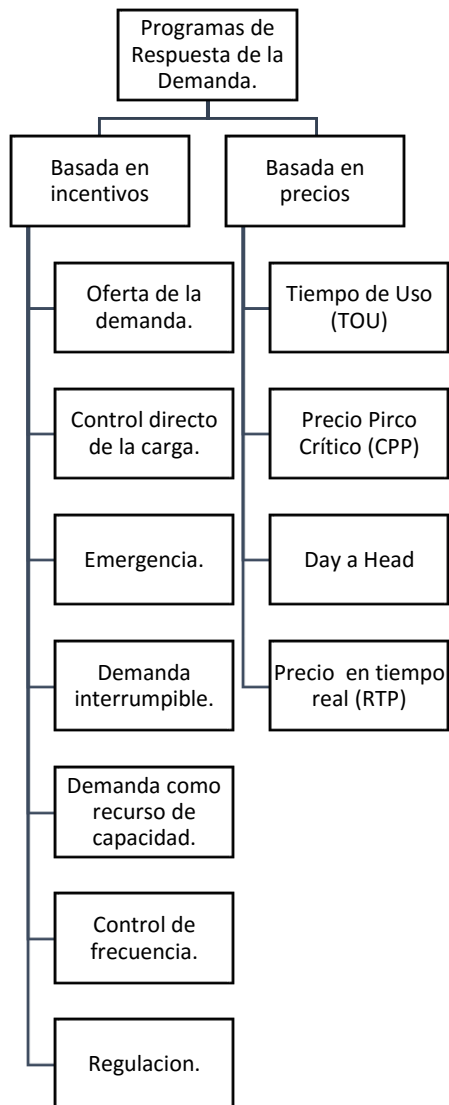


Figura 1. Programas de respuesta de la demanda (Fuente: Autor).

La *Tabla 3* presenta un cuadro comparativo entre las características de la respuesta de la demanda por incentivos y precios, además de los diferentes programas aplicados en contextos internacionales.

Tabla 3 Cuadro comparativo respuesta de la demanda (Fuente: Autor).

| Cuadro Comparativo Respuesta de la demanda | | |
|--|---|---|
| Modelo | Características | Experiencia Internacional |
| Precios | <ol style="list-style-type: none"> 1. Modalidad: RTP, ToU, CPP, Day a Head. 2. Corto plazo. 3. Participación Voluntaria, Permite control manual. 4. El agregador crea esquema de precios y tiene un sistema bidireccional de medida y comunicación con el consumidor. 5. Objetivo aplanar curva de demanda. 6. Servicio no despachable. | <ol style="list-style-type: none"> 1. California Estados Unidos: Programas CPP y ToU. 2. Singapur: Programa RTP. 3. Gran Bretaña: Programas ToU y CPP. 4. Brasil: Programas ToU, White Tariff y Tariff Flag. |
| Incentivos | <ol style="list-style-type: none"> 1. Modalidad: Oferta de la Demanda, Control Directo de Carga, Emergencia, Demanda Interrumpible, Demanda como Recurso de Capacidad, Reserva Rodante, Reserva No Rodante, Servicios de Regulación. 2. Largo plazo. 3. Los servicios e incentivos quedan estipulados por contrato lo cual permite una confiabilidad en la disponibilidad del recurso. 4. Requiere un adecuado control (Se recomienda automatización) para poder reducir o interrumpir cargas en tiempos asignados. 5. Objetivo reducir pico de demanda. 6. Servicio despachable mercados de confiabilidad. | <ol style="list-style-type: none"> 1. España: Programa de demanda interrumpible. 2. Illinois Estados Unidos: Programa de demanda como recurso de capacidad. 3. Nueva Zelanda: Programa de control directo de carga. 4. Italia: Programas de demanda interrumpible y control directo de carga. |

2.2. Mercado de Respuesta de la demanda

La respuesta de la demanda presenta diferentes mercados de aplicación dependiendo si la energía es despachable o no, es decir si puede participar en la bolsa de energía como servicio auxiliar, el problema con los modelos de precios es que no se asegura una cantidad de energía estable, dado que, la participación es voluntaria, por tanto, se cuenta en el programa de precios con la disminución de consumo en horarios en que la energía es más cara pero no con una cantidad constante de demanda desconectada.

Con los programas por incentivos si es posible asegurar energía dado a que por medio de contratos se puede alcanzar compromisos de desconexión mínimo con los usuarios, por lo tanto se puede

participar en diferentes servicios auxiliares en mercados de confiabilidad y económicos (capacidad, reservas, energía y regulación), en estos mercados se manejan diferentes tipos de programas de incentivos según situaciones de emergencia y oportunidad de decisión de participación del usuario, los mercados económicos se refiere a la participación en el despacho energético (UPME "Taller de discusión 2014", 2014).

En cualquiera de los dos modelos que se escoja para el funcionamiento del agregador se debe realizar el estudio de cargas para saber cuáles se pueden desconectar o disminuir, en Singapur se propuso la siguiente metodología (Wenxian, Chin, Tat, Xiang, & Yu, 2014).

Se categorizan las cargas en “Critical loads”, “Prior sheddable loads” y “Optional sheddable loads”. y las definen como:

- Critical loads: que no pueden ser restringidas en ninguna circunstancia.
- Prior sheddable loads: se pueden desprender siempre que se trate de una necesidad, es decir, cuando se active un programa de respuesta de la demanda.
- Optional sheddable loads: participan en el recorte de la carga sólo si las cargas “Prior sheddable loads” no pueden cumplir con el objetivo de reducción, estas pueden estar o no estar disponibles, dependiendo del usuario.

Para el presente caso de estudio se decide agrupar todas las cargas que se van a desconectar bajo el nombre de carga gestionable el cual es toda la carga que se va a desconectar durante el día, es un porcentaje de la carga total de la curva de demanda.

2.3. Precios para remunerar la Respuesta de la Demanda.

Para remunerar los servicios del agregador de respuesta de la demanda basados en incentivos, se tiene que plantear a qué precio se va a pagar el kWh desconectado para esto se propone los precios de bolsa y escasez dependiendo el tipo de servicio del agregador, estos precios solo son para

remunerar el agregador, para los usuarios o proveedores se deben plantear otras estrategias en donde las ganancias, rebajas en recibos, subsidios del gobierno, bonos o demás estrategias.

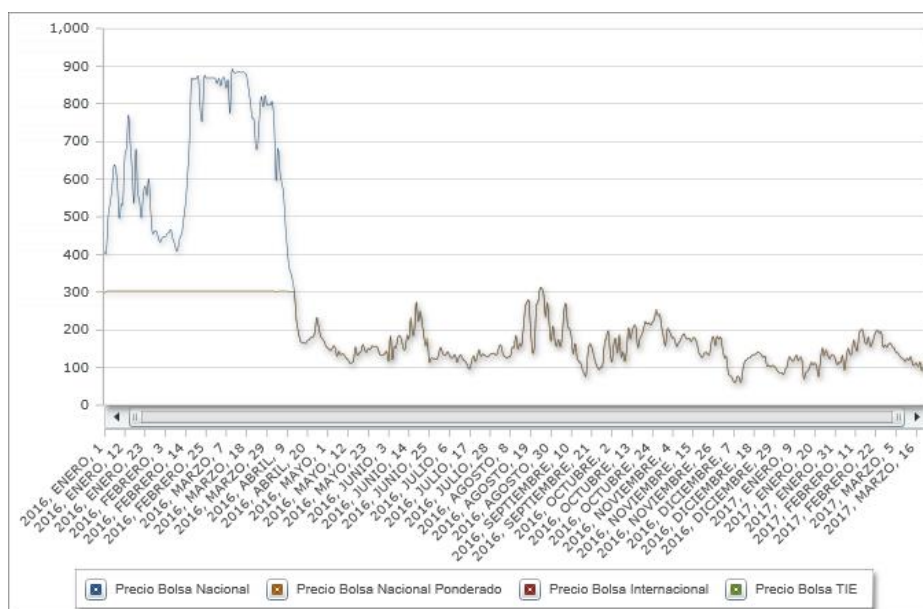
Inicialmente se consideran los precios de bolsa y escasez como serían los pagos y que normativa debería cambiar para que se pueda aplicar la remuneración con estos precios, además, si es necesario buscar otros medios de financiamiento de los servicios (CREG "Características generales del mercado mayorista", 2017).

2.3.1. Precio de bolsa

Es el precio del último recurso o planta utilizado para atender la demanda total de energía en cada hora, es el que fija el precio al que serán remunerados todos los que presentaron ofertas menores al último recurso despachado a esa misma hora.

La parte de la demanda de energía de los comercializadores que no esté cubierta por contratos bilaterales, debe pagarse a este precio (CREG "Características generales del mercado mayorista", 2017).

La Figura 2 muestra la serie temporal del precio de bolsa desde el primero de enero de 2016 hasta el 16 de marzo del presente año.



3. ESTADO DEL ARTE RD

Se revisaron un total de 155 artículos en las revistas IEEE y Science Direct entre los años 2010 al 2018, las principales temáticas se dividen en las siguientes: por el medio de remuneración al usuario (RD basado en precios y RD basado en incentivos); por el tipo de usuario (RD residencial, RD comercial y RD industrial); De acuerdo al tipo de servicio que ofrece a la curva de demanda (Aplanamiento curva de demanda, Disminución de picos y Traslado de picos); El tipo de mercado al cual participan (Mercado de capacidad, Mercado de despacho y Mercado de servicios auxiliares); A los procesos a los cuales se integran (Redes inteligentes, Optimización y Automatización); Según lo recursos energéticos distribuidos en los que se ofrecen servicios conjuntos (Energías renovables y Almacenamiento de energía) y la revisión bibliográfica de RD de otros autores.

Tabla 4. Estado del arte RD (Fuente: Autor)

| Temática Abordada | Referencia |
|----------------------|---|
| RD basada en precios | (Chen Q. , y otros, 2017), (Wang & Paranjape, Optimal Residential Demand Response for Multiple Heterogeneous Homes With Real-Time Price Prediction in a Multiagent Framework, 2017), (Croce, y otros, 2017), (Khezeli & Bitar, 2017), (Zhang, Xu, Dong, & Wong, 2017), (Reka & Ramesh, 2016), (Klaassen, Kobus, Frunt, & Slootweg, 2016), (Eid, Koliou, Valles, Raneses, & Hakvoort, 2016), (Sachdev & Singh, 2016), (Hussain, y otros, 2015), (Bahrami & Wong, 2015), (Yu & Yu, 2015), (Moghadam, Saebi, Javidi, & Bayaz, 2015), (Sabounchi, Khazaei, Kamal, & Sani, 2014), (Wang & Paranjape, An Evaluation of Electric Vehicle Penetration under Demand Response in a Multi-Agent Based Simulation., 2014), (VanderKley, Negash, & Kirschen, 2014), (Ma, Hu, & Spanos, 2014), (Gavgani, Abedi, Karimi, Reza, & Hamohammadi, 2014), (Panapakidis, Frantza, & Papagiannis, 2014), (Petinrin & Shaaban, 2014), (Khomami & Javidi, 2013), (Jia & Tong, 2013), (Goyall, Iyengar, & Qiu, 2013), (Wu, Ai, Zhao, & Wu, 2013), (Zhao & Aravinthan, 2013), (Oldewurtel, Struzenegger, Andersson, Morari, & Smith, 2013), (Kuroda , Ichimura, & Yokoyama, 2012), (Nejad & Tafreshi, 2012), (Bi & Jamalipour, 2012), (Nazar, Abdullah, Hassan, & Hussin, 2012), (Jia, Xia, & Chen, 2012), (Huang, Walrand, & Ramchandran, 2012), (Yang, Chavali, & Nehorai, 2012), (Cheng, |

| | |
|-------------------------|---|
| | <p>Dong, & Ren, 2011), (Mehdi, Tapan , & Nadali, 2011), (T.P. , S, Essam A., & N.H , 2011), (Frauke, Andreas, Manfred, & Goran, 2011), (Sila , Mary, Koch, & Dan, 2011), (Mathieu, Callaway, & Kiliccote, 2011), (Gatsis & Giannakis, 2011), (Caramanis & Foster, 2011), (Turitsyn, Backhaus, Ananyev, & Chertkov, 2011), (Chandira Prabhu, Sankara N, Githanjali, & Sindhu, 2011), (Pouyan, Hassan, & Hassan, 2010), (Wasim M & Nidhal, 2010), (Md. & Syed, 2010), (Jin , Jae Yoon, Jian, Raouf, & James Won-Ki, 2010)</p> |
| RD basada en incentivos | <p>(Panwar, Konda, Verma , Panigrahi, & Kumar, 2017), (Olivares & Pincetic, 2017), (Khezeli & Bitar, 2017), (Hreinsson, Scaglione, & Vittal, 2016), (Wang B. , Yang, Short, & Yang, 2016), (Kokos & Lamprinos, 2016), (Gadham, 2016), (Sarris, Messini, & Hatziargyriou, 2016), (Schuh, Brandenburg, & Lui, 2015), (Chen H. , Wang, Yan, Zou, & Luo, 2015), (Fell, Shipworth, Huebner, & Elwell, 2015), (Pason, Therdyothin, Prapanavarat, Nathakaranakule, & Limmeechokchai, 2015), (Wijaya, Vasirani, Villumsen, & Aberer, 2015), (Minou, Stamoulis, Thanos, & Chandan, 2015), (Jain, y otros, 2015), (Yu & Yu, 2015), (Ma, Hu, & Spanos, 2014), (GavGANI, Abedi, Karimi, Reza, & Hamohammadi, 2014), (Son, Hara, Kita, & Tanaka, 2014), (Babar, Ahamed, Al-Ammar, & Shah, 2013), (Shipman, Gillott, & Naghiyev, 2013), (Barreto, Mojica Nava, & Quijano, 2013), (Goyall, Iyengar, & Qiu, 2013), (Matsumoto & Wende, 2013), (Cheng & An, 2012), (Kuroda , Ichimura, & Yokoyama, 2012), (Cailian, Li , TievAN, & Yang, 2012), (Soumyadip, Jayant, Dmitriy, Mark, & Xiaoxuan, 2011), (Karanjit, Chassin, & Chassin, 2011), (Aalami, Khodaei, & Fard, 2011), (Wasim M & Nidhal, 2010), (Ye, Fei, & Lei, 2010), (Anthony , Haitham, & Greene, 2010)</p> |
| RD residencial | <p>(D oca, Hong, & Langevin, 2018), (Mossaddegh, Cañizares, & Bhattacharya, 2017), (Reka & Ramesh, 2016), (Chaney, Owens, & Peacock, 2016), (Klaassen, Kobus, Frunt, & Sloopweg, 2016), (Abhilash & Vajjala, 2016), (Ahmed, Mohamed, Shareef, Homod, & Abd, 2016), (Rahman, Arefi, Shafinullah, & Hettiwatte, 2016), (Sarris, Messini, & Hatziargyriou, 2016), (Goy & Finn, 2015), (Tortensson & Wallin, 2015), (Ranjan & Thomas, 2015), (Rohman & Kobayashi, 2014), (Torstensson & Wallin, 2014), (Pereira, y otros, 2014), (Sabounchi, Khazaei, Kamal, & Sani, 2014), (Wang & Paranjape, An Evaluation of Electric Vehicle Penetration under Demand Response in a Multi-Agent Based Simulation., 2014), (VanderKley, Negash, & Kirschen, 2014), (Panapakidis, Frantza, & Papagiannis, 2014), (Arora & Chanana, 2014), (Thomas , Bansal, & Taneja, 2014), (Khomami & Javidi, 2013), (Menniti, y otros, 2013), (Liu & Wei, 2013), (Mahoor, IrvANI, Salamati, Aghabali, & Rahimi Kian, 2013), (Zhao & Aravinthan, 2013), (Grunewald & Torriti, 2012), (Kuroda , Ichimura, & Yokoyama, 2012), (Zhang, Pi, & Zhang, 2012), (Shen, Zhao, Pang, Yu, & Wu, 2012), (MacDougall,</p> |

| | |
|-------------------------------|---|
| | Cor, & Kok, 2011), (Frauke, Andreas, Manfred, & Goran, 2011), (Karanjit, Chassin, & Chassin, 2011), (Gatsis & Giannakis, 2011), (Md. & Syed, 2010), (Jin , Jae Yoon, Jian, Raouf, & James Won-Ki, 2010), (In- Ho & Joung, 2010) |
| RD comercial | (D oca, Hong, & Langevin, 2018), (Wolsen , Kjaergaard, & Jorgensen, 2016), (Goy & Finn, 2015), (Christantoni, Flynn, & Finn, 2015), (Pason, Therdyothin, Prapanavarat, Nathakaranakule, & Limmeechokchai, 2015), (Son, Hara, Kita, & Tanaka, 2014), (Mahoor, Irvani, Salamati, Aghabali, & Rahimi Kian, 2013), (Frauke, Andreas, Manfred, & Goran, 2011), (Sila , Mary, Koch, & Dan, 2011), (Mathieu, Callaway, & Kiliccote, 2011) |
| RD industrial | (Lindberg , Lindkvist, Solgi, & Rickard, 2014), (Tonder, Kleingeld, & Marais, 2013), (Oldewurtel, Struzenegger, Andersson, Morari, & Smith, 2013), (Mathieu, Callaway, & Kiliccote, 2011), (Ye, Fei, & Lei, 2010), (Jin , Jae Yoon, Jian, Raouf, & James Won-Ki, 2010) |
| Aplanamiento curva de demanda | (Pason, Therdyothin, Prapanavarat, Nathakaranakule, & Limmeechokchai, 2015), (Rohman & Kobayashi, 2014), (Babar, Ahamed, Al-Ammar, & Shah, 2013), (Zhao & Aravinthan, 2013), (Kuroda , Ichimura, & Yokoyama, 2012), (Wang & Groot, 2012), (Jean-Yves & Dan- Cristian, 2011), (Frauke, Andreas, Manfred, & Goran, 2011), (Libin & Low, 2011), (Gatsis & Giannakis, 2011), (Chandira Prabhu, Sankara N, Githanjali, & Sindhu, 2011), (Pouyan, Hassan, & Hassan, 2010) |
| Disminución de picos | (Huang, Cai , Xu, & Yu, 2017), (Panwar, Konda, Verma , Panigrahi, & Kumar, 2017), (Reka & Ramesh, 2016), (Abhilash & Vajjala, 2016), (Pason, Therdyothin, Prapanavarat, Nathakaranakule, & Limmeechokchai, 2015), (Salami & Farsi, 2015), (Bahrami & Wong, 2015), (Minou, Stamoulis, Thanos, & Chandan, 2015), (Zhang, Zhou, Xu, & Sun, 2015), (Yu & Yu, 2015), (Rohman & Kobayashi, 2014), (Pereira, y otros, 2014), (Sabounchi, Khazaei, Kamal, & Sani, 2014), (Wang & Paranjape, An Evaluation of Electric Vehicle Penetration under Demand Response in a Multi-Agent Based Simulation., 2014), (Ma, Hu, & Spanos, 2014), (Pogaru, Miller , Duncan, & Mavris, 2013), (Tonder, Kleingeld, & Marais, 2013), (Zhao & Aravinthan, 2013), (Cailian, Li , Tievan, & Yang, 2012), (Shen, Zhao, Pang, Yu, & Wu, 2012), (Liu, Chen, & Duan, 2012), (Xia, Sethaolo, & Zhang, 2012), (Yang, Chavali, & Nehorai, 2012), (Jean-Yves & Dan- Cristian, 2011), (Gatsis & Giannakis, 2011), (Turitsyn, Backhaus, Ananyev, & Chertkov, 2011), (Chandira Prabhu, Sankara N, Githanjali, & Sindhu, 2011), (Wasim M & Nidhal, 2010) |
| Traslado de picos | (Martinez Pabon, Eveleigh, & Tanju, 2017), (Reka & Ramesh, 2016), (Minchala Avila, Armijos, Pesántez, & Zhang, 2016), (Klaassen, Kobus, Frunt, & Sloopweg, 2016), (Hreinsson, Scaglione, & Vittal, 2016), (Sarris, Messini, & Hatziargyriou, 2016), (Zhang, Zhou, Xu, & Sun, 2015), (Wang & Paranjape, An Evaluation of Electric Vehicle Penetration under Demand Response in a Multi-Agent Based |

| | |
|---------------------------------|---|
| | Simulation., 2014), (Gitizadeh, Farhadi, & Safarloo, 2014), (Shipman, Gillott, & Naghiyev, 2013), (Wu, Ai, Zhao, & Wu, 2013), (Yingdan & Xin, 2013), (Cheng & An, 2012), (Kuroda , Ichimura, & Yokoyama, 2012), (Cailian, Li , Tievan, & Yang, 2012), (Cheng, Dong, & Ren, 2011), (Mehdi, Tapan , & Nadali, 2011), (T.P. , S, Essam A., & N.H , 2011), (Frauke, Andreas, Manfred, & Goran, 2011), (Aalami, Khodaei, & Fard, 2011), (P.G, S.R, & T.P, 2011), (Pouyan, Hassan, & Hassan, 2010), (Ye, Fei, & Lei, 2010), (Jin , Jae Yoon, Jian, Raouf, & James Won-Ki, 2010) |
| Mercado de capacidad | (Kumar & Tseng, 2016), (Syrri & Mancarella, 2016), (Hreinsson, Scaglione, & Vittal, 2016), (Zhang, Zhou, Xu, & Sun, 2015), (Rohman & Kobayashi, 2014), (Saebi, Javidi, & Nguyen, 2014), (Mackey, McCann, Rahman, & Winkelman, 2013), (Grunewald & Torriti, 2012), (Sila , Mary, Koch, & Dan, 2011), (Libin & Low, 2011), (Caramanis & Foster, 2011), (Aalami, Khodaei, & Fard, 2011), (Nunna & Doolla, 2011), (Chandira Prabhu, Sankara N, Githanjali, & Sindhu, 2011) |
| Mercado de despacho | (Perez Odeh, Watts, & Negrete-Pintetic, 2018), (Croce, y otros, 2017), (Olivares & Pincetic, 2017), (Hreinsson, Scaglione, & Vittal, 2016), (Gregori, Matamoros, & Gregoratti, 2016), (Schuh, Brandenburg, & Lui, 2015), (Lauro Fiorella, Moretti, Capozzoli, & Panzieri, 2015), (Zhang, Zhou, Xu, & Sun, 2015), (Moghadam, Saebi, Javidi, & Bayaz, 2015), (VanderKley, Negash, & Kirschen, 2014), (Panapakidis, Frantza, & Papagiannis, 2014), (Barreto, Mojica Nava, & Quijano, 2013), (Bhattarai, Jensen, & Mahat, 2013), (Cailian, Li , Tievan, & Yang, 2012), (Xia, Sethaolo, & Zhang, 2012), (Shen & Zhu, 2012), (Soumyadip, Jayant, Dmitriy, Mark, & Xiaoxuan, 2011), (Libin & Low, 2011), (Caramanis & Foster, 2011), (Murthy, Vedanta, S.A , & R.M, 2011), (Ye, Fei, & Lei, 2010), (Anthony , Haitham, & Greene, 2010), (Duy, Negnevitsky, & de Groot, 2010) |
| Mercado de servicios auxiliares | (Borne, Korte, Perez, Petit, & Purkus, 2018), (Tsai, Tseng, & Chang, 2017), (Luo, y otros, 2017), (Christakou, 2016), (Kokos & Lamprinos, 2016), (Aman, y otros, 2015), (Gavgani, Abedi, Karimi, Reza, & Hamohammadi, 2014), (Saebi, Javidi, & Nguyen, 2014), (Bao & Li, 2014), (Petinrin & Shaaban, 2014), (Menniti, y otros, 2013), (Sila , Mary, Koch, & Dan, 2011) |
| Redes inteligentes | (Kakran & Chanana, 2018), (Qardran, Cheng, Wu, & Jenkins, 2017), (Huang, Cai , Xu, & Yu, 2017), (Ibrahim, y otros, 2017), (Wang , Yang , & Liu, 2017), (Koh & Hodges, 2017), (Yaghmaee, Leon Garcia, & Moghaddassian, 2017), (Mossaddegh, Cañizares, & Bhattacharya, 2017), (Croce, y otros, 2017), (Zhang, Xu, Dong, & Wong, 2017), (Reka & Ramesh, 2016), (Minchala Avila, Armijos, Pesántez, & Zhang, 2016), (Schachter, Mancarella, Moriarty, & Shaw, 2016), (Syrri & Mancarella, 2016), (Ahmed, Mohamed, Shareef, Homod, & Abd, 2016), (Sachdev & Singh, 2016), (Gregori, Matamoros, & Gregoratti, 2016), (Gadham, 2016), (Hussain, y otros, |

| | |
|--------------|---|
| | <p>2015), (Lauro Fiorella, Moretti, Capozzoli, & Panzieri, 2015), (Tortensson & Wallin, 2015), (Salami & Farsi, 2015), (Bahrami & Wong, 2015), (Ranjan & Thomas, 2015), (Aman, y otros, 2015), (Yu & Yu, 2015), (Bouckaert, Mazauric, & Maïzi, 2014), (Torstensson & Wallin, 2014), (Pereira, y otros, 2014), (Lindberg, Lindkvist, Solgi, & Rickard, 2014), (Gavgani, Abedi, Karimi, Reza, & Hamohammadi, 2014), (Syrri & Mancarella, 2014), (Gitizadeh, Farhadi, & Safarloo, 2014), (Thomas, Bansal, & Taneja, 2014), (Petinrin & Shaaban, 2014), (Khomami & Javidi, 2013), (Jia & Tong, 2013), (Alharbi & Bhattacharya, 2013), (Menniti, y otros, 2013), (Barreto, Mojica Nava, & Quijano, 2013), (Bhattarai, Jensen, & Mahat, 2013), (Huang, Infield, Cruden, Frame, & Densley, 2013), (Mahoor, Irvani, Salamati, Aghabali, & Rahimi Kian, 2013), (Yingdan & Xin, 2013), (Nejad & Tafreshi, 2012), (Bi & Jamalipour, 2012), (Jia, Xia, & Chen, 2012), (Shen, Zhao, Pang, Yu, & Wu, 2012), (Lit, Liang, Lu, Lin, & Shen, 2012), (Shen & Zhu, 2012), (Murthy N., 2012), (Huang, Walrand, & Ramchandran, 2012), (Yang, Chavali, & Nehorai, 2012), (Mehdi, Tapan, & Nadali, 2011), (MacDougall, Cor, & Kok, 2011), (T.P., S, Essam A., & N.H, 2011), (Libin & Low, 2011), (Karanjit, Chassin, & Chassin, 2011), (Gatsis & Giannakis, 2011), (Dominguez -Garcia & Hadjicostis, 2011), (Nunna & Doolla, 2011), (Murthy, Vedanta, S.A, & R.M, 2011), (Pouyan, Hassan, & Hassan, 2010), (Wasim M & Nidhal, 2010), (Md. & Syed, 2010), (Jin, Jae Yoon, Jian, Raouf, & James Won-Ki, 2010), (Adeel Abbas, Friederech, Tehseen, & Peter, 2010), (In- Ho & Joung, 2010)</p> |
| Optimización | <p>(Domenech, Eveleigh, & Tanju, 2018), (Perez Odeh, Watts, & Negrete-Pintetic, 2018), (Klaasen, Van Gerwen, Frunt, & Slootweg, 2017), (Cui, Carr, Brissette, & Ragaini, 2017), (Martinez Pabon, Eveleigh, & Tanju, 2017), (Wang, Yang, & Liu, 2017), (Tsai, Tseng, & Chang, 2017), (Panwar, Konda, Verma, Panigrahi, & Kumar, 2017), (Yaghmaee, Leon Garcia, & Moghaddassian, 2017), (Leithon, Lim, & Sun, 2017), (Mossaddegh, Cañizares, & Bhattacharya, 2017), (Wang & Paranjape, Optimal Residential Demand Response for Multiple Heterogeneous Homes With Real-Time Price Prediction in a Multiagent Framework, 2017), (Olivares & Pincetic, 2017), (Zhang, Xu, Dong, & Wong, 2017), (Reka & Ramesh, 2016), (Chaney, Owens, & Peacock, 2016), (Schachter, Mancarella, Moriarty, & Shaw, 2016), (Kumar & Tseng, 2016), (Wang B., Yang, Short, & Yang, 2016), (Sachdev & Singh, 2016), (Gregori, Matamoros, & Gregoratti, 2016), (Kokos & Lamprinos, 2016), (Hussain, y otros, 2015), (Schuh, Brandenburg, & Lui, 2015), (Chen H., Wang, Yan, Zou, & Luo, 2015), (Lee, Horesh, & Liberti, 2015), (Salami & Farsi, 2015), (Bahrami & Wong, 2015), (Ranjan & Thomas, 2015), (Moghadam, Saebi, Javidi, & Bayaz, 2015), (Sabounchi, Khazaei, Kamal, & Sani, 2014), (Ma, Hu, & Spanos, 2014), (Son, Hara, Kita, & Tanaka, 2014), (Saebi, Javidi, & Nguyen, 2014), (Gitizadeh,</p> |

| | |
|---------------------|---|
| | <p>Farhadi, & Safarloo, 2014), (Bao & Li, 2014), (Jia & Tong, 2013), (Alharbi & Bhattacharya, 2013), (Liu & Wei, 2013), (Goyall, Iyengar, & Qiu, 2013), (Bi & Jamalipour, 2012), (Liu, Chen, & Duan, 2012), (Li, Chen, & Low, 2012), (Huang, Walrand, & Ramchandran, 2012), (Yang, Chavali, & Nehorai, 2012), (Mehdi, Tapan, & Nadali, 2011), (Soumyadip, Jayant, Dmitriy, Mark, & Xiaoxuan, 2011), . (Jean-Yves & Dan- Cristian, 2011), (T.P. , S, Essam A., & N.H , 2011), (Frauke, Andreas, Manfred, & Goran, 2011), (Gatsis & Giannakis, 2011), (Dominguez -Garcia & Hadjicostis, 2011), (Anthony , Haitham, & Greene, 2010), (Jin , Jae Yoon, Jian, Raouf, & James Won-Ki, 2010), (Adeel Abbas, Friederech, Tehseen, & Peter, 2010)</p> |
| Automatización | <p>(Cui, Carr, Brissette, & Ragaini, 2017), (Leithon, Lim, & Sun, 2017), (Mossaddegh, Cañizares, & Bhattacharya, 2017), (Wang & Paranjape, Optimal Residential Demand Response for Multiple Heterogeneous Homes With Real-Time Price Prediction in a Multiagent Framework, 2017), (Christakou, 2016), (Chaney, Owens, & Peacock, 2016), (Minchala Avila, Armijos, Pesántez, & Zhang, 2016), (Syrri & Mancarella, 2016), (Abhilash & Vajjala, 2016), (Ahmed, Mohamed, Shareef, Homod, & Abd, 2016), (Gadham, 2016), (Sarris, Messini, & Hatzargyriou, 2016), (Hussain, y otros, 2015), (Christantoni, Flynn, & Finn, 2015), (Lee, Horesh, & Liberti, 2015), (Fell, Shipworth, Huebner, & Elwell, 2015), (Bahrami & Wong, 2015), (Minou, Stamoulis, Thanos, & Chandan, 2015), (Jain, y otros, 2015), (Sabounchi, Khazaei, Kamal, & Sani, 2014), (Wang & Paranjape, An Evaluation of Electric Vehicle Penetration under Demand Response in a Multi-Agent Based Simulation., 2014), (Bao & Li, 2014), (Arora & Chanana, 2014), (Thomas , Bansal, & Taneja, 2014), (Bhattarai, Jensen, & Mahat, 2013), (Liu & Wei, 2013), (Nejad & Tafreshi, 2012), (Murthy N. , 2012), (Yang, Chavali, & Nehorai, 2012), (MacDougall, Cor, & Kok, 2011), (Frauke, Andreas, Manfred, & Goran, 2011), (Sila , Mary, Koch, & Dan, 2011), (Mathieu, Callaway, & Kiliccote, 2011), (Karanjit, Chassin, & Chassin, 2011), (Dominguez -Garcia & Hadjicostis, 2011), (Turitsyn, Backhaus, Ananyev, & Chertkov, 2011), (Aalami, Khodaei, & Fard, 2011), (P.G, S.R, & T.P, 2011), (Muhammad, Abdullah, & Barry, 2010), (Wasim M & Nidhal, 2010), (Anthony , Haitham, & Greene, 2010), (Md. & Syed, 2010), (Adeel Abbas, Friederech, Tehseen, & Peter, 2010), (In- Ho & Joung, 2010)</p> |
| Energías renovables | <p>(Domenech, Eveleigh, & Tanju, 2018), (Borne, Korte, Perez, Petit, & Purkus, 2018), (Kakran & Chanana, 2018), (Qadrdan, Cheng, Wu, & Jenkins, 2017), (Chen Q. , y otros, 2017), (Leithon, Lim, & Sun, 2017), (Zhang, Xu, Dong, & Wong, 2017), (Christakou, 2016), (Klaassen, Kobus, Frunt, & Sloopweg, 2016), (Eid, Koliou, Valles, Raneses, & Hakvoort, 2016), (Sachdev & Singh, 2016), (Gadham, 2016), (Rahman, Arefi, Shafinullah, & Hettiwatte, 2016), (Schuh,</p> |

| | |
|------------------------------|--|
| | <p>Brandenburg, & Lui, 2015), (Chen H. , Wang, Yan, Zou, & Luo, 2015), (Lauro Fiorella, Moretti, Capozzoli, & Panzieri, 2015), (Christantoni, Flynn, & Finn, 2015), (Lee, Horesh, & Liberti, 2015), (Rohman & Kobayashi, 2014), (Bouckaert, Mazauric, & Maïzi, 2014), (Lindberg , Lindkvist, Solgi, & Rickard, 2014), (Pazouki & Haghifam, 2014), (Gitizadeh, Farhadi, & Safarloo, 2014), (Arora & Chanana, 2014), (Petinrin & Shaaban, 2014), (Shipman, Gillott, & Naghiyev, 2013), (Jia & Tong, 2013), (Alharbi & Bhattacharya, 2013), (Menniti, y otros, 2013), (Mackey, McCann, Rahman, & Winkelman, 2013), (Goyall, Iyengar, & Qiu, 2013), (Matsumoto & Wende, 2013), (Huang, Infield, Cruden, Frame, & Densley, 2013), (Wu, Ai, Zhao, & Wu, 2013), (Mahoor, Irvani, Salamati, Aghabali, & Rahimi Kian, 2013), (Cheng & An, 2012), (Kuroda , Ichimura, & Yokoyama, 2012), (Nejad & Tafreshi, 2012), (Bi & Jamalipour, 2012), (Jla, Xia, & Chen, 2012), (Murthy N. , 2012), (Huang, Walrand, & Ramchandran, 2012), (Yang, Chavali, & Nehorai, 2012), (Mehdi, Tapan , & Nadali, 2011), (Soumyadip, Jayant, Dmitriy, Mark, & Xiaoxuan, 2011), (MacDougall, Cor, & Kok, 2011), (Libin & Low, 2011), (Karanjit, Chassin, & Chassin, 2011), (Dominguez -Garcia & Hadjicostis, 2011), (Caramanis & Foster, 2011), (Turitsyn, Backhaus, Ananyev, & Chertkov, 2011), (Nunna & Doolla, 2011), (P.G, S.R, & T.P, 2011), (Wasim M & Nidhal, 2010), (Md. & Syed, 2010)</p> |
| Almacenamiento de energía | <p>(Chen Q. , y otros, 2017), (Luo, y otros, 2017), (Christakou, 2016), (Kumar & Tseng, 2016), (Hreinsson, Scaglione, & Vittal, 2016), (Lauro Fiorella, Moretti, Capozzoli, & Panzieri, 2015), (Lee, Horesh, & Liberti, 2015), (Wang & Paranjape, An Evaluation of Electric Vehicle Penetration under Demand Response in a Multi-Agent Based Simulation., 2014), (Pazouki & Haghifam, 2014), (Son, Hara, Kita, & Tanaka, 2014), (Gitizadeh, Farhadi, & Safarloo, 2014), (Arora & Chanana, 2014), (Alharbi & Bhattacharya, 2013), (Mackey, McCann, Rahman, & Winkelman, 2013), (Huang, Infield, Cruden, Frame, & Densley, 2013), (Zhao & Aravinthan, 2013), (Cheng & An, 2012), (Grunewald & Torriti, 2012), (Murthy N. , 2012), (Huang, Walrand, & Ramchandran, 2012), (Wang & Groot, 2012), (MacDougall, Cor, & Kok, 2011), (Frauke, Andreas, Manfred, & Goran, 2011), (Karanjit, Chassin, & Chassin, 2011), (Dominguez -Garcia & Hadjicostis, 2011), (Turitsyn, Backhaus, Ananyev, & Chertkov, 2011), (P.G, S.R, & T.P, 2011), (Jin , Jae Yoon, Jian, Raouf, & James Won-Ki, 2010)</p> |
| Revisión bibliográfica de RD | <p>(Borne, Korte, Perez, Petit, & Purkus, 2018), (D oca, Hong, & Langevin, 2018), (Perez Odeh, Watts, & Negrete-Pintetic, 2018), (Kakran & Chanana, 2018), (Klaasen, Van Gerwen, Frunt, & Slootweg, 2017), (Ibrahim, y otros, 2017), (Eid, Koliou, Valles, Raneses, & Hakvoort, 2016), (Wolsen , Kjaergaard, & Jorgensen, 2016), (Hussain, y otros, 2015), (Tortensson & Wallin, 2015), (Fell,</p> |

| | |
|--|--|
| | <p>Shipworth, Huebner, & Elwell, 2015), (Wijaya, Vasirani, Villumsen, & Aberer, 2015), (Jain, y otros, 2015), (Torstensson & Wallin, 2014), (Barreto, Mojica Nava, & Quijano, 2013), (Yingdan & Xin, 2013), (Andreou's, Symeonidis, Diou, Mitkas, & Labridis, 2012), (Kuroda , Ichimura, & Yokoyama, 2012), (Nazar, Abdullah, Hassan, & Hussin, 2012), (Cailian, Li , Tievan, & Yang, 2012), (Zhang, Pi, & Zhang, 2012), (Liu, Chen, & Duan, 2012), (Xia, Sethaolo, & Zhang, 2012), (Cheng, Dong, & Ren, 2011), (Jean-Yves & Dan- Cristian, 2011), (Mathieu, Callaway, & Kiliccote, 2011), (Nunna & Doolla, 2011), (Murthy, Vedanta, S.A , & R.M, 2011), (Muhammad, Abdullah, & Barry, 2010), (Md. & Syed, 2010)</p> |
|--|--|

En la Figura 4, se recopila las temáticas abordadas sobre RD entre los años 2010 al 2018 sobre un total de 155 artículos.

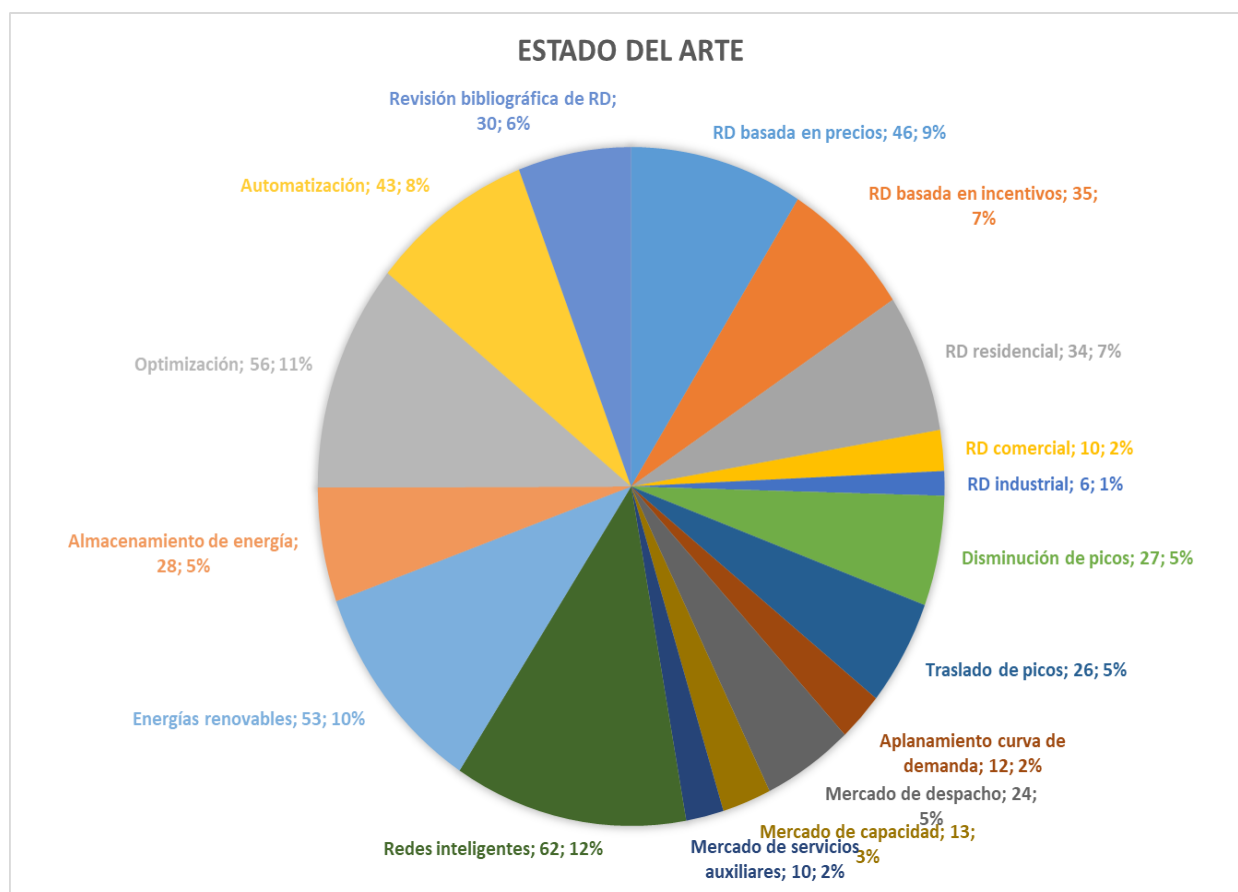


Figura 4. Temáticas referentes a RD 155 artículos (Fuente: Autor)

4. CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO, CARACTERÍSTICAS Y SERVICIOS DEL AGREGADOR

En la regulación colombiana no existe la figura del agregador, más sin embargo la resolución N° 063, 2010) plantea la desconexión de demanda en el sector industrial para aportar al cargo de confiabilidad, donde la industria realizan convenios con el comercializador con el fin que esta venda la desconexión a los generadores, para que estos puedan cumplir sus obligaciones de energía firme.

4.1. Condiciones y Características de funcionamiento

El agregador es un agente intermediario entre los usuarios residenciales y el operador del sistema. En este proyecto de fin de carrera, se parte de las siguientes premisas de RD siguiendo como guía la (Resolución N° 063, 2010) ya existente para el sector industrial y diferentes experiencias internacionales , (Hreinsson, Scaglione, & Vittal, 2016) para los servicios de picos participantes en los mercados de capacidad y (Olivares & Pincetic, 2017), para el caso del servicio participante en el mercado de despacho:

- Los generadores pueden negociar directamente con agregadores residenciales con el fin de cumplir las obligaciones de energía firme en el cargo por confiabilidad.
- Si el agregador tiene en conjunto curvas de demanda mayores a 100 kW en cada una de sus horas de consumo (Barrato Callejas, 2010) y (Chandira Prabhu, Sankara N, Githanjali, & Sindhu, 2011), no necesitará ofertar la desconexión de la demanda con el generador, podría participar directamente en el cargo por confiabilidad.
- Para la desconexión de demanda de los usuarios, se emula la línea base de consumo de la (Resolución N° 063, 2010), la cual consiste en la medición previa del consumo antes de aplicar la “RD” y por medio de estos programas buscar la disminución de picos o

aplanamiento en esta curva, y comparando la curva inicial con la final obtener el resultado de desconexión, esta es una buena estrategia ya que indirectamente incentiva la eficiencia energética.

- Se debe tener en cuenta los incentivos del usuario a participar en este tipo de programas, las condiciones de cada incentivo son:

Aumento de subsidio y disminución de contribuciones: Actualmente en los recibos de energía eléctrica existen unos subsidios y contribuciones según el estrato (Ver: Tabla 5), regulado por la (Resolución N° 079, 1997). Este consiste en la resta de un porcentaje del costo unitario de la energía eléctrica a los estratos más bajos “Subsidios a los estratos 1, 2 y 3” y la suma de otro porcentaje del costo unitario a los estratos más altos “Contribución de los estratos 5 y 6”. En la sección 5 remuneración del agregador, se propone que se debe realizar en el futuro, el cambio de esta resolución en el porcentaje de costo unitario de los subsidios y contribuciones por estrato, para incentivar la participación de los usuarios al programa de RD.

Tabla 5. Subsidios y contribuciones por estrato.

| Estructura tarifaria actual | | |
|-----------------------------|-----------|--------------|
| Estrato | Subsidio | Contribución |
| 1 | CU-CU*50% | - |
| 2 | CU+CU*40% | - |
| 3 | CU+CU*15% | - |
| 4 | - | - |
| 5 | - | CU+CU*20% |
| 6 | - | CU+CU*20% |

Incentivo de descuento directo de la tarifa: se propone para un programa de control de picos, que por cada kWh pedido para desconexión en las horas pico o que el sistema lo requiera, al usuario se le reste otro kWh ya consumido en su tarifa (En relación 1 a 1), por tanto, el modelo tarifario debe cambiar para incluir este evento.

Pago directo del operador en el programa de despacho: El agregador incentiva la competitividad y elige la desconexión de determinados usuarios bajo un criterio financiero es decir los usuarios que asignen el valor de hora de desconexión más bajo, dentro de un rango mínimo y máximo preestablecido por este mismo según la hora del día e importancia de la desconexión.

- El agregador cuenta inicialmente con usuarios residenciales del estrato 4 con diferente comportamiento de consumo. Este por administrar las cargas se ve remunerado en el mercado despacho y de capacidad, mediante el cumplimiento de ofertas energéticas de desconexión (Remuneradas por el precio de bolsa) y bajo el cumplimiento de las obligaciones de energía firme adquiridas o de los generadores (Remuneradas por el precio de escasez).
- Por medio de reiterativas simulaciones y experimentaciones en el **aplicativo de RD** propuesto, se tiene que el valor de 90% de porcentaje de porcentaje limite es el adecuado, ya que con este valor se logra obtener la suficiente participación de usuarios para observar el efecto en los diferentes picos de la curva de demanda, valores mayores se observan resultados muy bajos de desconexión y resultados menores se observa que la curva se vuelve un valor constante, En rango mínimo se observa que al disminuir este valor aumentan considerablemente las perdidas por tanto para tener pérdidas menores al 7% se decide establecer este valor en 92% “menores al 10% de tolerancia de pérdidas técnicas de la CREG” (Resolución 119, 2007), por último el rango de las ofertas de desconexión por horas se simulo varias veces el aplicativo para obtener curvas de ofertas que el aplicativo pudiera cumplir (los siguientes tres guiones explican mejor estos términos).
- Se establece el valor de **potencia limite** (Valor techo de potencia “Valor pico de la curva de demanda dividido entre el número de usuarios) y el valor de **porcentaje limite** que

disminuye el valor de potencia límite “Para el presente trabajo establecido en 90%”. Los usuarios que superen el valor de potencia límite pueden participar si deciden en el programa de control total de picos.

- El rango mínimo y máximo son los límites en que se aceptan ofertas de despacho de desconexión con base en la carga gestionable de los cien grupos de usuarios del día anterior dentro de estos rangos se empieza a recibir ofertas del despacho de desconexión aleatorio (Se elige para el caso de estudio los valores de 92% y 100% de la carga gestionable total respectivamente).
- Para el programa de despacho de desconexión no aleatorio, se debe definir las ofertas de desconexión por hora, por medio de varias simulaciones del aplicativo y con el objetivo de cumplir las ofertas en la mayoría de los casos se establece ofertas entre 10 a 30 kW según la hora del día.

Premisa de Carga gestionable.

Se define como la cantidad de potencia a desconectar en programas de RD, en legislación de algunos países como Singapur (Wenxian, Chin, Tat, Xiang, & Yu, 2014), se estiman porcentajes de hasta 10 %, para otros autores (Chandira Prabhu, Sankara N, Githanjali, & Sindhu, 2011) el porcentaje de potencia gestionable es de 10, 20 y hasta 30%, los cuales son más apropiados para observar los efectos de los programas de respuesta de la demanda. En Colombia no se encuentra definido este porcentaje.

4.2. Servicios del agregador

Los programas representan financieramente un ingreso pasivo, es decir una vez en funcionamiento los agregadores recibirán ganancias diarias por el tiempo que duren los diferentes programas propuestos (Programa control de picos principales), los diferentes programas propuestos tienen

sus respectivos algoritmos de funcionamiento en el anexo 3 y el modelamiento matemático en el anexo 4.

4.2.1. Programa control de picos principales (Control directo de carga)

Es un programa de control directo de carga en el cual el agregador por medio de un contrato bilateral, asegura un pequeño porcentaje de la carga durante las horas pico del sistema logrando una descongestión en los momentos en que es más vulnerable.

Para este servicio el agregador y sus usuarios tienen los siguientes comportamientos y reglas:

- La participación de los usuarios es obligatoria siempre que el agregador active el servicio de reducción de picos.
- Solo se ejecutará este programa durante las horas picos principales (Ver horas: Anexo 1).
- El objetivo es que este tipo de plan se vea remunerado por el cargo por confiabilidad al cumplir con desconexión de demanda en momentos de escasez y cumpliendo obligaciones de energía firme, ya sea directamente asignadas por el operador o en concesión con los generadores, por tanto, se va a ver remunerado el servicio por el precio de escasez.
- Se usa solo el porcentaje de carga gestionable asignando para la ejecución de este servicio.
- Se podrá observar el efecto en la curva de demanda y financiero “Ganancias” al desconectar la demanda por este servicio.

4.2.2. Programa control total de picos (Servicio de regulación)

El segundo servicio propuesto considera la potencia total consumida por todos los usuarios en cada una de las horas, selecciona la mayor potencia entre las veinticuatro horas y está la divide entre los mil, por último se multiplica por un factor menor a uno (Porcentaje límite), valor definido en 90% en el capítulo 4.1 “Este factor disminuye la potencia en la cual se puede participar en el programa logrando mayor participación en demanda de los usuarios”, este resultado será conocido como

potencia límite definitivo, los usuarios que se pasen de este valor se les consulta si desean desconectar un porcentaje de su consumo (Carga gestionable), el objetivo de este programa es reducir el consumo de energía con el fin de disminuir los picos de la curva de demanda, comparando el consumo eficiente de unos usuarios respecto a otros.

Para este servicio el agregador y sus usuarios tienen los siguientes comportamientos y reglas:

- La participación de los usuarios es voluntaria y está ligada a una tasa de participación.
- Los usuarios que decidan participar se les verá reducido solo la carga gestionable pactada, y solo se procederá a hacer uso de esta cuando la potencia exceda la potencia límite.
- Es necesario contar la cantidad de usuarios participantes en este programa por hora y desconexión aportada.
- El objetivo es que este tipo de plan se vea remunerado por el cargo por confiabilidad al cumplir con desconexión de demanda en momentos de escasez ya sea directamente asignadas por el operado o en concesión con los generadores, por tanto, se va a ver remunerado el servicio por el precio de escasez.
- Se podrá observar el efecto en la curva de demanda y financiero “Ganancias” al desconectar la demanda por este servicio.

4.2.3. Programa de despacho desconexión (Oferta de la demanda)

Se plantea un tercer servicio en el cual el sistema realiza una oferta formal al agregador por parte del operador y éste invita a sus proveedores a participar voluntariamente, ofreciendo un escenario de simulación de situaciones de despacho (Arias Barragan , 2017).

Se ofrecen dos variantes de este servicio, la primera es recibir una oferta aleatoria de acuerdo al consumo y disponibilidad de desconexión del día anterior, y la segunda es una oferta no aleatoria

definida por el agregador y se evalúa si fue posible o no cumplir la oferta de despacho, por parte del agregador.

Para este servicio el agregador y sus usuarios tienen los siguientes comportamientos y reglas:

- Cada grupo de usuario pertenece a un grupo de franja horaria o máximo 2 (Ver: Tabla 6), en el aplicativo todos los grupos pertenecen a dos franjas horarias.

Tabla 6. Franjas horarias durante el día.

| |
|-------------------|
| Franjas horarias: |
| A: 00:00 a 06:00 |
| B: 06:00 a 12:00 |
| C: 12:00 a 18:00 |
| D: 18:00 a 24:00 |

- Los grupos de usuarios participaran voluntariamente en este servicio.
- En este programa, a diferencia de los dos anteriores, la carga gestionable será del 50%, debido a la desventaja que presenta frente a los otros programas por contar con la limitante de participación que supone las franjas horarias, esto se observa al realizar reiterativas simulaciones.
- Se dispondrá de ofertas de desconexión basada en la carga gestionable del día anterior (Despacho aleatorio) o de ofertas formales de desconexión directas del despacho (Despacho no aleatorio) dentro del rango que el agregador pueda cumplir, al ser servicios de despacho se cancelará bajo el precio de bolsa.
- Se podrá observar el efecto en la curva de demanda y financiero “Ganancias” al desconectar la demanda por este servicio, Es necesario contar la cantidad de usuarios participantes en este programa por hora y desconexión aportada.

5. REMUNERACIÓN DEL AGREGADOR

En el marco teórico se plantean las propuestas iniciales para la remuneración de los servicios del presente agregador (Precios de bolsa y escasez), en este capítulo además de especificar cómo se va a remunerar el agregador también explica la remuneración del usuario, bajo el funcionamiento de las premisas del capítulo anterior. Es importante aclarar que existen otras estrategias de remuneración (Precio por bloques de energía o Precio según el índice de linealización de la curva de demanda) y al usuario (Cancelación de recibo de pago por determinada cantidad de energía desconectada o compra de energía prepago), esto también depende del tipo de mercado a participar (Borne, Korte, Perez, Petit, & Purkus, 2018).

5.1. Precios para remunerar al agregador

En esta sección se resalta los recursos (precios del mercado energético colombiano) para remunerar los servicios del agregador por medio del precio de bolsa y de escasez.

5.1.1. Precio de bolsa

El precio de bolsa sirve para remunerar las ofertas de mercado de energía (despacho), la idea es que el agregador participe en este mercado y se vea remunerado bajo este precio. El despacho energético se logra con la desconexión de la carga a las horas determinadas, la cual será medida y verificada por el sistema de medición individual de cada grupo de usuarios y al final del agregador, esta disminución de consumo del agregador será debido al **programa de despacho de desconexión** y será remunerada con el precio de bolsa.

5.1.2. Precio de escasez

El precio de escasez como se observa en el marco teórico, es el valor con el que se remunera a los generadores que participan en el cargo por confiabilidad (mercado de capacidad), asumen “obligaciones de energía firme” y compromisos de tener energía disponible en tiempos de escasez.

En la (Resolución N° 063, 2010) “la demanda desconectable voluntariamente como anillo de seguridad del cargo por confiabilidad” da inicio a la respuesta de la demanda en Colombia por medio del mercado de capacidad, pero este inicio de respuesta de la demanda solo está disponible para el sector industrial, como se planteó en capítulo condiciones de funcionamiento, para dar cabida a este agregador se debe crear una resolución similar pero para grupos de usuarios residenciales.

El agregador, con la nueva resolución propuesta y trabajando con líneas base de consumo para los usuarios, puede conocer la cantidad de energía que dejó de consumir, bajo las estrategias de los **programas de control de picos principales y control total de picos**, esta diferencia (Valor en kWh) es la que se entra a negociar con los generadores del sistema para que ellos puedan cumplir las obligaciones de energía firme (Más exhaustivas dadas las anteriores condiciones de funcionamiento planteadas), entrarían a pagar con el valor del precio de escasez al agregador, metodología adaptada de la (Resolución N° 063, 2010), ya que si no lo hacen recibirán penalizaciones por incumplimiento.

Si el agregador cuenta con más de 100 kW en cada una de las horas de consumo de todos sus usuarios puede ofertar directamente al cargo por confiabilidad sin necesitar de negociar con generadores, y ser remunerado también con el precio de escasez.

5.2. Remuneración del usuario

Aunque este trabajo se enfoca en la remuneración del agregador y no del usuario, es importante saber cómo van a ser los incentivos y/o remuneración de éste último. Es necesario aclarar que en esta propuesta la remuneración del usuario y del agregador es independiente, los dos se ven remunerados por el operador del sistema y se deben buscar estrategias para que el sistema tenga los recursos suficientes para pagar a los usuarios y a la figura del agregador.

5.2.1. Remuneración servicio de control de picos principales

Como se planteó en el capítulo 4, se recomienda cambiar el sistema de subsidios y contribución de energía eléctrica para así poder dar paso a incentivar programas de energías sostenibles como la respuesta de la demanda. Este programa no es opcional, el usuario debe entregar un porcentaje de su carga obligatoriamente en las horas pico, es decir, queda pactado en un contrato esta reducción, por tanto, se puede plantear la asignación de un aumento en su subsidio o disminución en su contribución según el estrato. Es importante la actualización de los valores de subsidios y contribuciones (Ver: Tabla 5), ya que la (Resolución N° 079, 1997) está desactualizada “año 1997” a la realidad colombiana y se requiere que esta actualización basada en un análisis económico actual tenga en cuenta los recursos energéticos distribuidos.

5.2.2. Remuneración servicio control total de picos

El programa analiza el sistema y observa en cual punto la potencia en conjunto es la más alta (Potencia límite), se propone que el usuario que decida desconectarse en estos puntos se le descuente la cantidad de kWh que dejó de usar a la factura mensual, es decir si dejó de usar 10 kWh el usuario realmente en la factura se le descontaría 20 kWh, los 10 kWh que no consumió y los 10 kWh obtenidos por participar en el programa, ya que esta desconexión solo se realiza en momentos picos o de requerimiento del sistema y se obtiene una ganancia técnica al desconectar la demanda en estos momentos, por esta razón el operador valora la viabilidad de esta desconexión para pagar el kWh adicional.

5.2.3. Remuneración servicio de despacho de desconexión

El agregador gana el valor de precio de bolsa en el programa de despacho, el usuario debe ganar también, por tanto asigna un valor a cada hora que ofrezca (De la cual se seleccionará las que se necesitan al menor coste), el comercializador le descontará este valor a su factura en relación 1 a

1 por cada kWh solicitado (Duy, Negnevitsky, & de Groot, 2010), así se incentivara al usuario a proponer horas de desconexión más económicas. El despacho debe asumir este costo dado a los beneficios técnicos reportados por la “RD”, para así no afectar la competitividad financiera del agregador al momento de ofertar la desconexión de demanda, para esto se deben disponer de recursos gubernamentales que permita incentivar la creación de agregadores que puedan aprovechar la respuesta de la demanda en el país.

6. CASO DE ESTUDIO Y ESTUDIO FINANCIERO

Para la elaboración del caso de estudio se realizó un aplicativo con base en los capítulos 4 y 5. Para esto se realizó la comunicación entre los softwares MATLAB y EXCEL. En Excel se simula por hoja de cálculo 100 grupos de usuarios (Base de datos) y se realiza las operaciones en cada una de estas hojas según los diferentes programas de RD dadas las indicaciones del agregador. En MATLAB se desarrolla una interfaz gráfica de los datos obtenidos en Excel. Es decir, en MATLAB se ingresan los valores de entrada del aplicativo, se realiza las operaciones en EXCEL y al final se lee estos resultados y se muestra en la pantalla del aplicativo en MATLAB (Ver: Figura 5). Para así facilitar la toma de datos por parte del agregador y la visualización de los mismos, En el ANEXO 2 se observa el manual del aplicativo de respuesta de la demanda realizado, en el ANEXO 3 se presenta los algoritmos implementados a la hora de elaborar el aplicativo, con su respectivo modelamiento matemático en el ANEXO 4.

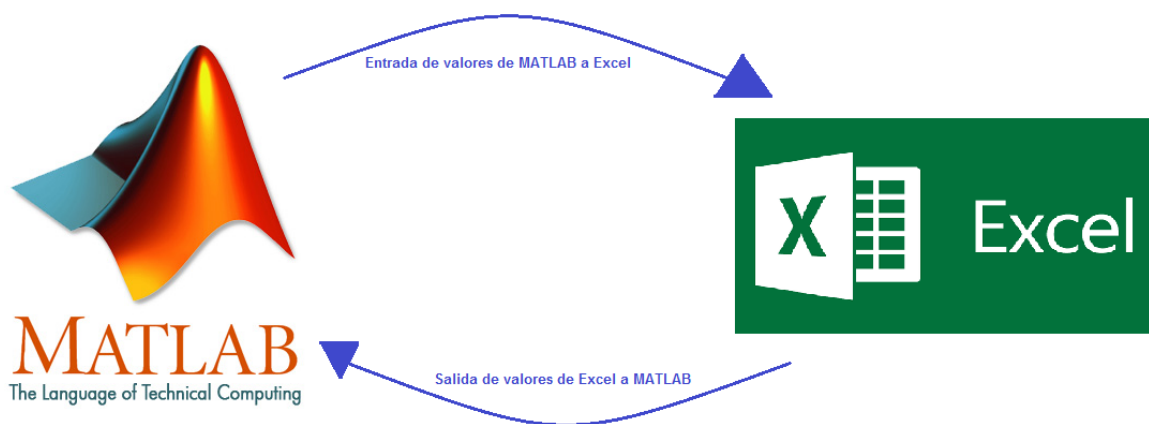


Figura 5. Comunicación MATLAB- Excel del aplicativo (Fuente: Autor).

6.1. Escenario del Agregador

Se cuenta con mil usuarios residenciales estrato 4, se agrupan de a diez hogares, por similitud de las curvas de demanda, y se proponen 3 programas de respuesta de la demanda (Control de picos principales, Control total de picos y Despacho de desconexión), por medio de un contrato bilateral se logra realizar que los usuarios se comporten según lo modelado en el aplicativo propuesto, y se aplican los programas según las reglas planteadas en el capítulo 4 y 5. La idea es conocer cuál de los 3 programas propuestos es mejor para aplicar a la realidad colombiana según la curva de demanda resultante y la TIR obtenida realizando un flujo de caja.

6.2. Valores a inscribir en el aplicativo

En esta sección se explica qué valores fueron asignados en la simulación y los resultados de las mismas,

Tabla 7. Valores a inscribir en el aplicativo

| Característica a inscribir: | Control de picos principales | Control total de picos | Despacho de desconexión aleatorio | Despacho de desconexión no aleatorio |
|-------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--|--|
| Precio [USD]: | Precio de escasez (Pe) 0,15 | Precio de escasez (Pe) 0,15 | Precio de bolsa (Pb) 0,2 | Precio de bolsa (Pb) 0,2 |
| Carga gestionable (Cg) [%]: | 30 | 30 | 50 | 50 |
| Tasa de participación (Tp) [%]: | 100 | 90 | 90 | 90 |
| Característica adicional | - | Porcentaje límite (Pl): 90% | Rango mínimo (R_{min}): 92%. Rango máximo (R_{max}): 100% | Curvas de ofertas ($O_l(h)$ o $O_f(h)$) entre 10 kW a 30 kW (Ver: Figura 6). |

Los valores en la Tabla 7 son los valores a inscribir en el aplicativo los precios de bolsa y de escasez son el valor máximo pasado a dólar de la Figura 2 y la Figura 3 del capítulo 2, la carga gestionable se elige un valor de 30% según el capítulo 4, de la premisa de carga gestionable, pero para los servicios de despacho se elige un valor de 50% debido a la existencia de grupos de franja horaria (Ver: Tabla 6), que limita el tiempo de participación de los usuarios, Se eligen tasas de

participación altas debido a los incentivos propuestos a los usuarios (Minou, Stamoulis, Thanos, & Chandan, 2015), las características adicionales son propias de cada programa según el capítulo 4, en la Figura 6 se observa las ofertas máximas de despacho de desconexión no aleatorio, como se explicó en el capítulo 4 estas se obtienen al simular varias veces el aplicativo y observar hasta qué punto el sistema alcanza a cumplir la oferta de desconexión.

| Horas: | O laboral (kW): | O feriado (kW): |
|--------|-----------------|-----------------|
| 0 | 10 | 10 |
| 1 | 10 | 10 |
| 2 | 10 | 10 |
| 3 | 10 | 10 |
| 4 | 10 | 10 |
| 5 | 10 | 10 |
| 6 | 30 | 15 |
| 7 | 30 | 15 |
| 8 | 30 | 15 |
| 9 | 30 | 15 |
| 10 | 15 | 15 |
| 11 | 15 | 15 |
| 12 | 15 | 15 |
| 13 | 15 | 15 |
| 14 | 15 | 15 |
| 15 | 15 | 15 |
| 16 | 15 | 15 |
| 17 | 15 | 15 |
| 18 | 30 | 30 |
| 19 | 30 | 30 |
| 20 | 30 | 30 |
| 21 | 30 | 30 |
| 22 | 15 | 30 |
| 23 | 15 | 15 |

Figura 6. Ofertas de despacho de desconexión para día laboral y día feriado (Fuente: Autor).

6.3. Resultados de la simulación

A continuación se presenta los resultados de la simulación directamente desde el aplicativo propuesto (Se muestra grafica inicial, grafica con servicio aplicado, valores de energía desconectada y el valor neto recibido por el agregador por esta energía), se agrupan los resultados de todos los programas en la Tabla 8.

Tabla 8. Consolidado de resultados del aplicativo de respuesta de la demanda. (Fuente: Autor).

| Resultados | Control de picos principales | Control total de picos | Despacho de desconexión aleatorio | Despacho de desconexión no aleatorio |
|----------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Energía desconectada [kWh] | Laboral: 711.812 Feriado:405.08 | Laboral: 672.663 Feriado: 262.292 | Laboral: 605.477 Feriado: 460.344 | Laboral: 457.844 Feriado: 412.199 |

| | | | | |
|--|---------------------------------------|--|--------------------------------------|---|
| Ganancia [USD] | Laboral: 106.722 Feriado: 60.7627 | Laboral: 100.9 Feriado: 39.3437 | Laboral: 121.095 Feriado: 92.0688 | Laboral: 91.5687 Feriado: 82.4398 |
| Comportamiento curva con servicio aplicado | Eliminación de los picos principales. | Eliminación de todos los picos de la curva de demanda. | Aplanamiento de la curva de demanda. | Aplanamiento de la curva de demanda, especialmente en los picos principales |

En la estrategia control de picos principales se observa en la Figura 7 y en la Figura 8, una energía desconectada para el día laboral de 711,812 kWh, valorada por precio de escasez en 106,722 USD y para el día feriado una energía desconectada de 405,085 kWh valorada por precio de escasez en 60,7627 USD, con la eliminación de los picos principales.

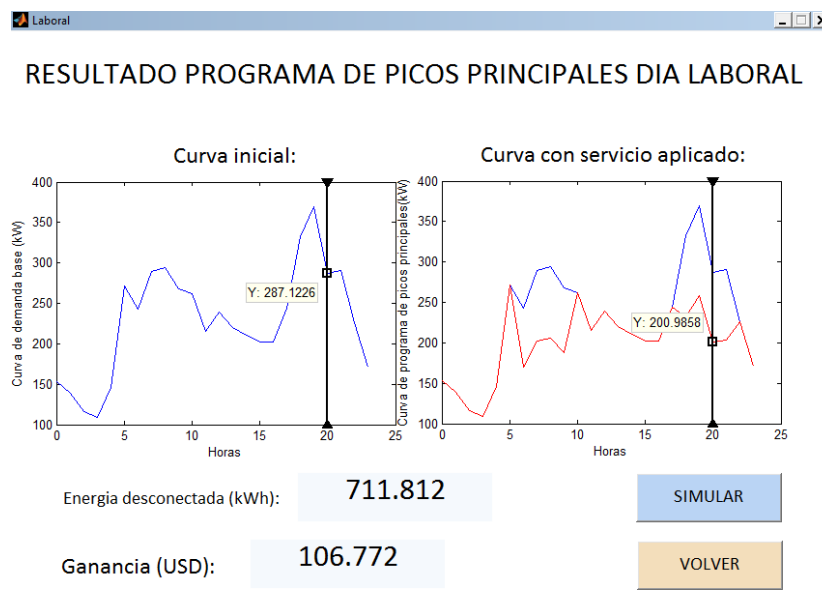


Figura 7. Resultado programa de picos principales día laboral (Fuente: Autor).

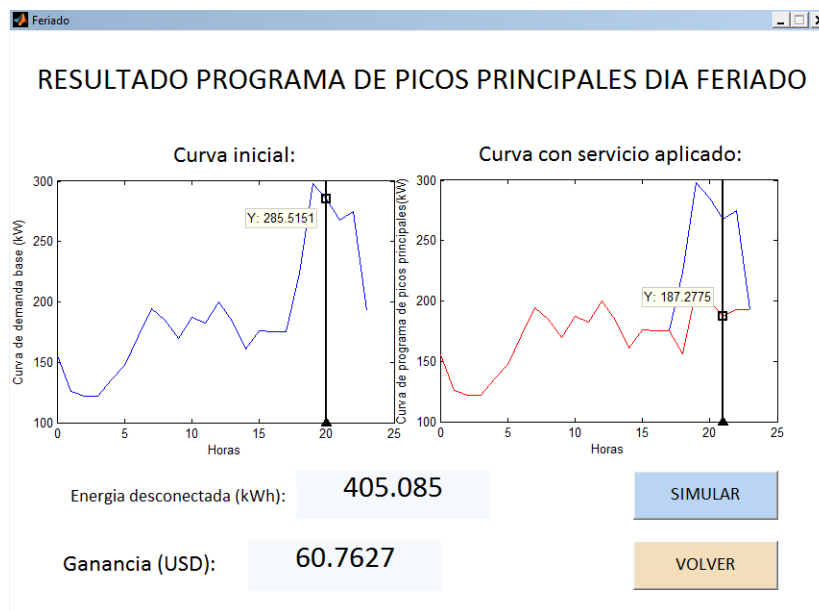


Figura 8. Resultado programa de picos principales de feriado (Fuente: Autor).

En la estrategia control total de picos se observa en la Figura 9 y en la Figura 10, una energía desconectada para el día laboral de 672,663 kWh, valorada por precio de escasez en 100,9 USD y para el día feriado una energía desconectada de 262,292 kWh, valorada por precio de escasez en 39,3437 USD, con la eliminación de todos los picos de la curva.

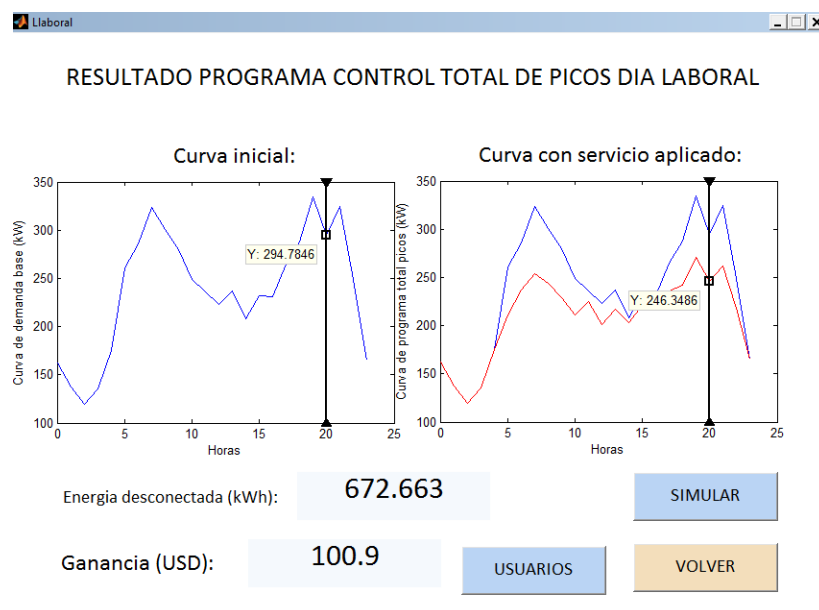


Figura 9. Resultado programa control total de picos día laboral (Fuente: Autor).

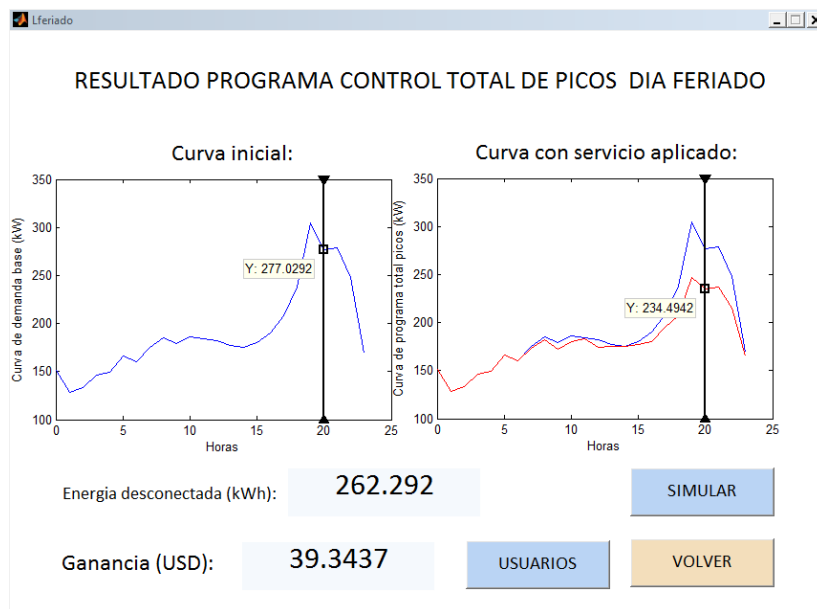


Figura 10. Resultado programa control total de picos día feriado (Fuente: Autor).

En el programa despacho de desconexión aleatorio se observa en la Figura 11 y en la Figura 12, una energía desconectada para el día laboral de 605.477 kWh, valorada por precio de bolsa en 121,095 USD y para el día feriado una energía desconectada de 460,344 kWh, valorada por precio de bolsa en 92,0688 USD, se observa aplanamiento en la curva de demanda.

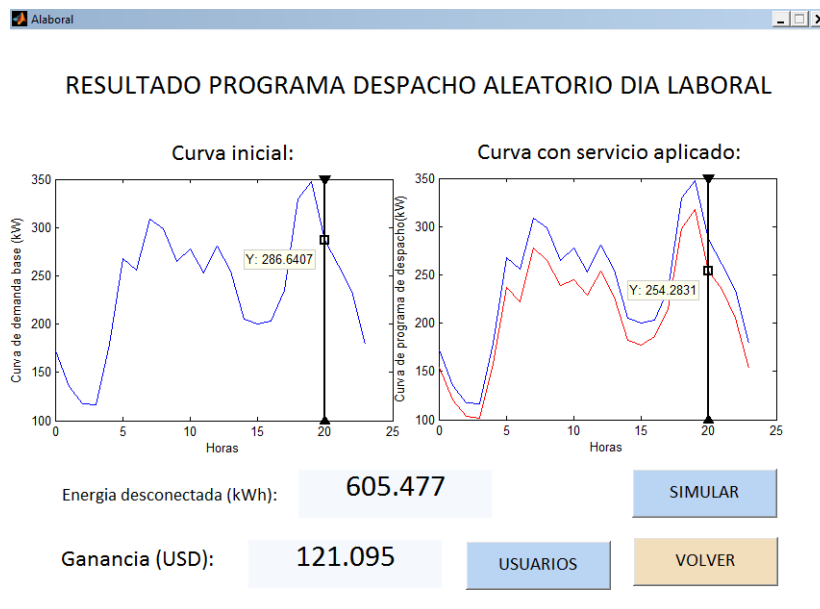


Figura 11. Resultado programa despacho aleatorio día laboral (Fuente: Autor).

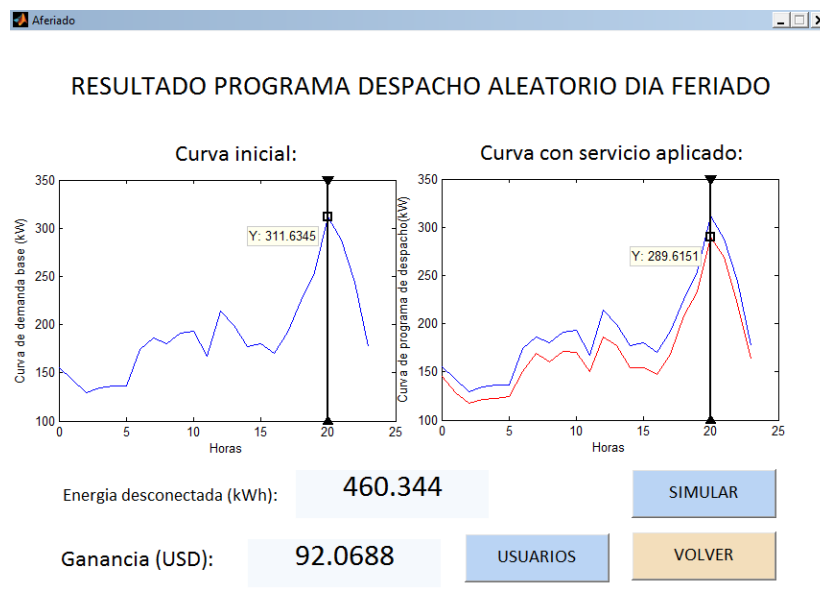


Figura 12. Resultado programa despacho aleatorio día feriado (Fuente: Autor).

En el programa despacho de desconexión no aleatorio se observa en la Figura 13 y en la Figura 14, una energía desconectada para el día laboral de 457,844 kWh, valorada por precio de bolsa en 91,5687 USD y para el día feriado una energía desconectada de 412,199 kWh, valorada por precio de bolsa en 82,4398 USD, se observa aplanamiento de la curva de demanda, especialmente en los picos principales.

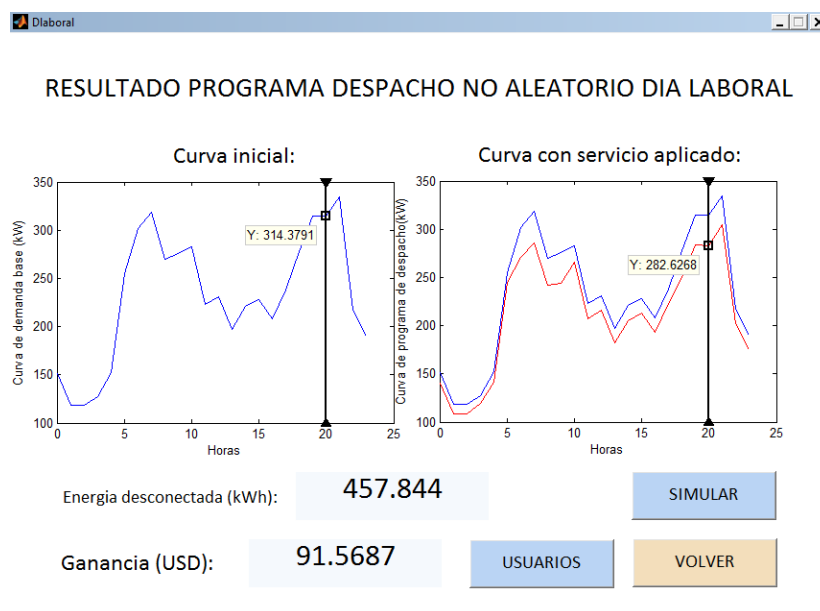


Figura 13. Resultado programa despacho no aleatorio día laboral (Fuente: Autor).

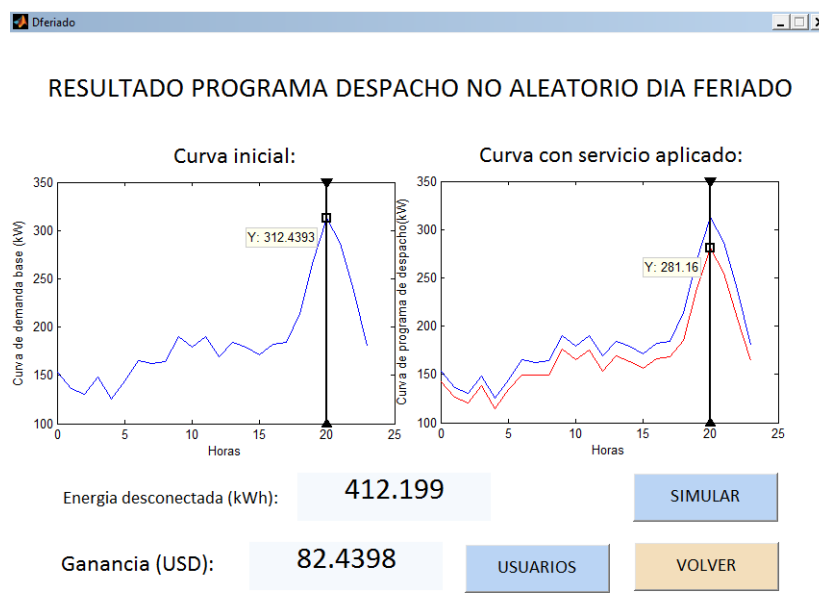


Figura 14. Resultado programa despacho no aleatorio día feriado (Fuente: Autor).

Por medio de esta aplicación se obtienen los resultados virtuales de un agregador con mil usuarios residenciales basado en incentivos y se simula los resultados técnicos y financieros, al aplica la “RD” en mercados de capacidad y despacho, Este aplicativo se basa en lo planteado en los capítulos 4 y 5. Con base a estos resultados se hace un análisis de resultados desde la perspectiva del agregador, ya que el aplicativo solo fue una herramienta o un medio para solidificar lo propuesto.

6.4. Estudio financiero

Con los datos del caso de estudio se obtienen los ingresos diarios del agregador se pretende realizar un flujo de caja para lo cual se plantea una vida útil de 20 años, valor que se toma como referencia según la vida útil de proyectos eólicos (Roper, 2017) y fotovoltaicos (Greendipity, 2016), ya que los agregadores hasta ahora están surgiendo en el contexto global; Se espera obtener TIR mayores a 15% dado que esté es el TIO recomendado para invertir (Peña, 2015); ya que el dinero tiene valor a través del tiempo y se calculan únicamente ingresos y egresos para el primer año, se tiene en

cuenta para los demás años el ajuste del IPC valorado en promedio para Colombia en 4% (Datosmacro, 2017); dado a que el centro de comercio principal de negocios de Bogotá se encuentra en chapinero se consulta a una empresa de avalúos (Camalonjas, 2017) ¿cuánto puede costar un arriendo mensual de una oficina de 42 mt²?, asignando un valor de \$2500000 mensuales, pasado en dólares da un aproximado de 843 USD; Además de consultar qué valor se asigna a AOM (Administración, Operación y Mantenimiento) en los proyecto dando un valor anual del 15% de valor total del proyecto (Camalonjas, 2017); Por ultimo como el caso de estudio se abordó con dólar a 3000\$, se asigna este valor también al estudio financiero.

Ahora teniendo en cuenta que se plantean las condiciones para aplicar el flujo de caja queda pendiente el valor de inversión del proyecto, para esto se consulta cuanto puede costar el centro de control (Servidor, Ordenador, 2 pantallas de 70" y dos escritorios), un aplicativo celular y un software SCADA, todo lo anterior para el manejo de información bidireccional con mil usuarios, estas inversiones funcionan como una economía a escala, por tanto si se logra tener una mayor cantidad de usuarios estos costes tienden a reducir.

El centro de control requiere de un servidor el cual tiene un costo en el mercado de 7500 USD (JohnSeb, 2010) con una vida útil de 5 años, por tanto termina valiendo 30000 USD; se consulta un ordenador de escritorio con memoria RAM de 16 GB y un procesador CORE i7 valorado en 1130 USD (Mercadolibre, Torre I7 7700 + 16 Gb De Ram + Ssd 240 Gb + 1 Tb + Inwin 303 , 2017); 2 SMART TV valorado cada uno en 1334 USD (Mercadolibre, Gangazo Smart Tv + 3d 70 Pulgadas Lg, 2017); dando como resultado 2667 UD ; 2 escritorios valorados en 194 USD (Mercadolibre, Combo Escritorio En L + Silla Ejecutiva Con Brazos, 2017), Todo lo anterior suma 33990 USD y es el valor del **centro de control**, el software SCADA que permite el manejo a tiempo real de mil usuarios, se consulta el sistema The works plus, que tiene un valor de 15400

USD (Tecnoingenieria, 2017) y para la aplicación móvil se tomó como referencia la aplicación pregoneros, la cual es una aplicación turística a nivel regional del Tolima, por tanto está diseñada para más de mil usuarios y tiene un valor en dólares en 5772 USD; los costos indirectos se valoran en 30% (atlantico, 2013) y se suman al centro de control, software SCADA y aplicación, dando un valor de 16578 USD, el proyecto total tiene un valor de 71711.25 USD.

La inversión es de 71711.25 USD y el egreso anual es la suma del arriendo mensual multiplicada por 12, más el 15% del total de la inversión dando un total de 20756 USD, el cual se debe ajustar año a año con el IPC, para los ingresos se tiene en cuenta las ganancias diarias y se multiplican por los números de días (Laborales y feriados) del año para obtener la ganancia anual, el cual se ajusta año a año con el IPC y es diferente según el programa aplicado.

La Figura 15 muestra el flujo de caja del programa control de picos principales, cuya TIR es del 17%.

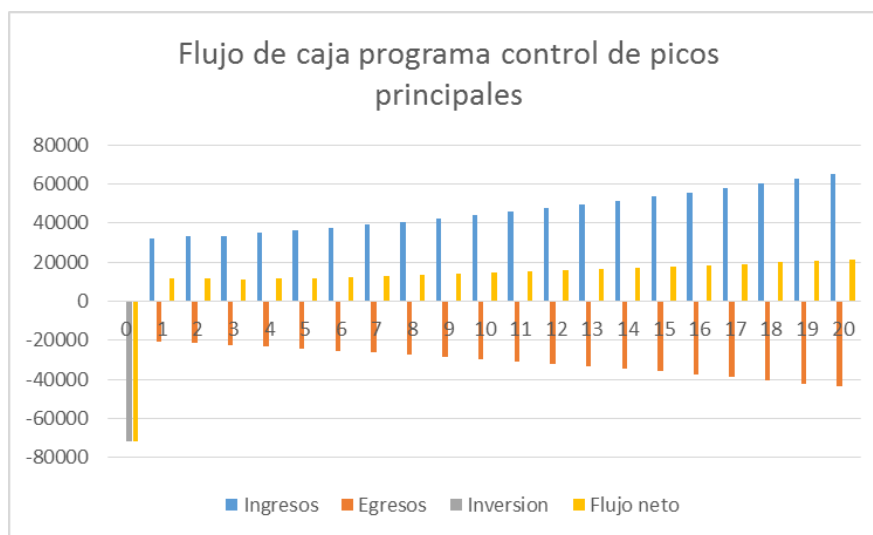


Figura 15. Flujo de caja programa control de picos principales (Fuente: Autor)

La Figura 16 muestra el flujo de caja del programa control total de picos, cuya TIR es del 10%, por tanto no supera el TIO propuesto.

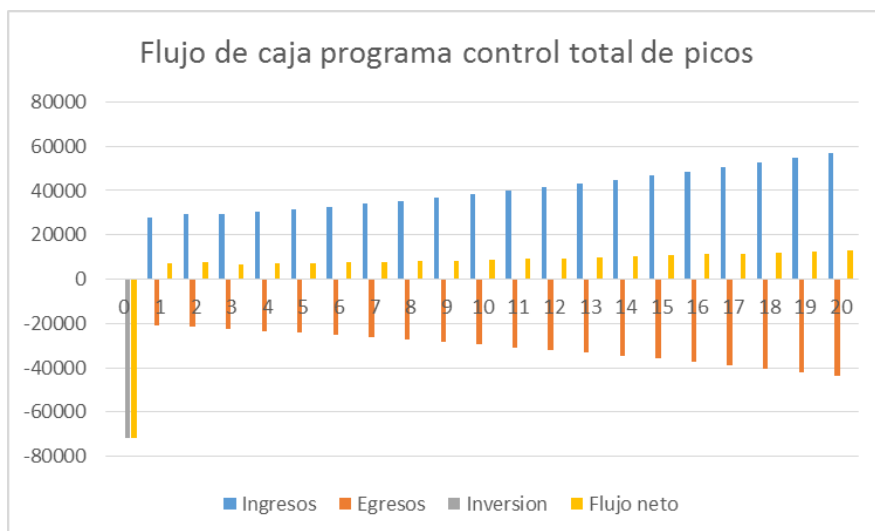


Figura 16. Flujo de caja programa control total de picos (Fuente: Autor)

La Figura 17 muestra el flujo de caja del programa despacho de desconexión aleatorio, cuya TIR es del 29%.

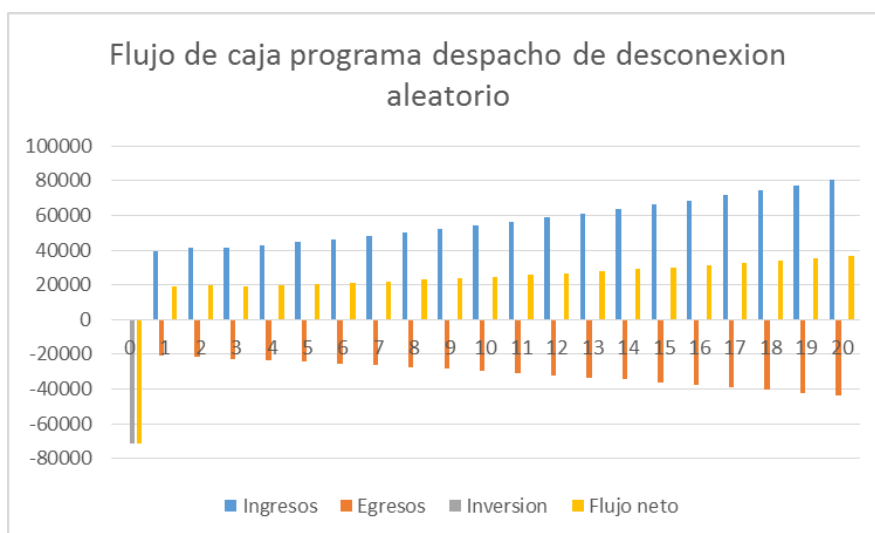


Figura 17. Flujo de caja programa despacho de desconexión aleatorio (Fuente: Autor).

La Figura 18 muestra el flujo de caja del programa despacho de desconexión no aleatorio, cuya TIR es del 17%.

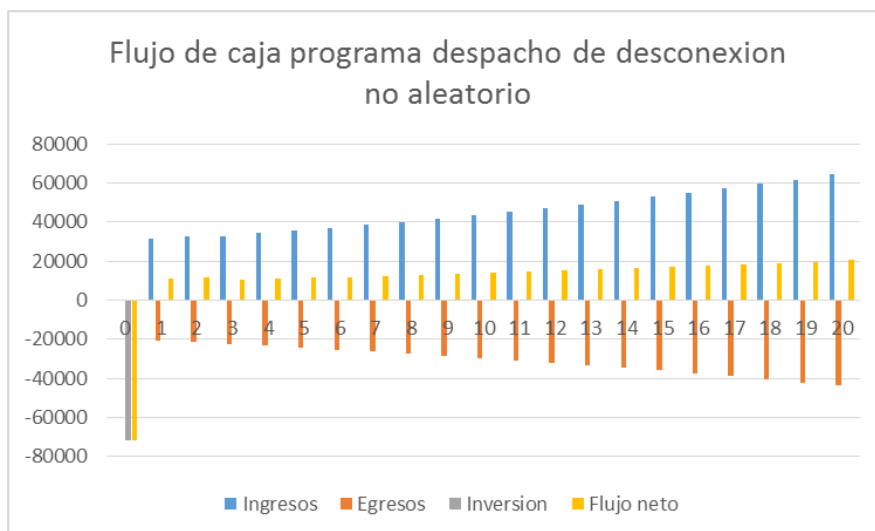


Figura 18. Flujo de caja programa despacho de desconexión no aleatorio (Fuente: Autor).

A nivel general, en términos financieros, el programa de despacho de desconexión es el más favorable con una TIR de 29% y el más desfavorable en términos financieros es el programa de control total de picos con una TIR del 10%.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los mecanismos de RD residencial en Colombia no han sido explotados, lo cual representa un mercado nuevo, en el que se puede obtener beneficios económicos y energéticos, para entes públicos y privados. En la realidad colombiana solo ha sido planteada mecanismos de RD en las grandes industrias en la resolución 063 del 2010, la cual solo es un inicio para la integración de la “RD” en nuestro país, el presente documento plantea 3 mecanismos de RD en el sector residencial y las reglas para que existan agregadores que puedan aprovechar financieramente estos mecanismos.

Se realizan estrategias para remunerar los diferentes programas de RD de un agregador en Colombia por medio del precio de bolsa (Mercado de despacho energético) y por medio del precio de escasez (Mercado de capacidad), además de estrategias complementarias la remuneración de los usuarios por medio de diferentes incentivos (Descuento en el recibo, Pagos directos por medio de la factura y Subsidios en el recibo).

Se observa en el programa control de picos principales la reducción de los picos de forma parcial, pero a costa de la participación obligatoria de todos los usuarios y además no reduce otros picos del sistema y en el programa de control total de picos se logra la reducción de todos los picos del sistema logrando buenas tasas de desconexiones, aunque para los días feriados, por la ausencia de picos, se obtiene la menor tasa de desconexión (262.292 kWh), a comparación de los otros programas.

En los programas de despacho se presenta la mayor desconexión (día laboral: 605.477 kWh, día feriado: 460.344 kWh) en la modalidad aleatoria, aunque es más cercano al despacho real la modalidad no aleatoria, la reducción de la curva en despacho es total, por tanto, no es la mejor

solución desde el punto de vista de picos energéticos y además se deberían cambiar reglas de juego, para que exista en la realidad colombiana el modelo de despacho aleatorio propuesto.

El programa de control total de picos no supero el TIO propuesto del 15%, su TIR es de apenas 10%, aunque en el caso de estudio era el que mejor efecto tenía en la curva de demanda queda descartado por no cumplir los criterios financieros propuestos, en cambio el programa de despacho desconexión no aleatorio consiguió una TIR del 29%, siendo la más rentable desde el punto de vista financiero, aunque no solucionaría el problema de los picos de demanda, puede ser un buen inicio para empezar a aplicar programas de respuesta de la demanda en Colombia.

El programa de control de picos principales en cuanto a resultados demuestra que soluciona el problema de las demandas máximas principales, pero a costa de la comodidad del usuario, al no darle oportunidad de participación voluntaria, su TIR es del 17%, el programa de despacho no aleatorio, con unas buenas ofertas logra conseguir el equilibrio entre disminución de picos del sistema y una adecuada TIR 17 %, pero no es tan atractivo financieramente como el despacho aleatorio (TIR 29%).

CONCLUSIONES

Se plantea la estructura del agregador por incentivos para el sector residencial (Condiciones, Características y servicios) de forma técnica, operativa y financiera, tomando de referencias normativas como la resolución 063 del 2010 (Resolución de respuesta de la demanda para el sector industrial), además de diferentes características del mercado de despacho en Colombia y la consulta realizada a nivel internacional, se logra la base de un agregador que puede integrarse a la realidad colombiana, por iniciativa pública, privada o conjunta.

El agregador que se plantea oferta 3 programas diferentes (Control de picos principales, Control total de picos, Despacho de desconexión), el presente trabajo logra establecer la remuneración del agregador por cada uno de estos servicios por medio del precio de escasez “para el mercado de capacidad” y bolsa “para el mercado de despacho” participantes en los mercados de capacidad y despacho, así mismo se plantea propuesta para incentivar a los usuarios a participar en los diferentes programas de RD por medio de más subsidios y menos contribuciones (Para el programa control de picos principales), Descuentos en la tarifa (Para el programa de control total de picos) y pagos directos en la tarifa (Para el programa de despacho de desconexión), estableciendo contratos bilaterales entre los usuarios y el agregador.

Según los análisis de resultados, desde el punto de vista técnico el mejor servicio propuesto es el programa de control total de picos, pero debido a que es un plan con participación obligatoria queda descartado, quedando como segundo lugar el programa control de picos principales el cual logra disminuir todos los picos del sistema, aunque en menor porcentaje al programa anterior, no obstante, financieramente este programa no es viable ya que reporta la TIR más baja. Desde el punto de vista financiero el programa que reporta mayores ganancias es el de despacho de desconexión aleatorio, pero no soluciona el problema de picos del sistema por tanto no satisface

de forma técnica. El programa que mejor se ajusta a los criterios técnicos y financieros es el programa despacho de desconexión no aleatorio ya que logra disminuir los picos del sistema y a la vez presenta una TIR mayor al 15%.

Se evidencio en los resultados obtenidos de las simulaciones y el flujo de caja, la viabilidad técnica y financiera de los programas propuesto para el agregador, demostrando que, si se logra crear la innovadora figura de agregador para la “RD” residencial basado en incentivos, el país tendría un recurso energético de apoyo en momentos de escasez y para el control de la curva de demanda y sus picos., además de una nueva fuente de ingresos para los usuarios.

RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Como futuros trabajos se propone agregar más programas de RD al aplicativo como por ejemplo la generación distribuida y la desconexión del sistema en horas en las que el sistema se encuentre en estado de emergencia, además de modelos de optimización para una red compuesta por varios agregadores.

También se plantea realizar aplicativos y propuestas para diferentes sectores al residencial como los son el comercial y el industrial, donde se prueben los mismos servicios planteados en el presente trabajo y así poder comparar los diferentes resultados, de esta forma poder proponer diferentes tipos de agregadores de respuesta de la demanda.

Se deben buscar estrategias económicas y financieras para sustentar la estructura del agregador, usuarios y los servicios ofrecidos, además de establecer un nuevo sistema de subsidios y contribuciones que permite la integración de la respuesta de la demanda, ya que los planteados actualmente no buscan incentivar la eficiencia energética y esta normativa esta desactualizada (Ver: Capítulo 5).

Se propone realizar un estudio de factibilidad para la implementación real en el sector eléctrico colombiano de un agregador de respuesta de la demanda residencial basado en incentivos.

Se recomienda enlazar el aplicativo desarrollado con una plataforma virtual que permita a los usuarios ingresar los datos y realizar flujos de potencia que represente el comportamiento de los usuarios conectados al agregador para obtener resultados y conclusiones técnicas para complementar el trabajo.

Se recomienda que el sector de regulación energético del país adapte la normativa necesaria para permitir la integración de la respuesta de la demanda al sector bajo la premisa “El kWh más barato es el no generado”.

Para lograr que los usuarios de estratos bajos 1, 2 y 3 logren participar en agregadores de respuesta de la demanda se recomienda que primero se estudie la viabilidad de proyecto y si en términos energéticos ayuda al sistema se establezcan planes de subsidio y préstamo.

Se recomienda crear empresas que regulen e incentiven la creación de agregadores los cuales puedan contar con todos los recursos energéticos distribuidos, para así dar una cartilla de soluciones energéticas completa para las diferentes necesidades del país.

APORTES

El desarrollo del proyecto está orientado a impulsar la participación de la respuesta de la demanda, siendo una propuesta para integrar este proceso a la realidad del país, para que, por medio de la desconexión de demanda, se logre tener un recurso más de capacidad y energía en momentos en que el sistema de potencia colombiano lo requiera. Lo anterior genera aportes en la búsqueda de sistemas eléctricos más participativos con los usuarios, de forma que ellos puedan sentir el valor real de la energía y puedan obtener ganancia por medio de la figura de “Agregador” desconectando su demanda de forma voluntaria obteniendo así sistemas más confiables, seguros y eficientes para el desarrollo de un sistema de potencia que logre integrar bidireccionalmente a los usuarios y al operador.

El concepto de “Agregador” se ha venido desarrollando hace varios años en Colombia y con el desarrollo realizado en este proyecto (Donde se propone y simula 3 programas de respuesta de la demanda), se muestra un sistema de gestión que permita modelar los resultados financieros y energéticos de mil usuarios bajo diferentes condiciones de participación.

El objetivo general del proyecto es proponer un Agregador de respuesta de la demanda basado en incentivos para usuarios residenciales. De los resultados y el análisis derivados de la investigación, se concluyó que la respuesta de la demanda era rentable económicamente y viable técnicamente, logrando obtener curvas de demanda sin picos, lo que genera un impacto netamente positivo en la operación del sistema de energía nacional. Lo anterior demuestra que la figura del Agregador es viable en Colombia en el sector residencial y que se debe apoyar actualizando e integrándola a la normativa actual, lo cual permitirá una participación bidireccional y más activa de los usuarios y el operador por intermedio de la figura del “Agregador”, en pro un más completo servicio eléctrico.

Sin duda el proyecto realizado aporta al campo de investigación de la respuesta de la demanda, ya que se demuestra por medio de las simulaciones que los programas de RD propuestos son viables, lo que es un gran paso para la integración de este recurso energéticos distribuidos en los sistemas eléctricos actuales en Colombia, en áreas como Energías renovables, Sistemas de potencia, Redes inteligentes, Mercados de capacidad y despacho, Optimización, análisis económicos, entre muchos otros que se pueden incorporar a los elementos y aspectos tratados en este proyecto, que permitirán un análisis más preciso enfocado al desarrollo confiable de la respuesta de la demanda y sus derivados en la participación en los sistemas eléctricos actuales.

Derivados del proyecto realizado, se desarrollaron dos artículos: “SIMULADOR DE RESPUESTA DE LA DEMANDA BASADO EN INCENTIVOS” propuesto a la revista ingenierías en la universidad de Medellín (UDEM) y “TENDENCIAS ACTUALES Y FUTURAS DE LA RESPUESTA DE LA DEMANDA” propuesto a la revista información tecnológica de Chile. Actualmente estos artículos están en proceso de presentación a revistas, además se realizó un Aplicativo de RD y se cuenta con el certificado de derechos de autor.

Bibliografía

- Aalami, H. A., Khodaei, J., & Fard, M. (2011). *Economical and technical evaluation of implementation mandatory demand response programs on Iranian power system*. IEEE.
- Abhilash, V., & Vajjala, H. (2016). *A Novel Solution to Use Big Data Technologies and Improve Demand Response Program in Aggregated Residential Houses*. IEEE.
- Adeel Abbas, Z., Friederech, K., Tehseen, Z., & Peter, P. (2010). *Load recognition for automated demand response in microgrids*. IEEE.
- Agudelo, L., Velilla, E., & Lopez, J. (2014). *Estimación de la Carga de Transformadores de Potencia Utilizando una Red Neuronal Artificial*. Medellin: GIMEL, Universidad de antioquia.
- Ahmed, M., Mohamed, A., Shareef, H., Homod, R., & Abd, J. (2016). *Artificial Neural Network Based Controller for Home Energy Management Considering Demand Response Events*. IEEE.
- Alharbi, W., & Bhattacharya, K. (2013). *Demand Response and Energy Storage in MV Islanded Microgrids for High Penetration of Renewables*. IEEE.
- Aman, S., Frincu, M., Chelms, C., Noor, M., Simmhan, Y., & Prasanna, V. (2015). *Prediction Models for Dynamic Demand Response*. IEEE.
- Andreou's, G., Symeonidis, A., Diou, C., Mitkas, P., & Labridis, D. (2012). *A framework for the implementation of large scale demand response*. IEEE.
- Anil, M., Arigoni, R., Shailendra, M., & Benoit, T. (2009). *Analysis of tax incentives for energy-efficient durables in the EU*. Elsevier.
- Anthony, P., Haitham, H., & Greene, D. (2010). *Market-based control mechanisms for electric power demand response*. IEEE.
- Arias Barragan, L. A. (2017). *AGREGADORES DE RESPUESTA DE LA DEMANDA POR INCENTIVOS UNA EXPERIENCIA PRÁCTICA DE SU MODELAMIENTO MATEMÁTICO*. Bogota: Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas.
- Arora, M., & Chanana, S. (2014). *Residential Demand Response from PV Panel and Energy Storage Device*. IEEE.
- atlantico, G. d. (2013). *LICITACION PUBLICA No. SINP - 024 DE 2013, Presupuesto*. Atlantico: Gobernacion del atlantico.
- Babar, M., Ahamed, T., Al-Ammar, E., & Shah, A. (2013). *A Novel Algorithm for Demand Reduction Bid based Incentive Program in Direct Load Control*. Science Direct.
- Bahrami, S., & Wong, V. (2015). *An Autonomous Demand Response Program in Smart Grid with Foresighted Users*. IEEE.
- Bao, Y., & Li, Y. (2014). *Optimal Design of Demand Response in Load Frequency Control*. IEEE.
- Barrato Callejas, P. (2010). *Implementación de un programa de respuesta de la demanda de energía eléctrica en un mercado de clientes no regulados en Colombia*. Bogota: Universidad Javeriana.
- Barreto, C., Mojica Nava, E., & Quijano, N. (2013). *Design of Mechanisms for Demand Response Programs*. IEEE.
- Bhattarai, Jensen, B., & Mahat, P. (2013). *Hierarchical Control Architecture for Demand Response in Smart Grids*. IEEE.
- Bi, Y., & Jamalipour, A. (2012). *Two-phase demand response based on privacy-preserving billing for smart grid*. IEEE.

- Borne, O., Korte, K., Perez, Y., Petit, M., & Purkus, A. (2018). *Barriers to entry in frequency-regulation services markets: Review of the status quo and options for improvements*. Science Direct.
- Bouckaert, S., Mazauric, V., & Maïzi, N. (2014). *Expanding renewable energy by implementing Demand Response*. Science Direct.
- Cailian, G., Li, L., Tieván, Z., & Yang, Z. (2012). *Demand response model and impact studies based on bidirectional interactive of information and electrical energy*. IEEE.
- Camalónjas, N. (2017). *Costo de arrendamiento de diferentes partes de Bogotá*. Bogotá: Camalónjas Nacional.
- Caramanis, M., & Foster, J. (2011). *Uniform and complex bids for demand response and wind generation scheduling in multi-period linked transmission and distribution markets*. IEEE.
- Castellanos, L., & Lopez, S. (2016). *Evaluación del aplanamiento de la curva de demanda estrato (4) de la ciudad de Bogotá por medio de programas de respuesta a la demanda caso de estudio: 100 usuarios con acceso a generación distribuida*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Chandira Prabhu, T. T., Sankara N, S., Githanjali, V., & Sindhu, S. (2011). *Demand Response: A Decisive Approach for*. India: IEEE.
- Chaney, J., Owens, E., & Peacock, A. (2016). *An evidence based approach to determining residential occupancy and its role in demand response management*. Science Direct.
- Chen, H., Wang, Z., Yan, H., Zou, H., & Luo, B. (2015). *Integrated Planning of Distribution Systems with Distributed Generation and Demand Side Response*. Science Direct.
- Chen, Q., Wang, F., Hodge, B.-M., Zhang, J., Li, Z., Shafie-khah, M., & Catalao, J. (2017). *Dynamic Price Vector Formation Model Based Automatic Demand Response Strategy for PV-assisted EV Charging Stations*. IEEE.
- Cheng, Y., & An, S. (2012). *Demand Response Mechanism and Simulation Research of Cold Storage Air Conditioner Supporting Consumption of the Onshore Wind Power*. IEEE.
- Cheng, Y., Dong, N., & Ren, Y. (2011). *Investigation on electric load peak and valley characters and demand response evaluation based on spectral analysis*. IEEE.
- Christakou, K. (2016). *A unified control strategy for active distribution networks via demand response and distributed energy storage systems*. Science Direct.
- Christantoni, D., Flynn, D., & Finn, D. (2015). *Modelling of a Multi-purpose Commercial Building for Demand Response Analysis*. Science Direct.
- Código civil Colombiano. (2017). *Artículo 1496. Contrato unilateral y bilateral*. Bogotá D.C.: Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. .
- CREG "Características generales del mercado mayorista". (2017). *Características generales del mercado mayorista*. Cargo por confiabilidad CREG. Obtenido de http://www.creg.gov.co/cxc/secciones/mercado_mayorista/bolsa.htm
- CREG "Resolución 071". (2006). *Resolución 071 de 2006*. Bogotá: CREG.
- CREG "Resolución 079". (1997). *Tarifa de servicio público*. Bogotá D.C.: CREG.
- Croce, D., Giuliano, F., Tinnirello, I., Galatioto, A., Bonomolo, M., Beccali, M., & Zizzo, G. (2017). *Overgrid: A Fully Distributed Demand Response Architecture Based on Overlay Networks*. IEEE.
- Cui, T., Carr, J., Brissette, A., & Ragaini, E. (2017). *Connecting the Last Mile: Demand Response in Smart Buildings*. Science Direct.
- D oca, S., Hong, T., & Langevin, J. (2018). *The human dimensions of energy use in buildings: A review*. Science Direct.

- Datosmacro. (2017). *IPC Colombia*. Datosmacro. Obtenido de <http://www.datosmacro.com/ipc-paises/colombia>
- Del Rosso, A., & Ghia, A. (s.f.). *Análisis de respuesta de la demanda para mejorar la eficiencia de sistemas eléctricos*. Buenos Aires: FODECO.
- Domenech, J., Eveleigh, T., & Tanju, B. (2018). *Marine Hydrokinetic (MHK) systems: Using systems thinking in resource characterization and estimating costs for the practical harvest of electricity from tidal currents*. Science Direct.
- Dominguez -Garcia, A. D., & Hadjicostis, C. (2011). *Distributed algorithms for control of demand response and distributed energy resources*. IEEE.
- Duy, T. N., Negnevitsky, M., & de Groot, M. (2010). *A comprehensive approach to demand response in restructured power systems*. IEEE.
- Eduardo, A., Juan, Z., Jairo, N., Ricardo, R., Tito, Y., & Juan, G. (2013). *Análisis de la situación energética de Bogotá y Cundinamarca*. Bogota: Fedesarrollo.
- Eid, C., Koliou, E., Valles, M., Raneses, J., & Hakvoort, R. (2016). *Time-based pricing and electricity demand response: Existing barriers and next steps*. Science Direct.
- Fell, M., Shipworth, D., Huebner, G., & Elwell, C. (2015). *Public acceptability of domestic demand-side response in Great Britain: The role of automation and direct load control*. Science Direct.
- Frauke, O., Andreas, U., Manfred, M., & Goran, A. (2011). *Building control and storage management with dynamic tariffs for shaping demand response*. IEEE.
- Gadham, K. (2016). *Design of Incentive price for Voluntary Demand Response Programs using Fuzzy System*. IEEE.
- Gatsis, N., & Giannakis, G. (2011). *Residential demand response with interruptible tasks: duality and algorithms*. IEEE.
- Gavgani, M., Abedi, M., Karimi, F., Reza, M., & Hamohammadi, A. (2014). *Demand Response-Based Voltage Security Improvement Using Artificial Neural Networks and Sensitivity Analysis*. IEEE.
- Gitizadeh, M., Farhadi, S., & Safarloo, S. (2014). *Multi-objective Energy Management of CHP-based Microgrid Considering Demand Response Programs*. IEEE.
- Gonzalez, R. (2012). *¿QUÉ ES LA EFICIENCIA ENERGÉTICA?* España: twenergy. Obtenido de <https://twenergy.com/a/que-es-la-eficiencia-energetica-39>
- Goy, S., & Finn, D. (2015). *Estimating demand response potential in building clusters*. Science Direct.
- Goyall, V., Iyengar, G., & Qiu, Z. (2013). *Near-Optimal Execution Policies for Demand-Response Contracts in Electricity Markets*. IEEE.
- Greendipity. (2016). *¿CUÁNTO DURA UN SISTEMA FOTOVOLTAICO?* Greendipity. Obtenido de <https://www.greendipity.co/cuanto-dura-un-sistema-fotovoltaico/>
- Gregori, M., Matamoros, J., & Gregoratti, D. (2016). *Demand response aggregators in microgrid energy trading*. IEEE.
- Grunewald, P., & Torriti, J. (2012). *Demand response a different form of distributed storage?* IEEE.
- Hreinsson, K., Scaglione, A., & Vittal, V. (2016). *Aggregate load models for demand response: exploring flexibility*. IEEE.
- Huang, H., Cai, Y., Xu, H., & Yu, H. (2017). *A Multiagent Minority-Game-Based Demand-Response Management of Smart Buildings Toward Peak Load Reduction*. IEEE.

- Huang, L., Walrand, J., & Ramchandran, K. (2012). *Optimal demand response with energy storage*. IEEE.
- Huang, S., Infield, D., Cruden, A., Frame, D., & Densley, D. (2013). *Plug-in Electric Vehicles as Demand Response to Absorb Local Wind Generation in Power Distribution Network*. IEEE.
- Hussain, I., Mohsin, S., Basit, A., Khan, Z., Qasim, U., & Javaid, N. (2015). *A Review on Demand Response: Pricing, Optimization, and Appliance Scheduling*. Science Direct.
- Ibrahim, C., Mougharbel, I., Daher, N., Kanaan, H., Saad, M., & Georges, S. (2017). *A Novel Generic Architecture for the Implementation of Demand Response Programs in a Smart Grid*. IEEE.
- In- Ho, C., & Joung, H. (2010). *Development of smart controller with demand response for AMI connection*. IEEE.
- Jain, M., Chandan, V., Minou, M., Thanos, G., Wijava, T., Lind, A., & Gylling, A. (2015). *Methodologies for Effective Demand Response Messaging*. IEEE.
- Jean-Yves, L. B., & Dan- Cristian, T. (2011). *Demand response using service curves*. IEEE.
- Jia, L., & Tong, L. (2013). *Day Ahead Dynamic Pricing for Demand Response in Dynamic Environments*. IEEE.
- Jin , X., Jae Yoon, C., Jian, L., Raouf, B., & James Won-Ki, H. (2010). *Near optimal demand-side energy management under real-time demand-response pricing*. IEEE.
- Jla, X., Xia, Q., & Chen, Q. (2012). *Piecewise price mechanism to induce demand response in smart grid*. IEEE.
- JohnSeb, t. &. (2010). *El coste del servidor en la pyme: conclusiones*. Mexico: Pymes y Times. Obtenido de <https://www.pymesyautonomos.com/tecnologia/el-coste-del-servidor-en-la-pyme-conclusiones>
- Kakran, S., & Chanana, S. (2018). *Smart operations of smart grids integrated with distributed generation: A review*. Science Direct.
- Karanjit, K., Chassin, F., & Chassin, D. (2011). *Aggregated modeling of thermostatic loads in demand response: a systems and control perspective*. IEEE.
- Khezeli, K., & Bitar, E. (2017). *Risk-Sensitive Learning and Pricing for Demand Response*. IEEE.
- Khomami, H., & Javidi, M. (2013). *An Efficient Home Energy Management System for Automated Residential Demand Response*. IEEE.
- Klaasen, E., Van Gerwen, R., Frunt, J., & Slootweg, J. (2017). *A methodology to assess demand response benefits from a system perspective: A Dutch case study*. Science Direct.
- Klaassen, E., Kobus, C., Frunt, J., & Slootweg, J. (2016). *Responsiveness of residential electricity demand to dynamic tariffs: Experiences from a large field test in the Netherlands*. Science Direct.
- Koh, J., & Hodges, J. (2017). *Information Mediator for Demand Response in Electrical Grids and Buildings*. IEEE.
- Kokos, I., & Lamprinos, I. (2016). *Demand response strategy for optimal formulation of flexibility services*. IEEE.
- Kumar, K., & Tseng, K. (2016). *Impact of demand response management on chargeability of electric Vehicles*. Science Direct.
- Kuroda , K., Ichimura, T., & Yokoyama, R. (2012). *An effective evaluation approach of demand response programs for residential side*. IEEE.
- Lauro Fiorella, Moretti, F., Capozzoli, A., & Panzieri, S. (2015). *Model predictive control for building active demand response Systems*. Science Direct.

- Lee, Y., Horesh, R., & Liberti, L. (2015). *Optimal HVAC control as demand response with on-site energy storage and generation system*. Science Direct.
- Leithon, J., Lim, T., & Sun, S. (2017). *Online Demand Response Strategies for Non-Deferrable Loads with Renewable Energy*. IEEE.
- Li, N., Chen, L., & Low, S. (2012). *Demand response in radial distribution networks: distributed algorithm*. IEEE.
- Libin, J., & Low, S. (2011). *Multi-period optimal energy procurement and demand response in smart grid with uncertain supply*. IEEE.
- Lindberg, C., Lindkvist, K. Z., Solgi, M., & Rickard. (2014). *Potential and limitations for industrial demand side Management*. Science Direct.
- Lit, H., Liang, X., Lu, R., Lin, X., & Shen, X. (2012). *EDR: An efficient demand response scheme for achieving forward secrecy in smart grid*. IEEE.
- Liu, B., & Wei, Q. (2013). *Home Energy Control Algorithm Research Based on Demand Response Programs and User Comfort*. IEEE.
- Liu, S., Chen, C., & Duan, W. (2012). *The research on technology of periodic stopping of central air conditioning based on modelling and simulation of demand response*. IEEE.
- Luo, X., Lee, C., Ma, W., Yan, S., Chaudhuri, B., & Yuen, R. (2017). *Use of Adaptive Thermal Storage System as Smart Load for Voltage Control and Demand Response*. IEEE.
- Ma, K., Hu, G., & Spanos, C. (2014). *Cooperative Demand Response Using Repeated Game for Price-Anticipating Buildings in Smart Grid*. IEEE.
- MacDougall, P., Cor, W., & Kok, K. (2011). *Mitigation of wind power fluctuations by intelligent response of demand and distributed generation*. IEEE.
- Mackey, K., McCann, R., Rahman, K., & Winkelman, R. (2013). *Evaluation of a Battery Energy Storage System for Coordination of Demand Response and Renewable Energy Resources*. IEEE.
- Mahoor, M., Iravani, N., Salamati, M., Aghabali, A., & Rahimi Kian, A. (2013). *Smart energy management for a micro-grid with consideration of demand response plans*. IEEE.
- Martinez Pabon, M., Eveleigh, T., & Tanju, B. (2017). *Smart meter data analytics for optimal customer selection in demand response programs*. Science Direct.
- Marulanda, G. (2014). *Impacto de un programa de respuesta de la demanda electrica en el sector de gas natural*. Pereira: Universidad Tecnologica de pereira.
- Mathieu, J., Callaway, D., & Kiliccote, S. (2011). *Examining uncertainty in demand response baseline models and variability in automated responses to dynamic pricing*. IEEE.
- Matsumoto, J., & Wende, Z. (2013). *New Demand Response Architecture for Stabilization of Power Quality in Smart Grid*. IEEE.
- Md., Z., & Syed, I. (2010). *Home rea network technology assessment for demand response in smart grid environment*. IEEE.
- Mehdi, E., Tapan, K. S., & Nadali, M. K. (2011). *Utilizing demand response programs in day ahead generation scheduling for micro-grids with renewable sources*. IEEE.
- Menniti, D., Burgio, A., Pinnarelli, A., Brusco, G., Member, & Sorrentino. (2013). *Demand response program implementation in an energy district of domestic prosumers*. IEEE.
- Mercadolibre. (2017). *Combo Escritorio En L + Silla Ejecutiva Con Brazos*. Itagui: Mercadolibre. Obtenido de https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-452492220-combo-escritorio-en-l-silla-ejecutiva-con-brazos-_JM

- Mercadolibre. (2017). *Gangazo Smart Tv + 3d 70 Pulgadas Lg*. Bogota: Mercadolibre. Obtenido de https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-453103368-gangazo-smart-tv-3d-70-pulgadas-lg-_JM
- Mercadolibre. (2017). *Torre I7 7700 + 16 Gb De Ram + Ssd 240 Gb + 1 Tb + Inwin 303*. Bogota: Mercadolibre. Obtenido de https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-452697447-torre-i7-7700-16-gb-de-ram-ssd-240-gb-1-tb-inwin-303-_JM
- Minchala Avila, L., Armijos, J., Pesántez, D., & Zhang, Y. (2016). *Design and Implementation of a Smart Meter with Demand Response Capabilities*. Science Direct.
- Ministerio de minas y energia. (2016). *Apagar paga*. Bogota D.C.: Ministerio de minas y energia.
- Minou, M., Stamoulis, G., Thanos, G., & Chandan, V. (2015). *Incentives and targeting policies for automated demand response contracts*. IEEE.
- Moghadam, A., Saebi, J., Javidi, H., & Bayaz, D. (2015). *Stochastic Optimization of Demand Response Aggregators in Wholesale Electricity Markets*. IEEE.
- Moran, M., & Ramirez, B. (2015). *MODELAMIENTO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN GUAYAQUIL A LO LARGO DEL TIEMPO, ZONAS Y GRUPOS*. Quito: ESPOL.
- Mossaddegh, A., Cañizares, C., & Bhattacharya, K. (2017). *Optimal Demand Response for Distribution Feeders with Existing Smart Loads*. IEEE.
- Muhammad, M., Abdullah, & Barry, D. (2010). *Demand-side energy management performed using direct feedback via mobile systems: enables utilities to deploy consumer based demand response programs*. IEEE.
- Murthy, B., Vedanta, P., S.A , K., & R.M, S. (2011). *Review of Demand Response under Smart Grid paradigm*. IEEE.
- Murthy, N. (2012). *Energy-agile laptops: demand response of mobile plug loads using sensor/actuator networks*. IEEE.
- Nazar, N., Abdullah, M., Hassan, M., & Hussin, F. (2012). *Time-based electricity pricing for demand response implementation in monopolized electricity market*. IEEE.
- Nejad, R., & Tafreshi, M. (2012). *A new method for demand response by real-time pricing signals for lighting loads*. IEEE.
- Nieto, A. (2012). *El papel de la gestion de la demanda en la eficiencia de mercado mayorista de electricidad*. Madrid: NERA Economic Consulting.
- Nunna, H. K., & Doolla, S. (2011). *Demand response in smart microgrids*. IEEE.
- Oldewurtel, F., Struzenegger, D., Andersson, G., Morari, M., & Smith, R. (2013). *Towards a Standardized Building Assessment for Demand Response*. IEEE.
- Olivares, D., & Pincetic, M. (2017). *Participation of Demand Response Aggregators in Electricity Markets: Optimal Portfolio Managemen*. IEEE.
- P.G, L., S.R, A., & T.P, I. A. (2011). *Improvement of demand response using mixed pumped storage hydro plant*. IEEE.
- Palomino, J. (2014). *Smart Grid respuesta de la demanda*. Madrid: Slideshare. Obtenido de <http://es.slideshare.net/jrpalomino/sg-demand-response>
- Panapakidis, I., Frantza, S., & Papagiannis, G. (2014). *Implementation of price-based demand response programs through a load pattern clustering process*. IEEE.
- Panwar, L., Konda, S., Verma , A., Panigrahi, B., & Kumar, R. (2017). *Demand response aggregator coordinated two-stage responsive load scheduling in distribution system considering customer behavior*. IEEE.

- Pason, W., Therdyothin, A., Prapanavarat, C., Nathakaranakule, A., & Limmeechokchai, B. (2015). *The Potential of Demand Response Measures of Commercial Buildings in Thailand*. Science Direct.
- Pazouki, S., & Haghifam, M. (2014). *Comparison between Demand Response Programs in Multiple Carrier Energy Infrastructures in Presence of Wind and Energy Storage Technologies*. IEEE.
- Peña, J. (2015). *Clases de formulacion y evaluacion de proyectos*. Universidad distrital francisco jose de caldas.
- Pereira, R., Fagundes, A., Figueiredo, J., Melício, R., Mendes, V., & Quadrado, J. (2014). *Fuzzy subtractive clustering technique applied to demand response in a smart grid scope*. Science Direct.
- Perez Odeh, R., Watts, D., & Negrete-Pintetic, M. (2018). *Portfolio applications in electricity markets review: Private investor and manager perspective trends*. Science Direct.
- Petinrin, J., & Shaaban, M. (2014). *Voltage Control in a Smart Distribution Network Using Demand Response*. IEEE.
- Pinto, J. (2015). *Cargo por confiabilidad no es un recurso publico*. Barranquilla: El Heraldo. Obtenido de <http://www.elheraldo.co/economia/el-cargo-por-confiabilidad-no-es-un-recurso-publico-jorge-pinto-noya-226947>
- Pogaru, S., Miller, M., Duncan, S., & Mavris, D. (2013). *Investigating the Impacts of Modeling Variables- A Case Study with Smart Grid Demand Response*. Science Direct.
- Pouyan, K., Hassan, M., & Hassan, A. (2010). *Load profile reformation through demand response programs using smart grid*. IEEE.
- Qadrdan, M., Cheng, M., Wu, J., & Jenkins, N. (2017). *Benefits of demand-side response in combined gas and electricity Networks*. Science Direct.
- Rahman, M., Arefi, A., Shafinullah, G., & Hettiwatte, S. (2016). *Penetration Maximisation of Residential Rooftop Photovoltaic using Demand Response*. IEEE.
- Ranjan, S., & Thomas, M. (2015). *An efficient home energy management algorithm for demand response analysis in Indian scenario*. IEEE.
- Reka, S., & Ramesh, V. (2016). *A demand response modeling for residential consumers in smart grid environment using game theory based energy scheduling algorithm*. Science Direct.
- Resolucion N° 063. (2010). *Resolucion N° 063*. Bogota: CREG.
- Resolucion N° 079. (1997). *Resolucion N° 079*. CREG.
- Rodriguez Mercedes, M. P. (2013). *Gestión activa de la demanda para una Europa más eficiente*. Anales de mecanica y electricidad.
- Rohman, A., & Kobayashi, H. (2014). *Estimation on possibility and capacity of residential peak electricity demand reduction by demand response scenario in rural areas of Japan*. Science Direct.
- Rojas, J. (2016). *Si urge ahorrar energia, pero va mas alla de apagar un bombillo*. Medellin: El colombiano. Obtenido de <http://www.elcolombiano.com/negocios/si-urge-ahorrar-energia-pero-va-mas-alla-de-apagar-un-bombillo-IC3721947>
- Ropero, J. G. (2017). *La repotenciación eólica que se llevó el viento*. Navarra. Cinco Dias. Obtenido de https://cincodias.elpais.com/cincodias/2014/07/24/empresas/1406198323_993984.html
- Sabounchi, M., Khazaei, H., Kamal, S., & Sani, H. (2014). *A New Residential Demand Response Management Method Based on a Social Welfare Framework*. IEEE.

- Sachdev, R., & Singh, O. (2016). *Consumer's demand response to dynamic pricing of electricity in a smart grid*. IEEE.
- Saebi, J., Javidi, M., & Nguyen, D. (2014). *Integrating demand response market into energy/reserve market: A bilevel approach*. IEEE.
- Salami, A., & Farsi, M. (2015). *A Cooperative Demand Response Program for Smart Grids*. IEEE.
- Sarris, T., Messini, G., & Hatziargyriou, N. (2016). *Residential demand response with low cost smart load controllers*. IEEE.
- Schachter, J., Mancarella, P., Moriarty, J., & Shaw, R. (2016). *Flexible investment under uncertainty in smart distribution networks with demand side response: Assessment framework and practical implementation*. Science Direct.
- Schuh, G., Brandenburg, U., & Lui, Y. (2015). *Evaluation of demand response actions in production logistics*. Science Direct.
- Shen, H., & Zhu, Y. (2012). *The collaboration between demand response and smart grid*. IEEE.
- Shen, S., Zhao, Y., Pang, J., Yu, W., & Wu, K. (2012). *Exploring the use value of air conditioners in residential peak demand response*. IEEE.
- Shipman, R., Gillott, M., & Naghiyev, E. (2013). *SWITCH: Case studies in the demand side management of washing appliances*. Science Direct.
- Sila, K., Mary, A. P., Koch, E., & Dan, H. (2011). *Utilizing automated demand response in commercial buildings as non-spinning reserve product for ancillary services markets*. IEEE.
- Son, J., Hara, R., Kita, H., & Tanaka, E. (2014). *Energy Management Considering Demand Response Resource in Commercial Building with Chiller System and Energy Storage Systems*. IEEE.
- Soumyadip, G., Jayant, K., Dmitriy, K., Mark, S., & Xiaoxuan, Z. (2011). *Integration of demand response and renewable resources for power generation management*. IEEE.
- SUPERSERVICIOS "Mercado de Energía Mayorista". (2014). *Mercado de Energía Mayorista*. SUPERSERVICIOS. Obtenido de <http://www.superservicios.gov.co/Energia-y-gas/Energia/Mercado-de-Energia-Mayorista2>
- Syrri, A., & Mancarella, P. (2014). *Evaluation of reliability performance of distribution networks implementing demand response schemes*. IEEE.
- Syrri, A., & Mancarella, P. (2016). *Reliability and risk assessment of post-contingency demand response in smart distribution networks*. Science Direct.
- T.P., I. A., S, D. M., Essam A., A.-A., & N.H, M. (2011). *A simulated annealing algorithm for demand response*. IEEE.
- Tecnoingenieria. (2017). *Precios Software SCADA y modulos disponibles*. Tecnoingenieria. Obtenido de http://www.tecnoing.com/p_auto_scada_precios.aspx
- Thomas, M., Bansal, P., & Taneja, P. (2014). *Smart Home Energy Management by Demand Response Controller Design*. IEEE.
- Thomson Reuters. (2016). *Los agregadores de electricidad secuden el mercado de energia britanico*. Madrid: Reuters. Obtenido de <http://es.reuters.com/article/topNews/idESKCN0YE1KN?pageNumber=2&virtualBrandCh>
- Tonder, A., Kleingeld, M., & Marais, J. (2013). *Investigating demand response potential in a mining group*. IEEE.
- Torstensson, D., & Wallin, F. (2014). *Exploring the Perception for Demand Response among Residential Consumers*. Science Direct.

- Tortensson, D., & Wallin, F. (2015). *Potential and barriers for demand response at household customers*. "Potencial y barreras para la respuesta de la demanda en los clientes domésticos. Science Direct.
- Tsai, S.-C., Tseng, Y.-H., & Chang, T.-H. (2017). *Communication-Efficient Distributed Demand Response: A Randomized ADMM Approach*. IEEE.
- Turitsyn, K., Backhaus, S., Ananyev, M., & Chertkov, M. (2011). *Smart finite state devices: a modeling framework for demand response technologies*. IEEE.
- UPME "Taller de discusión 2014". (2014). *Taller de discusión: Respuesta de la demanda Proceso de reglamentación Ley 1715 de 2014*. Bogota: UPME.
- VanderKley, T., Negash, A., & Kirschen, D. (2014). *Analysis of Dynamic Retail Electricity Rates and Domestic Demand Response Programs*. IEEE.
- Wang, Y., Yang, W., & Liu, T. (2017). *Appliances considered demand response optimization for smart grid*. IEEE.
- Wang, B., Yang, X., Short, T., & Yang, S. (2016). *Chance constrained unit commitment considering comprehensive modelling of demand response resources*. IEEE.
- Wang, C., & Groot, M. (2012). *Demand response aware cluster resource provisioning for parallel applications*. IEEE.
- Wang, Z., & Paranjape, R. (2014). *An Evaluation of Electric Vehicle Penetration under Demand Response in a Multi-Agent Based Simulation*. IEEE.
- Wang, Z., & Paranjape, R. (2017). *Optimal Residential Demand Response for Multiple Heterogeneous Homes With Real-Time Price Prediction in a Multiagent Framework*. IEEE.
- Wasim M, T., & Nidhal, A. (2010). *Smart grid and demand response technology*. IEEE.
- Wenxian, Y., Chin, C., Tat, T., Xiang, L., & Yu, R. (2014). *An Overview and evaluation on demand response program in Singapore electricity market*. Singapore: Infocomm Research.
- Wijaya, T., Vasirani, M., Villumsen, C., & Aberer, K. (2015). *An Economic Analysis of Pervasive, Incentive-Based Demand Response*. IEEE.
- Wolsen, M., Kjaergaard, M. B., & Jorgensen, B. (2016). *Influential Factors for Accurate Load Prediction in a Demand Response Context*. IEEE.
- Wu, J., Ai, X., Zhao, Y., & Wu, D. (2013). *Research on Modeling and Appliance of a New Price Mechanism Demand Response*. IEEE.
- Xia, X., SETHALO, D., & Zhang, J. (2012). *Residential demand response strategies for south Africa*. IEEE.
- XM "CARACTERISTICAS DEL SISTEMA ELECTRICO COLOMBIANO". (2007). *CARACTERISTICAS DEL SISTEMA ELECTRICO COLOMBIANO*. Medellin: Gerencia centro nacional de despacho.
- XM "Lista de precios cargo por confiabilidad". (2017). *Lista de precios cargo por confiabilidad*. XM. Obtenido de http://sv06.xm.com.co/gmem/Admon_Mcdo/Registro/Cconfiabilidad/PRECIOESCASEZ.htm
- XM "Obligaciones energia firme". (2017). *Obligaciones energia firme*. Cargo por confiabilidad. Obtenido de http://www.creg.gov.co/cxc/secciones/obligacion_energia_firme/precio_escasez.htm
- XM "Precio de bolsa". (2017). *Precio de bolsa*. Informacion inteligente. Obtenido de <http://informacioninteligente10.xm.com.co/transacciones/Paginas/Precio%20Bolsa.aspx>

- XM "Precio de escasez". (2017). *Precio de escasez*. Informacion inteligente. Obtenido de [http://informacioninteligente10.xm.com.co/transacciones/Paginas/Precio%20Escasez%20\(\\$kWh\).aspx](http://informacioninteligente10.xm.com.co/transacciones/Paginas/Precio%20Escasez%20($kWh).aspx)
- XM "Respuesta de la demanda". (2016). *Respuesta de la demanda*. Medellin: XM. Obtenido de <http://www.andi.com.co/SBCB/Documents/RESPUESTA%20DE%20LA%20DEMANDA.pdf>
- Yaghmaee, M., Leon Garcia, A., & Moghaddassian, M. (2017). *On the Performance of Distributed and Cloud Based Demand Response in Smart Grid*. IEEE.
- Yang, P., Chavali, P., & Nehorai, A. (2012). *Parallel autonomous optimization of demand response with renewable distributed generators*. IEEE.
- Ye, T., Fei, X., & Lei, C. (2010). *Research into possibility of smart industrial load participating into demand response to supply the power system*. IEEE.
- Yingdan, F., & Xin, A. (2013). *The Review of Load Scheduling Model Research Based on Demand Response Method*. IEEE.
- Yu, N., & Yu, L. (2015). *Research on active demand response based multi-agent simulation*. IEEE.
- Zhang, C., Xu, Y., Dong, Z., & Wong, K. (2017). *Robust Coordination of Distributed Generation and Price-Based Demand Response in Microgrids*. IEEE.
- Zhang, J., Pi, X., & Zhang, C. (2012). *Studies on technical standard for demand response*. IEEE.
- Zhang, Z., Zhou, M., Xu, Q., & Sun, L. (2015). *Joint Day-Ahead energy and reserve Scheduling model with demand response*. IEEE.
- Zhao, L., & Aravinthan, V. (2013). *Strategies of Residential Peak Shaving With Integration of Demand Response and V2H*. IEEE.

ANEXO 1. CAPACIDAD DE LA DEMANDA DE LOS USUARIOS ESTRATO 4.

Para esta sección se tiene propuesto tener una muestra de mil usuarios organizados en grupos de diez (cien grupos de usuarios) que tengan diferentes comportamientos de consumo de energía, para esto se debe conocer el consumo promedio de los usuarios entre semana “lunes, martes, miércoles, jueves y viernes” y fines de semana “sábado y domingo”, conocer su desviación de consumo es decir, consumo mínimo y máximo de la población a determinada hora, de esta manera se determina la capacidad de la demanda de los usuarios y se podrán generar las curvas de demanda que simulen los comportamientos reales.

Curva de demanda día laboral

Para la caracterización de la capacidad de la demanda de usuarios estrato 4 residenciales, se contó con la colaboración del Grupo de investigación en Compatibilidad e Interferencia Electromagnética “GCEM” perteneciente a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, quienes suministraron los datos de la curva de carga horaria residencial promedio con su respectiva desviación positiva y negativa (Castellanos & Lopez, 2016), la cual se elaboró tomando los datos de 100 usuarios, esta curva es un recurso importante para determinar el comportamiento de la capacidad de la demanda de estos usuarios, sin embargo esta tan solo contempla para este trabajo los días laborales “lunes, martes, miércoles, jueves y viernes”.

La curva de carga horaria del grupo GCEM esta parametrizada con una desviación estándar (Ver: Tabla 9) dando como resultado la Figura 19, de esta figura es importante resaltar dos comportamientos, el primero las horas pico de 6 a 9 y de 18 a 21, el segundo que en la hora 5 la desviación positiva es más grande que la potencia promedio, estos comportamientos son propios de los días laborales, también es posible observar en la figura que en el periodo de madrugada (23 a 6) el consumo de energía eléctrica es muy bajo y por la tarde es un consumo medio.

Tabla 9 Datos Curva final, desviación estándar positiva y negativa (Castellanos & Lopez, 2016).

| T[H] | Final [W] | Desviación Stc[W] | Positivo[W] | Negativo [W] |
|-------|-----------|-------------------|-------------|--------------|
| 0:00 | 155,60 | 90,40 | 246,00 | 65,21 |
| 1:00 | 129,57 | 94,56 | 224,13 | 35,02 |
| 2:00 | 118,28 | 98,14 | 216,42 | 20,15 |
| 3:00 | 126,94 | 104,10 | 231,03 | 22,84 |
| 4:00 | 164,85 | 93,77 | 258,61 | 71,08 |
| 5:00 | 260,95 | 312,87 | 573,82 | 0,00 |
| 6:00 | 276,26 | 192,10 | 468,36 | 84,16 |
| 7:00 | 316,01 | 216,77 | 532,78 | 99,24 |
| 8:00 | 270,45 | 189,70 | 460,15 | 80,75 |
| 9:00 | 264,97 | 213,88 | 478,85 | 51,09 |
| 10:00 | 275,25 | 215,37 | 490,62 | 59,87 |
| 11:00 | 226,38 | 97,92 | 324,30 | 128,46 |
| 12:00 | 249,02 | 160,24 | 409,25 | 88,78 |
| 13:00 | 227,34 | 134,88 | 362,22 | 92,46 |
| 14:00 | 218,87 | 101,09 | 319,96 | 117,77 |
| 15:00 | 215,81 | 88,26 | 304,06 | 127,55 |
| 16:00 | 216,06 | 87,88 | 303,95 | 128,18 |
| 17:00 | 239,65 | 91,57 | 331,22 | 148,08 |
| 18:00 | 310,75 | 177,67 | 488,42 | 133,07 |
| 19:00 | 329,95 | 182,94 | 512,89 | 147,00 |
| 20:00 | 305,33 | 153,81 | 459,15 | 151,52 |
| 21:00 | 297,98 | 149,82 | 447,80 | 148,16 |
| 22:00 | 246,10 | 120,74 | 366,84 | 125,36 |
| 23:00 | 180,78 | 80,57 | 261,35 | 100,21 |

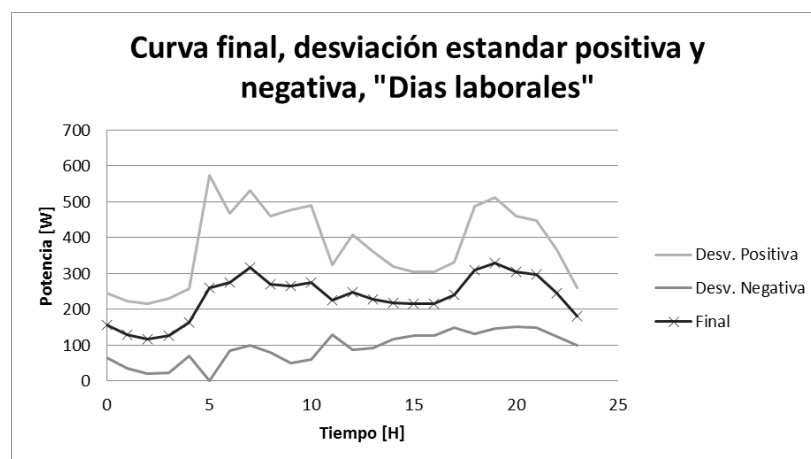


Figura 19 Curva final días laborales, Desviación STC positiva y negativa (Castellanos & Lopez, 2016).

Construcción de curva de demanda días feriados.

La curva suministrada por el grupo GCEM como se comenta anteriormente no representa el comportamiento de todos los días de la semana, es por esta razón que se decide conseguir o crear la curva de la demanda de los días faltantes “feriados” (Sábado, Domingo y Festivos).

Como primera medida se envió un correo el día 26 de febrero de 2017 a las empresas XM y CODENSA-EMGESA, obteniendo respuesta de la empresa XM con el link de su base de datos <http://informacioninteligente10.xm.com.co/pages/default.aspx>, pero aun así no se encontró información específica sobre las curvas de carga residenciales, sino que es información general y curvas de carga de las zonas comerciales, de igual forma expreso mi gratitud por la disposición de la empresa y su base de datos que me fue de gran ayuda, dado a que contiene información sobre los precios del mercado eléctrico.

Con la dificultad de conseguir información de primera mano, obliga a la construcción de la curva de carga horaria no laboral (Días feriados), para esto se decide comparar la curva de carga horaria laboral del grupo GCEM (Castellanos & Lopez, 2016), con tres curvas de carga horaria de días feriados (XM "CARACTERISTICAS DEL SISTEMA ELECTRICO COLOMBIANO", 2007) (Agudelo, Velilla, & Lopez, 2014) (Moran & Ramirez, 2015).

El comportamiento de la hora cinco de la (Figura 19) se debe a que por razones de rutina algunos usuarios comienzan sus actividades a esta hora del día, por tanto la desviación estándar es considerable, se decide no tomar los datos de este periodo y en su lugar realizar un promedio entre las cuatro y las seis de la mañana (Ver: Tabla 10) ya que en los días feriados no habría esta desviación.

Tabla 10 *Dato curva final día laboral, desviación estándar positiva y negativa (Promedio hora 5).*

| T[H] | Final [W] | Desviación Stc[W] | Positivo[W] | Negativo [W] |
|------|-----------|-------------------|-------------|--------------|
| 5:00 | 220,55 | 142,935 | 363,49 | 77,62 |

El cambio de la Tabla 10 genera otra curva diferente a la de la Figura 19 (Ver: Figura 20), en la cual se compara con las tres curvas de carga horaria de días no laborales o feriados.

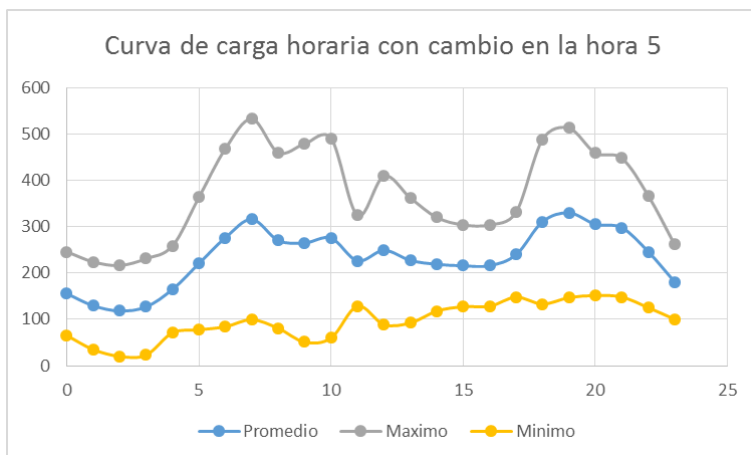


Figura 20 Curva de carga horaria con cambio en la hora 5 en los días laborales.

Curvas de carga de horarios feriados:

La curva de la Figura 21 es de la empresa XM (XM "CARACTERISTICAS DEL SISTEMA ELECTRICO COLOMBIANO", 2007), corresponde a la curva de demanda total residencial del año 2007, contiene todos los días de la semana, pero presenta tres inconvenientes:

1. Antigüedad: es del año 2007.
2. No está segregada por estrato.
3. Representa la carga total demandada.

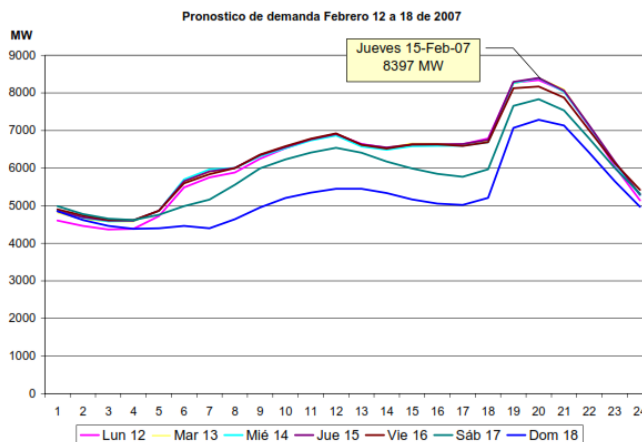


Figura 21 Curva de demanda año 2007 XM (XM "CARACTERISTICAS DEL SISTEMA ELECTRICO COLOMBIANO", 2007).

La curva de la Figura 22 es un trabajo de la universidad de Antioquia (Agudelo, Velilla, & Lopez, 2014), corresponde a la curva de carga total de un transformador que trabaja en una zona residencial con pequeños puntos comerciales, contiene todos los días de la semana, pero presenta dos inconvenientes:

1. Tiene implícito una pequeña parte del sector comercial (Afecta ligeramente los datos).
2. No está segregada por estrato.

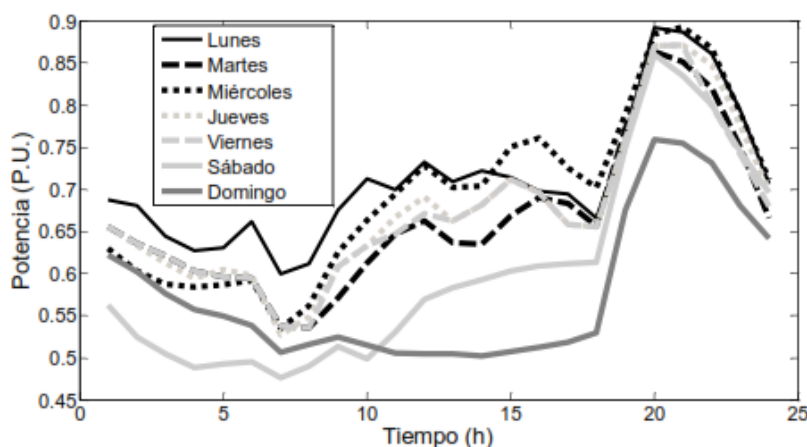


Figura 22 Curva de carga de un transformador del año 2013 de la universidad de Antioquia (Agudelo, Velilla, & Lopez, 2014).

La curva de la Figura 23 es de un trabajo de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil Ecuador (Moran & Ramirez, 2015) corresponde a la curva de carga de potencia parametrizada

(Contiene datos reales) con la información de la zona Atarazana en Guayaquil (Curva residencial), contiene todos los días de la semana sectorizados en días laborables y feriados, pero presenta dos inconvenientes:

1. Caso de estudio (Ecuador).
2. No está segregada por estrato.

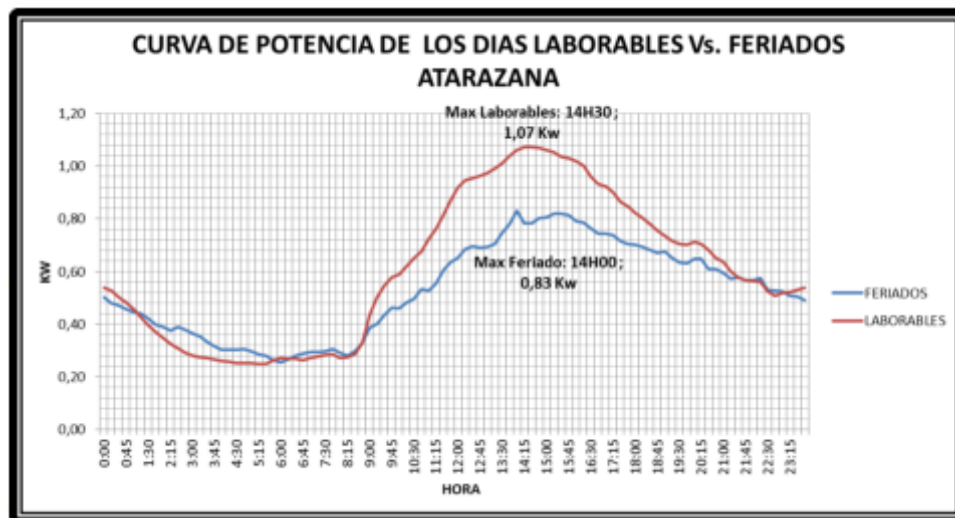


Figura 23 Curva de potencia días feriados y laborables del año 2015 del ESPOL (Moran & Ramirez, 2015).

Construcción de curva de días feriados:

La curva 1 (Figura 21), representa la demanda total del año 2007, se realiza el promedio de los días sábados y domingos para obtener los días feriados (Ver: Tabla 11), los inconvenientes a solucionar en esta curva es la antigüedad del año y la potencia que corresponde a los usuarios totales, para esto se compara los picos del promedio de la curva 1 (Figura 24), con la curva de carga horaria de días feriados, curva 2 (Figura 25).

$$\text{Coeficiente pico} = \frac{\text{Curva de carga horaria de dias feriados de la curva 2 (Hora 20)}}{\text{Promedio curva 1 (Hora 20)}}$$

$$= \frac{294.2}{7475} = 0.04$$

Ecuación 1 Coeficiente pico.

La Ecuación 1 selecciona la hora 20 dado a que es el periodo de mayor consumo promedio de la curva 1, después se selecciona este mismo de la curva de carga horaria de días feriados, curva 2 que representa la demanda de energía eléctrica del año 2014 y aplicando la (Ecuación 2) se divide por los valores promedio de la curva 1, expresados en la Tabla 11 de la hora 20, permitiendo la actualización de los datos de anuales, al realizar la división los valores resultantes representan el consumo de un solo usuario de estrato 4.

$$\text{Carga horaria de días feriados} = \frac{\text{Carga en p.u} * \text{Carga horaria GCEM}}{\text{Constante de consumo}}$$

Ecuación 2 Carga horaria de días feriados.

Tabla 11 *Curva de carga horaria de días feriados de la curva 1 (Fuente: Autor).*

| T[H] | Sábado [W] | Domingo [W] | Promedio [W] | Un usuario [W] |
|--------------|-------------------|--------------------|---------------------|-----------------------|
| 0:00 | 5000 | 4800 | 4900 | 194.6594649 |
| 1:00 | 4900 | 4700 | 4800 | 190.6868227 |
| 2:00 | 4700 | 4500 | 4600 | 182.7415385 |
| 3:00 | 4650 | 4400 | 4525 | 179.7620569 |
| 4:00 | 4700 | 4350 | 4525 | 179.7620569 |
| 5:00 | 4950 | 4400 | 4675 | 185.7210201 |
| 6:00 | 5050 | 4380 | 4715 | 187.3100769 |
| 7:00 | 5400 | 4550 | 4975 | 197.6389465 |
| 8:00 | 5800 | 4800 | 5300 | 210.5500334 |
| 9:00 | 6150 | 5100 | 5625 | 223.4611204 |
| 10:00 | 6300 | 5250 | 5775 | 229.4200836 |
| 11:00 | 6500 | 5400 | 5950 | 236.3722074 |
| 12:00 | 6500 | 5450 | 5975 | 237.3653679 |
| 13:00 | 6300 | 5430 | 5865 | 232.9954615 |
| 14:00 | 6000 | 5200 | 5600 | 222.4679599 |
| 15:00 | 5900 | 5050 | 5475 | 217.5021572 |
| 16:00 | 5800 | 5010 | 5405 | 214.7213077 |
| 17:00 | 5900 | 5100 | 5500 | 218.4953177 |
| 18:00 | 6700 | 6000 | 6350 | 252.2627759 |
| 19:00 | 7700 | 7200 | 7450 | 295.9618395 |
| 20:00 | 7650 | 7300 | 7475 | 296.955 |
| 21:00 | 7050 | 6700 | 6875 | 273.1191472 |
| 22:00 | 6400 | 6050 | 6225 | 247.2969732 |
| 23:00 | 5550 | 5250 | 5400 | 214.5226756 |

En la Figura 24, se presenta la curva de carga horaria para días feriados de la curva 1 con base a los nuevos datos de la Tabla 11.

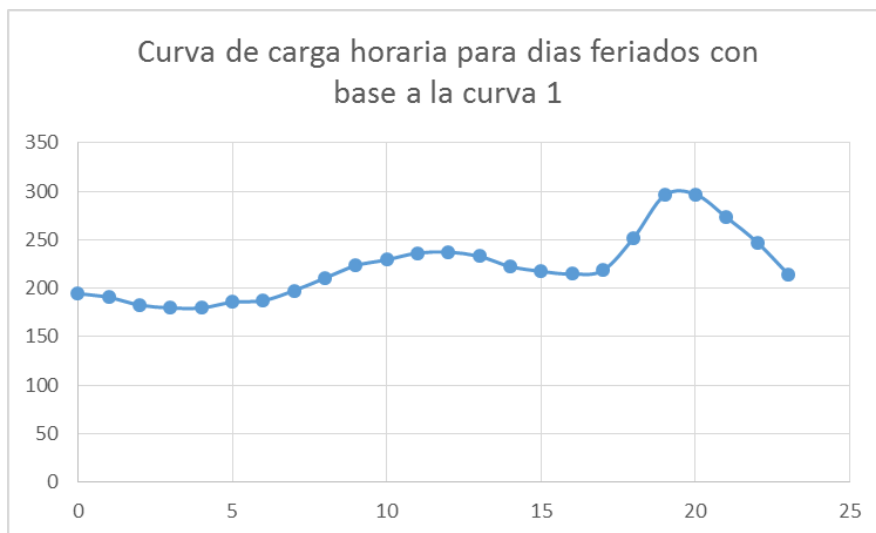


Figura 24 Curva de carga horaria para días feriado de la curva 1 (Fuente: Autor).

La curva 3 (Ver: Figura 23) aunque es de zonas residenciales estrato medio no se parece a las curvas 1 y 2 de las Figura 21 y Figura 22, es decir no es confiable para realizar la construcción de la curva de carga de los días feriados para el estrato 4 de la zona residencial de la ciudad de Bogotá, dado a que esta curva pertenece a una ciudad ecuatoriana “Atarazana” con diferentes necesidades energéticas, esta curva permite determinar la diferencia de energía consumida entre los días laborales y feriados, Ecuación 3.

$$\begin{aligned} \text{Índice de consumo de días feriado a laborales} &= \frac{\text{Área curva días festivos}}{\text{Área curva días laborables}} \\ &= \frac{0.53167}{0.6072} = 0.938 \end{aligned}$$

Ecuación 3 Índice de consumo de días feriados a laborables.

Para la curva 2 (Ver: Figura 22), se realiza el promedio de los días sábados y domingos para obtener los días feriados (Ver: Tabla 12), para esto se tendrá en cuenta la información de la curva para días laborables del grupo GCEM (Ver: Tabla 9).

Tabla 12 Curva de carga horaria de días feriados de la curva 2 (Fuente: Autor).

| T[H] | Sábado [W] | Domingo [W] | Promedio [W] | Un usuario [W] |
|-------|------------|-------------|--------------|----------------|
| 0:00 | 0.7 | 0.64 | 0.67 | 111.1541801 |
| 1:00 | 0.56 | 0.62 | 0.59 | 81.50755665 |
| 2:00 | 0.52 | 0.6 | 0.56 | 70.62211943 |
| 3:00 | 0.505 | 0.57 | 0.5375 | 72.74754916 |
| 4:00 | 0.48 | 0.555 | 0.5175 | 90.95795963 |
| 5:00 | 0.49 | 0.55 | 0.52 | 122.2817528 |
| 6:00 | 0.49 | 0.545 | 0.5175 | 152.42976 |
| 7:00 | 0.475 | 0.51 | 0.4925 | 165.9389986 |
| 8:00 | 0.48 | 0.52 | 0.5 | 144.1777999 |
| 9:00 | 0.515 | 0.525 | 0.52 | 146.9066494 |
| 10:00 | 0.505 | 0.52 | 0.5125 | 150.4051134 |
| 11:00 | 0.535 | 0.505 | 0.52 | 125.5112929 |
| 12:00 | 0.58 | 0.505 | 0.5425 | 144.0374338 |
| 13:00 | 0.59 | 0.505 | 0.5475 | 132.7093076 |
| 14:00 | 0.6 | 0.503 | 0.5515 | 128.6984033 |
| 15:00 | 0.605 | 0.507 | 0.556 | 127.9345248 |
| 16:00 | 0.608 | 0.51 | 0.559 | 128.7738214 |
| 17:00 | 0.61 | 0.515 | 0.5625 | 143.727994 |
| 18:00 | 0.612 | 0.52 | 0.566 | 187.5292309 |
| 19:00 | 0.76 | 0.675 | 0.7175 | 250.0521028 |
| 20:00 | 0.85 | 0.755 | 0.8025 | 296.955 |
| 21:00 | 0.83 | 0.753 | 0.7915 | 271.0303121 |
| 22:00 | 0.81 | 0.73 | 0.77 | 257.3210467 |
| 23:00 | 0.745 | 0.68 | 0.7125 | 137.3335526 |

En la Figura 22 se observa que en la curva 2 el pico máximo para días laborales es de 0.9 y para días feriados (Ver: Tabla 12) es de 0.8025, al dividir esos dos valores es posible obtener el coeficiente de consumo de energía en días feriados a hora pico Ecuación 4.

$$\text{Coeficiente de consumo de energía en días feriados a hora pico} = \frac{0.8025}{0.9} = 0.891$$

Ecuación 4 Coeficiente de consumo de energía en días feriados a hora pico.

La Ecuación 4 es referente a las horas picos de la curva 2 (19 a 22 ver Tabla 12), para las demás horas se utiliza el índice de consumo de días feriados a laborales Ecuación 3.

Los valores de la curva 2 (Figura 22) están en el sistema de unidades por unidad (p.u), se debe considerar el comportamiento del estrato 4 en valores de potencia, la expresión de la ecuación de

carga horaria de días feriados “Ecuación 2” incluye las constantes de consumo (Ecuación 3 y Ecuación 4), la curva inicial del grupo GCEM (Figura 20) y la potencia en p.u. de la (Figura 22), al aplicar la (Ecuación 2) se obtiene una curva de potencia para días laborales, en la Tabla 12 se observa en la columna “Un usuario” los valores de esta curva la cual se nombra “curva de carga horaria para la curva 2” (Ver: Figura 25).

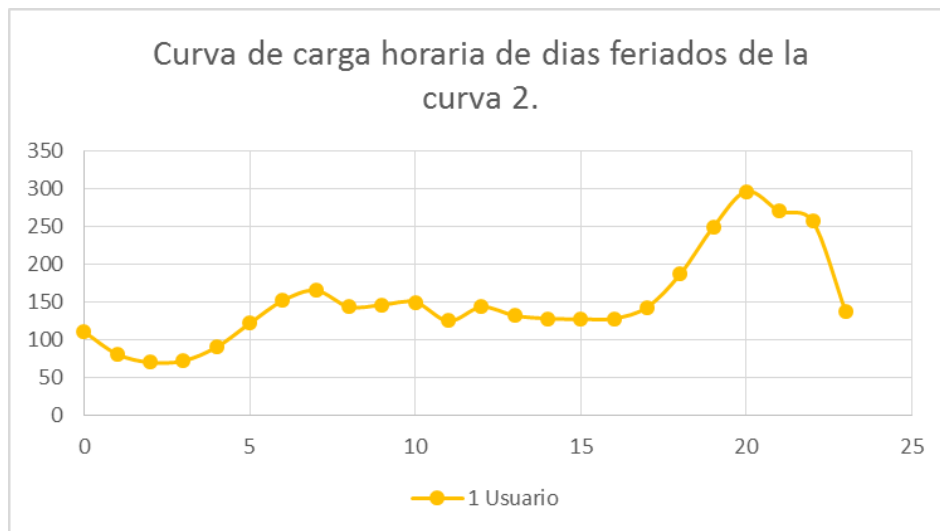


Figura 25 Curva de carga horaria para días feriados de la curva 2 (Fuente: Autor).

Al final el valor máximo de esta curva es el que se utilizó para determinar los datos de la curva de carga horaria para días feriados de la curva 1 (Ver: Tabla 11 y Figura 24).

Curva Final y desviaciones:

Para la elaboración de la curva final, se compara el comportamiento de las dos curvas de carga horaria, al ser similares se decide realizar un promedio de estas dos curvas (Ver: Tabla 14).

Para el cálculo de la desviación estándar de la curva de carga horaria de días feriados, se procede a dividir las desviaciones de la Tabla 9 con la modificación de la Tabla 10 en la hora 5 con sus respectivas potencias, posteriormente se sectoriza estos consientes por horas (Pico “18 a 22”, Madrugada “23 a 6”, Valle “7 a 17”) y se realiza el promedio de la desviación por grupos de horas. (Ver Tabla 13).

Tabla 13. Índices de desviación días feriados

| Grupos horarios | Índices de desviación |
|-------------------------------|-----------------------|
| Hora pico (18 a 22) | 0.53318 |
| Hora de la madrugada (23 a 6) | 0.6454 |
| Hora Valle (7 a 17) | 0.5732 |

Para obtener la desviación se multiplica los índices por el promedio de potencia de las dos curvas obtenidas (Ver: Tabla 14), para obtener los valores máximos se suma la desviación y se resta para los valores mínimos, con las desviaciones obtenidas, con esto es posible graficar la “Curva final para días feriados con desviación positiva y negativa” (Figura 26).

$$\text{Valores máximos} = \text{Curva promedio [W]} + \text{Desviación [W]}$$

Ecuación 5. Valores máximos curva días feriados

$$\text{Valores mínimos} = \text{Curva promedio [W]} - \text{Desviación [W]}$$

Ecuación 6. Valores mínimos curva días feriados

Tabla 14 Datos curva final días feriados, desviación estándar positiva y negativa (Fuente: Autor).

| T[H] | Promedio [W] | Desviación [W] | Máximo [W] | Mínimo [W] |
|--------------|--------------|----------------|-------------|-------------|
| 0:00 | 152.9068225 | 98.69484019 | 251.6016627 | 54.21198228 |
| 1:00 | 136.0971897 | 87.84493831 | 223.942128 | 48.25225139 |
| 2:00 | 126.6818289 | 81.76772403 | 208.449553 | 44.91410491 |
| 3:00 | 126.254803 | 81.49209698 | 207.7469 | 44.76270603 |
| 4:00 | 135.3600082 | 87.36911909 | 222.7291273 | 47.99088916 |
| 5:00 | 154.0013865 | 99.40133461 | 253.4027211 | 54.60005184 |
| 6:00 | 169.8699184 | 109.643796 | 279.5137145 | 60.22612242 |
| 7:00 | 181.7889725 | 104.2151184 | 286.004091 | 77.5738541 |
| 8:00 | 177.3639167 | 101.6783434 | 279.0422601 | 75.68557325 |
| 9:00 | 185.1838849 | 106.1613377 | 291.3452225 | 79.02254723 |
| 10:00 | 189.9125985 | 108.8721921 | 298.7847906 | 81.04040638 |
| 11:00 | 180.9417501 | 103.7294268 | 284.6711769 | 77.21232333 |
| 12:00 | 190.7014009 | 109.324393 | 300.0257939 | 81.37700786 |

| | | | | |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 13:00 | 182.8523846 | 104.8247462 | 287.6771308 | 78.02763834 |
| 14:00 | 175.5831816 | 100.6574921 | 276.2406736 | 74.9256895 |
| 15:00 | 172.718341 | 99.01514989 | 271.7334909 | 73.70319112 |
| 16:00 | 171.7475646 | 98.45862777 | 270.2061923 | 73.28893678 |
| 17:00 | 181.1116559 | 103.8268295 | 284.9384854 | 77.28482631 |
| 18:00 | 219.8960034 | 117.2446394 | 337.1406429 | 102.651364 |
| 19:00 | 273.0069711 | 145.5624631 | 418.5694343 | 127.444508 |
| 20:00 | 296.955 | 158.3311263 | 455.2861263 | 138.6238737 |
| 21:00 | 272.0747297 | 145.0654085 | 417.1401382 | 127.0093211 |
| 22:00 | 252.30901 | 134.5266782 | 386.8356882 | 117.7823317 |
| 23:00 | 175.9281141 | 113.5541033 | 289.4822174 | 62.37401086 |

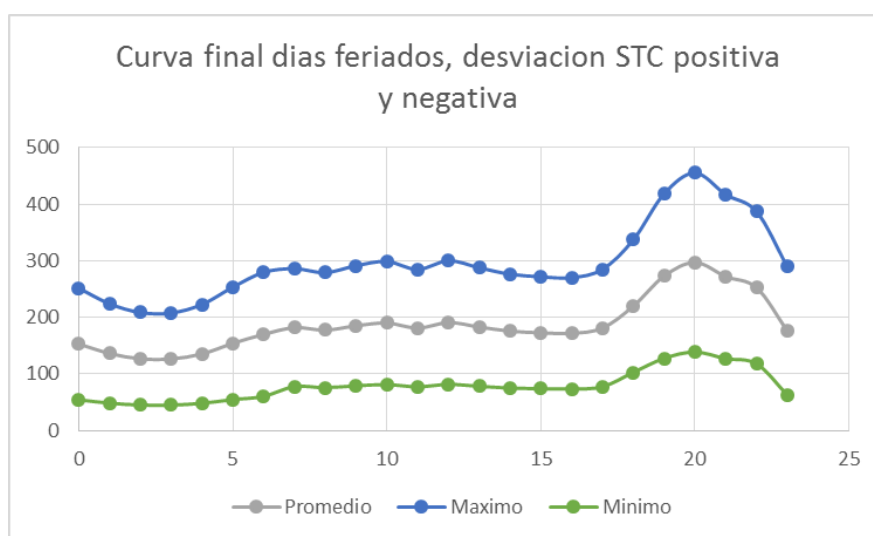


Figura 26 Curva final días feriados con desviación (Fuente: Autor).

ANEXO 2. MANUAL DEL APLICATIVO AGREGADOR (SIMULADOR DE RESPUESTA DE LA DEMANDA BASADO EN INCENTIVOS).

Para el adecuado funcionamiento del aplicativo el computador debe ser de 64 bits, además se debe contar con el programa Excel 2013 o versiones superiores y el compilador de MATLAB R2012b (No es necesario instalar MATLAB), Nota: El rendimiento del aplicativo puede variar según las especificaciones técnicas de cada computador.

Para instalar el compilador se debe ejecutar el instalador (Figura 27 y Figura 28), y seguir las secuencias de pasos de instalación (Ver: Figura 29, Figura 30, Figura 31, Figura 32 y Figura 33).



Figura 27. Compilador MATLAB R2012b

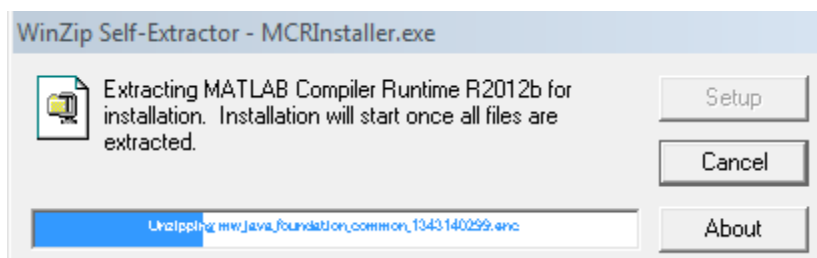


Figura 28. Extractor compilador MATLAB R2012b

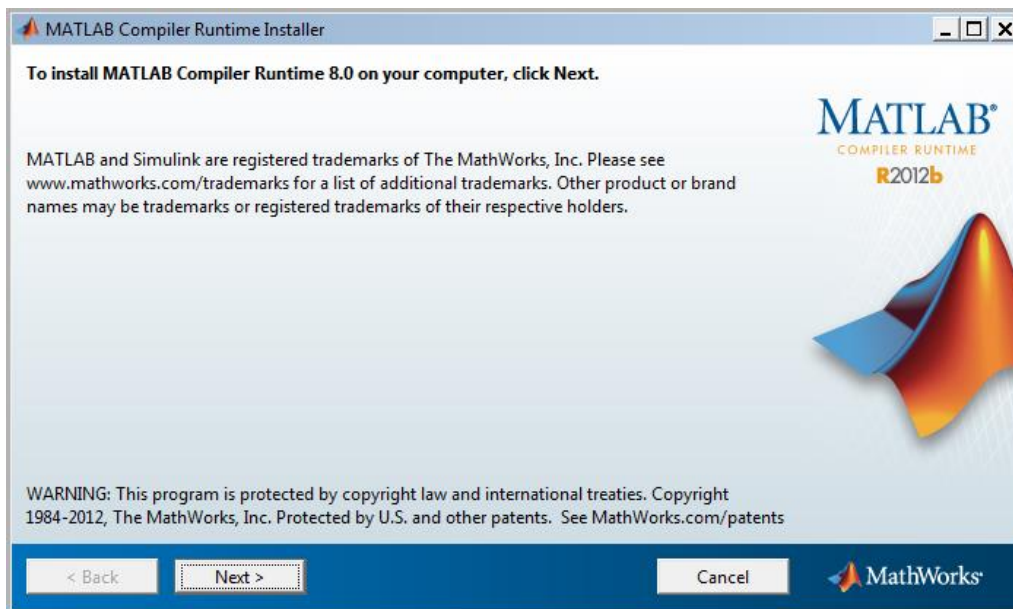


Figura 29. Instalación compilador MATLAB PASO 1

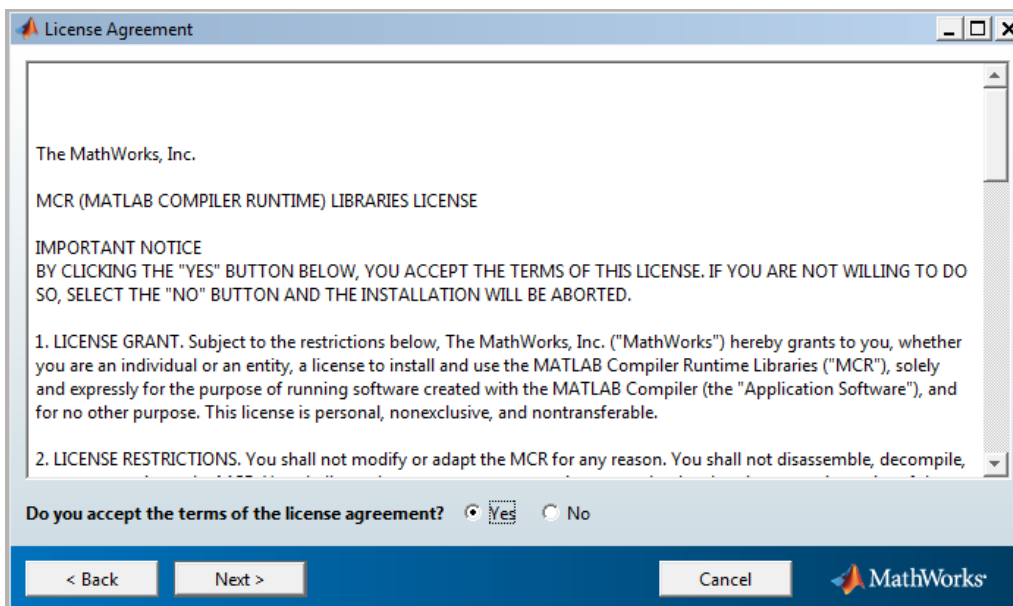


Figura 30. Instalación compilador MATLAB PASO 2

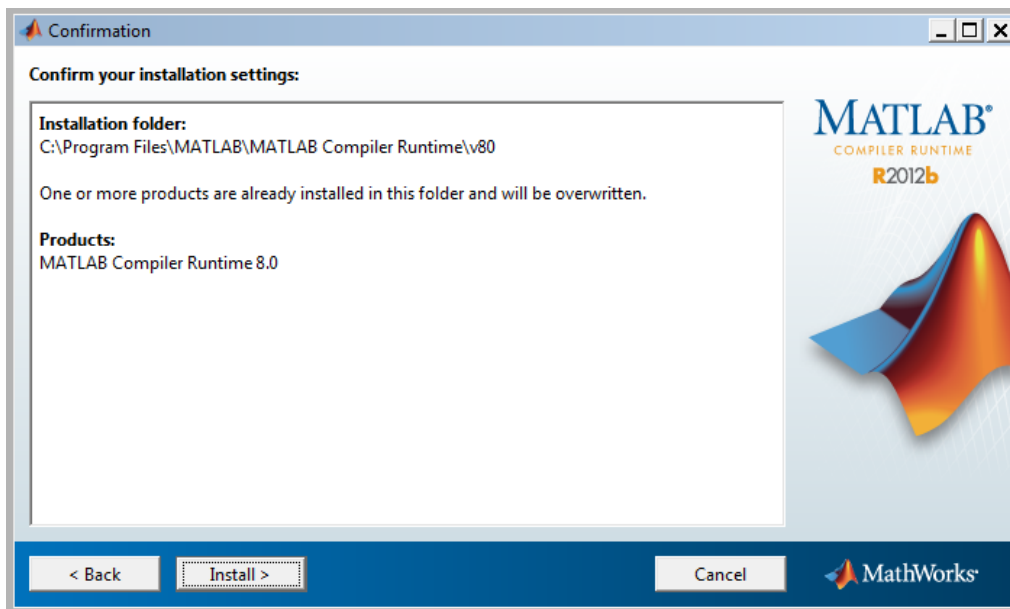


Figura 31. Instalación compilador MATLAB PASO 3

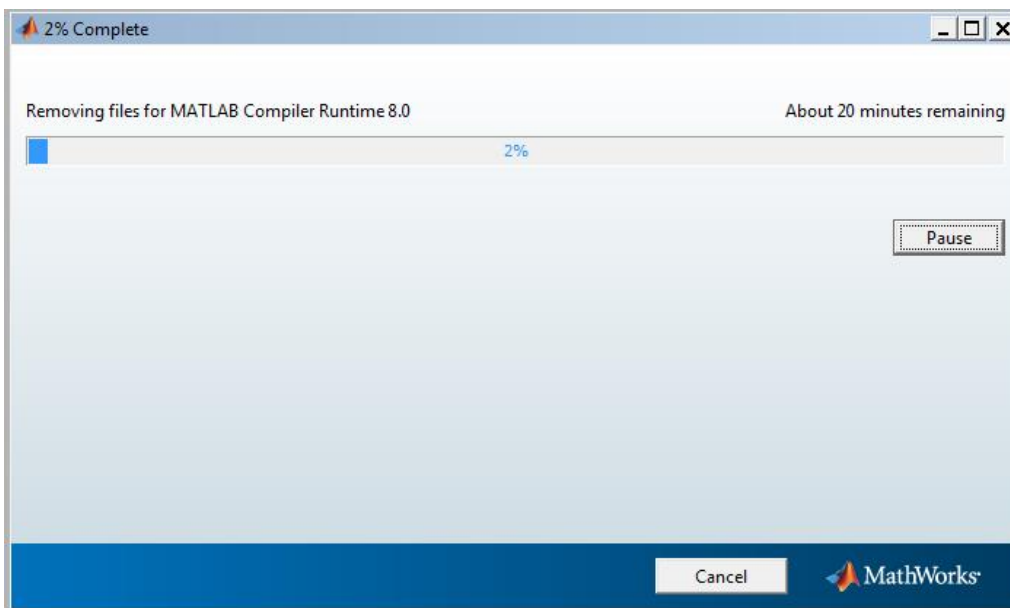


Figura 32. Instalación compilador MATLAB PASO 4.

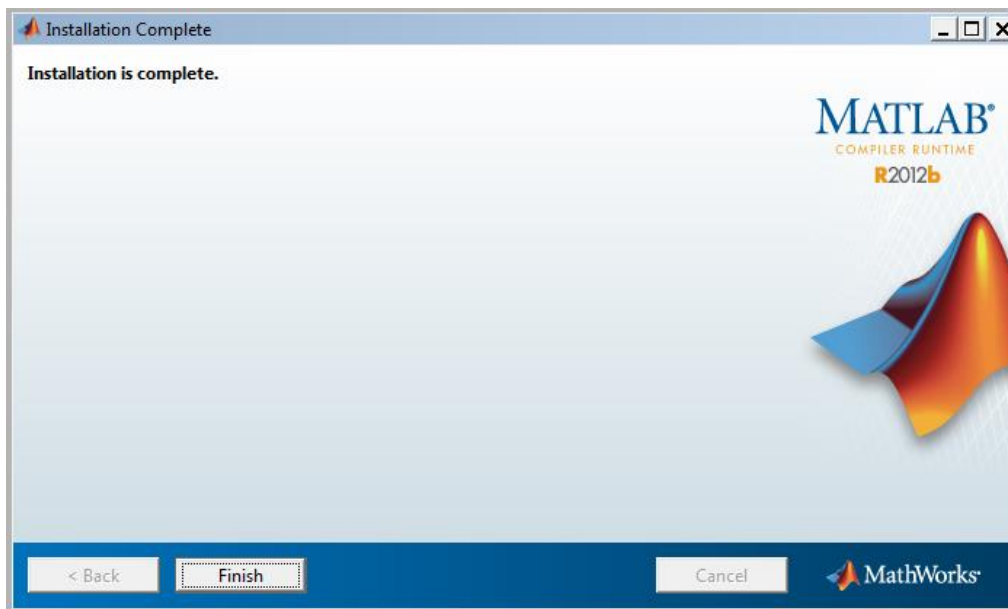


Figura 33. Instalación compilador MATLAB PASO final.

El aplicativo vienen inicialmente dos archivos (Ver: Figura 34) y al oprimir RD7_pkg.exe aparecen otros dos archivos entre ellos ejecutable listo para funcionar (Ver: Figura 35), Nota: no modificar el archivo de Excel.

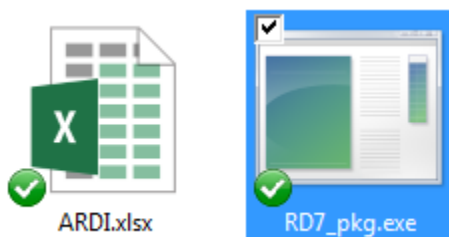


Figura 34. Archivos del aplicativo.



Figura 35. Ejecutable del aplicativo.

A continuación, se inicia el manual de uso del aplicativo para programa de RD fundamentado en incentivos, se ejecuta RD7.exe apareciendo la primera pantalla del aplicativo Figura 36, al presionar el botón de ayuda “Signo de interrogación” aparece la Figura 37, La cual explica detalladamente que es la respuesta de la demanda basada en incentivos, presionando volver se regresa a la presentación del aplicativo, en todo momento hay estos botones de ayuda, se presiona el botón RD por incentivos para visualizar los programas propuestos Figura 38.

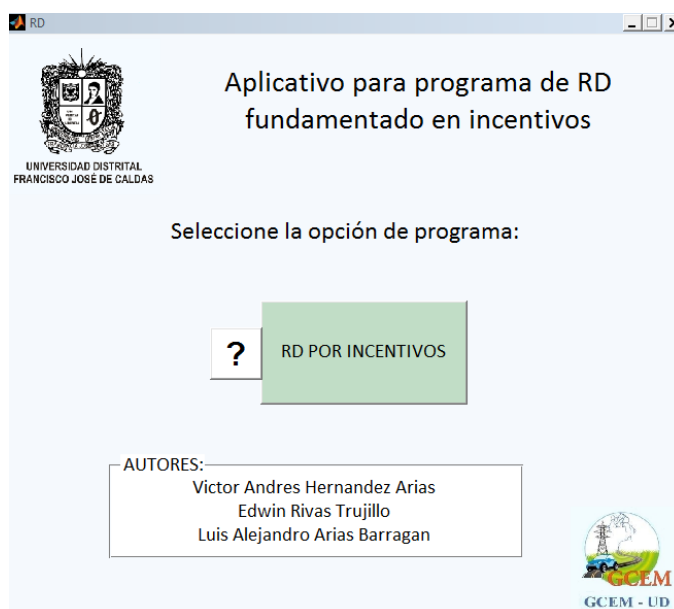


Figura 36. Presentación aplicativo.

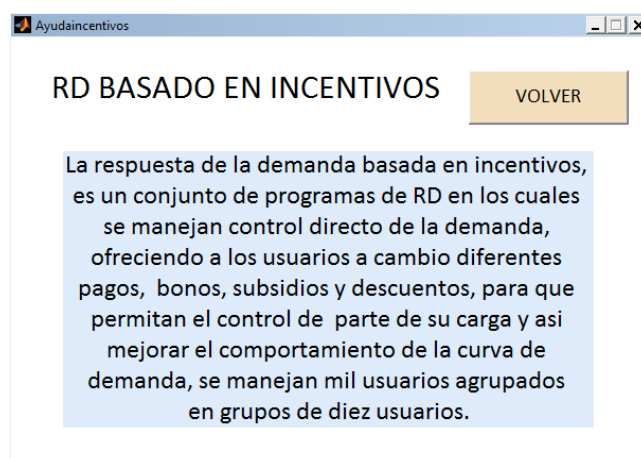


Figura 37. Ayuda del aplicativo.

En la Figura 38, se selecciona los diferentes programas de respuesta de la demanda propuestos, además se puede oprimir los botones de ayuda “Signo de interrogación” para obtener información sobre estos programas, el botón volver regresa a la presentación del aplicativo, al presionar el botón programa control de picos principales aparece la Figura 39, se presiona el botón programa control de picos aparece la Figura 44 y si se presiona el botón programa despacho de desconexión aparece la Figura 53.

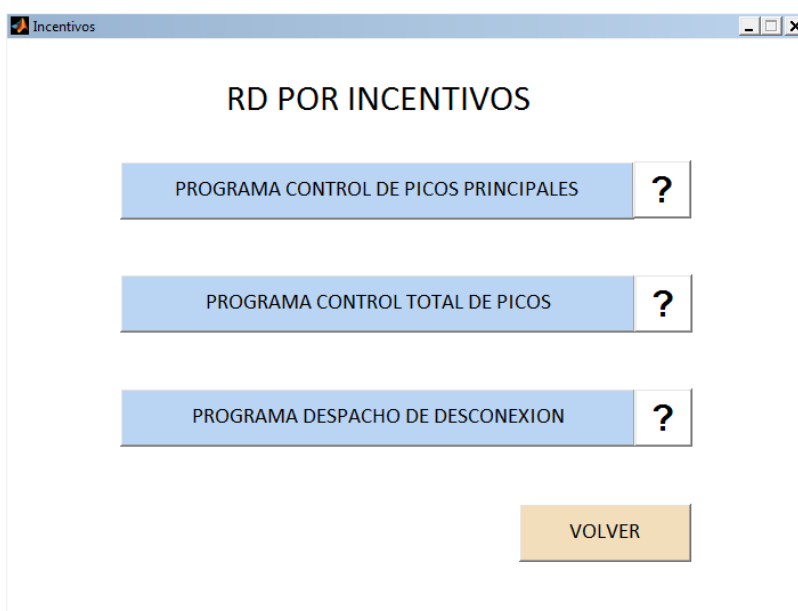


Figura 38. Selección de programa de RD en el aplicativo

Se selecciona el valor de precio de escasez y carga gestionable, después se selecciona el tipo de día en los botones laboral y feriado apareciendo como resultado Figura 40 y la Figura 42 según el día seleccionado, por último el botón volver al inicio regresa a la pantalla de presentación del aplicativo.

PROGRAMA CONTROL DE PICOS PRINCIPALES

Precio de escasez (USD): 0.15 ?

Carga gestionable (%): 30 ?

LABORAL

FERIADO

VOLVER AL INICIO

Figura 39. Variables de entrada programa control de picos principales

Al presionar el botón simular aparecen los resultados del programa (Ver: Figura 41), y al presionar el botón volver se regresa a la Figura 39.

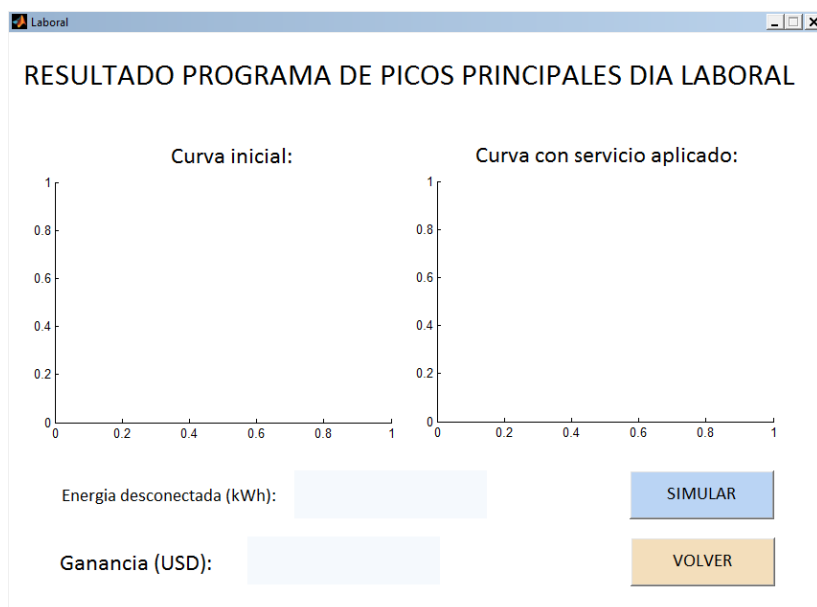


Figura 40. Pantalla de resultado programa de picos principales día laboral

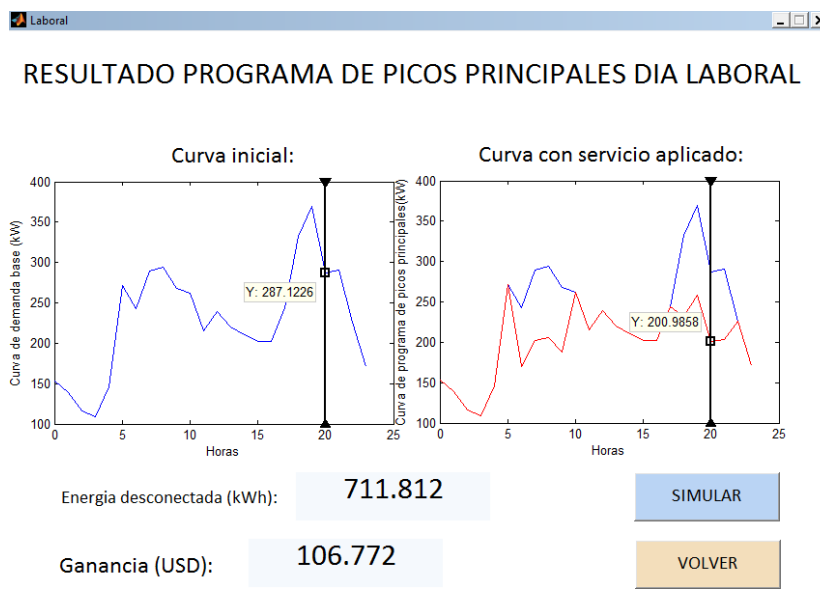


Figura 41. Resultado programa de picos principales día laboral

Al presionar el botón simular aparecen los resultados del programa (Ver: Figura 43), y al presionar el botón volver se regresa a la Figura 39.

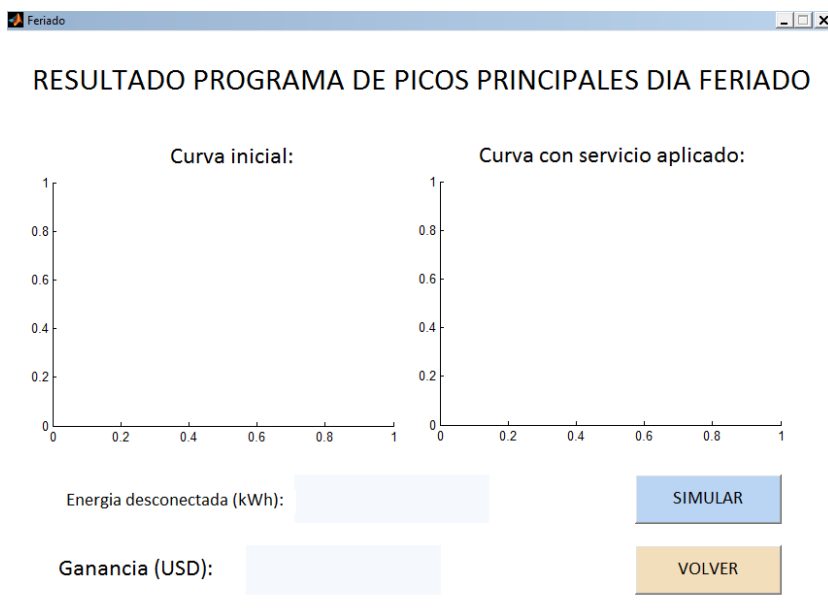


Figura 42. Pantalla de resultado programa de picos principales día feriado

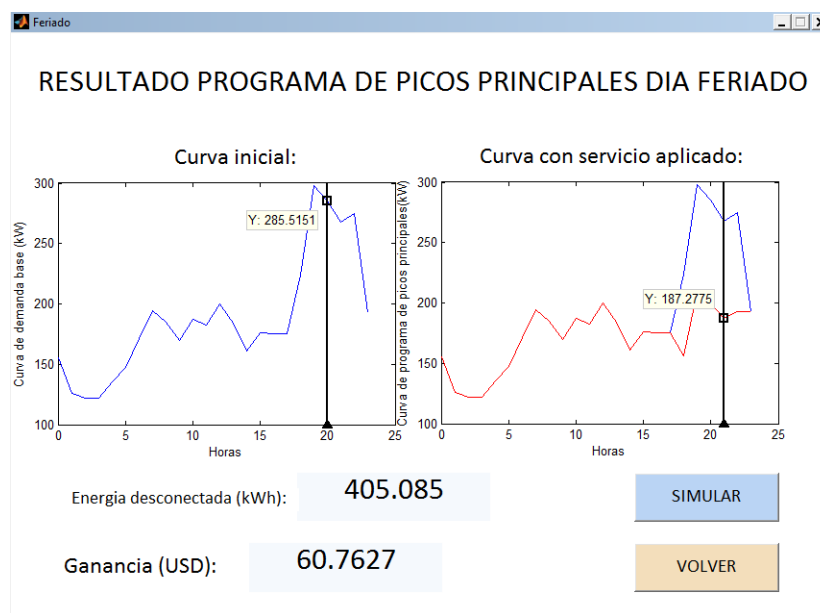


Figura 43. Resultado programa de picos principales día feriado

Se selecciona el valor de precio de escasez, carga gestionable, tasa de participación y porcentajes limite, después se selecciona el tipo de día en los botones laboral y feriado apareciendo como resultado la Figura 45 y la Figura 47 según el día seleccionado, por último el botón volver al inicio regresa a la pantalla de presentación del aplicativo.

PROGRAMA CONTROL TOTAL DE PICOS

Precio de escasez (USD): 0.15 ?

Carga gestionable (%): 30 ?

Tasa de participacion (%): 90 ?

Porcentaje limite (%): 90 ?

LABORAL

FERIADO

VOLVER AL INICIO

Figura 44. Variables de entrada programa control total de picos

Al presionar el botón simular aparecen los resultados del programa (Ver: Figura 46), al presionar el botón volver se regresa a la Figura 44 y al oprimir el botón usuarios se avanza a la Figura 47.

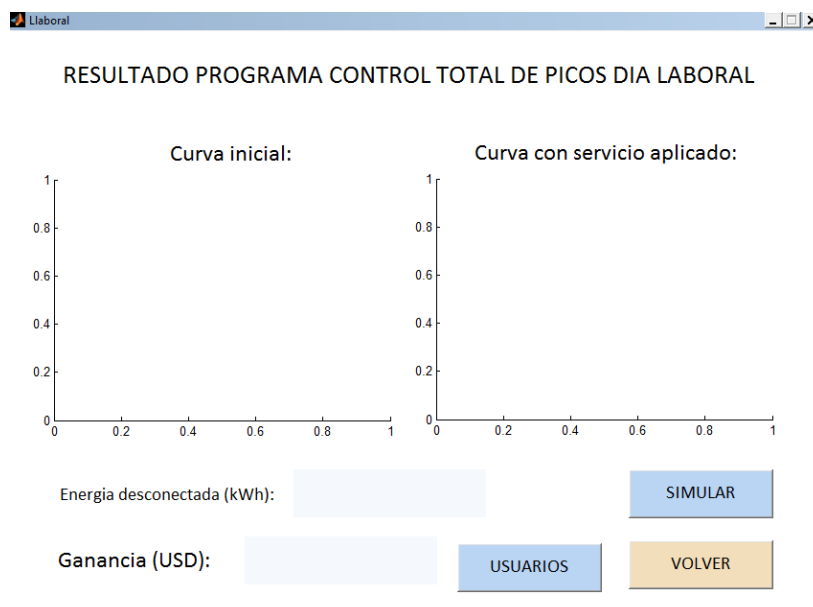


Figura 45. Pantalla de resultado programa control total de picos día laboral

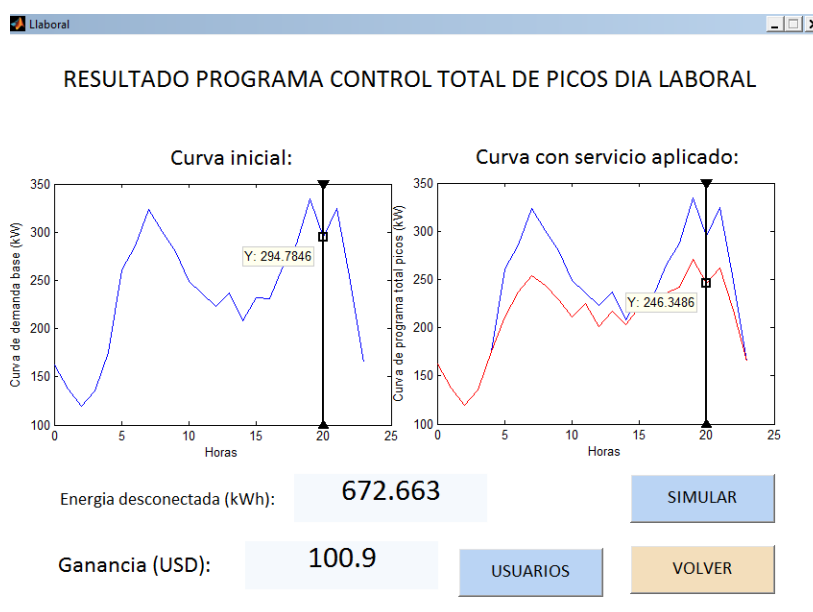


Figura 46. Resultado programa control total de picos día laboral

Se selecciona la hora en que se desee saber la información de usuarios participantes y sus potencias entregadas, apareciendo el resultado en la Figura 48 y se presiona el botón volver para regresar a la Figura 45.

USUARIOS PARTICIPANTES CONTROL TOTAL DE PICOS DIA LABORAL

Seleccione la hora a consultar

USUARIOS:

POTENCIAS (kW):

VOLVER

| | | | | | | | | | |
|----------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Grupo 1 a 10 | | | | | | | | | |
| Grupo 11 a 20 | | | | | | | | | |
| Grupo 21 a 30 | | | | | | | | | |
| Grupo 31 a 40 | | | | | | | | | |
| Grupo 41 a 50 | | | | | | | | | |
| Grupo 51 a 60 | | | | | | | | | |
| Grupo 61 a 70 | | | | | | | | | |
| Grupo 71 a 80 | | | | | | | | | |
| Grupo 81 a 90 | | | | | | | | | |
| Grupo 91 a 100 | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|----------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Grupo 1 a 10 | | | | | | | | | |
| Grupo 11 a 20 | | | | | | | | | |
| Grupo 21 a 30 | | | | | | | | | |
| Grupo 31 a 40 | | | | | | | | | |
| Grupo 41 a 50 | | | | | | | | | |
| Grupo 51 a 60 | | | | | | | | | |
| Grupo 61 a 70 | | | | | | | | | |
| Grupo 71 a 80 | | | | | | | | | |
| Grupo 81 a 90 | | | | | | | | | |
| Grupo 91 a 100 | | | | | | | | | |

Figura 47. Pantalla de usuarios participante control total de picos día laboral

USUARIOS PARTICIPANTES CONTROL TOTAL DE PICOS DIA LABORAL

Seleccione la hora a consultar

USUARIOS:

POTENCIAS (kW):

VOLVER

| | | | | | | | | | | |
|----------------|----|----|----|----|----|----|---|----|----|-----|
| Grupo 1 a 10 | 1 | 0 | 3 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 9 | 10 |
| Grupo 11 a 20 | 0 | 12 | 0 | 14 | 15 | 16 | 0 | 0 | 0 | 20 |
| Grupo 21 a 30 | 21 | 0 | 23 | 0 | 25 | 26 | 0 | 0 | 29 | 30 |
| Grupo 31 a 40 | 0 | 32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Grupo 41 a 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 46 | 0 | 0 | 49 | 0 |
| Grupo 51 a 60 | 0 | 0 | 53 | 54 | 55 | 0 | 0 | 0 | 59 | 0 |
| Grupo 61 a 70 | 61 | 62 | 63 | 0 | 65 | 66 | 0 | 68 | 0 | 0 |
| Grupo 71 a 80 | 0 | 72 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 78 | 0 | 80 |
| Grupo 81 a 90 | 0 | 82 | 83 | 84 | 0 | 86 | 0 | 0 | 89 | 90 |
| Grupo 91 a 100 | 0 | 92 | 93 | 94 | 0 | 0 | 0 | 0 | 99 | 100 |

| | | | | | | | | | | |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---|--------|--------|--------|
| Grupo 1 a 10 | 0.9929 | 0 | 1.1406 | 0 | 1.2574 | 0 | 0 | 0 | 1.3462 | 0.9480 |
| Grupo 11 a 20 | 0 | 1.1946 | 0 | 1.2915 | 1.3413 | 1.2593 | 0 | 0 | 0 | 1.2444 |
| Grupo 21 a 30 | 0.9264 | 0 | 1.1418 | 0 | 1.1865 | 1.0171 | 0 | 0 | 1.2100 | 1.0125 |
| Grupo 31 a 40 | 0 | 0.9778 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Grupo 41 a 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.9613 | 0 | 0 | 1.0416 | 0 |
| Grupo 51 a 60 | 0 | 0 | 1.2628 | 1.0455 | 1.2814 | 0 | 0 | 0 | 1.0453 | 0 |
| Grupo 61 a 70 | 1.2218 | 1.3149 | 1.3389 | 0 | 0.9626 | 0.9269 | 0 | 1.1308 | 0 | 0 |
| Grupo 71 a 80 | 0 | 1.1703 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.3160 | 0 | 1.2945 |
| Grupo 81 a 90 | 0 | 0.9497 | 1.1797 | 1.2835 | 0 | 1.0364 | 0 | 0 | 1.0847 | 0.9688 |
| Grupo 91 a 100 | 0 | 0.9796 | 0.9560 | 0.9085 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.9455 | 1.3408 |

Figura 48. Usuarios participantes control total de picos día laboral

Al presionar el botón simular aparecen los resultados del programa (Ver: Figura 50), al presionar el botón volver se regresa a la Figura 44 y al oprimir el botón usuarios se avanza a la Figura 51.

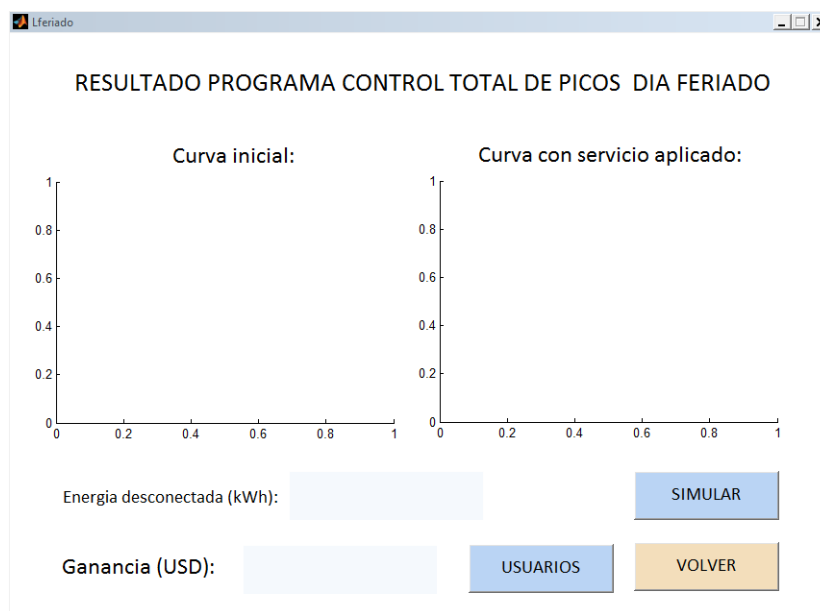


Figura 49. Pantalla de resultado programa control total de picos día feriado

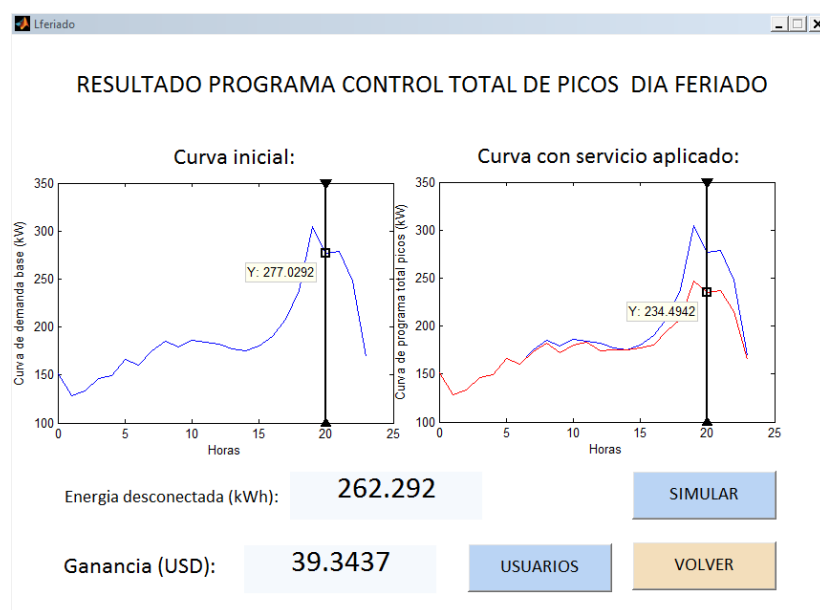


Figura 50. Resultado programa control de picos día feriado

Se selecciona la hora en que se desee saber la información de usuarios participantes y sus potencias entregadas, apareciendo el resultado en la Figura 52 y se presiona el botón volver para regresar a la Figura 49.

USUARIOS PARTICIPANTES CONTROL TOTAL DE PICOS DIA FERIADO

Seleccione la hora a consultar

USUARIOS:

POTENCIAS (kW):

VOLVER

| Grupo | 1 a 10 | 11 a 20 | 21 a 30 | 31 a 40 | 41 a 50 | 51 a 60 | 61 a 70 | 71 a 80 | 81 a 90 | 91 a 100 |
|----------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| Grupo 1 a 10 | | | | | | | | | | |
| Grupo 11 a 20 | | | | | | | | | | |
| Grupo 21 a 30 | | | | | | | | | | |
| Grupo 31 a 40 | | | | | | | | | | |
| Grupo 41 a 50 | | | | | | | | | | |
| Grupo 51 a 60 | | | | | | | | | | |
| Grupo 61 a 70 | | | | | | | | | | |
| Grupo 71 a 80 | | | | | | | | | | |
| Grupo 81 a 90 | | | | | | | | | | |
| Grupo 91 a 100 | | | | | | | | | | |

| Grupo | 1 a 10 | 11 a 20 | 21 a 30 | 31 a 40 | 41 a 50 | 51 a 60 | 61 a 70 | 71 a 80 | 81 a 90 | 91 a 100 |
|----------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| Grupo 1 a 10 | | | | | | | | | | |
| Grupo 11 a 20 | | | | | | | | | | |
| Grupo 21 a 30 | | | | | | | | | | |
| Grupo 31 a 40 | | | | | | | | | | |
| Grupo 41 a 50 | | | | | | | | | | |
| Grupo 51 a 60 | | | | | | | | | | |
| Grupo 61 a 70 | | | | | | | | | | |
| Grupo 71 a 80 | | | | | | | | | | |
| Grupo 81 a 90 | | | | | | | | | | |
| Grupo 91 a 100 | | | | | | | | | | |

Figura 51. Pantalla de usuarios participantes control total de picos día feriado

USUARIOS PARTICIPANTES CONTROL TOTAL DE PICOS DIA FERIADO

Seleccione la hora a consultar

USUARIOS: 51

POTENCIAS (kW): 55.5417

VOLVER

| Grupo | 1 a 10 | 11 a 20 | 21 a 30 | 31 a 40 | 41 a 50 | 51 a 60 | 61 a 70 | 71 a 80 | 81 a 90 | 91 a 100 |
|----------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| Grupo 1 a 10 | 1 | 2 | 0 | 4 | 0 | 6 | 0 | 0 | 9 | 0 |
| Grupo 11 a 20 | 11 | 12 | 13 | 14 | 0 | 16 | 17 | 0 | 19 | 20 |
| Grupo 21 a 30 | 21 | 0 | 23 | 24 | 0 | 26 | 0 | 28 | 29 | 30 |
| Grupo 31 a 40 | 0 | 0 | 0 | 34 | 35 | 0 | 37 | 0 | 39 | 0 |
| Grupo 41 a 50 | 41 | 42 | 0 | 0 | 45 | 0 | 0 | 0 | 49 | 0 |
| Grupo 51 a 60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 55 | 56 | 0 | 0 | 0 | 60 |
| Grupo 61 a 70 | 0 | 62 | 0 | 64 | 0 | 66 | 0 | 68 | 0 | 70 |
| Grupo 71 a 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 77 | 0 | 79 | 80 | 0 |
| Grupo 81 a 90 | 0 | 0 | 0 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 0 |
| Grupo 91 a 100 | 0 | 92 | 93 | 94 | 0 | 0 | 97 | 98 | 99 | 0 |

| Grupo | 1 a 10 | 11 a 20 | 21 a 30 | 31 a 40 | 41 a 50 | 51 a 60 | 61 a 70 | 71 a 80 | 81 a 90 | 91 a 100 |
|----------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| Grupo 1 a 10 | 0.9732 | 1.3523 | 0 | 1.1079 | 0 | 1.3598 | 0 | 0 | 1.0726 | 0 |
| Grupo 11 a 20 | 0.9640 | 1.0268 | 1.0511 | 0.8670 | 0 | 1.1561 | 1.3837 | 0 | 0.8204 | 1.0094 |
| Grupo 21 a 30 | 0.9335 | 0 | 1.3263 | 1.0385 | 0 | 1.2319 | 0 | 1.3296 | 0.8717 | 1.0841 |
| Grupo 31 a 40 | 0 | 0 | 0 | 1.3080 | 1.3649 | 0 | 1.2444 | 0 | 0.8258 | 0 |
| Grupo 41 a 50 | 1.3442 | 0.9578 | 0 | 0 | 0.8268 | 0 | 0 | 0 | 0.8241 | 0 |
| Grupo 51 a 60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.1606 | 0.9883 | 0 | 0 | 0 | 1.3084 |
| Grupo 61 a 70 | 0 | 1.2161 | 0 | 1.2439 | 0 | 0.9600 | 0 | 1.3268 | 0 | 1.0013 |
| Grupo 71 a 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.9373 | 0 | 1.3721 | 0.9020 |
| Grupo 81 a 90 | 0 | 0 | 0 | 1.1413 | 0.9476 | 0.9433 | 0.9223 | 1.1063 | 1.0405 | 0 |
| Grupo 91 a 100 | 0 | 1.1791 | 1.1208 | 0.9369 | 0 | 0 | 0.9846 | 1.0353 | 1.1109 | 0 |

Figura 52. Usuarios participantes control total de picos día feriado

Se selecciona el valor de precio de bolsa, carga gestionable y tasa de participación, después se selecciona el tipo de día de despacho aleatorio y no aleatorio, apareciendo como resultado la Figura 54 y la Figura 67 según el día seleccionado, por último el botón volver al inicio regresa a la pantalla de presentación del aplicativo.

Despacho

PROGRAMA DESPACHO DE DESCONEXION

Precio de bolsa (USD): 0.2 ?

Carga gestionable (%): 50 ?

Tasa de participacion (%): 90 ?

ALEATORIO ?

NO ALEATORIO ?

VOLVER AL INICIO

Figura 53. Variables de entrada programa despacho de desconexión

Se selecciona el valor de rango mínimo y rango máximo, después se selecciona el tipo de día en los botones laboral y feriado apareciendo como resultado la Figura 55 y la Figura 59 según el día seleccionado, para consultar la información de despacho se oprime los botones estadística laboral y feriado apareciendo la Figura 63 y la Figura 65, por último el botón volver regresa a la Figura 53.

Aleatorio

DESPACHO ALEATORIO

Rango minimo (%): 92 ?

Rango maximo (%): 100 ?

LABORAL

FERIADO

VOLVER

SOLICITUD DE POTENCIA DEL OPERADOR Y POTENCIA ANTERIOR DIA

Estadistica laboral

Estadistica feriado

Figura 54. Variables de entrada despacho aleatorio

Al presionar el botón simular aparecen los resultados del programa (Ver: Figura 56), al presionar el botón volver se regresa a la Figura 54 y al oprimir el botón usuarios se avanza a la Figura 57.

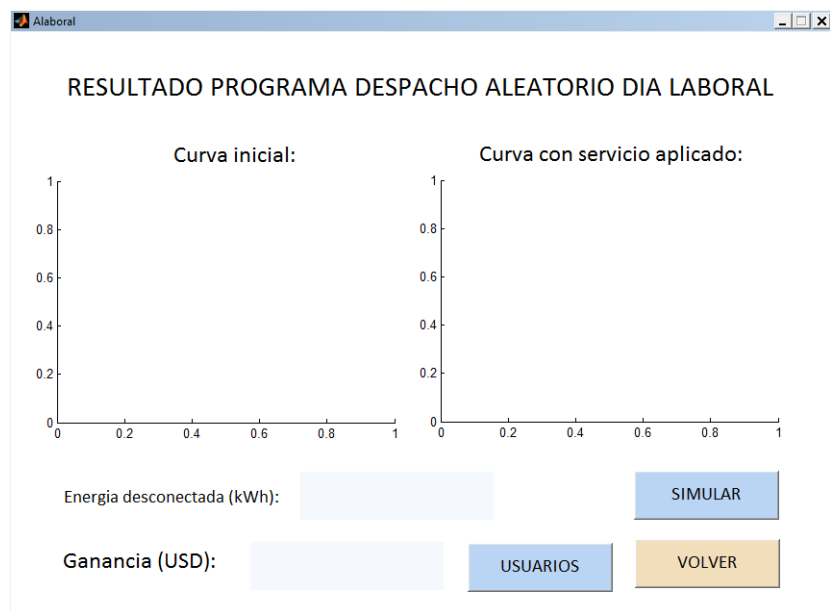


Figura 55. Pantalla de resultado programa despacho aleatorio día laboral

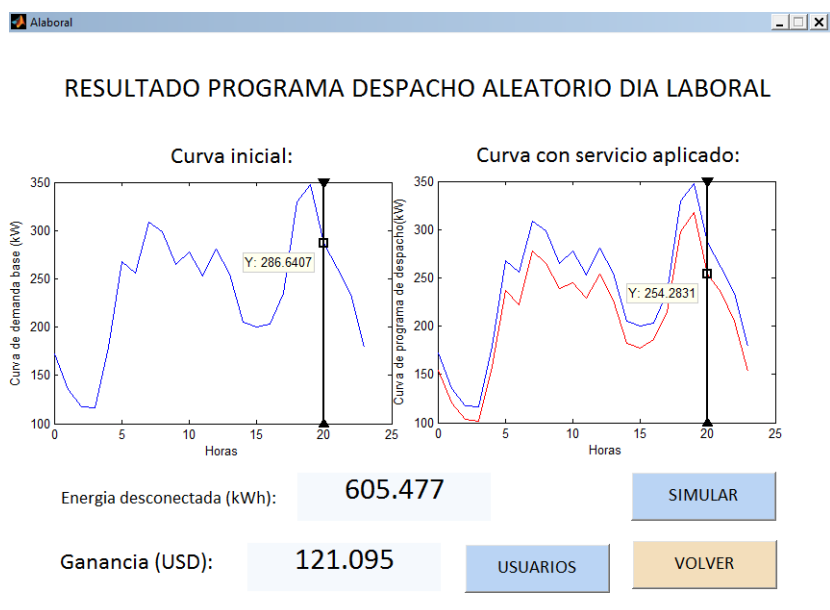


Figura 56. Resultado programa despacho aleatorio día laboral

Se selecciona la hora en que se desee saber la información de usuarios participantes y sus potencias entregadas, apareciendo el resultado en la Figura 58 y se presiona el botón volver para regresar a la Figura 55.

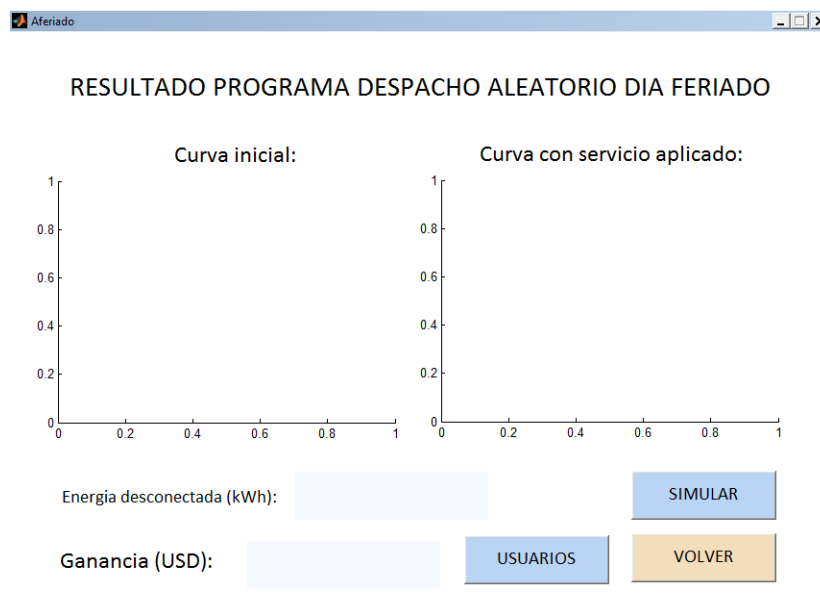


Figura 59. Pantalla de resultado programa despacho aleatorio día feriado

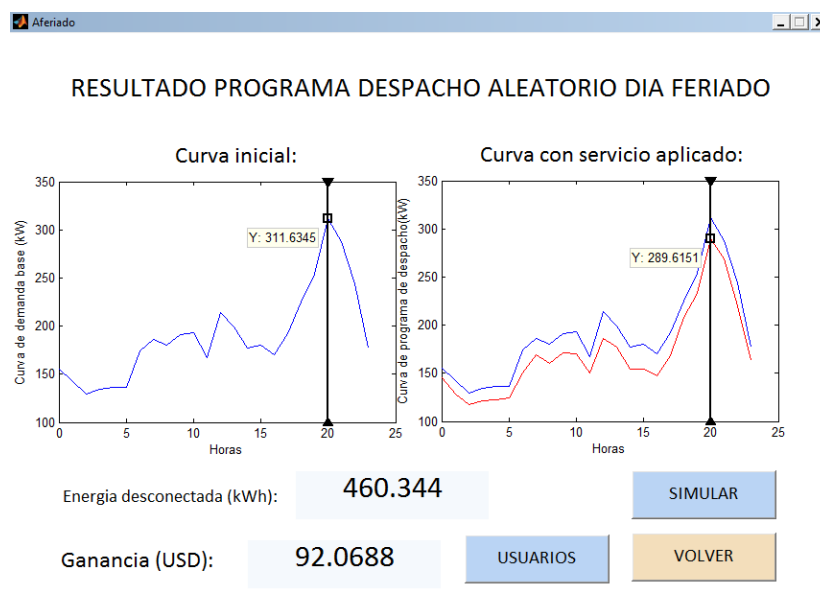


Figura 60. Resultado programa despacho aleatorio día feriado

Se selecciona la hora en que se desee saber la información de usuarios participantes y sus potencias entregadas, apareciendo el resultado en la Figura 62 y se presiona el botón volver para regresar a la Figura 59.

SOLICITUD DE POTENCIA DEL OPERADOR Y POTENCIA ANTERIOR DIA LABORAL

| | Potencia desconectada (kW) | Oferta despacho (kW) | Demanda no remunerada (kW) | Numero de usuarios |
|----|----------------------------|----------------------|----------------------------|--------------------|
| 0 | | | | |
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |
| 6 | | | | |
| 7 | | | | |
| 8 | | | | |
| 9 | | | | |
| 10 | | | | |
| 11 | | | | |
| 12 | | | | |
| 13 | | | | |
| 14 | | | | |
| 15 | | | | |
| 16 | | | | |
| 17 | | | | |
| 18 | | | | |
| 19 | | | | |
| 20 | | | | |
| 21 | | | | |
| 22 | | | | |
| 23 | | | | |

Figura 63. Pantalla solicitud de potencia del operador y potencia anterior día laboral

SOLICITUD DE POTENCIA DEL OPERADOR Y POTENCIA ANTERIOR DIA LABORAL

| | Potencia desconectada (kW) | Oferta despacho (kW) | Demanda no remunerada (kW) | Numero de usuarios |
|----|----------------------------|----------------------|----------------------------|--------------------|
| 0 | 23.6271 | 22.0850 | 1.5421 | 290 |
| 1 | 15.3195 | 14.6150 | 0.7045 | 230 |
| 2 | 13.9827 | 13.4190 | 0.5637 | 240 |
| 3 | 15.3630 | 15.1670 | 0.1960 | 240 |
| 4 | 29.6442 | 28.7250 | 0.9192 | 330 |
| 5 | 40.2196 | 37.1610 | 3.0586 | 290 |
| 6 | 20.8838 | 20.0620 | 0.8218 | 170 |
| 7 | 39.4912 | 39.2050 | 0.2862 | 260 |
| 8 | 27.2579 | 25.8030 | 1.4549 | 210 |
| 9 | 33.9577 | 31.3680 | 2.5897 | 210 |
| 10 | 38.6686 | 36.2850 | 2.3836 | 260 |
| 11 | 23.8127 | 23.1410 | 0.6717 | 210 |
| 12 | 20.7633 | 20.2330 | 0.5303 | 170 |
| 13 | 32.1570 | 30.3010 | 1.8560 | 240 |
| 14 | 21.3387 | 19.8260 | 1.5127 | 200 |
| 15 | 23.2396 | 22.3540 | 0.8856 | 230 |
| 16 | 22.2663 | 21.2060 | 1.0603 | 230 |
| 17 | 26.1554 | 25.1270 | 1.0284 | 230 |
| 18 | 38.7904 | 36.9840 | 1.8064 | 230 |
| 19 | 26.9025 | 26.8880 | 0.0145 | 160 |
| 20 | 32.4462 | 30 | 2.4462 | 200 |
| 21 | 31.6432 | 29.1360 | 2.5072 | 200 |
| 22 | 26.0530 | 24.8480 | 1.2050 | 240 |
| 23 | 18.6890 | 18.6520 | 0.0370 | 210 |

Figura 64. Solicitud de potencia del operador y potencia anterior día laboral

En estadística feriado se presiona el botón mostrar para visualizar los resultados de despacho (Ver: Figura 66), con el botón volver se regresa a la Figura 54.

SOLICITUD DE POTENCIA DEL OPERADOR Y POTENCIA ANTERIOR DIA FERIADO

| | Potencia desconectada (kW) | Oferta despacho (kW) | Demanda no remunerada (kW) | Numero de usuarios |
|----|----------------------------|----------------------|----------------------------|--------------------|
| 0 | | | | |
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |
| 6 | | | | |
| 7 | | | | |
| 8 | | | | |
| 9 | | | | |
| 10 | | | | |
| 11 | | | | |
| 12 | | | | |
| 13 | | | | |
| 14 | | | | |
| 15 | | | | |
| 16 | | | | |
| 17 | | | | |
| 18 | | | | |
| 19 | | | | |
| 20 | | | | |
| 21 | | | | |
| 22 | | | | |
| 23 | | | | |

MOSTRAR

VOLVER

Figura 65. Pantalla de solicitud de potencia del operador y potencia anterior día feriado

SOLICITUD DE POTENCIA DEL OPERADOR Y POTENCIA ANTERIOR DIA FERIADO

| | Potencia desconectada (kW) | Oferta despacho (kW) | Demanda no remunerada (kW) | Numero de usuarios |
|----|----------------------------|----------------------|----------------------------|--------------------|
| 0 | 22.9827 | 22.7380 | 0.2447 | 270 |
| 1 | 18.8092 | 17.7850 | 1.0242 | 290 |
| 2 | 16.4979 | 16.3090 | 0.1889 | 260 |
| 3 | 20.0872 | 18.8070 | 1.2802 | 310 |
| 4 | 21.9271 | 21.7440 | 0.1831 | 320 |
| 5 | 20.9789 | 20.3260 | 0.6529 | 310 |
| 6 | 12.6767 | 11.8250 | 0.8517 | 200 |
| 7 | 17.3543 | 16.9480 | 0.4063 | 210 |
| 8 | 15.7535 | 15.6320 | 0.1215 | 160 |
| 9 | 17.4690 | 17.1530 | 0.3160 | 180 |
| 10 | 12.1167 | 11.2280 | 0.8887 | 140 |
| 11 | 14.3088 | 14.0420 | 0.2668 | 170 |
| 12 | 19.9038 | 19.2060 | 0.6978 | 240 |
| 13 | 16.2312 | 15.3140 | 0.9172 | 200 |
| 14 | 18.1680 | 17.1470 | 1.0210 | 210 |
| 15 | 21.4934 | 19.8510 | 1.6424 | 220 |
| 16 | 20.6691 | 19.5310 | 1.1381 | 230 |
| 17 | 14.9216 | 14.1940 | 0.7276 | 190 |
| 18 | 36.1866 | 35.0220 | 1.1646 | 310 |
| 19 | 38.6117 | 35.9760 | 2.6357 | 300 |
| 20 | 42.5283 | 42.0550 | 0.4733 | 290 |
| 21 | 42.0248 | 40.9120 | 1.1128 | 290 |
| 22 | 33.3947 | 33.3490 | 0.0457 | 250 |
| 23 | 22.3431 | 21.8770 | 0.4661 | 270 |

MOSTRAR

VOLVER

Figura 66. Solicitud de potencia del operador y potencia anterior día feriado

Se selecciona el valor por horas de las ofertas laboral y feriado, después se selecciona el tipo de día en los botones laboral y feriado apareciendo como resultado la Figura 68 y la Figura 74 según el día seleccionado, para consultar la información de despacho se oprime los botones estadística laboral y feriado apareciendo la Figura 72 y la Figura 78, por último el botón volver regresa a la Figura 53.

Definido

DESPACHO NO ALEATORIO

| Horas: | O laboral (kW): | O feriado (kW): |
|--------|-----------------|-----------------|
| 0 | 10 | 10 |
| 1 | 10 | 10 |
| 2 | 10 | 10 |
| 3 | 10 | 10 |
| 4 | 10 | 10 |
| 5 | 10 | 10 |
| 6 | 30 | 15 |
| 7 | 30 | 15 |
| 8 | 30 | 15 |
| 9 | 30 | 15 |
| 10 | 15 | 15 |
| 11 | 15 | 15 |
| 12 | 15 | 15 |
| 13 | 15 | 15 |
| 14 | 15 | 15 |
| 15 | 15 | 15 |
| 16 | 15 | 15 |
| 17 | 15 | 15 |
| 18 | 30 | 30 |
| 19 | 30 | 30 |
| 20 | 30 | 30 |
| 21 | 30 | 30 |
| 22 | 15 | 30 |
| 23 | 15 | 15 |

INFORMACION DESPACHO

Estadística laboral

Estadística feriado

LABORAL

FERIADO

VOLVER

Figura 67. Variables de entrada despacho no aleatorio

Al presionar el botón simular aparecen los resultados del programa (Ver: Figura 69), al presionar el botón volver se regresa a la Figura 67 y al oprimir el botón usuarios se avanza a la Figura 70.

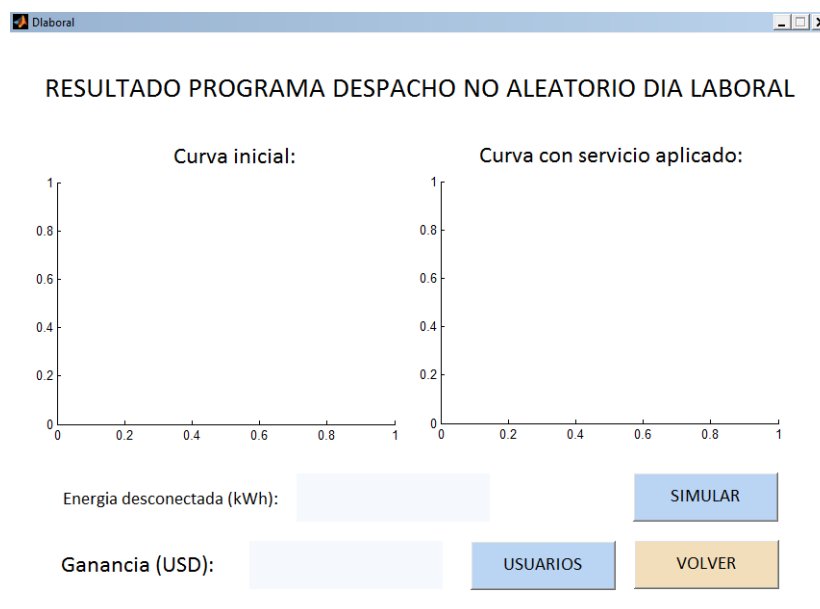


Figura 68. Pantalla de resultado programa despacho no aleatorio día laboral

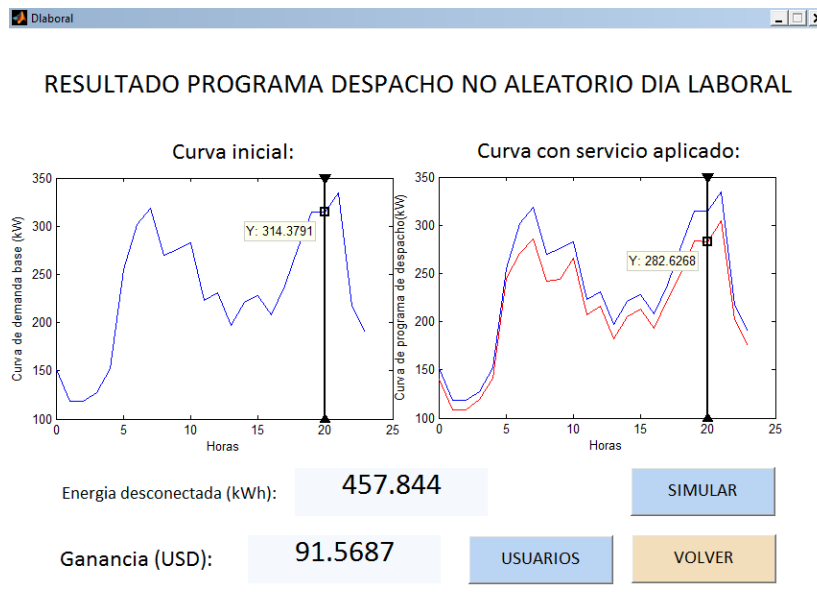


Figura 69. Resultado programa despacho no aleatorio día laboral

Se selecciona la hora en que se desee saber la información de usuarios participantes y sus potencias entregadas, apareciendo el resultado en la Figura 71 y se presiona el botón volver para regresar a la Figura 68.

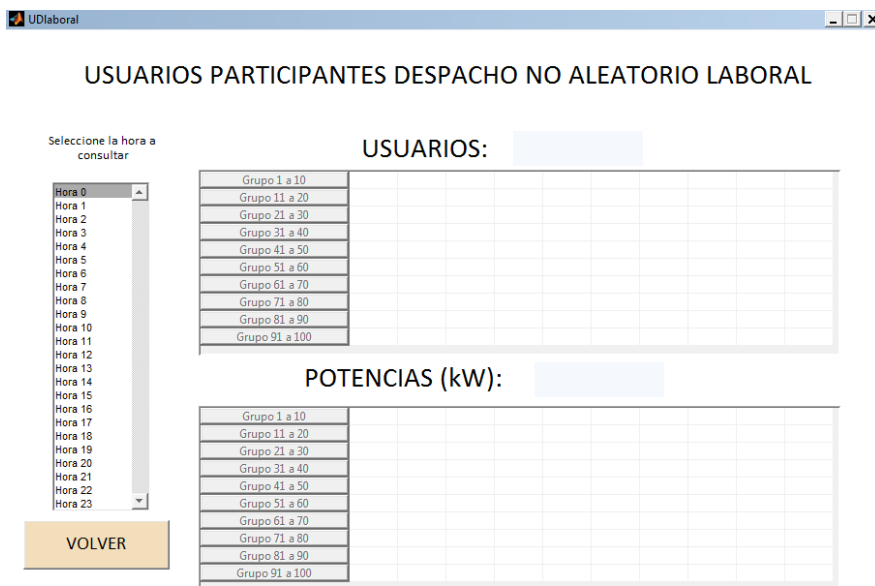


Figura 70. Pantalla de usuarios participantes despacho no aleatorio laboral



Figura 71. Usuarios participantes despacho no aleatorio laboral

En estadística laboral se presiona el botón mostrar para visualizar los resultados de despacho (Ver: Figura 73), con el botón volver se regresa a la Figura 67.



Figura 72. Pantalla de información despacho no aleatorio laboral

tdlab2

INFORMACION DESPACHO NO ALEATORIO LABORAL

| | Potencia desconectada (kW) | Oferta despacho (kW) | Diferencia (kW) | Numero de usuarios | Cumple |
|----|----------------------------|----------------------|-----------------|--------------------|--------|
| 0 | 10.6733 | 10 | 0.6733 | 150 | 1 |
| 1 | 10.6010 | 10 | 0.6010 | 160 | 1 |
| 2 | 8.8414 | 10 | -1.1586 | 150 | 0 |
| 3 | 10.2299 | 10 | 0.2299 | 170 | 1 |
| 4 | 10.3399 | 10 | 0.3399 | 160 | 1 |
| 5 | 10.2606 | 10 | 0.2606 | 140 | 1 |
| 6 | 29.2336 | 30 | -0.7664 | 210 | 0 |
| 7 | 30.2061 | 30 | 0.2061 | 180 | 1 |
| 8 | 21.5962 | 30 | -8.4038 | 170 | 0 |
| 9 | 18.9975 | 30 | -11.0025 | 140 | 0 |
| 10 | 15.0532 | 15 | 0.0532 | 160 | 1 |
| 11 | 15.2549 | 15 | 0.2549 | 140 | 1 |
| 12 | 16.4651 | 15 | 1.4651 | 150 | 1 |
| 13 | 15.5262 | 15 | 0.5262 | 170 | 1 |
| 14 | 15.4966 | 15 | 0.4966 | 170 | 1 |
| 15 | 15.7269 | 15 | 0.7269 | 150 | 1 |
| 16 | 15.5054 | 15 | 0.5054 | 170 | 1 |
| 17 | 15.1201 | 15 | 0.1201 | 140 | 1 |
| 18 | 31.4365 | 30 | 1.4365 | 220 | 1 |
| 19 | 30.0234 | 30 | 0.0234 | 210 | 1 |
| 20 | 31.2944 | 30 | 1.2944 | 210 | 1 |
| 21 | 31.1616 | 30 | 1.1616 | 230 | 1 |
| 22 | 16.1349 | 15 | 1.1349 | 150 | 1 |
| 23 | 15.5403 | 15 | 0.5403 | 180 | 1 |

Figura 73. Información despacho no aleatorio laboral

Al presionar el botón simular aparecen los resultados del programa (Ver: Figura 75), al presionar el botón volver se regresa a la Figura 67 y al oprimir el botón usuarios se avanza a la Figura 76.

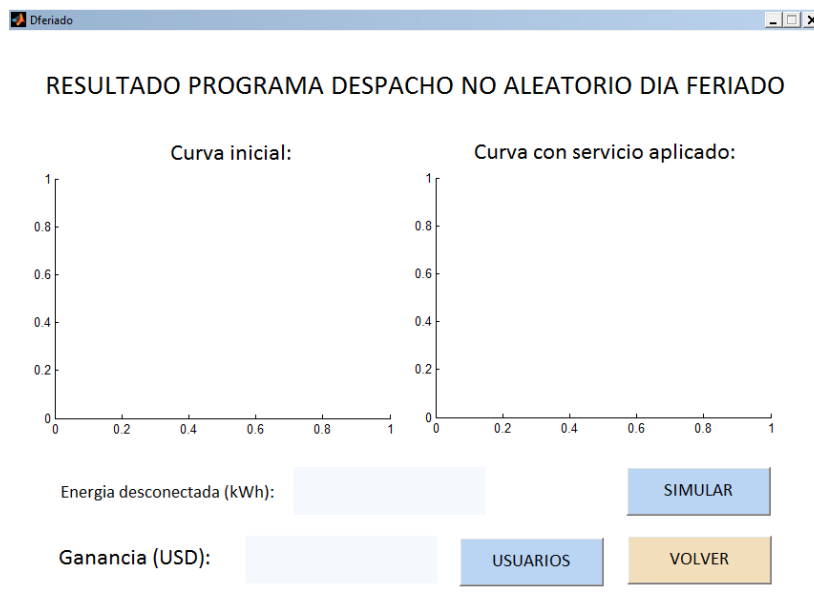


Figura 74. Pantalla de resultado programa despacho no aleatorio día feriado

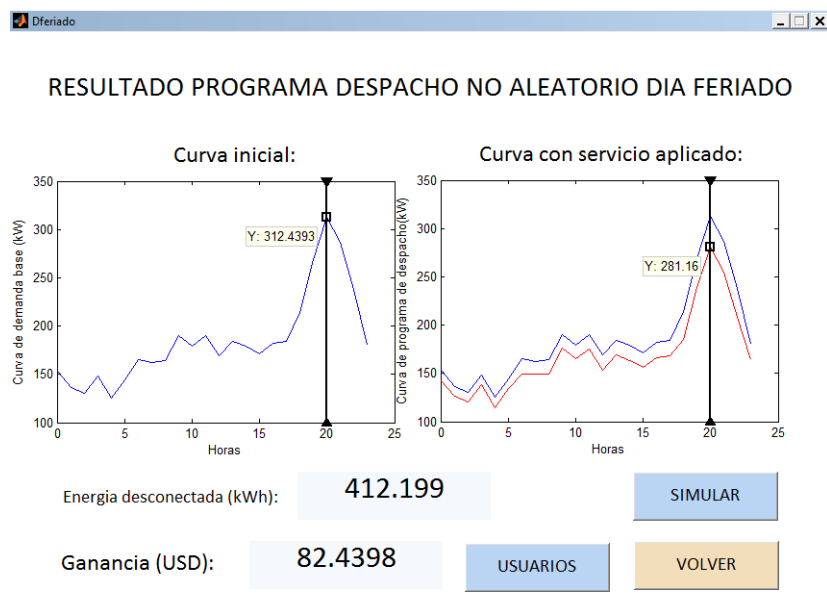


Figura 75. Resultado programa despacho no aleatorio día feriado

Se selecciona la hora en que se desee saber la información de usuarios participantes y sus potencias entregadas, apareciendo el resultado en la Figura 77 y se presiona el botón volver para regresar a la Figura 74.

UDferiado

USUARIOS PARTICIPANTES DESPACHO NO ALEATORIO FERIADO

Seleccione la hora a consultar

Hora 0
Hora 1
Hora 2
Hora 3
Hora 4
Hora 5
Hora 6
Hora 7
Hora 8
Hora 9
Hora 10
Hora 11
Hora 12
Hora 13
Hora 14
Hora 15
Hora 16
Hora 17
Hora 18
Hora 19
Hora 20
Hora 21
Hora 22
Hora 23

VOLVER

USUARIOS:

| | | | | | |
|----------------|--|--|--|--|--|
| Grupo 1 a 10 | | | | | |
| Grupo 11 a 20 | | | | | |
| Grupo 21 a 30 | | | | | |
| Grupo 31 a 40 | | | | | |
| Grupo 41 a 50 | | | | | |
| Grupo 51 a 60 | | | | | |
| Grupo 61 a 70 | | | | | |
| Grupo 71 a 80 | | | | | |
| Grupo 81 a 90 | | | | | |
| Grupo 91 a 100 | | | | | |

POTENCIAS (kW):

| | | | | | |
|----------------|--|--|--|--|--|
| Grupo 1 a 10 | | | | | |
| Grupo 11 a 20 | | | | | |
| Grupo 21 a 30 | | | | | |
| Grupo 31 a 40 | | | | | |
| Grupo 41 a 50 | | | | | |
| Grupo 51 a 60 | | | | | |
| Grupo 61 a 70 | | | | | |
| Grupo 71 a 80 | | | | | |
| Grupo 81 a 90 | | | | | |
| Grupo 91 a 100 | | | | | |

Figura 76. Pantalla de usuarios participantes despacho no aleatorio feriado

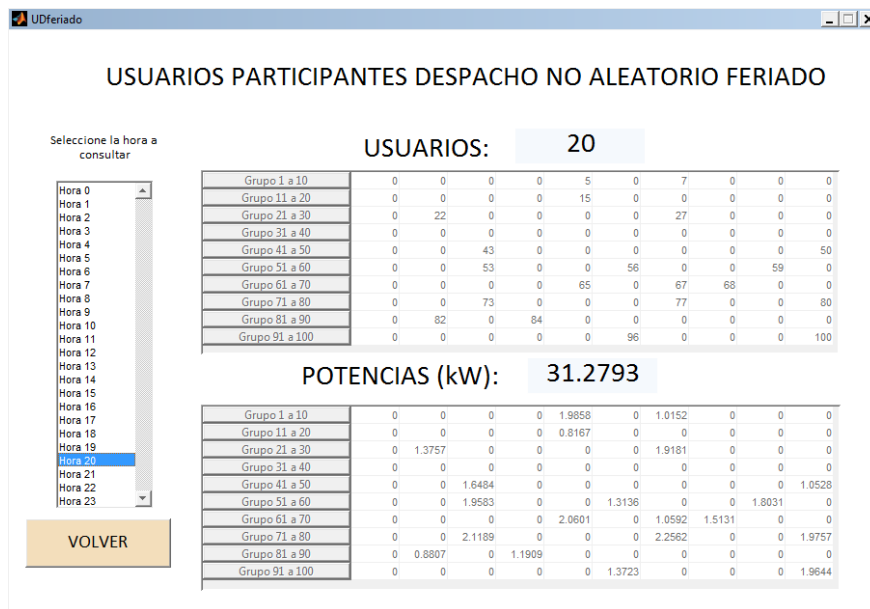


Figura 77. Usuarios participantes despacho no aleatorio feriado

En estadística feriado se presiona el botón mostrar para visualizar los resultados de despacho (Ver: Figura 79), con el botón volver se regresa a la Figura 67.



Figura 78. Pantalla de información despacho no aleatorio feriado

Idfer2

INFORMACION DESPACHO NO ALEATORIO FERIADO

| | Potencia desconectada (kW) | Oferta despacho (kW) | Diferencia (kW) | Numero de usuarios | Cumple |
|----|----------------------------|----------------------|-----------------|--------------------|--------|
| 0 | 10.2937 | 10 | 0.2937 | 170 | 1 |
| 1 | 10.0701 | 10 | 0.0701 | 140 | 1 |
| 2 | 10.3634 | 10 | 0.3634 | 180 | 1 |
| 3 | 10.3881 | 10 | 0.3881 | 170 | 1 |
| 4 | 10.4649 | 10 | 0.4649 | 160 | 1 |
| 5 | 10.8498 | 10 | 0.8498 | 150 | 1 |
| 6 | 15.6990 | 15 | 0.6990 | 210 | 1 |
| 7 | 15.5583 | 15 | 0.5583 | 200 | 1 |
| 8 | 15.4878 | 15 | 0.4878 | 190 | 1 |
| 9 | 15.9983 | 15 | 0.9983 | 170 | 1 |
| 10 | 16.0220 | 15 | 1.0220 | 180 | 1 |
| 11 | 15.5689 | 15 | 0.5689 | 190 | 1 |
| 12 | 16.1461 | 15 | 1.1461 | 210 | 1 |
| 13 | 15.3800 | 15 | 0.3800 | 170 | 1 |
| 14 | 15.4279 | 15 | 0.4279 | 210 | 1 |
| 15 | 16.1262 | 15 | 1.1262 | 200 | 1 |
| 16 | 15.6888 | 15 | 0.6888 | 240 | 1 |
| 17 | 16.2297 | 15 | 1.2297 | 190 | 1 |
| 18 | 27.6775 | 30 | -2.3225 | 280 | 0 |
| 19 | 27.0730 | 30 | -2.9270 | 240 | 0 |
| 20 | 30.0224 | 30 | 0.0224 | 190 | 1 |
| 21 | 30.4474 | 30 | 0.4474 | 230 | 1 |
| 22 | 23.7582 | 30 | -6.2418 | 210 | 0 |
| 23 | 15.8193 | 15 | 0.8193 | 200 | 1 |

Figura 79. Información despacho no aleatorio feriado

ANEXO 3. ALGORITMOS DEL APLICATIVO DE AGREGADOR DE RESPUESTA DE LA DEMANDA BASADO EN INCENTIVOS.

Se presentan 3 algoritmos uno por cada programa presentado (Control de picos principales, Control total de picos y Despacho de desconexión), ya que se trabajan individualmente, estos muestran de forma gráfica los procesos ejecutados por la aplicación, la explicación detallada se muestra en el modelamiento matemático.

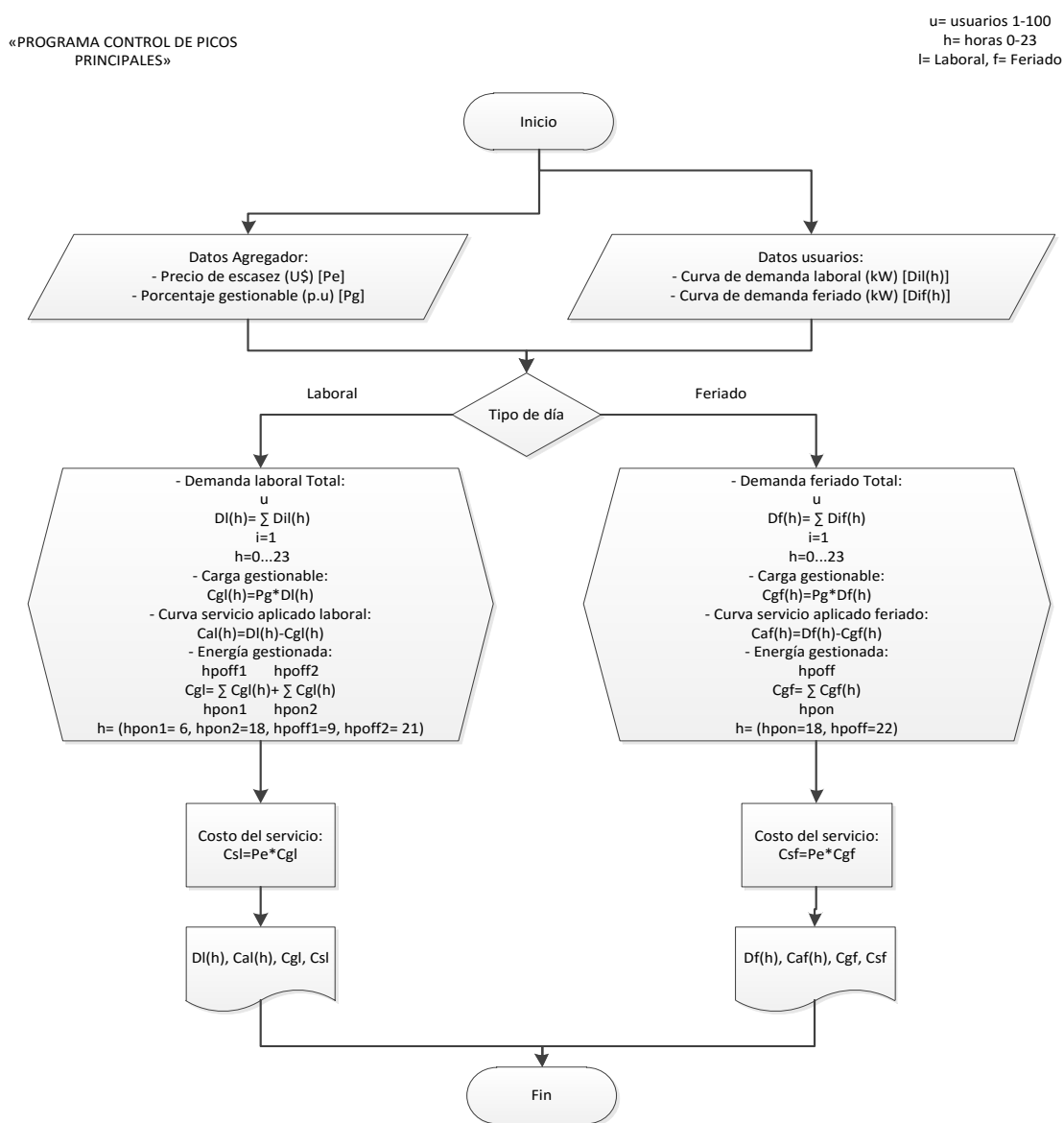


Figura 80. Algoritmo programa control de picos principales (Fuente: Autor).

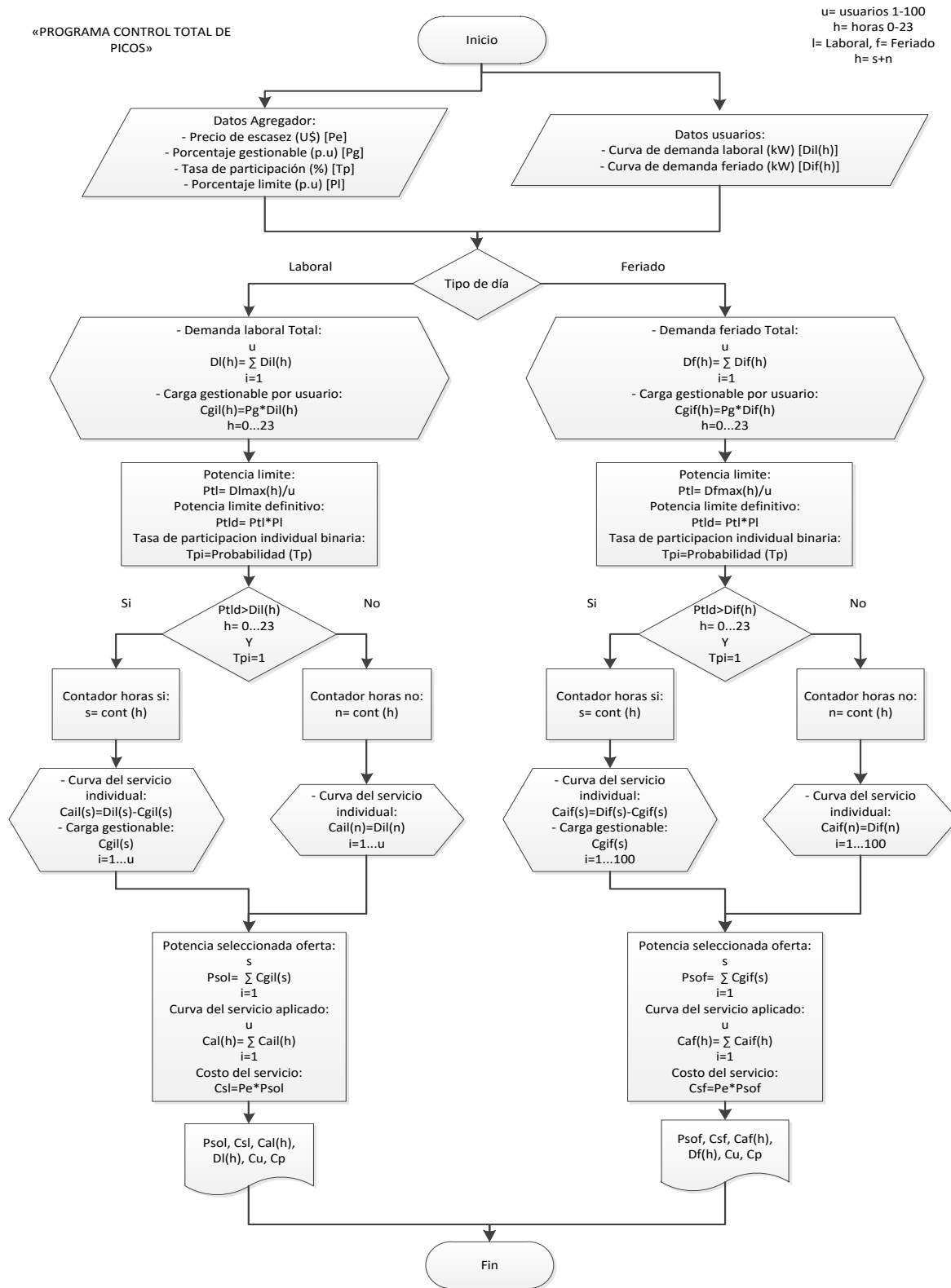


Figura 81. Algoritmo programa control total de picos (Fuente: Autor).

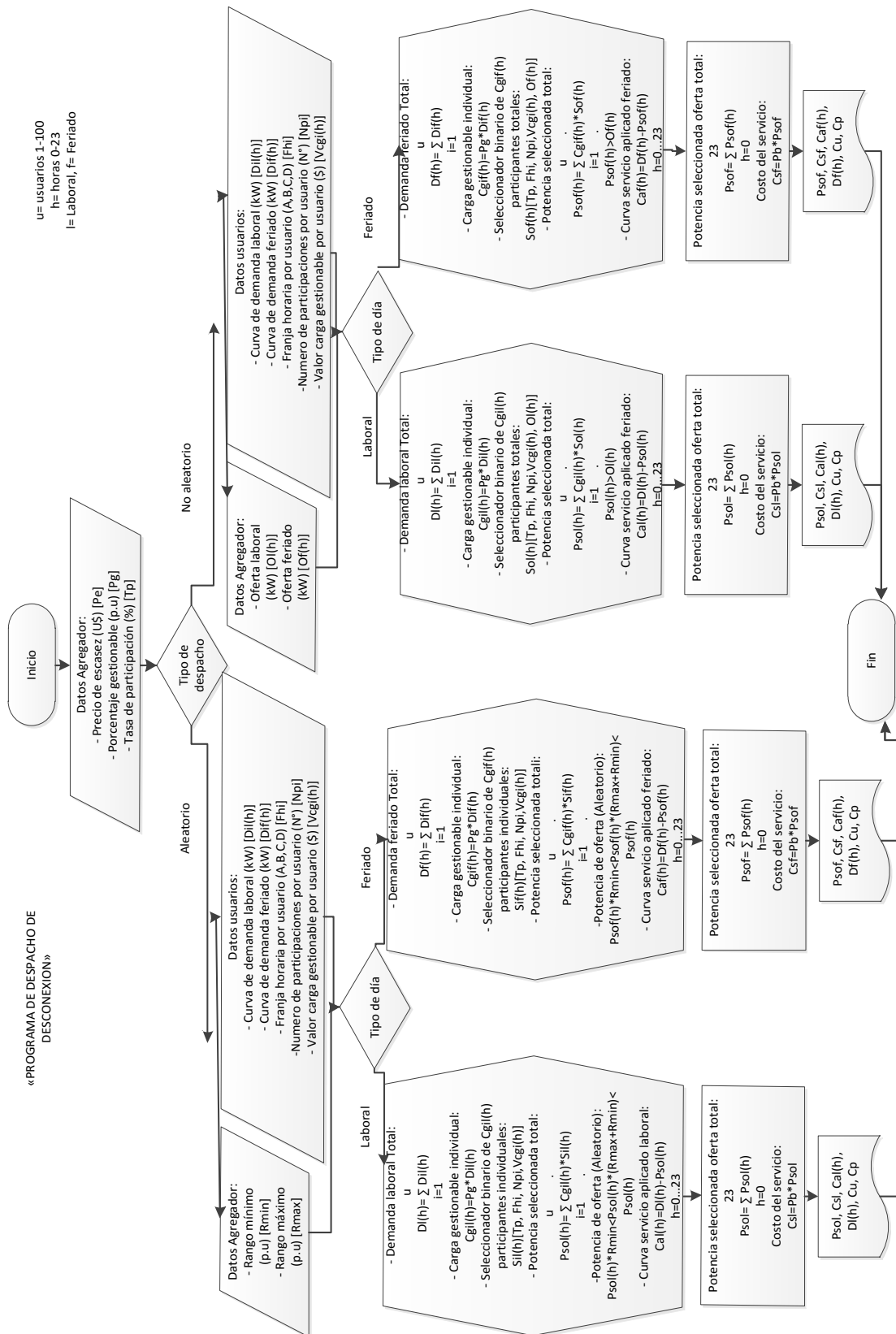


Figura 82. Algoritmo programa despacho de desconexión (Fuente: Autor).

ANEXO 4. MODELAMIENTO MATEMATICO AGREGADOR DE RESPUESTA DE LA DEMANDA BASADO EN INCENTIVOS.

Se plantean tres tipos de estrategias del programa de RD a ofertar a los usuarios de respuesta de la demanda cada uno con diferentes características de funcionamiento, existen 100 grupos de usuarios de a 10 integrantes, estos se representan bajo la letra u , la participación de los usuarios es voluntaria exceptuando el programa de control de picos. En el algoritmo se indica la letra (h) para las horas, (u) para los usuarios, (l) para el día laboral y (f) para el día feriado.

Programa de control de picos principales

En esta estrategia los datos de entrada para el agregador son el precio de escasez (Pe) dado en dólares (USD) y el porcentaje gestionable (Pg) dado en valores de p.u. y los datos de entrada para los usuarios son las curvas de demanda en los días laboral y feriado ($D_{il}(h)$ y $D_{if}(h)$), los cuales son funciones, donde la variable independiente corresponde a las horas (h) y la variable dependiente son las potencias que el usuario consume (kW).

Se selecciona el tipo de día (l) o (f) para elegir si se va a trabajar con la curva $D_{il}(h)$ o $D_{if}(h)$ y las horas consideradas pico que son diferentes para los días laboral o feriado.

En el momento que se activa la hora pico se le asigna la variable hp_{on} que agrupa el rango de horas que son picos (Según el tipo de día) este valor va desde 0 a 23 (horas del día) y cuando se desactivan se asigna un valor entre 0 a 23 para indicar que no se encuentra en horario pico (hp_{off}).

Después de seleccionado el día se calcula la demanda laboral o feriado total ($D_l(h)$ o $D_f(h)$) que es una función, donde la variable dependiente es las horas y la dependiente es la demanda en conjunto de todos los grupos de usuarios.

$$D_l(h) = \sum_{i=1}^u D_{il}(h) \quad (1)$$

$$D_f(h) = \sum_{i=1}^u D_{if}(h) \quad (2)$$

Se calcula la carga gestionable, que es el valor de desconexión de este servicio entre todos los usuarios (solo durante las horas pico).

$$Cg_l(h) = Pg * D_l(h); \quad hp_{on} \leq h \leq hp_{off} \quad (3)$$

$$Cg_f(h) = Pg * D_f(h); \quad hp_{on} \leq h \leq hp_{off} \quad (4)$$

La curva del servicio aplicado es la resta de $Cg_l(h)$ o $Cg_f(h)$ con $D_l(h)$ o $D_f(h)$, “Según el día seleccionado”.

$$Ca_l(h) = D_l(h) - Cg_l(h); \quad hp_{on} \leq h \leq hp_{off} \quad (5)$$

$$Ca_f(h) = D_f(h) - Cg_f(h); \quad hp_{on} \leq h \leq hp_{off} \quad (6)$$

Para calcular el valor constante de la energía despachada (Cg_l y Cg_f), se suma toda la carga gestionable aplicada según las horas picos en que se realizó la desconexión.

$$Cg_l = \sum_{hp_{on1}}^{hp_{off1}} Cg_l(h) + \sum_{hp_{off1}}^{hp_{off2}} Cg_l(h) \quad (7)$$

$$Cg_f = \sum_{hp_{on}}^{hp_{off}} Cg_f(h) \quad (8)$$

Como último calculo, se tiene el valor constante del costo del servicio (Cs_l y Cs_f) que se obtiene al multiplicar la energía despachada (Cg_l y Cg_f) con Pe .

$$Cs_l = Pe * Cg_l \quad (9)$$

$$Cs_f = Pe * Cg_f \quad (10)$$

Programa control total de picos:

Esta estrategia busca limitar el consumo de potencia de forma voluntaria, estableciendo un valor de consumo máximo recomendado llamado potencia limite (Ptl) “Valor obtenido de dividir el valor de demanda máxima de todos los usuarios entre el número de usuarios”, así se espera disminuir todos los picos del sistema.

Para el programa control total de picos hay horas en que un usuario puede participar, representada por el símbolo (s) y otras en que no puede participar, representada por el símbolo n . La fórmula 11 muestra que la suma de s y n es la cantidad de horas h .

$$h = s + n \quad (11)$$

En esta estrategia los datos de entrada para el agregador son el precio de escasez (Pe) dado en dólares (USD) y el porcentaje gestionable (Pg) dado en valores de p.u. y los datos de entrada para los usuarios son las curvas de demanda en los días laboral y feriado ($D_{il}(h)$ y $D_{if}(h)$), los cuales son funciones, donde la variable independiente corresponde a las horas (h) y la variable dependiente son las potencias que el usuario consume (kW), se agrega una tasa de participación (Tp) que es la probabilidad de que los usuarios participen, este valor esta dado en porcentaje (%) y el porcentaje limite el cual es el valor que al multiplicar se disminuye la potencia limite, este valor esta dado en p.u.

Se selecciona el tipo de día l o f para elegir si trabajar con la curva $D_{il}(h)$ o $D_{if}(h)$ y se realiza el procedimiento de las formulas 1 y 2.

Se calcula la carga gestionable por usuario que es el valor que se desconecta cada usuario para este servicio.

$$Cg_{il}(h) = Pg * D_{il}(h) \quad (12)$$

$$Cg_{if}(h) = Pg * D_{if}(h) \quad (13)$$

La potencia limite (Ptl), se selecciona el valor máximo de $D_l(h)$ o $D_f(h)$ y se divide entre el número de grupos de usuarios u , es el valor que al ser pasado por el usuario le da la oportunidad de desconectarse, el porcentaje limite disminuye este valor, dando lugar a la potencia limite definitivo.

$$Ptl = \frac{D_l \max(h)}{u} \quad (14)$$

$$Ptf = \frac{D_f \max(h)}{u} \quad (15)$$

$$Ptld = Ptl * Pl \quad (16)$$

La tasa de participación individual binaria (Tpi), es la decisión final del grupo de usuarios de participar o no, según el porcentaje de Tp .

$$Tpi = Prob(Tp) \quad (17)$$

Cuando el valor de potencia limite definitivo ($Ptld$) supera a algún valor de la curva de demanda ($D_{il}(h)$ o $D_{if}(h)$) y el usuario seleccionado tiene como respuesta $Tpi=1$ se activa la desconexión de demanda en la hora seleccionada se repite el procedimiento desde $h=0$ hasta $h=23$.

$$Ptld > D_{il}(h) \text{ y } Tpi = 1 \quad (18)$$

$$Ptld > D_{if}(h) \text{ y } Tpi = 1 \quad (19)$$

Se ponen contadores para saber que usuario activo la desconexión de energía y a qué horas.

$$s = cont(h) \text{ y } n = cont(h) \quad (20)$$

Se crea un ciclo hasta el número de grupos de usuarios (u), en él se calcula las curvas de servicio individual y la carga gestionable individual ($Cg_{il}(s)$ o $Cg_{if}(s)$) es la seleccionada por usuarios para participar en esta estrategia, según la fórmula 17, Se separan las respuestas de la curvas de servicio en las horas en que hubo desconexión o no (ver: Figura 81).

$$Ca_{il}(s) = D_{il}(s) - Cg_{il}(s) \text{ o } Ca_{il}(n) = D_{il}(n) \quad (21)$$

$$Ca_{if}(s) = D_{if}(s) - Cg_{if}(s) \text{ o } Ca_{if}(n) = D_{if}(n) \quad (22)$$

Se agrupa la potencia seleccionada de oferta (Ps_{ol} o Ps_{of}) con la sumatoria del total de cargas gestionables individuales, también la curva del servicio aplicado ($Ca_l(h)$ o $Ca_f(h)$) con la sumatoria de curvas de servicio individual y por último se multiplica (Ps_{ol} o Ps_{of}) por Pe para obtener el costo del servicio (Cs_l o Cs_f).

$$Ps_{ol} = \sum_{i=1}^s Cg_{il}(s) \quad (23)$$

$$Ps_{of} = \sum_{i=1}^s Cg_{if}(s) \quad (24)$$

$$Ca_l(h) = \sum_{i=1}^u Ca_{il}(h) \quad (25)$$

$$Ca_f(h) = \sum_{i=1}^u Ca_{if}(h) \quad (26)$$

$$Cs_l = Pe * Ps_{ol} \quad (27)$$

$$Cs_f = Pe * Ps_{of} \quad (28)$$

Programa de despacho de desconexión:

La estrategia, tiene como objetivo participar en el mercado de la bolsa de energía, para esto se proponen dos métodos, aleatorio en el cual se realiza un conteo de toda la energía disponible del día anterior para participar y no aleatorio en la cual se cumple pedidos de potencia del operador.

Los datos de entrada iniciales para el agregador son el precio de bolsa (Pb) dado en dólares (USD), el cual sirve para remunerar al agregador por este servicio, el porcentaje gestionable (Pg) dado en valores de p.u. y se plantea una tasa participación (Tp) que es la probabilidad de que los usuarios

participen, En el servicio de despacho hay que definir si el programa es aleatorio o no aleatorio, según la clasificación se pide otros datos de entrada para el agregador.

Los datos de entrada del agregador adicionales para el programa aleatorio, son el rango mínimo (R_{\min}) y el rango máximo (R_{\max}) valores dados en p.u. (Valores relativos donde R_{\max} es mayor a R_{\min} y los dos sumados son menores a 1) y para el caso no aleatorio son la oferta laboral ($O_l(h)$) y la oferta feriado ($O_f(h)$), las cuales son funciones, donde la variable independiente son las horas (h) y la variable dependiente son la demanda que van a ser desconectadas entre todos los usuarios del agregador (kW), creando una restricción al pedido.

Los datos de entrada del usuarios son las curvas de demanda en los días laboral o feriado ($D_{il}(h)$ o $D_{if}(h)$), los cuales son funciones, donde la variable independiente son las horas (h) y la variable dependiente son las potencias que el usuario consumo (kW), la franja horaria por grupo de usuario (Fh_i), (en el caso de estudio todos los grupos de usuarios están inscritos en dos Fh_i), El número de participación por usuario (Np_i), el cual es el número de veces en que el usuario decide participar dentro de su Fh_i y el valor de la carga gestionable por usuario ($Vcg_i(h)$) la cual son los valores hora a hora dentro de Fh_i en que el usuario valora su desconexión en pesos colombianos (\$).

Se selecciona el tipo de día l o f para elegir si trabajar con la curva $D_{il}(h)$ o $D_{if}(h)$, se calcula la demanda total ($D_l(h)$ o $D_f(h)$), con la formulas 1 y 2, la carga gestionable individual ($Cg_{il}(h)$ o $Cg_{if}(h)$), con las formulas 12 y 13 y se crea una metodología de selección de cargas para el caso aleatorio “seleccionador binario de carga gestionable de participantes individuales ($S_{il}(h)$ o $S_{if}(h)$), formulas 29 y 30” y para el caso no aleatorio “seleccionador binario de carga gestionable de todos los participantes ($S_{ol}(h)$ o $S_{of}(h)$), formulas 31 y 32”, con el cual se selecciona las cargas que van a participar en el despacho de cada usuario (Comparando cuales son más económicas por

el coste que el usuario asigno ($Vcg_i(h)$) dentro de la (Fh_i) de cada usuario, de acuerdo a su decisión de participar según (Tp) y su (Fh_i).

$$S_{il}(h) = f[Tp, Fh_i, Np_i, Vcg_i(h)] \quad (29)$$

$$S_{if}(h) = f[Tp, Fh_i, Np_i, Vcg_i(h)] \quad (30)$$

$$S_{ol}(h) = f[Tp, Fh_i, Np_i, Vcg_i(h), O_l(h)] \quad (31)$$

$$S_{of}(h) = f[Tp, Fh_i, Np_i, Vcg_i(h), O_f(h)] \quad (32)$$

Para el despacho aleatorio, $S_{il}(h)$ y $S_{if}(h)$ seleccionan las horas de desconexión individual más económicas que van a participar asignando un 1 a estas misma si cumple todas la condiciones de sus funcione (Es decir según la hora y el usuarios “teniendo en cuenta las ecuaciones 29 y 30” sil y sif), al final se realiza la sumatoria de todas las cargas que van a participar hora a hora ($PS_{ol}(h)$ o $PS_{of}(h)$).

$$PS_{ol}(h) = \sum_{i=1}^u Cg_{il}(h) * S_{il}(h) \quad (33)$$

$$PS_{of}(h) = \sum_{i=1}^u Cg_{if}(h) * S_{if}(h) \quad (34)$$

Para el despacho aleatorio, según los valores de R_{\min} y R_{\max} que disminuyen los valores de potencia disponible a desconectar al multiplicarse con ($PS_{ol}(h)$ o $PS_{of}(h)$), se crean rangos de ofertas aleatorias que el agregador pueda aceptar y restando en totalidad en las demandas totales de los usuarios ($D_l(h)$ o $D_f(h)$), cuando se cumplen estas ofertas, como resultado se obtiene la curva del servicio aplicado ($Ca_l(h)$ o $Ca_f(h)$).

$$PS_{ol}(h) * R_{\min} < PS_{ol}(h) * (R_{\min} + R_{\max}) < PS_{ol}(h) \quad (35)$$

$$PS_{of}(h) * R_{\min} < PS_{of}(h) * (R_{\min} + R_{\max}) < PS_{of}(h) \quad (36)$$

$$R_{\min} + R_{\max} < 1 \quad (37)$$

$$Ca_l(h) = D_l(h) - Ps_{ol}(h) \quad (38)$$

$$Ca_f(h) = D_f(h) - Ps_{of}(h) \quad (39)$$

Para el despacho no aleatorio (en el cual se simula un pedido por parte del agente de despacho), $S_{ol}(h)$ y $S_{of}(h)$ seleccionan las horas de desconexión entre todos los grupos de usuarios más económicas que van a participar asignando un 1 a estas mismas, se realiza la sumatoria hora a hora de las cargas a desconecta teniendo como resultado la potencia seleccionada total ($Ps_{ol}(h)$ o $Ps_{of}(h)$), los cuales son menores a la curvas de oferta de desconexión realizadas previamente por el agente de despacho ($O_l(h)$ o $O_f(h)$).

$$Ps_{ol}(h) = \sum_{i=1}^u Cg_{il}(h) * S_{ol}(h) ; \quad Ps_{ol}(h) \geq O_l(h) \quad (40)$$

$$Ps_{of}(h) = \sum_{i=1}^u Cg_{if}(h) * S_{of}(h) ; \quad Ps_{of}(h) \geq O_f(h) \quad (41)$$

Para el despacho no aleatorio, restando en totalidad ($Ps_{ol}(h)$ o $Ps_{of}(h)$), en las demandas totales de los usuario ($D_l(h)$ o $D_f(h)$), cuando se cumplen estas ofertas, como resultado se obtiene la curva del servicio aplicado ($Ca_l(h)$ o $Ca_f(h)$).

$$Ca_l(h) = D_l(h) - Ps_{ol}(h) \quad (42)$$

$$Ca_f(h) = D_f(h) - Ps_{of}(h) \quad (43)$$

Las operaciones finales son la sumatorias de ($Ps_{ol}(h)$ o $Ps_{of}(h)$), para obtener la potencia seleccionada de oferta total o energía despachada (Ps_{ol} o Ps_{of}) y se multiplica este resultado con el precio de bolsa (Pb) y se obtiene el costo del servicio (Cs_l o Cs_f).

$$PS_{ol} = \sum_{h=0}^{23} PS_{ol}(h) \quad (44)$$

$$PS_{of} = \sum_{h=0}^{23} PS_{of}(h) \quad (45)$$

$$CS_l = Pb * PS_{ol} \quad (46)$$

$$CS_f = Pb * PS_{of} \quad (47)$$