

**ALGORITMO PARA PLANIFICAR EL CONSUMO DE ELECTRICIDAD DE UN
USUARIO REGULADO QUE PARTICIPE EN UN PROGRAMA DE RESPUESTA
DE LA DEMANDA “TIEMPO DE USO”**

KEVIN ALEXANDER Menco ARIAS



**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
SANTIAGO DE CALI
2017**

**ALGORITMO PARA PLANIFICAR EL CONSUMO DE ELECTRICIDAD DE UN
USUARIO REGULADO QUE PARTICIPE EN UN PROGRAMA DE RESPUESTA
DE LA DEMANDA “TIEMPO DE USO”**

KEVIN ALEXANDER Menco ARIAS

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electricista

Director:

Ing. Diego Fernando Echeverry Ibarra Ph.D

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
SANTIAGO DE CALI
2017**

Tabla de contenido

	pág.
RESUMEN	9
ABSTRACT	9
INTRODUCCIÓN	10
OBJETIVOS	11
Objetivo general	11
Objetivos específicos:	11
RESULTADOS ESPERADOS.....	11
CAPITULO 1. PROGRAMA DE RESPUESTA DE LA DEMANDA TIEMPO DE USO Y CASOS DE ESTUDIO	12
1.1 Programa de respuesta de la demanda de Tiempo de uso	12
1.2 Casos de implementación del PRD de tiempo de uso en diferentes países	13
1.2.1 Caso Malasia[5], [6]	13
1.2.2 Caso Italia[7]	15
1.2.3 Caso China[5]	16
1.2.4 Caso Portugal[9]	18
1.2.5 Caso Sri Lanka [10]	19
1.2.6 Caso Sudáfrica[11]	21
1.2.7 Caso India[13].....	22
1.2.8 Caso Brasil[15].....	23
1.2.9 Caso Irán[16]	25
1.3 Análisis del capítulo 1	28
CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE DOCUMENTOS PARA LA CLASIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE CARGAS RESIDENCIALES PARA TARIFAS TOU.....	29
2.1 Clasificación de las cargas gestionables residenciales con TOU [17].....	29
2.1.1 Aparatos no gestionables sin almacenamiento.....	29
2.1.2 aparatos gestionables sin almacenamiento	29
2.1.3 Aparatos gestionables con almacenamiento de energía en baterías.....	30
2.1.4 Aparatos gestionables con almacenamiento indirecto	30
2.2 Modelo de generación con paneles fotovoltaicos para un usuario residencial:	31

2.3 Modelo de aire acondicionado para la gestión de carga manteniendo el confort [18].....	31
2.4 Algoritmo de Programación para reducción de Carga bajo tarifas de Tiempo de Uso [19].....	32
2.5 Análisis del capítulo 2	34
CAPITULO 3. PROPUESTA DE UN USUARIO HIPOTÉTICO, CLASIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS POR ÁREA DE CONSUMO Y CONSTRUCCIÓN DEL PERFIL DE CARGA.....	35
3.1 Especificaciones de equipos y electrodomésticos seleccionados.....	35
3.2 Selección de un usuario residencial hipotético y tiempo de permanencia en la vivienda.....	37
3.3 Áreas de consumo en el hogar	38
3.3.1 Uso de luminaria.....	38
3.3.2 Uso de aparatos de cocina	38
3.3.3 Uso de aparatos de entretenimiento	39
3.3.4 uso de aparatos para refrigeración	39
3.3.5 Uso de aparatos para climatización	40
3.3.6 Uso de aparatos del área de lavado.	41
3.4 perfil de carga del usuario.....	41
3.5 Análisis del capítulo 3	42
CAPÍTULO 4. CONSTRUCCIÓN DEL ALGORITMO PARA LA ENTREGA DE UNA ALTERNATIVA DE CONSUMO A UN USUARIO RESIDENCIAL.....	43
4.1 Algoritmo para el cálculo del consumo habitual del usuario.....	43
4.2 Asignación de tarifas.....	44
4.3 Metodología para el desplazamiento de cargas con función linprog de MATLAB.....	48
4.4 Explicación a través de un ejemplo de la funcionalidad y objetivos de los elementos de la función linprog usados para el algoritmo.	52
4.4.1 Función objetivo	52
4.4.2 Matriz Aeq y vector Beq.....	54
4.4.3 Matriz A y vector b	55
4.4.4 limites lb y ub	56
4.4.5 selección de las horas que minimizan el costo del ejemplo.....	56
4.5 Diseño de los elementos para la Función linprog para horas gestionables individuales	57

4.5.1 Construcción de la función objetivo para horas gestionables individuales	57
4.5.2 Construcción de Aeq para horas gestionables individuales	58
4.5.3 Construcción de A para horas gestionables individuales	58
4.5.4 Construcción de b y Beq	59
4.5.5 Limites lb y ub	59
4.5.6 Disposición de los elemento en la función linprog	60
4.5.7 Ejemplo de uso de linprog para horas gestionables individuales	60
4.6 Diseño de los elementos para la Función linprog para horas gestionables con uso continuo	62
4.6.1 Construcción de la función objetivo para horas gestionables de uso continuo.	62
4.6.2 Construcción de Aeq para horas gestionables de uso continuo	63
4.6.3 Construcción de A para horas gestionables de uso continuo	63
4.6.4 Construcción de b y Beq	64
4.6.5 Limites lb y ub	64
4.6.6 Disposición de los elemento en la función linprog	64
4.6.7 Ejemplo de uso de linprog para horas gestionables de uso continuo	65
4.7 Análisis del algoritmo y recomendaciones para el uso de la función linprog	68
CAPÍTULO 5. APLICACIÓN DEL ALGORITMO PARA DESPLAZAMIENTO DE CARGA EN UN USUARIO RESIDENCIAL HIPOTÉTICO	69
5.1 Perfil de carga habitual del usuario.	69
5.2 Selección de tarifas	71
5.3 Cargas gestionables y vectores de horas disponibles.	72
5.4 Alternativa entregada por el algoritmo	73
5.5 Alternativa entregada por el algoritmo afectando confort del usuario	77
5.6 máximo ahorro y sobre costo posible para el usuario	80
5.7 Análisis del capítulo 5	80
CONCLUSIONES	82
TRABAJO FUTURO	83
Bibliografía	84

Lista de tablas

	Pág.
TABLA 1. DATOS OBTENIDOS DE LAS CURVAS DE DEMANDA DURANTE 2 SEMANAS CASO SRI LANKA.[10] ..	21
TABLA 2.DIFERENTES ESCENARIOS PARA EL PRD TIEMPO DE USO CASO IRÁN.[16]	26
TABLA 3. PARÁMETROS Y VALORES DEL MODELO DE CONTROL DE AIRE ACONDICIONADO RESIDENCIAL.[18]	32
TABLA 4. ESPECIFICACIONES DE POTENCIA DE ELECTRODOMÉSTICOS TÍPICOS USADOS POR UN USUARIO RESIDENCIAL[21].....	36
TABLA 5. HORARIOS DE PERMANENCIA DE LOS INTEGRANTES DEL HOGAR EN DÍA DE TRABAJO[21]	38
TABLA 6.DEMANDA MÁXIMA EN CADA HORA DURANTE UN DÍA DE TRABAJO.....	47
TABLA 7. RESULTADO DE LA MULTIPLICACIÓN DE LOS VALORES EN LOS VECTORES C_TARIFAS Y DEMANDA_H.....	47
TABLA 8. HORAS DISPONIBLES PARA APARATOS GESTIONABLES	72
TABLA 9. HORAS SELECCIONADAS POR EL ALGORITMO.....	73
TABLA 10. BENEFICIOS DE LA ALTERNATIVA ENTREGADA.....	74
TABLA 11. HORAS DISPONIBLES PARA APARATOS GESTIONABLES ALTERANDO CONFORT.	78
TABLA 12. HORAS SELECCIONADAS DE LAS POSIBILIDADES DE LA TABLA 11.	79

Lista de figuras

	pág.
FIGURA 1. TIPOS DE PROGRAMA DE RESPUESTA DE LA DEMANDA [4].....	12
FIGURA 2. FRANJAS DE PRECIOS SUGERIDOS PARA TOU RESIDENCIAL EN MALASIA[6]	14
FIGURA 3. CONSUMO TÍPICO DE DIFERENTES USUARIOS DURANTE 24 HORAS EN MALASIA [6]	14
FIGURA 4. PERFIL DE CARGA PARA UN DÍA DE TRABAJO EN MALASIA[6].....	15
FIGURA 5. PERFIL DE CARGA PARA TRES ÁREAS RESIDENCIALES DIFERENTES PARA UN DÍA DE TRABAJO EN MALASIA[6]	15
FIGURA 6. DISTRIBUCIÓN DEL "PANEL DE CLIENTES RESTRINGIDOS" ALREDEDOR DEL "UMBRAL DE INDIFERENCIA".[7]	16
FIGURA 7. PICOS Y VALLES TÍPICOS DE USUARIOS RESIDENCIALES EN SHANGHÁI DURANTE UN DÍA.....	17
FIGURA 8. RELACIÓN DE DESPLAZAMIENTO DE CARGA EN UN USUARIO RESIDENCIAL DE SHANGHÁI.[8]	17
FIGURA 9. PERIODOS DE TARIFAS PARA UN CONSUMO PROMEDIO DE UN DÍA DE TRABAJO EN INVIERNO Y VERANO.[9].....	18
FIGURA 10. PERIODOS DE TARIFAS PARA UN CONSUMO PROMEDIO DEL DÍA SÁBADO EN INVIERNO Y VERANO.[9].....	18
FIGURA 11. PERIODOS DE TARIFAS PARA UN CONSUMO PROMEDIO DEL DÍA DOMINGO EN INVIERNO Y VERANO.[9].....	19
FIGURA 12. PERFIL DE CARGA TÍPICO DE SRI LANKA.[10]	19
FIGURA 13. CURVAS DE DEMANDA PROMEDIO DE 2 SEMANAS EN SRI LANKA.[10]	20
FIGURA 14. PERFIL DE CARGA DE SUDÁFRICA DURANTE INVIERNO Y VERANO DE 2014 [12]	22
FIGURA 15. PICOS DE DEMANDA PRESENTADOS DURANTE DIFERENTES AÑOS EN INDIA.[14]	23
FIGURA 16. TARIFAS DE ENERGÍA ASOCIADAS A PRECIOS DE TRASMISIÓN, DISTRIBUCIÓN Y LOS PRECIOS DE GENERACIÓN CASO BRASIL.[15]	24
FIGURA 17. DEMANDA MÁXIMA (GW) Y LA HORA OCURRIDA DURANTE LOS MESES DEL 2011 EN BRASIL.[15]	25
FIGURA 18. PERFIL DE DEMANDA EN IRÁN EL 27 D AGOSTO DEL 2007.[16]	26
FIGURA 19. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE ESCENARIO 2,3,4 Y 5 CON ESCENARIO 1.[16]	27
FIGURA 20. COMPARACIÓN DE ESCENARIO 6 Y 7 CON ESCENARIO 1.[16]	27
FIGURA 21. CONSUMO DE NEVERA CON CICLO DE TRABAJO.[20]	39
FIGURA 22. CONSUMO DE NEVERA SIN CICLO DE TRABAJO.[20]	40
FIGURA 23. PERFIL DE CARGA EN DÍA DE TRABAJO INCLUYENDO EL ÁREA DE LAVADO	41
FIGURA 24. PERFIL DE CARGA PARA UN DÍA DE TRABAJO SIN INCLUIR ÁREA DE LAVADO.....	42
FIGURA 25. DEMANDA DE COLOMBIA MARZO 2015[24]	45
FIGURA 26.TARIFAS HORARIAS HIPOTÉTICAS PARA CONSTRUCCIÓN DEL ALGORITMO.	46
FIGURA 27. ESTRUCTURA DE LA FUNCIÓN LINPROG DE MATLAB.[26]	48
FIGURA 28. FUNCIÓN OBJETIVO CASO DE EJEMPLO DE GESTIÓN DE HORAS INDIVIDUALES.	61
FIGURA 29. EJEMPLO CONFIGURACIÓN DE MATRIZ AEQ PARA N _H =2	61
FIGURA 30. MATRIZ DE CONDICIONES DE DESIGUALDAD CASO DE HORAS GESTIONABLE INDIVIDUALES.....	61
FIGURA 31.FUNCIÓN OBJETIVO DE EJEMPLO HORAS CONTINUAS GESTIONABLES	67
FIGURA 32. MATRIZ DE CONDICIONES DE IGUALDAD CASO DE EJEMPLO HORAS CONTINUAS GESTIONABLES	67
FIGURA 33. MATRIZ DE CONDICIONES DE DESIGUALDAD CASO EJEMPLO DE HORAS CONTINUAS GESTIONABLES.....	68
FIGURA 34. PERFIL DE CARGA DE USUARIO RESIDENCIAL HIPOTÉTICO PARA UN DÍA DE TRABAJO.	70
FIGURA 35.DEMANDA MÁXIMA EN CADA HORA DE LA FIGURA 35.....	70
FIGURA 36. TARIFAS HORARIAS HIPOTÉTICAS PARA CONSTRUCCIÓN DEL ALGORITMO.	71
FIGURA 37. RESULTADO DE LA MULTIPLICACIÓN DE LOS VALORES EN LOS VECTORES C _{TARIFAS} Y DEMANDA _H	72
FIGURA 38. PERFIL DE CARGA DE LA ALTERNATIVA ENTREGADA DE LA TABLA 9.	75

FIGURA 39. DEMANDA MÁXIMA DE CADA HORA DE LA NUEVA ALTERNATIVA.	76
FIGURA 40. CALCULO DE AHORRO CON LA NUEVA ALTERNATIVA	76
FIGURA 41. PERFIL DE CARGA DE LA ALTERNATIVA DE LA TABLA 12.	79
FIGURA 42. COMPARACIÓN DE AHORRO CON ALTERNATIVA AFECTANDO CONFORT	80
FIGURA 43. AHORRO Y SOBRECOSTO MÁXIMO QUE PODRÍA TENER EL USUARIO.	80

RESUMEN

Este trabajo de grado tuvo como propósito realizar un algoritmo que facilite la toma de decisiones en el desplazamiento de consumos de electricidad de un usuario regulado que participe en un programa de respuesta de la demanda (PRD) de Tiempo de Uso (TOU); el algoritmo genera una alternativa de consumo dependiendo de la información suministrada por el usuario en cuanto a las posibilidades de desplazamiento de cargas sin afectar el confort. El algoritmo calcula el costo por consumo de electricidad de la alternativa generada y lo compara con el costo del consumo habitual (sin desplazamiento de cargas), entregando al usuario el posible ahorro.

Para la realización del algoritmo se hace una revisión bibliográfica para definir y reconocer variables, restricciones, definición del usuario, tarifas para TOU, beneficios y dificultades a partir de las experiencias logradas en otros países.

ABSTRACT

This degree work, had as a purpose to design an algorithm that will make easier taking of decisions by an user regulated that participate in a time of use (TOU) demand response program (DRP) , this algorithm must to give an consumption alternative depending on the data given by the user about the loads displacement possibilities without affect its comfort. The algorithm calculates the total cost of the new alternative and it compares against the cost of the habitual consumption, giving to the user the posible saving.

For the accomplishment of the algorithm a previous revision of different documents is made to define and to recognize the necessity of variables, restrictions, definition of the user, tariffs for TOU, benefits and difficulties in experiences of other countries.

INTRODUCCIÓN

Las exigencias con respecto al desarrollo sostenible son cada vez mayores, tal como se puede observar en la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 2015 (COP21/CMP11) donde se planteó que se necesita reducir considerablemente las emisiones mundiales. El uso eficaz y eficiente de la energía desempeña un papel importante en los objetivos y compromisos que se plantaron en esta conferencia, donde Colombia se fijó una meta nacional de reducción de emisiones que abarque todos los sectores productivos[1]. Un sector importante para en estos propósitos es el sector de la energía eléctrica en donde una de las dificultades es lograr armonizar técnica, económica y medioambientalmente la oferta y demanda de energía; por ejemplo los altos picos de consumo en ciertas franjas horarias del día y del año hacen aumentar el precio de generación y las emisiones de gases de efecto invernadero debido a que es necesario suplir esta demanda a través de centrales termoeléctricas que generan gran contaminación.

Los programas de respuesta de la demanda son una herramienta de gran importancia para armonizar la oferta y demanda de la energía eléctrica. La CREG a través de la Ley 1715 de 2014 “tiene entre otros propósitos la promoción de la gestión eficiente de la energía, dentro de la que se incluye la respuesta de la demanda”[2]; En el decreto 2492 de diciembre del 2014 se “adoptan disposiciones en materia de implementación de mecanismos de respuesta de la demanda”[3]. Sin embargo existen algunos aspectos que generan dificultad en el momento de la participación de los diferentes usuarios en este tipo de programas. Dentro de las dificultades se pueden mencionar: conocer la normativa que rige los PRD, interpretar la información de precios de la energía y estimar los beneficios económicos que se perciben al participar en los PRD. Estas dificultades obedecen en gran medida a deficiencias en el conocimiento sobre el tema de oferta/demanda, cálculos energéticos y económicos y desconocimiento de sus perfiles de consumo, los cuales son barreras para poder tomar decisiones de participación en PRD.

La participación de los usuarios podría facilitarse con un algoritmo que genere una alternativa de desplazamiento de carga, el cual posteriormente se pueda implementar en una aplicación para dispositivos móviles, con lo que se esperaría generar un mayor acercamiento entre los oferentes de energía eléctrica y los consumidores; facilitando de esta manera la toma de decisiones de los usuarios . Esto traería beneficios a los usuarios en los PRD y de esta manera contribuirían a la confiabilidad y la eficiencia del sistema eléctrico de manera positiva, permitiendo postergar nuevos proyectos de generación ya que se podrá reducir los picos de demanda e indirectamente se contribuiría a reducir las emisiones de carbono.

OBJETIVOS

Objetivo general

Desarrollar un algoritmo que presente un plan de consumo a un usuario regulado para facilitar su participación en un programa de respuesta de la demanda (PRD) de “Tiempo de uso” (TOU)

Objetivos específicos:

- Plantear una alternativa que permita la gestión de carga basado en el nivel de confort y la necesidad de uso de equipos utilizados por un usuario regulado.
- Definir una estructura para el algoritmo a partir del levantamiento de requerimientos, restricciones, resultados, etc.
- Generar un plan de gestión para un caso real o hipotético de un usuario regulado.

RESULTADOS ESPERADOS

Se espera como resultado un algoritmo enfocado para el PRD de “Tiempo de uso” y usuarios regulados, que facilite el cálculo de consumo, cálculo del costo de ahorro y una alternativa para la gestión de carga, ya sea desplazamiento o reducción.

CAPITULO 1. PROGRAMA DE RESPUESTA DE LA DEMANDA TIEMPO DE USO Y CASOS DE ESTUDIO

1.1 Definición de programa de respuesta de la demanda y PRD de TOU

Los programas de respuesta de la demanda son herramientas o mecanismos por los cuales los usuarios tienen la opción de participar activamente en el mejoramiento de la eficiencia del sistema eléctrico, cambiando sus hábitos de consumo de electricidad en respuesta a una señal de precios de la energía o incentivos.

Definición de la UPME

- Tarifas de tiempo de uso (Time of Use – TOU) es un tipo de programa de respuesta de la demanda (PRD) como se muestra en la figura 1, ésta clase de programa establece bloques temporales definidos en una base de 24 horas, a los que se les fija de antemano una tarifa acorde con el costo del mercado mayorista.[4]

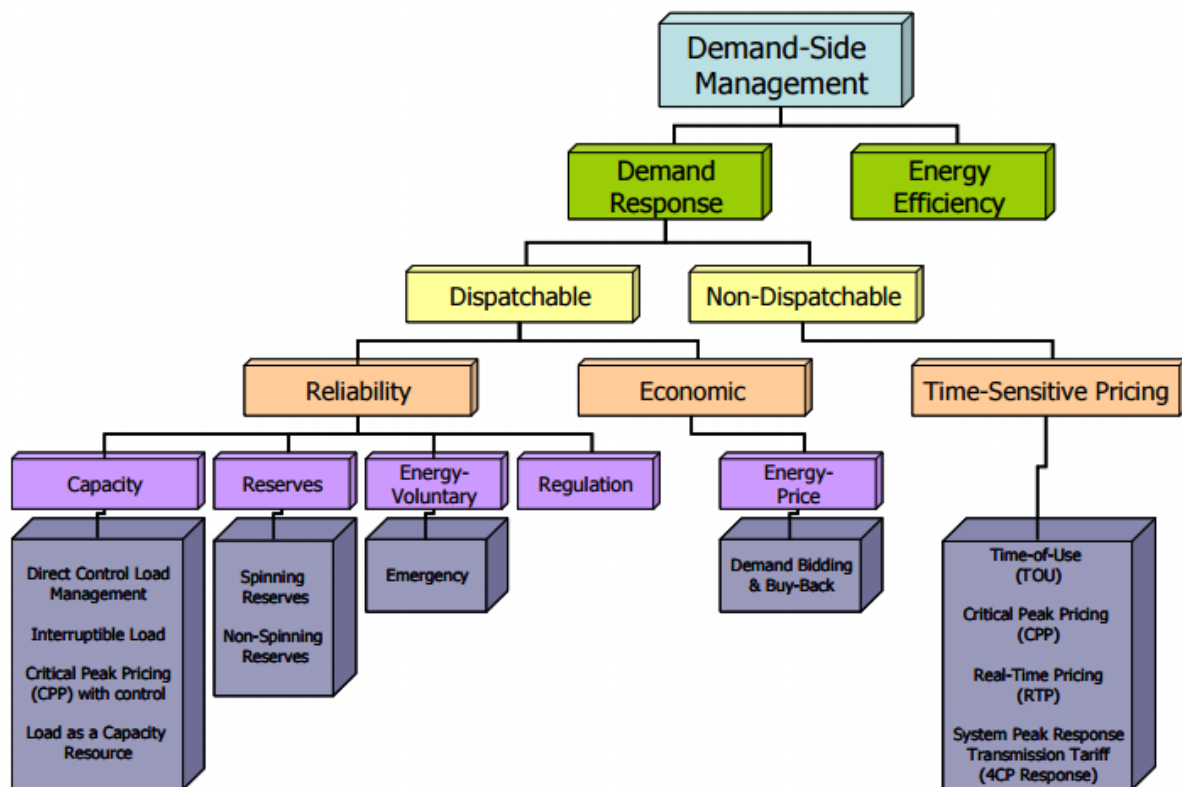


Figura 1. Tipos de programa de respuesta de la demanda. [4]

En el programa Tiempo de uso (TOU) se fija los precios de la electricidad con los cuales se cobra al cliente basado en el momento que utilizan la energía eléctrica. Básicamente, el precio será más alto en períodos con altas demandas de

electricidad y bajo en períodos de baja demanda. Los precios de dichos períodos son pre-establecidos y se da a conocer a los clientes con antelación dependiendo de la variación de los precios que puede ser diario, mensual o repartido en diferentes periodos del año, con el objetivo que el cliente ajuste su consumo de electricidad en respuesta a tales precios.[5]

1.2 Casos de estudio del PRD de tiempo de uso en diferentes países

El programa Tiempo de Uso (TOU) ya se ha aplicado en varios países con diferentes enfoques y mecanismos, y en otros se está estudiando la posibilidad de implementarlo, sin embargo comparten los mismos objetivos: estabilizar la tasa de generación para cumplir con la creciente demanda de los consumidores, aplazar el desarrollo de nuevos proyectos de generación y que las plantas de energía existentes puedan ser utilizadas de manera más eficiente reduciendo de esta forma el costo de la generación de energía. Además, de ayudar a reducir la tasa de contaminación y reducir el consumo de combustibles fósiles.

En un PRD TOU se tienen diferentes franjas de precios según el perfil de la carga en cada país o una región determinada.

1.2.1 Caso Malasia[5], [6]

En Malasia, la fijación de precios TOU, se aplica en los clientes industriales y comerciales donde se les cobra un precio más bajo por la electricidad consumida durante el período nocturno que va de 7:00 pm a 7:00 am y altas tarifas durante el día de 7:00 am a 7:00 pm . Esto para animar al cliente a cambiar los hábitos de uso de la electricidad. Los mismos precios TOU no pueden aplicarse a los clientes residenciales ya que su carga es baja durante el día, pero alta durante la noche (20:00-24:00), por lo cual se requieren otros precios que tenga un impacto significativo en la reducción de la demanda pico. La información de los perfiles de carga de clientes residenciales y comerciales de Malasia fue utilizada para el estudio de requerimientos para la implementación de TOU. El resultado muestra que se requiere una importante diferencia de precio entre las horas pico y no pico para asegurar la efectividad del PRD.[5]

Malasia analizaba la posibilidad de implementar el PRD de Tiempo de Uso (TOU) en usuarios residenciales, puesto que la demanda de energía está aumentando significativamente en los últimos años.

El Ministerio de Energía, Tecnología sustentable y Agua de Malasia (KeTTHA) junto a su empresa de servicios públicos de electricidad están trabajando en una metodología para la aplicación del PRD TOU sin generar un cambio drástico para los usuarios. El perfil de carga de los usuarios, la teoría TOU y la metodología de

implementación deben ser estudiados en detalle antes de proponer las condiciones para su implementación, debido a esto, se ha venido investigando los precios TOU requeridos para que los clientes residenciales logren ajustar su perfil de consumo sin cambiar la cantidad de electricidad consumida, pero con una demanda pico menor.

En el estudio del diseño de precios para la implementación TOU en Malasia se sugirió utilizar tres franjas con diferentes tarifas; pico, pico medio y fuera de pico. Las horas pico son de 6 am a 8 am y de 8 pm a 10 pm, donde el consumo típico del cliente residencial es alto. El pico medio es de 8 am a 8 pm y el periodo valle de 10 pm hasta las 6 am. [6]

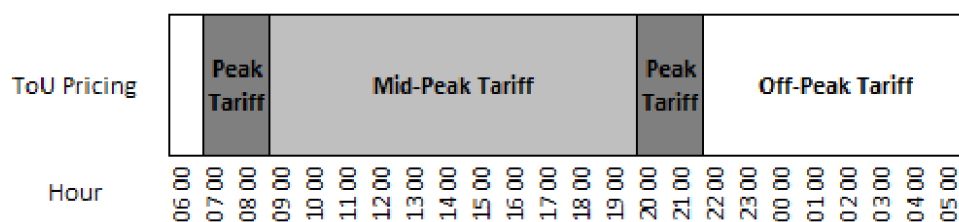


Figura 2. Franjas de precios sugeridos para TOU residencial en Malasia.[6]

El perfil de carga presenta variaciones dependiendo del tipo de usuario como se evidencia en la figura 3. Los usuarios residenciales pueden dividirse por diferentes áreas, los cuales presentan un consumo similar en los picos y valles pero se ven reducidos dependiendo el estrato socioeconómico como se observa en la figura 5.

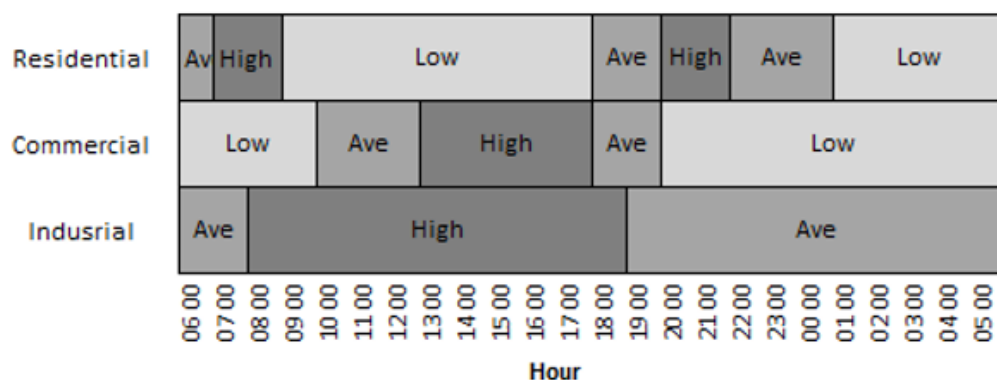


Figura 3. Consumo típico de diferentes usuarios durante 24 horas en Malasia. [6]

Las franjas TOU son apropiadas para el consumo residencial que se presenta en malasia como el de la figura 4, tres franjas de precios permiten una mayor facilidad y comprensión para los usuarios sin generar confusión al momento de querer desarrollar una estrategia de gestión de carga. Para éste caso sería suficiente con

un grupo de tarifas para todos los usuarios residenciales ya que a medida que cambian los estratos se reduce el consumo pero se mantiene las características de los picos y valles como se puede observaren la figura 5.

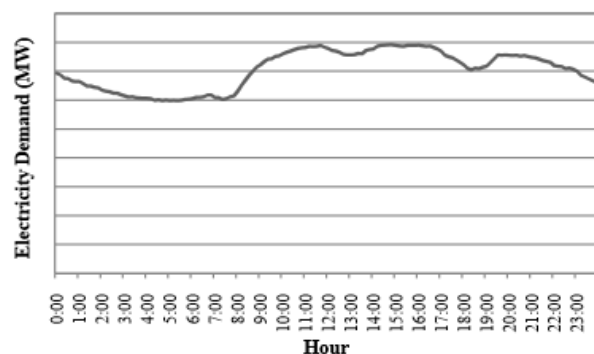


Figura 4. Perfil de carga para un día de trabajo en Malasia.[6]

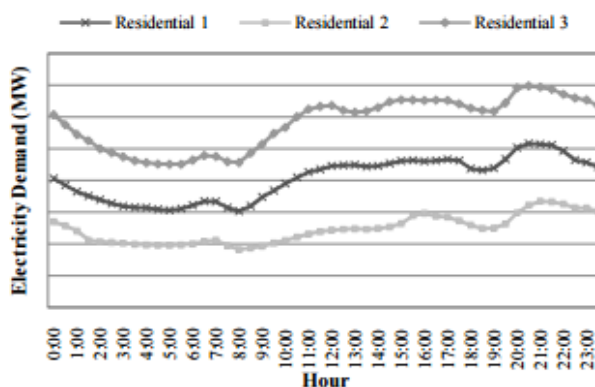


Figura 5. Perfil de carga para tres áreas residenciales diferentes para un día de trabajo en Malasia.[6]

1.2.2 Caso Italia[7]

En Italia el programa TOU entró en vigor el 1 de julio del 2010, el precio más alto se da durante las "horas pico" y más bajo durante las "horas fuera pico" La Autoridad de Energía Eléctrica y Gas de Italia estableció un período de transición de 18 meses (hasta el 31 de diciembre de 2011) durante ese período la diferencia de precios entre las horas pico y horas fuera de punta fue limitada (tarifa transitoria de ToU) y, a partir del 1 de enero de 2012, la Tarifa ToU final, se dispuso en base a los precios reales del mercado de la electricidad.

La tarifa ToU es más conveniente que la tarifa única si más de 2/3 (es decir, el 66,67%) del consumo total se produce durante las horas de menor actividad ya que de ésta manera se puede llegar a conseguir una curva más plana, de lo contrario podría ser contraproducente consiguiendo solo desplazar el pico a otra franja horaria o incluso generando un pico mayor, por parte de los clientes si 2/3 de su consumo se encuentra fuera de pico será beneficioso ya que obtendrán precios más bajos y sólo 1/3 de su consumo se verá afectado por precios altos los cuales podrían

gestionar obteniendo un menor costo y una curva más plana, beneficiando de ésta manera a las empresas prestadoras del servicio de energía.

Este valor del porcentaje representa un "umbral de indiferencia" el cual permite una mayor aceptación por parte de los clientes sintiéndose incentivados a sacarle mayor provecho a las tarifas TOU. Para el caso de Italia el 67% del consumo se da fuera de hora pico durante el periodo 1 que iba de enero 2010 - junio 2010, con esta información se considera que la tarifa TOU permitía a un alto porcentaje de clientes ahorrar dinero con respecto a la tarifa plana, en este caso dichos clientes representaban aproximadamente el 55% del "panel de clientes" los cuales presentan un mayor consumo en horas fuera de pico, como muestra la Figura 6.

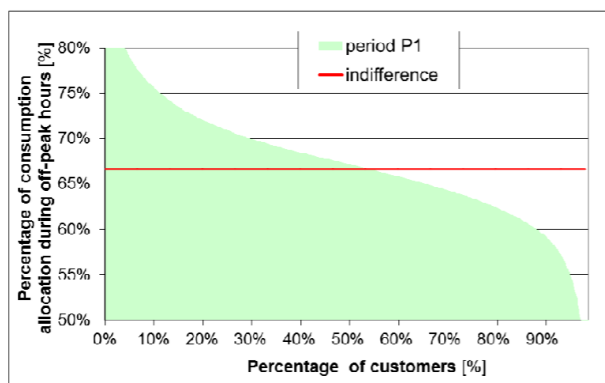


Figura 6. Distribución del "panel de clientes restringidos" alrededor del "umbral de indiferencia".[7]

En julio del 2009 (es decir, un año antes de la introducción de la tarifa TOU) se inició un proyecto de monitoreo que involucró a un grupo de alrededor de 28.000 usuarios. Los resultados del análisis del comportamiento de consumo de los clientes después de la ejecución del programa de TOU obligatorio, mostró que se redujo aproximadamente sólo el 1% del pico máximo de consumo.

Se llegó a la conclusión de que uno de los factores principales que impidieron una reducción más significativa fue la diferencia de precio entre hora pico y valle que se dio a los clientes la cual fue baja en comparación con tarifas horarias en otros países. La diferencia de precio entre el pico y no pico debe ser significativa o de lo contrario no cambiarán el perfil de carga que se desea.[7]

1.2.3 Caso China[8]

En la actualidad, el sistema de precios de tiempo de uso (TOU) se ha utilizado en varias provincias piloto, como Shanghai, Zhejiang, etc. Teniendo esquema de precios de energía, para los periodos de verano e invierno. En las diferentes provincias, las líneas base de los precios TOU también son diferentes. Generalmente, en el esquema TOU, un día se dividiría en tres tipos de secciones que duran varias horas. Las secciones estaban siempre relacionadas con las demandas de potencia en tiempo real, llamadas período pico, periodo plano y

período valle. La brecha de precios podría ser tan grande como 2 a 4 veces el precio de las horas valle.

Más del 70% de los consumos de electricidad en China provienen de uso industrial y comercial. Teniendo en cuenta el hecho de que los consumidores industriales y comerciales tienen una mayor voluntad de reducir los costos de consumo de electricidad y son más flexibles para cambiar su comportamiento de consumo de electricidad, el sistema de precios TOU fue utilizado por primera vez para estos usuarios en China, sin embargo en varias ciudades con una gran proporción de consumo de electricidad residencial, se ha introducido también el sistema de precios TOU para los usuarios residenciales.

En Shanghai se llevó a cabo la implementación para usuarios residenciales en el cual un día se divide en tres secciones como se muestra en figura 7 , que son el período de pico que va de 8: 00 ~ 11: 00 (pico 1) y 18: 00 ~ 21: 00 (pico 2); Período plano que va de 6: 00 ~ 8: 00 (plano 1), 11: 00 ~ 18: 00 (plano 2) y 21: 00 ~ 22: 00 (plano 3); Y el período del valle de 22:00 a 6:00 del día siguiente.

ToU Pricing	Flat 1	Peak 1	Flat 2	peak 2	Flat 3	Valley
Hour	6 to 8	8 to 11	11 to 18	18 to 21	21 to 22	22 to 6

Figura 7. Picos y valles típicos de usuarios residenciales en Shanghái durante un día.

La Fig. 8 muestra la relación de desplazamiento de carga de una familia típica cuando el precio de pico es cuatro veces el precio del valle y alrededor del 46% de la demanda de potencia de pico se desplazaría a un periodo plano y un período de valle.

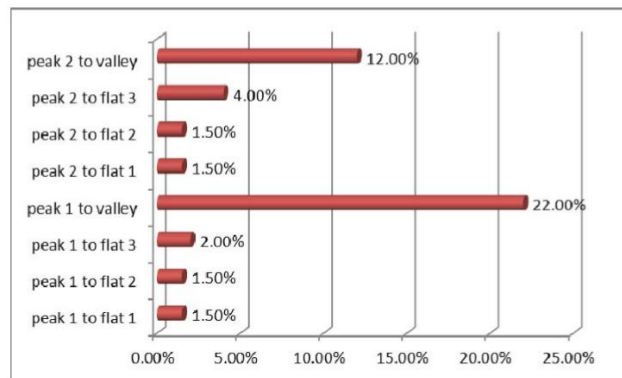


Figura 8. Relación de desplazamiento de carga en un usuario residencial de Shanghái.[8]

En China, la relación entre la tarifa en el pico y no pico es de aproximadamente 4: 1. En los días de semana, En otros casos generalmente el período pico ocurre entre las 13:00-18:00 horas, mientras que el período de menor actividad es entre 18:00-13:00. A partir del estudio, se encontró que hubo aproximadamente una reducción del 15,6% del pico en el perfil de carga residencial con la fijación de precios TOU.[8]

1.2.4 Caso Portugal[9]

En el programa TOU llevado a cabo en Portugal se estableció la duración del tiempo tarifario en diferentes horas del día en periodos de tres meses. En este caso existen cuatro tarifas de suministro eléctrico: hora pico, hora pico medio, horas fuera de pico y horas valle.

Los precios dependen de los trimestres de verano e invierno, ya que los hábitos de consumo puede variar por el uso de aires acondicionados en verano y uso de calefacción y mayor permanencia de los usuarios en los hogares en invierno, los precios también dependen del tipo de día si son laborables, sábados y domingos.[9]

En las figura 9,10 y 11 se logra observar la variación en las tarifas para un día normal de trabajo, durante invierno y verano, para los días sábados y domingos también se ve afectadas las tarifas.

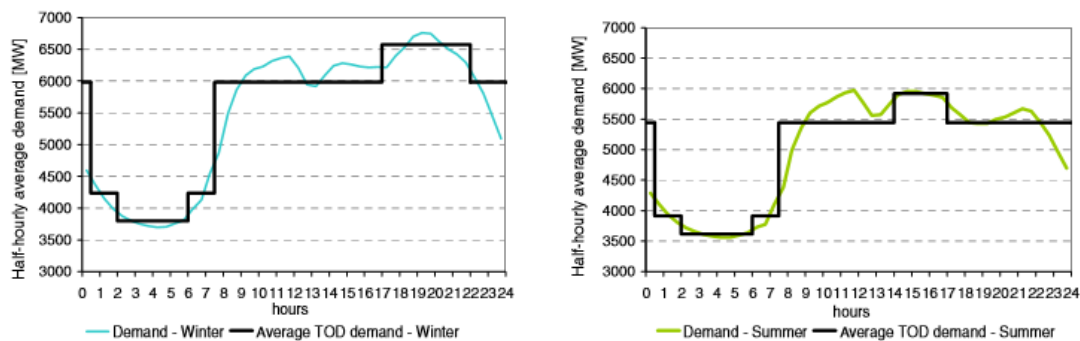


Figura 9. Periodos de tarifas para un consumo promedio de un día de trabajo en invierno y verano.[9]

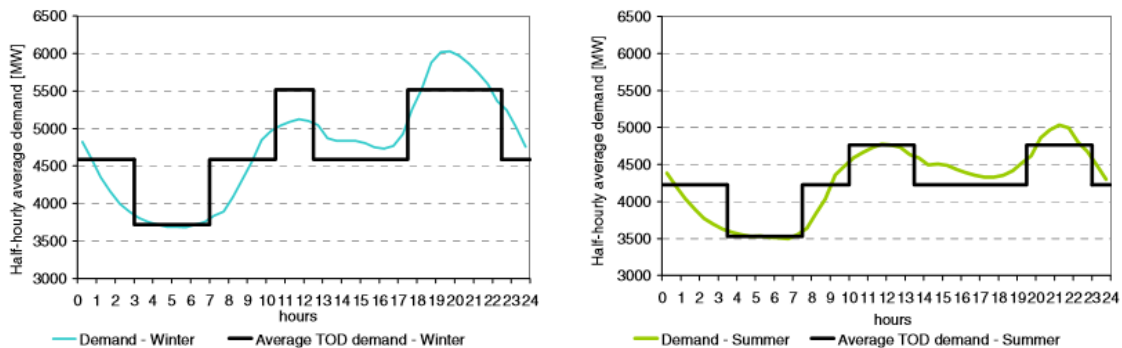


Figura 10. Periodos de tarifas para un consumo promedio del día sábado en invierno y verano.[9]

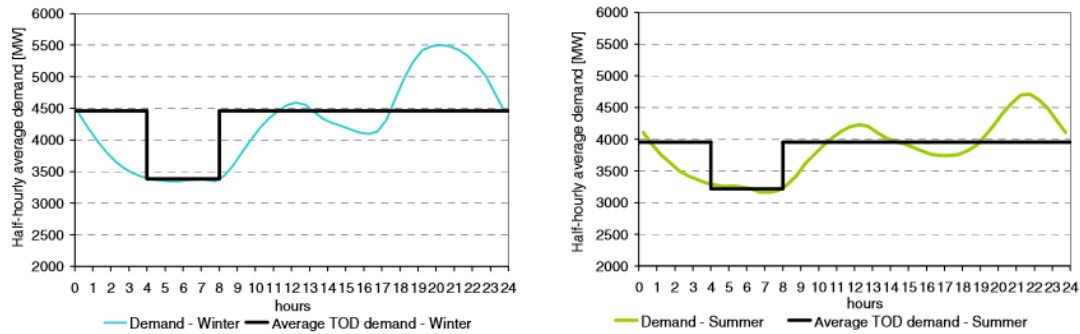


Figura 11. Periodos de tarifas para un consumo promedio del día domingo en invierno y verano.[9]

Debido a lo mencionado y mostrado en las figuras 9, 10 y 11 es necesario realizar estudios de los diferentes comportamientos que puede tener la demanda debido a factores como día laborales y los cambios de clima de las regiones.

1.2.5 Caso Sri Lanka [10]

La República Democrática Socialista de Sri Lanka tiene altos picos de energía eléctrica en horas de la noche, debido a esto y a las limitaciones en la oferta de electricidad se han visto en la necesidad de realizar cortes de energía, además que se ha generado un factor de potencia bajo. El grado de variación es tan alto que la demanda máxima es aproximadamente 2,24 veces la demanda mínima. La estructura actual de una sola tarifa no anima a los clientes a reducir su consumo de energía durante las horas pico. Con el fin de aplanar el perfil de carga a través del desplazamiento del pico máximo de demanda, la Comisión de Servicios Públicos se centró en los clientes industriales e introdujo una nueva tarifa para este sector. Mientras tanto, señalan que los clientes residenciales son un gran contribuyente a la demanda pico del sistema, debido al alto consumo de electricidad en el hogar. El comportamiento humano y otras actividades económicas tienen una estrecha relación con la curva de carga en las causas del pico de la mañana, el pico de día y de noche presentados en la figura 12.[10]

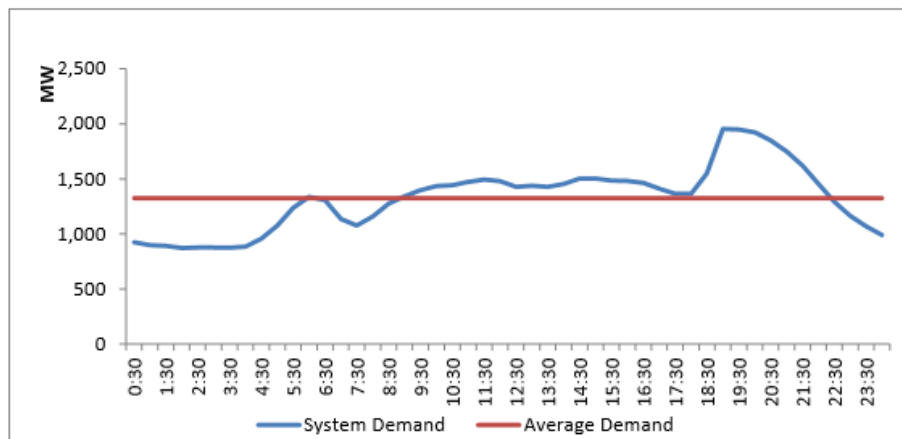


Figura 12. Perfil de carga típico de Sri Lanka.[10]

Para lograr comprender el consumo dado en una semana se hizo un estudio de la curva típica de demanda durante 14 días donde se logró observar el comportamiento de los días de semana y el comportamiento de los domingos como se observa en la figura 13.

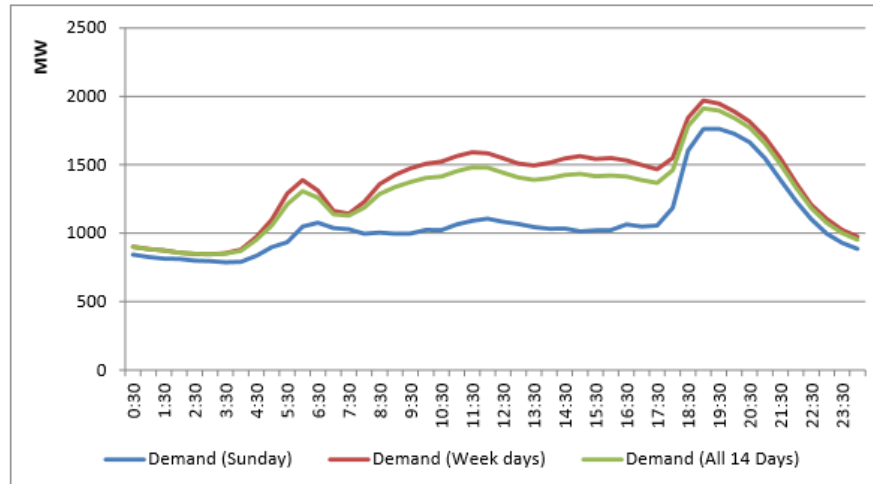


Figura 13. Curvas de demanda promedio de 2 semanas en Sri Lanka.[10]

Al observar que los consumos de los días domingos eran similares comparados con los día de semana, no tenía sentido proponer diferentes franjas de precios para el día domingo ya que la diferencia sería irrelevante.

La tabla 1 permite observar algunos datos importantes que no son comunes en los casos anteriores como es el factor de potencia y el consumo de energía reactiva, ya que se podría tener en cuenta para realizar estrategias para mejorar éstas variables con ayuda de TOU y penalizaciones por bajos factores de potencia.

El estudio de éstos diferentes parámetros permite conocer mejor su sistema el cual le podría permitir mejorar la eficiencia energética, no solo con tarifas TOU sino también con incentivos y penalizaciones por bajos factores de potencia.

Tabla 1. Datos obtenidos de las curvas de demanda durante 2 semanas caso Sri Lanka.[10]

parámetros	Solo días de semana	Solo domingos	Los 14 días
Máxima potencia demandada (MW)	1971	1764	1913
Potencia promedio demandada (MW)	1360	1082	1298
Factor de carga	69%	61%	68%
Factor de carga a maxima potencia demandada	0.931	0.946	0.934
Tiempo de ocurrencia de demanda maxima	19:00	19:30	19:00
Demanda máxima de potencia reactiva (MVar)	816	610	733
Tiempo de ocurrencia de demanda maxima de potencia reactiva	11:30	19:00	19:00
Factor de potencia a maxima demanda de potencia reactiva	0,890	0.945	0.934
Mínimo factor de potencia	0.889	0.936	0.900
Tiempo de ocurrencia del mínimo factor de potencia	11:00	11:30	11:30

1.2.6 Caso Sudáfrica[11]

Históricamente los precios de la electricidad en Sudáfrica han sido bajos con respecto a otros países. En el pasado, esto ha hecho que sea poco rentable introducir tecnologías de ahorro de energía y programas de respuesta de la demanda, pero el rápido crecimiento de la demanda de electricidad ha comenzado a superar la capacidad de generación lo que ha dado lugar a una escasez de energía.

En Sudáfrica, el uso de electricidad para uso residencial tiene dos picos en el día debido al consumo de aproximadamente 9 millones de hogares. El primer pico se da de 07:00 a.m. hasta las 12.00 am, la demanda de electricidad tiene su pico crítico entre las 18:00 hasta 21:00 horas como se muestra en la figura 14. Este período es el más difícil para el suministro de energía eléctrica. Los Servicios Públicos de electricidad de Sudáfrica (ESKOM) identifican la necesidad de tarifas de precios TOU para los clientes residenciales. Se buscó una estrategia de desplazamiento de carga máxima y también se tuvo en cuenta la opinión de los clientes sobre las nuevas tarifas.[11]

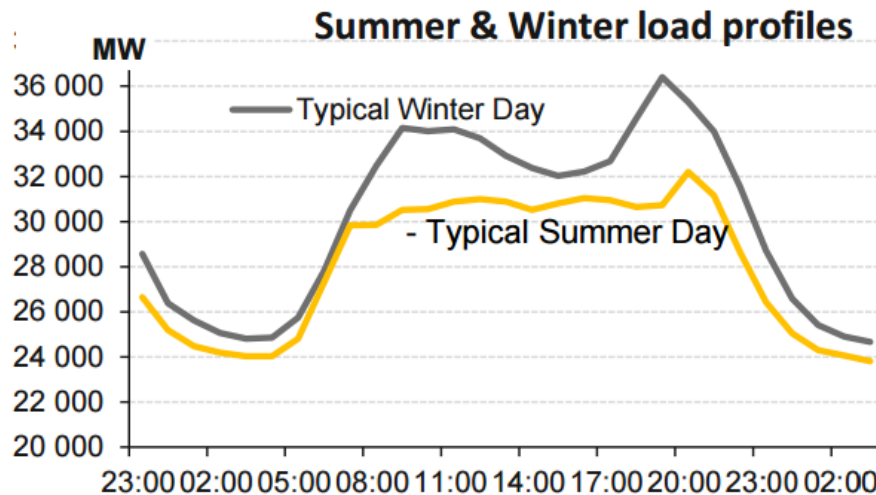


Figura 14. Perfil de carga de Sudáfrica durante invierno y verano de 2014. [12]

Se buscaba que un alto potencial se pudiera desplazar fuera del pico crítico con ayuda de 120 000 clientes suburbanos si se les aplica la tarifa TOU del mercado residencial de Eskom. Los Resultados y conocimiento obtenido de las pruebas pilotos se incorporaron en el diseño actual de la tarifa. Este programa está dirigido inicialmente a los clientes residenciales de alto consumo con un promedio de 500 kWh /mes o más.[11]

1.2.7 Caso India[13]

La economía de la India está creciendo día a día como se observa en la figura 15, esto conlleva a una alta demanda de potencia para satisfacer las necesidades de todas las categorías de consumidores en todo el país. A pesar del continuo crecimiento en la generación de energía en los últimos años, la industria de energía de la India se enfrenta a un problema de escasez de energía. Para hacer frente a esta situación se proponen programas de gestión de la demanda siendo TOU el más factible.

La India ha mostrado interés hace mucho tiempo acerca de una forma adicional de suministrar la energía eléctrica con bajo costo de operación mediante el aplanamiento de la curva de carga, buscando animar a los consumidores de cambiar su patrón de carga del periodo pico al periodo valle, Por lo tanto, los clientes podrían consumir la misma cantidad de energía, pero con picos de demanda reducida en su perfil de carga. [13]

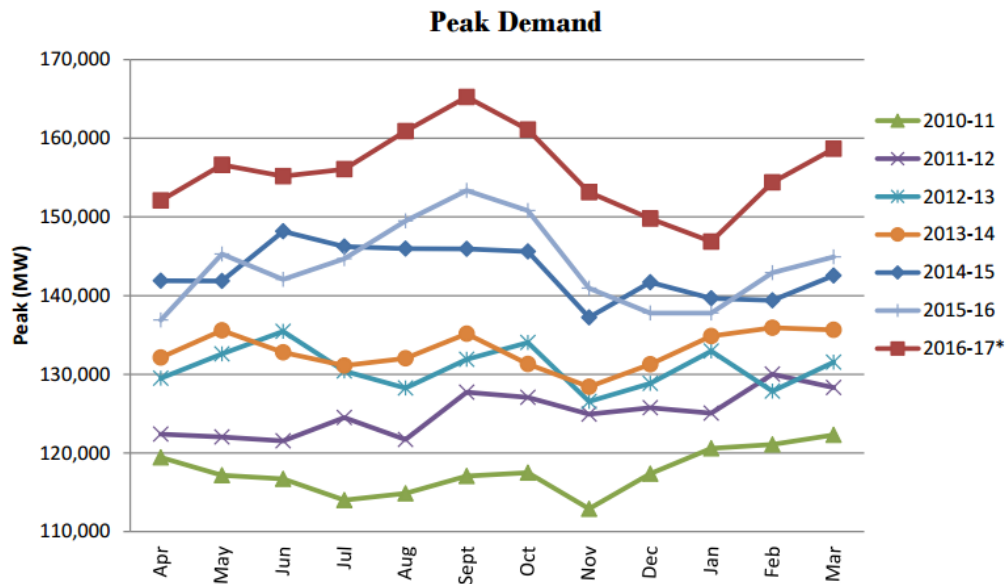


Figura 15. Picos de demanda presentados durante diferentes años en India.[14]

El objetivo de mencionar el caso de India es principalmente mostrar el rápido crecimiento de consumo de energía eléctrica que puede presentar un país en pocos años y el gran potencial que tiene las PRD para utilizar de manera más eficiente los recursos energéticos disponibles.

1.2.8 Caso Brasil[15]

A finales de 2011, la Agencia Nacional de Energía Eléctrica de Brasil aprobó el uso de una nueva estructura de tarifas para los servicios de distribución. Esto incluyó la creación de nuevos precios para la modalidad de tiempo de uso (TOU) el cual tendría nuevas tarifas para los consumidores minoristas conectados a las redes de distribución de baja tensión.

El diseño de las tarifas y sus señales económicas es un factor clave para la implementación exitosa de programas de respuesta a la demanda, el cual era un trabajo bastante laborioso en Brasil, debido a la falta de información del sistema y la demanda de los usuarios en los diferentes sectores. Las tarifas TOU son a menudo uno de los primeros PRD con variables en el tiempo que generalmente se usa en zonas en las que los consumidores residenciales han sido expuestos exclusivamente a las tarifas planas, sin ninguna diferenciación en el tiempo. Puede haber varias razones para adoptar inicialmente precios TOU, uno de los más relevantes es que la relativa simplicidad de esta modalidad de tarifas puede facilitar su aceptación por los consumidores acostumbrados a las tarifas planas.

El diseño de las tarifas TOU es una tarea difícil en condiciones de incertidumbre del comportamiento del consumidor, y tener opciones de diseño limitados puede tener efectos duraderos al comienzo de un ciclo de tarifas TOU, un diseño pobre puede afectar el sistema durante un período de tiempo considerable y resultar en pérdida de oportunidades para construir los beneficios de la respuesta de la demanda.

En Brasil se ha hecho énfasis en los mecanismos necesarios para apoyar un plan nacional para la aplicación de las tarifas de TOU, mientras se trabaja en los ajustes en el diseño de tarifas para hacer frente a las diferencias técnicas de medición, sociales y económicas entre las empresas de distribución y sus áreas de concesión.

Las nuevas tarifas básicamente dependerían de la demanda máxima de los usuarios, el precio de transmisión y distribución de las diferentes empresas. En la figura 16 se muestra la relación entre los valores relativos de precios de transmisión y distribución y los valores relativos de la tarifa de energía (ET) para un día de la semana, suponiendo un mayor costo en periodo pico.[15]

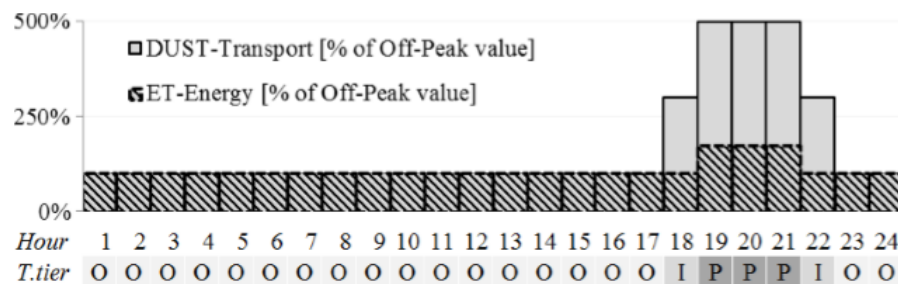


Figura 16. Tarifas de energía asociadas a precios de transmisión, distribución y los precios de generación caso Brasil.[15]

En Brasil, la demanda máxima del sistema se ha producido generalmente entre las 17: 00h y 20: 00h. Sin embargo, en los últimos años, los cambios en los hábitos de consumo (tales como el creciente uso de aire acondicionado) han provocado que la demanda máxima del sistema se produzca antes de la tarde, en los meses de verano. La figura 17 permite observar que en 2011, la demanda máxima del Sistema Nacional Interconectado (SNI) se produjo en diciembre (un mes de verano) a las 15: 43h (dentro de la tarde y antes de las 17: 00h), observándose de esta manera que es necesario varias tarifas dependiendo de las estaciones del año.

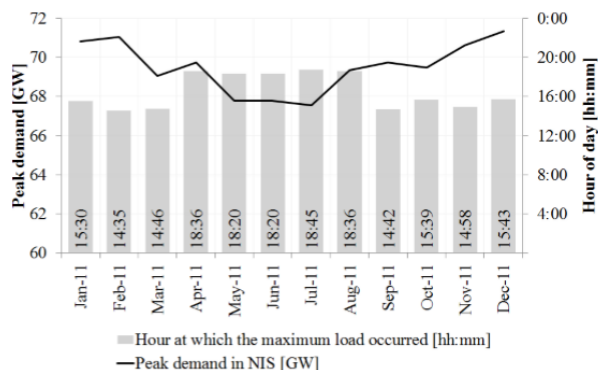


Figura 17. Demanda máxima (GW) y la hora ocurrida durante los meses del 2011 en Brasil.[15]

El diseño de tarifas TOU es bastante interesante ya que no solo tiene en cuenta el precio de generación de energía sino el costo por transportarla teniendo en cuenta que éste precio tiende a aumentar cuando las demandas son más altas llevando al punto de requerir un mayor infraestructura de transmisión y distribución, el cual sería una manera de buscar postergar este tipo de proyectos.

1.2.9 Caso Irán[16]

El programa de TOU está formulado en base a modelos económicos de RD por medio de "elasticidad de precio de la demanda" y "función de beneficio para el cliente". Se han estudiado diferentes escenarios tales como diversos precios de la electricidad, el cambio de intervalo de pico, fuera de horas punta y periodos de baja carga, la diferente sensibilidad del cliente frente a los precios y el potencial de los programas. La curva de carga diaria máxima de la red eléctrica de Irán en 2007 fue considerada como el caso base para todos los estudios numéricos.

Vale la pena mencionar que los programas de RD adecuadamente deben ser diseñados para proporcionar suficiente motivación para que los clientes participen en el programa. Por lo tanto, el diseño que incluye las tarifas, debe considerar las necesidades de los diferentes clientes ya que es de gran importancia.

El éxito de cualquier programa de gestión de la demanda depende de la cantidad de estudios y análisis de la demanda para la identificación de sus características. En este sentido, la mayor parte de las industrias de la energía de todo el mundo han llevado a cabo programas de estudio de demanda.

La figura 18 muestra la curva de carga máxima que se produjo el 27 de agosto de 2007. En un sistema de tres tarifas, esta curva se divide en tres períodos diferentes: carga baja (23:00-7:00), fuera de horas pico (7:00 a 19:00) y la carga pico (19:00 a 23:00). El precio medio de la energía eléctrica ha sido considerado como 400, 160 y 40 Rials1 / kWh, en el pico, fuera de horas pico y periodos de baja carga, respectivamente.[16]

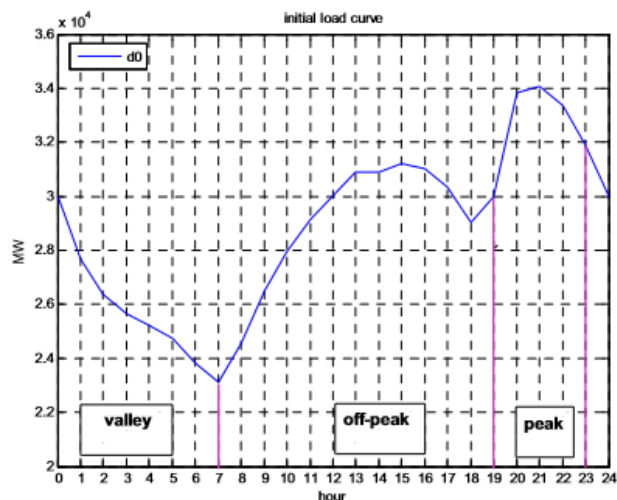


Figura 18. Perfil de demanda en Irán el 27 d agosto del 2007.[16]

Existe un alto potencial de ahorro energético en Irán. Se ha estimado que el potencial de ahorro de los programas de RD es más de 30% en Irán. En el estudio se asumió el 10% como potencial de aplicación del programa TOU. En otras palabras, se supone que 10% de la carga total sería posible gestionar en el programa. La Tabla 2 muestra nueve escenarios diferentes que se consideran en el estudio numérico.[16]

Tabla 2.Diferentes escenarios para el PRD tiempo de uso caso Irán.[16]

Group No	Scenario No	Program	Price*	Period**	Program's Potential
1	1	Flat Rate (Base Case)	present	Present	10%
2	2	TOU	Present	Present	10%
	3	TOU	Present	Suggested	10%
	4	TOU	Suggested	Present	10%
	5	TOU	Suggested	Suggested	10%
3	6	TOU	Present	Present	20%
	7	TOU	Suggested	Suggested	20%
4	8	TOU	Present	Present	10%
	9	TOU	Suggested	Suggested	10%

*Present Price: 400, 160 and 40 Rials/kWh, in peak, off-peak and low load periods, respectively

*Suggested Price: 450, 200 and 0 Rials/kWh, in peak, off-peak and low load periods, respectively

**Present period: Low load (23:00 to 7:00), off-peak load (7:00 to 19:00) and peak load (19:00 to 23:00)

**Suggested period: Low load (24:00 to 9:00), off-peak load (9:00 to 20:00) and peak load (20:00 to 24:00)

Los diferentes resultados de los escenarios se puede observar en las figuras 19, 20 y 21 donde muestra las supuestas respuesta de gestión del programa TOU con las condiciones establecidas en la tabla anterior, donde se presentan desplazamientos de carga, disminución de la carga máxima y la existencia de la posibilidad del surgimiento de nuevos picos máximos, las simulaciones de éstos posibles escenarios es de gran importancia ya que muestra que la aplicación de TOU sin estudios y tarifas adecuadas pueden generar mayores dificultades al sistema.

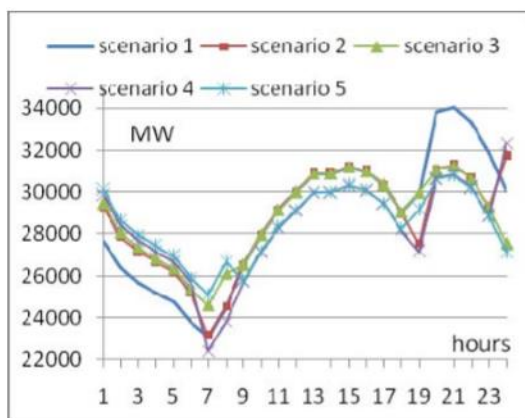


Figura 19. Comparación de resultados de escenario 2,3,4 y 5 con escenario 1.[16]

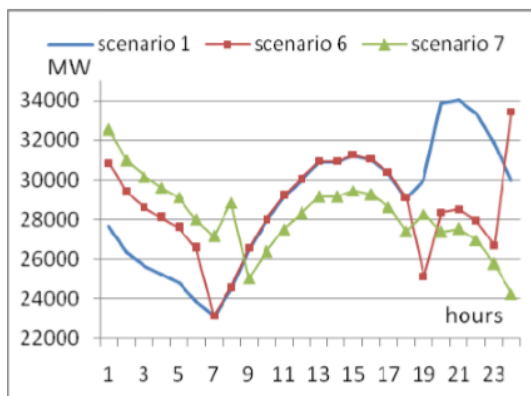


Figura 20. Comparación de escenario 6 y 7 con escenario 1.[16]

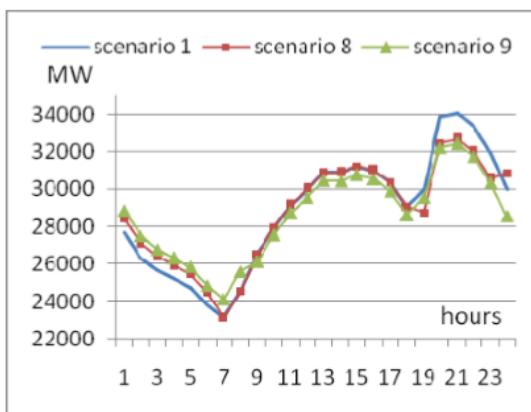


Figura 21. Comparación de escenario 8 y 9 con escenario 1.[16]

1.3 Análisis del capítulo 1

Los casos de estudio de los diferentes países permitieron tener una comprensión más amplia de los beneficios que se buscan obtener con los PRD como TOU, pero para llevar a cabo una implementación adecuada de TOU queda claro que se debe realizar previamente estudios del perfil de carga de los usuarios, la metodología y condiciones para su implementación, y las necesidades en el diseño de tarifas para hacer frente a las diferencias técnicas, sociales y económicas entre las empresas y los usuarios.

Para que TOU tenga el efecto deseado en los usuarios, la diferencia de precios entre las franjas debe ser realmente significativas de tal manera que los usuarios se vean incentivados a participar activamente en los desplazamientos y reducción de su consumo fuera de las horas pico.

El número de franjas más adecuado para los usuarios sería de 3 diferentes tarifas para no generar confusión en los usuarios y tanto las tarifas como las franjas deben establecerse y ser variantes dependiendo de las estaciones del año y el tipo de día (día de trabajo, fines de semana).

CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE DOCUMENTOS PARA LA CLASIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE CARGAS RESIDENCIALES PARA TARIFAS TOU

2.1 Clasificación de las cargas gestionables residenciales con TOU [17]

En [17] se propone una clasificación de aparatos residenciales de acuerdo a sus características. Se establece un método de programación de la carga residencial en la fijación de precios de tiempo de uso. Con el objetivo de minimizar el costo de los consumidores, así como la diferencia valle pico, esto dependiendo de la disponibilidad para desplazamiento de cargas.

Una clasificación eficaz y razonable ayudaría directamente los resultados óptimos de programación; Por lo tanto, al principio, se necesita una clasificación de los aparatos residenciales comunes. Los consumidores podrían participar en el funcionamiento del sistema con el despliegue de muchos de las nuevas tecnologías, incluyendo la generación distribuida y energía de sistemas de almacenamiento.

Se clasifica los electrodomésticos en diferentes categorías dependiendo si tienen el consumo de energía flexible y si son interrumpibles. Pero no se trabaja en electrodomésticos concretos, hay que tener en cuenta que es difícil que una clasificación abarque todos los electrodomésticos.

Inicialmente se considera una residencia con varios tipos de aparatos y se realiza una respectiva clasificación. Se supone que el intervalo gestionable y su uso se dividen en intervalos de tiempo. Se determina la cantidad de consumo de energía de cada aparato en cada intervalo. Los aparatos residenciales se clasificarán en cuatro categorías en función de sus características de consumo de energía.

2.1.1 Aparatos no gestionables sin almacenamiento

Aquí se contienen los aparatos no gestionables sin almacenamiento. Éste tipo de aparatos no puede almacenar energía, y debe mantenerse hasta que su trabajo esté terminado. Los ejemplos incluyen lámparas, computadores, televisión, etc. Cuando los consumidores están utilizando estos aparatos, deben estar encendidos debido a la necesidad inmediata y el confort que no debería ser afectado debido a la gestión de carga.

Los parámetros que se deben tener en cuenta para cada aparato es la potencia consumida por la carga, la hora de inicio del aparato y la hora de apagado.

2.1.2 aparatos gestionables sin almacenamiento

Este tipo de aparato no puede almacenar energía, pero su consumo de energía en un intervalo del día es flexible según lo indicara el usuario. Ejemplos son la lavadora, licuadora, secadora, etc. Los consumidores les interesan que su trabajo pueda ser terminado dentro de un tiempo determinado.

Para éste tipo de aparatos los parámetros anteriores también aplicaría pero se debe tener en cuenta el tiempo necesario que el aparato debe permanecer encendido y si las horas de uso deben ser continuas o pueden ser separadas.

El usuario deberá especificar si el aparato gestionable tiene la necesidad de uso contiguo (Más de una hora seguida).

Dado este caso el usuario deberá ingresar las horas continuas habituales del uso del aparato y definir las horas en que se podría Desplazar.

2.1.3 Aparatos gestionables con almacenamiento de energía en baterías

Este tipo de aparatos podría almacenar energía directamente. La absorción y el consumo de energía pueden ajustarse de forma flexible en cada intervalo de tiempo. Ejemplos son las batería con tasa de carga / descarga controlable y vehículos eléctricos.

Este tipo de aparatos puede almacenar directamente energía, por lo que es necesario definir algunas variables relacionadas como lo son:

El tiempo de carga de la batería, capacidad de la batería en Amper-Hora y con ésta se conocería la potencia máxima que podría alimentar durante una hora.

2.1.4 Aparatos gestionables con almacenamiento indirecto

Los aparatos gestionables con almacenamiento indirecto pueden transferir energía eléctrica a otras formas de energía para proporcionar algún servicio necesario. Ejemplos son calentadores de agua, el sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado (sistema HAVC) en el que el valor del servicio de temperatura se representa en el calor o en el aire frío y el aire frío o calor refleja el consumo de energía del sistema HVAC.

Donde es necesario indicar el almacenamiento mínimo y máximo del correspondiente aparato del sistema de refrigeración o calentadores y la energía necesaria para éstos estados y la potencia necesaria para mantenerlo una vez llegados a ellos.

La diferencia es que éste tipo de aparatos está estrechamente relacionado con el proceso físico de la transformación entre energía eléctrica y otro tipo de energía. Por lo tanto, un modelado de este proceso físico es necesario, el modelo matemático se puede observar en [17].

Otros parámetros que se debe tener en cuenta es la temperatura ambiente, la temperatura exterior, la masa de aire dentro de un espacio dado, la capacidad calorífica específica del aire a la presión constante (C) (0.525kWh / °C).

2.2 Modelo de generación con paneles fotovoltaicos para un usuario residencial:

Aunque en éste trabajo no se vaya a utilizar éstos modelos, se considera necesario mencionarlos por la importancia que tiene la generación distribuida en estos temas, los cuales podrían servir como referencia para futuros estudios.

Si en el hogar se cuenta con sistemas de generación fotovoltaica se puede representar de la siguiente manera.

$$P_{PV}^t = \eta_{PV} n_{PV} S_{PV} I_{PV} (1 - 0,005(\theta_{out}^t - 25)) \quad (1)$$

Donde η_{PV} es la eficiencia de conversión fotoeléctrica de la matriz de células solares; n_{PV} es la cantidad de paneles fotovoltaicos; S_{PV} es el área de paneles fotovoltaicos (m²); I_{PV} es la radiación solar (kW / m²); θ_{out} es la temperatura exterior (°C).

2.3 Modelo de aire acondicionado para la gestión de carga manteniendo el confort [18]

El objetivo en este caso es reducir el costo de aire acondicionado mientras mantiene la temperatura interior en un rango adecuado.

$$Min_e Costo = \sum_i P_i * q_i \quad (2)$$

Donde:

$$0 \leq q_i \leq q_{max}$$

$$T_{min} \leq T_i \leq T_{max}$$

$$T_{min} = T_{ideal} - d$$

$$T_{max} = T_{ideal} + d$$

d es la desviación máxima de la temperatura ideal

q_i es el consumo del aire acondicionado durante una hora (kW/h)

p_i es el precio de la electricidad en una hora i

T_i es la temperatura interior

El modelo matemático que se presenta en [18] para conocer la potencia necesaria para mantener la temperatura en un rango deseado se observa en la ecuación (3) que dependerá de variables como la temperatura exterior, la conductividad térmica la habitación y otro parámetros especificados en la tabla 3.

$$T_{i+1} = \varepsilon T_i + (1 - \varepsilon) \left(T^o - \eta * \frac{q_i}{A} \right) \quad (3)$$

Por ejemplo:

Con el fin de mantener una temperatura interior constante a 21 ° C con una temperatura exterior de 31 ° C, es decir $\left(T^o - \eta * \frac{q_i}{A} \right) = T_i = 21^{\circ} \text{ C}$ se calcula que la potencia requerida es $q=1.008\text{kWh}$ De forma similar, para una temperatura exterior de 23 ° C, la potencia requerida es de 0,28 kWh y para una temperatura exterior de 35 ° C, la potencia requerida es de 1,4 kWh.

Tabla 3. Parámetros y valores del modelo de control de aire acondicionado residencial.[18]

Variable	Valor	Descripción
T_0	21.11	Temperatura inicial (°C)
η	2.5*	eficiencia
q_i		Potencia de salida de AC en la hora i
q_{max}	3.5	Máxima potencia de salida (kW)
ε	0,96	Inercia del sistema $[= e^{-\frac{\tau}{TC}}]$
TC	25*	Constante de tiempo para el hogar
τ	1	Duración del periodo de control (hr)
A	0,07*	Conductividad térmica (kW/°C)
T_o	31	Temperatura externa (°C)
T_d	21	Temperatura interna deseada(°C)
T_{max}	22	Temperatura máxima aceptable(°C)
T_{min}	20	Temperatura mínima aceptable(°C)
T_i		Temperatura actual(°C)

2.4 Algoritmo de Programación para reducción de Carga bajo tarifas de Tiempo de Uso [19]

Para que los PRD tengan el impacto deseado, los consumidores deben programar las cargas óptimamente. Por lo tanto, existe la necesidad de algoritmos de programación, el algoritmo presentado en éste documento se estructura de la siguiente manera.

Considérese m cargas con características representadas por:

$$d_j = (S_j, f_j, l_j, r_j, udc_j) \quad (4)$$

Donde $[s_j, f_j]$ denota el intervalo durante el cual la carga j puede ser activada, s_j es el punto inicial o el límite inferior y f_j es el punto final o el límite superior en el tiempo. l_j Denota la duración total durante el cual la carga debe permanecer en estado encendida, y r_j denota la potencia nominal de la carga en kW. El parámetro udc_j representa el costo del retardo, el cual representa una penalización si una carga no es usada en el momento indicado.

Sea u_j^k el estado de la carga j^{th} durante el k^{th} intervalo. $u_j^k = 1$ implica que la carga j está activada durante el intervalo k^{th} y $u_j^k = 0$ implica que está desconectada. El problema de programación es encontrar una secuencia de decisiones de U .

$$U_1^1, U_1^2, \dots, U_1^{24}; U_2^1, U_2^2, \dots, U_2^{24}; U_m^1, U_m^2, \dots, U_m^{24}$$

Tal que se minimice el costo total $f(u)$ de la electricidad consumida durante 24 horas. Sea C^k el coste de un kWh de energía durante el intervalo de tiempo k^{th} y M el límite en la demanda máxima. A continuación, el problema de programación de carga se puede establecer de la siguiente manera con sus restricciones:

$$\min_u f(u) = \min_u \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{k=24} \{C^k r_j u_j^k + g(udc_j, u_j^k)\} \quad (5)$$

Donde

$$\sum_{k=1}^{k=24} u_j^k = l_j \quad j \in \{1 \dots m\}$$

$$\sum_{j=1}^m r_j u_j^k \leq M \quad k \in \{1 \dots 24\}$$

$$u_j^k = 0 \quad \text{si } k < S_j \text{ o } k > f_i \quad j \in \{1 \dots m\}$$

Al sumar los dos términos se tendría:

$$f(u) = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{k=24} C^k r_j u_j^k + \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{k=24} g(udc_j, u_j^k) \quad (6)$$

Donde el primer término es el costo de la energía consumida por los m dispositivos del consumidor durante 24 horas basado en TOU, y el segundo término captura el costo de la penalización. La función cualitativa $g(udc_j, u_j^k)$ utilizada para capturar el retardo depende de u_j^k y la del parámetro udc_j . Este parámetro para la j^{th} carga se da un valor alto si el retraso en la programación de esta carga causa inconveniente y se le da un valor cero si el retraso no importa.

Esta forma de plantearlo serviría para aplicar una metodología de aprendizaje Q a través de las penalizaciones para la programación dinámica, el cual es un estilo de inteligencia artificial, una mayor especificación se da en [19].

2.5 Análisis del capítulo 2

La revisión de documentos sobre algoritmos y clasificación de aparatos relacionados con TOU permitió reconocer algunas necesidades para el desarrollo del algoritmo de éste trabajo de grado, en el cual se deberá tener en cuenta la clasificación de los equipos por su posibilidad de ser gestionados, plantear los cálculos y ecuaciones de tal manera que facilite la programación de los algoritmos y la necesidad de enfocarse principalmente en el beneficio del usuario que simultáneamente traería beneficio a la empresas prestadoras de servicio de energía eléctrica.

Los modelos matemáticos de aires acondicionados y paneles fotovoltaicos permite tener un visión de posibilidades para trabajos futuros en los que se podría utilizar modelos térmicos para el almacenamiento de energía en forma de calor o frio y almacenamiento de energía eléctrica en baterías, algunos algoritmos combinan el uso de TOU con penalizaciones por la demora o desplazamiento de cargas que tienen poca flexibilidad para su gestión y su vez se señala la posibilidad de algoritmos con inteligencia artificial que pueda tomar decisiones de gestión de carga basado en la experiencia de las penalizaciones .

CAPITULO 3. PROPUESTA DE UN USUARIO HIPOTÉTICO, CLASIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS POR ÁREA DE CONSUMO Y CONSTRUCCIÓN DEL PERFIL DE CARGA

Posteriormente de haber consultado y analizado algunas metodologías de clasificación de los equipos y algunas formas de cálculos de consumo de energía de cada hora, para posteriormente realizar un desplazamiento de carga en usuarios residenciales con tarifas TOU, se procederá a construir un perfil de un usuario hipotético, al igual que los equipos que se podrían gestionar para el desplazamiento de carga, basados en la necesidad de uso por parte del usuario.

Para diseñar el algoritmo que entregue una alternativa y permita un desplazamiento de carga a los periodos valle mientras el consumo total permanece igual antes y después de la gestión, sin que el desplazamiento afecte el nivel de confort, el usuario debe entregar las franjas disponibles para el desplazamiento de cada aparato ya habiendo tenido en cuenta sus necesidades de uso de los equipos con poca flexibilidad de desplazamiento como lo es la iluminación, el entretenimiento, etc.

Entre los equipos con gran relevancia que podría tener un usuario residencial para el desplazamiento de pico máximo se encuentran los aires acondicionados, calefacción, paneles solares y baterías. Hay que tener en cuenta que los paneles y baterías no son muy comunes en los hogares pero a medida que se legisla en los temas de generación distribuida y la oportunidad de los usuarios de inyectar energía a la red, se esperaría que se masifique su uso.

De lo aparatos mencionados en el párrafo anterior se tendrá en cuenta el uso de aires acondicionados.

3.1 Especificaciones de equipos y electrodomésticos seleccionados

En la tabla 4 se muestran algunas especificaciones de equipos utilizados por un usuario residencial hipotético, separados por las diferentes áreas del consumo del hogar como lo son la cocina, iluminación, entretenimiento, refrigeración, climatización y lavado.

Los equipos de la tabla 4 es un caso hipotético basado en documentos del DANE y la UPME[20] que permiten conocer estadísticas de uso de algunos electrodomésticos en los usuarios residenciales, El usuario seleccionado será de una vivienda constituida por 3 habitaciones, 2 baños, una cocina, una sala comedor y el patio de lavado.

Tabla 4. Especificaciones de potencia de electrodomésticos típicos usados por un usuario residencial.[21]

Aplicación	Aparato	potencia (W)	fabricante	modelo	No. Unid	Detalles
cocina	Licuadaora	600	PHILIPS	HR2086/90	1	
	Horno microondas	900	LG	MJ3294BDB	1	
	Sandwichera	600	Black&Decker	SM1000W	1	
	Cafetera	900	Oster	BVSTDC4401	1	
	Olla Arrocera	500	Oster	4728		
Iluminación	Bombillo incandescente	60	PHILIPS	E27 A55	3	
	CFLs	42	PHILIPS	46677139476	6	
entretenimiento	Computador	60	Lenovo	G40-45	1	Portatil
		45	ASUS	X455LJ	1	portatil
		240	Dell	Optiplex 3020	1	escritorio
	equipo de sonido	1200	Sony	SHAKE-X3D	1	
	decodificador	6	claro	N5266CL	2	
	cargadores de celulares	10			4	
	Modem	20	Ubee	DVW32E	1	
	Televisores	62	LG	42LN5200	1	sala 42"
		86	Samsung	K5100A	1	cuarto 40"
		120	Panasonic	TC-L42U5.	1	cuarto 42"
Refrigeración	Nevera	-	Whirlpool	WRM22BKTW W	1	33,67 kWh/mes
Climatización	Aire acondicionado	1120	LG	VM121CS	2	
	Ventiladores	80	Samurai	Turbo Silence	2	
Lavado	Lavadora	693	Haceb	LAV D1600 TI/BL	1	
	Plancha	1200	Black&Decker	f920	1	

Las cifras del DANE permiten tener una visión del uso de algunos electrodomésticos por un usuario residencial y un porcentaje aproximado de usuarios que los poseen en sus hogares, como es el caso de los televisores, celulares, computadores y uso de internet el cual lleva a que se use dispositivos electrónicos.

Según cifras del 2015 el 55,9% de las personas con edades de cinco años y más usaban internet, el cual tuvo un aumento de 3.3% comparado con cifras del 2014. El 45,5% de los hogares poseían computador de escritorio, portátil o tableta. Entre tanto en 2014 el porcentaje de hogares con alguno de estos dispositivos fue de 44,5%.

El 92,4% del total nacional de hogares colombianos poseía televisor convencional a color, LCD, plasma o LED, en 2014 esta variable se ubicó en 92,0%. En 2015, en el 95,6% de los hogares al menos una persona poseía teléfono celular, mientras que en 2014 la proporción fue de 95,3%. [22]

En estas cifras del DANE se logran observar como el porcentaje de uso de algunas tecnologías aumenta en los hogares colombianos, el cual permite comprender el aumento de consumo de energía en los usuarios residenciales.

3.2 Selección de un usuario residencial hipotético y tiempo de permanencia en la vivienda

Para definir las características del usuario seleccionado previamente se consultó tiempo de permanencia típico de los usuarios residenciales, número de personas que constituyen el usuario, uso de aparatos típicos.

La selección del usuario se hace de una manera práctica para mostrar un consumo habitual teniendo en cuenta datos del DANE, el cual indica que aproximadamente el 66,7% de los hogares en Colombia están constituidos por 4 o menos personas[23], debido a esto el usuario seleccionado sería una residencia habitada por una familia de 4 personas constituido por los padres y dos hijos, y una persona del servicio para un total de 5 habitantes en el hogar como se indica en la tabla 5, pertenecientes a un estrato entre 4 y 6, ya que estos estratos presentan un mayor consumo.

En la figura 5 para el caso de Malasia[6] se podía observar que el perfil de carga de los diferentes estratos eran muy similares en la distribución de las horas pico y horas valle, pero el consumo total si disminuía acorde bajaba el estrato, debido a esto se puede decir que los usuarios más adecuados para implementar el programa TOU serían usuarios de estrato 4, 5 y 6 los cuales tienen un consumo alto y unos equipos que podrían ser gestionados logrando tener una mayor reducción en los picos de consumo.

Las características básicas de los habitantes de la vivienda se puede observar en la tabla 5 las cuales permiten construir los hábitos de consumo posteriormente.

Se escogió construir el perfil de carga teniendo en cuenta el consumo en un día de trabajo que serían de lunes a viernes ya que los consumo de los fines de semana en los usuarios residenciales pueden variar demasiado.

Tabla 5. Horarios de permanencia de los integrantes del hogar en día de trabajo.[21]

Integrante	dedicación	edad	Tiempo de permanencia en el hogar de lunes a viernes
Padre	trabajador	40	7:00 pm a 7:00 am, 12:30 pm a 1:30 pm
Madre	trabajador	38	7:00 pm a 7:00 am, 12:30 pm a 1:30 pm
Hijo 1	estudiante	15	1:00 pm a 7:00 am
Hijo 2	estudiante	11	1:00 pm a 7:00 am
Persona de servicio	hogar	40	8:00 am a 6:00 pm

3.3 Áreas de consumo en el hogar

Para la propuesta de los patrones de consumo se ha dividido la demanda en diferentes áreas en el hogar como se hizo en la tabla 4, separados en iluminación, cocina, entretenimiento, lavado, refrigeración y climatización, pudiendo así conocer el aporte de cada área a los picos de consumo cuando se construya el perfil de carga.

3.3.1 Uso de luminaria

El tipo de iluminación que se posee en el hogar es de gran importancia ya que una de las maneras de reducir los picos y el consumo de energía en general, es cambiando la luminaria por una más eficiente, las lámparas incandescentes siguen siendo muy usadas en muchos hogares colombianos aportando un gran porcentaje al consumo total, ya que éstas consumen alrededor de 60W a 100W cada una.

Una alternativa que se presentara para disminución del consumo es sustituyendo la luminaria incandescente por CFL's o lámparas LED.

Hay que tener en cuenta que la iluminación es un área difícil de gestionar debido a la necesidad inmediata que existe de su uso, la luminaria entraría entre los aparatos no gestionables ya que se busca mantener el confort.

3.3.2 Uso de aparatos de cocina

Algunos electrodomésticos de la cocina pueden ser gestionables dependiendo de la necesidad del usuario y la posibilidad de desplazar algunas actividades a otra franja horaria. El consumo de energía en ésta área se centra en las horas de las

comidas principales, por eso se enfocará en hallar una alternativa de gestión principalmente en las horas que estas actividades se lleven a cabo.

Para la construcción del perfil de carga el usuario deberá introducir en qué horario se usa cada electrodoméstico.

3.3.3 Uso de aparatos de entretenimiento

Los aparatos de entretenimiento se ubican entre los aparatos no gestionables, ya que es difícil desplazar estas actividades debido a que afectarían el confort de los usuarios.

Se pueden hacer recomendaciones con respecto al tiempo que algunos aparatos asociados al entretenimiento que siguen consumiendo sin desarrollar la actividad como tal, como es el caso de cargadores, decodificadores, etc. Los consumos de estos aparatos son considerables a largo plazo si lo que se desea es bajar el costo mensual de energía.

3.3.4 uso de aparatos para refrigeración

Básicamente en el área de refrigeración en los usuarios residenciales se encuentra solo la nevera, éste aparato contiene ciclo de trabajo lo que hace que su consumo no sea constante, pero según estudios de la UPME un gran porcentaje de neveras no presentan ciclos de trabajo, principalmente en la costa [20] como se observa en la figura 22.

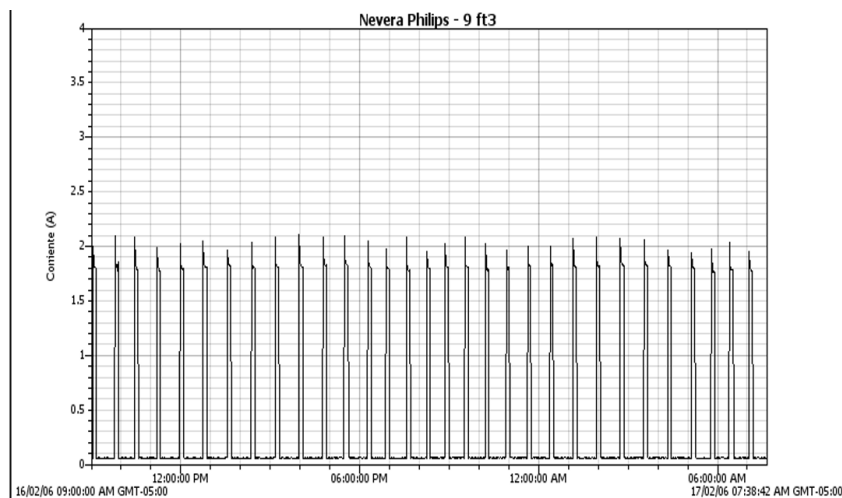


Figura 21. Consumo de nevera con ciclo de trabajo.[20]

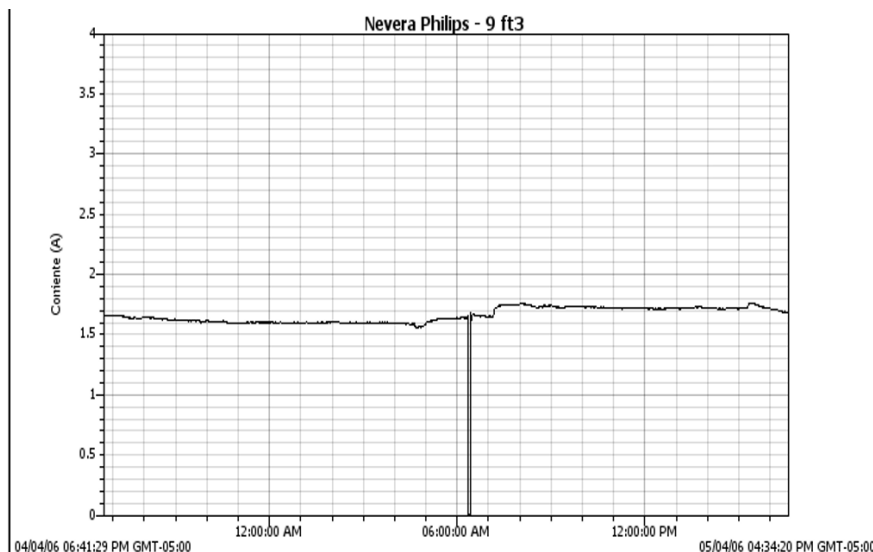


Figura 22. Consumo de nevera sin ciclo de trabajo.[20]

La nevera tiene la posibilidad de gestión diferente debido a la capacidad de almacenamiento de energía en forma de frío el cual podría ponerse a enfriar más en periodos valle para mantener la temperatura baja y reducir el nivel de enfriamiento en los periodos pico.

Para la construcción del perfil de carga se tomará el consumo de la nevera constante durante las 24 horas, ya que se desea observar los picos máximos que se pueden presentar durante cada hora, o sea la posibilidad del uso simultaneo de equipos aunque el uso de un equipo sea menor a una hora.

3.3.5 Uso de aparatos para climatización

El uso de aparatos de climatización en el hogar varía mucho dependiendo del clima de la zona, en estudios de la UPME se logra observar que el uso de aires acondicionados se concentraban en la zona de la costa, como es el caso de barranquilla que en el 2006 alrededor del 35% de los usuarios lo poseían y el 90% tenían ventiladores.[20]

El caso contrario es la zona de Bogotá y pasto, donde el uso de ventiladores y aire acondicionado es casi nulo, en estas zonas lo que crece es el uso de calefacción y calentadores, el cual no se ha tenido en cuenta ya que el sistema de muchos de estos aparatos son a gas y el área de gestión de estos aparatos puede llegar a ser muy amplia.

Para el uso de los equipos de climatización por un usuario se debe que tener en cuenta el tiempo de permanencia y las posibles actividades que se desarrollen, ya que su uso dependerá de los espacios donde se desarrollen las actividades.

Una de las maneras de gestión de éste tipo de aparatos es el uso de su capacidad máxima en horas de bajo costo para mantener la temperatura en los espacios correspondientes y lograr mantenerla en horas pico donde se apagarían o se reduciría su ciclo de trabajo.

3.3.6 Uso de aparatos del área de lavado.

Esta área tiene gran posibilidad de ser gestionable ya que son actividades que no se hacen todos los días y no necesita una hora específica para realizarse, solo depende de la disponibilidad de la persona encargada de esta actividad.

Se debe tener en cuenta que estos aparatos tienen un alto consumo y su desplazamiento de carga podría generar picos en otros horarios, lo que se desea es lograr tener un perfil de carga más plano.

3.4 perfil de carga del usuario

El perfil de carga está conformado por las diferentes áreas de consumo para un día de trabajo, en la figura 23 se aprecia los picos y valles del día y la composición de cada hora del día, téngase en cuenta que los picos máximos que se presentan es por la posibilidad del uso simultaneo de los aparatos en uso en cada hora.

Los patrones de consumo con los que se construyó el perfil de carga se pueden observar en el anexo A los cuales están basados en [21][20].

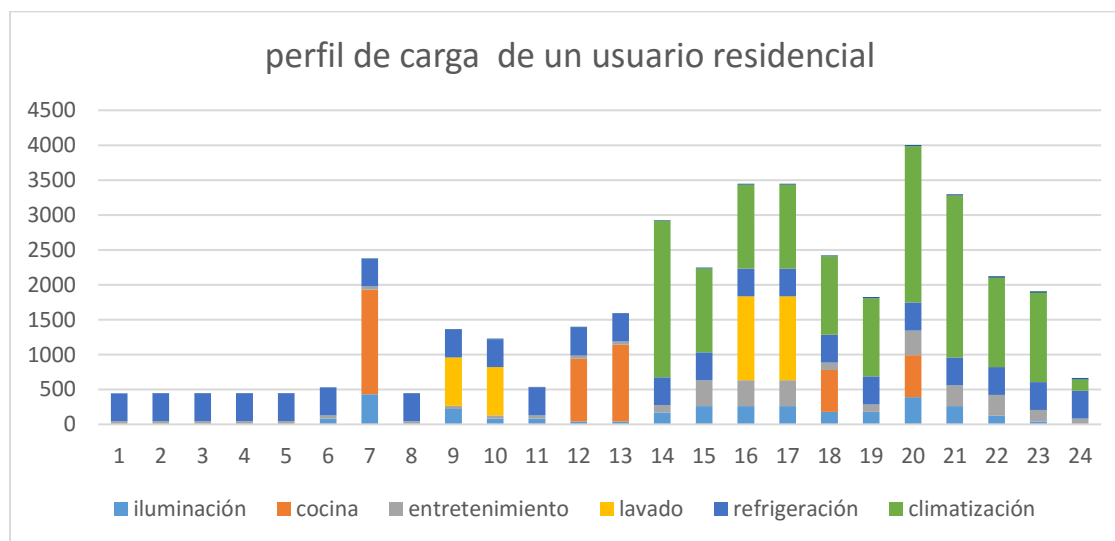


Figura 23. Perfil de carga en día de trabajo incluyendo el área de lavado

Se construyó un segundo perfil de carga sin incluir el área de lavado mostrado en la figura 24 para poder contrastar la diferencia entre los dos perfiles.

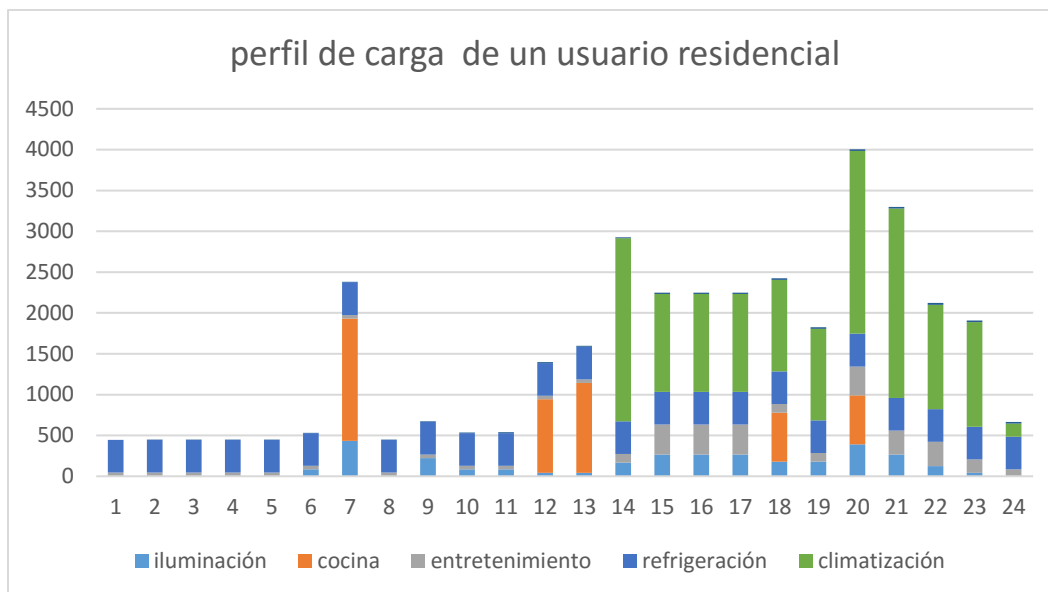


Figura 24. Perfil de carga para un día de trabajo sin incluir área de lavado.

3.5 Análisis del capítulo 3

La revisión de documentos del uso de electrodomésticos por usuarios residenciales y los datos de la conformación de los hogares realizados tanto por la UPME, el DANE y otros trabajos de grado, permitieron tener una visión más clara de los posibles hábitos de consumo de energía por parte de los usuarios residenciales teniendo en cuenta el tiempo de permanencia de cada integrante.

La separación del uso de electrodomésticos por áreas facilita la observación de sus consumos una vez se construye el perfil de carga del usuario, permitiendo tener una idea más amplia de las áreas que más consume energía y las que más requieren una gestión para reducir picos máximos.

La construcción del perfil de carga del usuario obtenido presentó un patrón de consumo muy similar al de otros países para usuarios residenciales como se observaba en el capítulo 1, a estos perfiles se le debe buscar una reducción de picos y desplazamiento de carga por parte del usuario basados principalmente en el consumo regional, nacional o el patrón de consumo que requiere la empresa de energía aplanar o disminuirle los picos de consumo.

CAPÍTULO 4. CONSTRUCCIÓN DEL ALGORITMO PARA LA ENTREGA DE UNA ALTERNATIVA DE CONSUMO A UN USUARIO RESIDENCIAL

4.1 Algoritmo para el cálculo del consumo habitual del usuario

Para que un programa TOU tenga el efecto deseado se deben programar las cargas de manera que se obtenga una reducción del valor pagado por la energía.

Previamente se debe calcular la energía aproximada consumida por el usuario con el uso habitual de los aparatos en cada hora del día, para el cual se propone la ecuación 7.

Considérese n cargas, de los cuales se desea calcular el consumo habitual del usuario para lograr identificar los picos máximos posibles en cada hora y con ésta información observar los picos que se desean reducir.

$$Energia_{total} = \sum_{h=0}^{h=23} \sum_{n=1}^{n=N} \{P_{a_n} * K_{a_h_n} * t\} \quad (7)$$

La ecuación 7 permite calcular la energía total aproximada que se podría dar durante un día, Se debe tener en cuenta que esta sumatoria no es la energía consumida real, ya que no considera la duración real del funcionamiento del equipo en cada hora del día, se asumirá por practicidad del algoritmo que cada aparato que se use en una hora h funciona la hora completa.

Donde h representa una hora del día que va desde 0 hasta 23, N es la cantidad que de aparatos que se consideran gestionar por el usuario residencial, P_{a_n} la potencia del aparato n en watts y $K_{a_h_n}$ una variable que tomaría el valor de 1 o 0 para cada aparato en las 24 horas, si el aparato “n” se encuentra en uso durante la hora “h”, $K_{a_h_n}$ tomará el valor de 1, de lo contrario valdrá 0, y t es el tiempo de uso del aparato que para éste caso como se mencionó, por practicidad será siempre 1 hora.

La información de $K_{a_h_n}$ se almacenará en una matriz inicial $A_{inicial}$ de n filas y h columnas en donde estará el estado $K_{a_h_n}$ de cada aparato n en la hora h, el cual permitirá observar el uso de cada aparato durante cada hora si se encuentra activo o no.

nxh	1	2	3	...	24
1	K_{a_11}		$K_{a_3_1}$	...	
2		$K_{a_2_2}$		...	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
n					$K_{a_24_n}$

La forma en que se ordenan las cargas n en la matriz $A_{inicial}$ debe hacerse por tipo de carga como en la tabla 4 para lograr calcular fácilmente el consumo total en cada área del hogar y logarla representar en un gráfico con mayor facilidad.

Téngase en cuenta que la información de la potencia P_{a_n} de los aparatos también se habría almacenado previamente en un vector $P_{aparatos}$ de tamaño $n \times 1$ para facilitar su uso.

$$P_{aparatos} = \begin{pmatrix} p_{a_1} \\ p_{a_2} \\ \vdots \\ p_{a_n} \end{pmatrix}$$

También se crea un vector P_{T_hora} de tamaño $1 \times h$ donde se almacenará la energía total de cada hora, ubicando en sus posiciones el cálculo de la sumatoria interna de la ecuación (7) en cada hora.

$$P_{T_hora}(1, h) = \sum_{a=1}^n \{P_{a_n} * K_{a_h_n} * t\}$$

$$P_{T_hora} = (P_{T0} \quad P_{Th} \quad \dots \quad P_{T23})$$

Una vez recorrido el primer ciclo de la sumatoria interna de la ecuación 7 que correspondería a la energía demandada por el usuario en la hora 0 (P_{T0}) de acuerdo a la información del uso de aparatos de la matriz $A_{inicial}$, la variable P_{T0} se almacenará en la posición 1×1 del vector P_{T_hora} , y así sucesivamente para cada hora del día.

Al terminar de recorrer toda la matriz $A_{inicial}$ se tendrá el vector P_{T_hora} final para representarlos en un gráfico de barras y lograr una mejor interpretación del consumo que tiene habitualmente el usuario, el cual debe representarse en un gráfico como el de la figura 23.

4.2 Asignación de tarifas

Para éste apartado se usará como referencia el consumo típico diario nacional en Colombia, ya que se ha usado en trabajos pasados del grupo de investigación Gralta en temas de respuesta de la demanda y se podría contribuir de esta manera a darle una trazabilidad a trabajos futuros en éste tema.

La selección de tarifas se realizará teniendo en cuenta la demanda diaria a nivel nacional de la figura 25 donde se observa los picos y valles de la demanda.

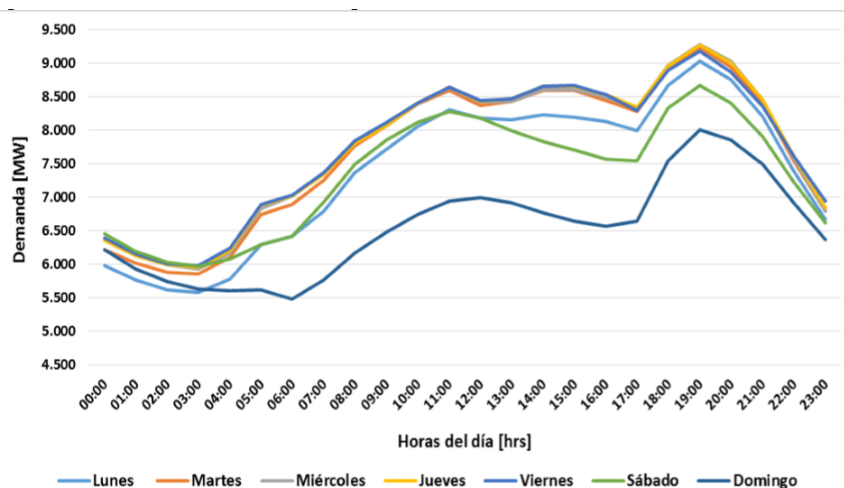


Figura 25. Demanda de Colombia marzo 2015.[24]

Inicialmente se debe reconocer los precios de tarifa plana para los diferentes estratos, en éste caso se utilizarán los definidos por la empresa de EMCALI para el mes de Julio del 2017 presentados en [25] donde la tarifa plana definida está alrededor de \$450 a \$500 por kW/h hasta estrato 4 y alrededor de 570 por kW/h para estrato 6 sin tener en cuenta los subsidios para algunos estratos, ésta tarifa se debe tener en cuenta en el momento de definir los precios de TOU ya que deben mantener un equilibrio entre tarifa plana y la tarifa TOU que no genere pérdidas a los prestadores del servicio de energía eléctrica y tampoco un abuso para los usuarios.

Las franjas de horas pico y valle se seleccionarán basados en los picos y valles generados en el consumo diario nacional de la figura 25, donde se observa que se genera un valle entre la hora 0 y 5, un medio pico entre la hora 6 y 16, un pico entre la hora 17 y 21, y finalmente un valle entre la hora 22 y 23.

Teniendo en cuenta los valles, medio pico y picos de la figura 25 se lleva a cabo la selección de las tarifas TOU las cuales se proponen basadas en la efectividad que hubo en China[5] al establecer que los precios de las horas pico eran del doble al triple de los precios de las horas valle, por lo tanto se propone los factores multiplicativos de la figura 26 que indica la proporción del precio más bajo de las tarifas en todas las franjas.

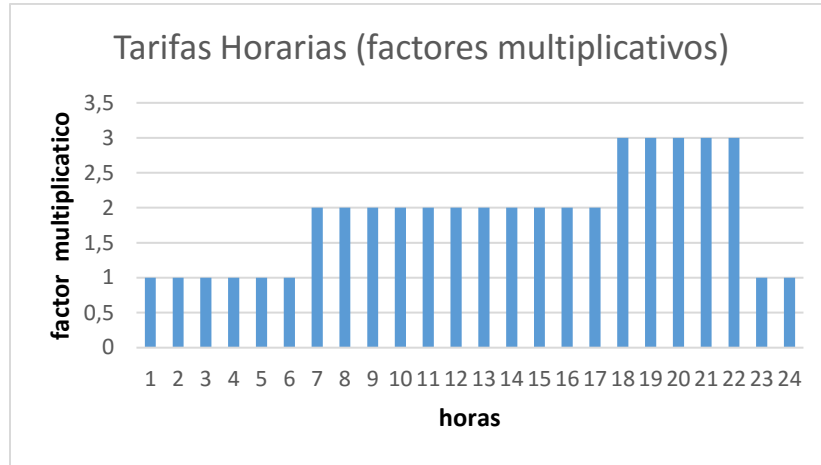


Figura 26. Tarifas horarias hipotéticas para construcción del algoritmo.

Como las tarifas pueden verse afectadas por diferentes variables como clima, época del año, día laboral, fines de semana, etc como se veía evidenciado en el caso de Portugal y la India. El algoritmo debe tener la posibilidad de ingresar diferentes tarifas dependiendo del mes, la semana o día de la semana.

Una vez definido el costo de la energía para cada hora (factores multiplicativos) se almacenará en un vector $C_{tarifas}$ de tamaño $1 \times h$.

$$C_{tarifas} = C_h \quad C_2 \quad \cdots \quad C_{24}$$

La proporción de precios de la energía en cada hora que se usará en el algoritmo para éste capítulo es el propuesto en la figura 26.

Las tarifas de la figura 26 permiten con facilidad a un usuario escoger la hora de uso de un aparato entre horas de diferentes franjas (ejemplo, entre la hora 5 y la hora 8), pero para el usuario sería indiferente escoger la hora de uso de un aparato entre horas de una misma franja (ejemplo, entre hora 19 y hora 20), para el prestador del servicio señalar la mejor hora entre las horas de una misma franja podría traer ventajas ya que podría sugerir usar los aparatos en las hora de menor demanda. Logrando conseguir de ésta manera una curva más plana.

Para lograr lo señalado en el párrafo anterior que beneficie al prestador del servicio de energía eléctrica, se creará un vector $Demanda_h$ de tamaño $1 \times h$ donde se almacenará la demanda máxima de cada hora de la curva a la que se le desea reducir los picos de consumo, para éste caso se escogió la curva de demanda típica diaria nacional como muestra la figura 25.

$$Demanda_h = (D_0 \quad D_h \quad \cdots \quad D_{23})$$

Para el caso hipotético se utilizará la curva de demanda del día viernes, con el cual se obtiene los datos de la tabla 6.

Tabla 6. Demanda máxima en cada hora durante un día de trabajo.

Demanda maxima en cada hora del día (MW)																							
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
6500	6300	6100	6000	6200	6700	7000	7250	7700	8000	8400	8600	8500	8550	8580	8590	8380	8350	8650	9220	9000	8706	8000	7000

Para los valores de la demanda máxima en cada hora, hay una restricción, los valores no pueden repetirse en ninguna de las 24 horas, esto es para facilitar la selección de horas y que no se genere un error en el algoritmo.

Teniendo en cuenta las tarifas de la figura 25. El vector de los factores multiplicativos del precio más bajo para cada periodo se muestra en la tabla 7.

Al tener el vector de los factores multiplicativos $C_{tarifas}$ y el vector de demanda $Demanda_h$ se multiplicaran las posiciones 1 a 1 respectivamente y almacenando los datos en un vector que se nombrará $resultado_{D_C}$ teniendo en cuenta que su resultado es adimensional, con éste vector se tiene en cuenta tanto el factor del precio cómo la demanda máxima. El resultado que se tendría con los vectores hipotéticos se observa en la tabla 7.

Tabla 7. Resultado de la multiplicación de los valores en los vectores $C_{tarifas}$ y $Demanda_h$.

4	Demanda maxima en cada hora del dia (MW)																							
5	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
6	6500	6300	6100	6000	6200	6700	7000	7250	7700	8000	8400	8600	8500	8550	8580	8590	8380	8350	8650	9220	9000	8706	8000	7000
7	factores multiplicativos de las tarifas en las 24 horas																							
8	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	1	1
9																								
10																								
11	Vector resultante																							
12	=A6*A8	6100	6000	6200	6700	14000	14500	15400	16000	16800	17200	17000	17100	17160	17180	16760	25050	25950	27660	27000	26118	8000	7000	
13	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23

Al tener valores diferentes en cada hora del día el algoritmo podrá comparar con facilidad cualquier hora, entregando siempre sin dificultad la alternativa de mayor beneficio.

Éste vector se utilizará para escoger la mejor opción de desplazamiento de cargas que beneficie tanto al usuario como a la empresa de energía, ya que si el usuario entre las posibilidades que entrega de desplazamiento de carga de un aparato se encuentran horas que tienen el mismo costo, el algoritmo podrá escoger el de menor valor que representaría la hora con menor demanda y al mismo tiempo de menor costo, beneficiando a ambas partes.

4.3 Metodología para el desplazamiento de cargas con función linprog de MATLAB

Para realizar el desplazamiento de cargas de manera que permita entregar una alternativa de menor costo y reducción de pico, se utilizará una función de MATLAB llamada “linprog” el cual permite solucionar problemas de programación lineal, ésta requiere una función objetivo a minimizar y unas restricciones a las que está sometida las variables de la función objetivo.

linprog

Resolver problemas de programación lineal

Solucionador de programación lineal

Busca el mínimo de un problema especificado por

$$\min_x f^T x \text{ tal que } \begin{cases} A \cdot x \leq b, \\ A_{eq} \cdot x = B_{eq}, \\ lb \leq x \leq ub. \end{cases}$$

f, x, b, beq, lb , y ub son vectores, y A y A_{eq} son matrices.

Figura 27. Estructura de la función linprog de MATLAB.[26]

Obsérvese en la figura 27 que la función linprog minimiza la función objetivo f^T que depende de X el cual es un vector, A y A_{eq} son matrices que condicionan los valores que puede tomar las variables del vector X , donde A es la matriz de condiciones de desigualdad y A_{eq} es la matriz de condiciones de equivalencia, b y Beq son los vectores de valores que deben cumplir las condiciones de las matrices multiplicadas por el vector X .

Lb y ub son los límites entre los cuales deben estar los resultados de las variables del vector X , siendo lb límite inferior y ub límite superior.

X multiplica las matrices de restricción y la función objetivo. El resultado final que nos interesa que entregue linprog es el costo final y el vector X que permite observar la posiciones de las horas seleccionadas que hacen llegar al costo mínimo.

La función linprog se utilizará para resolver dos casos de desplazamiento de carga, el primero será para desplazar horas del uso de un aparato que tienen la posibilidad de desplazarse en horas individuales y los pasos a seguir para construir los requerimientos para el uso adecuado de linprog para éste caso será: definir la función objetivo con la información que debe entregar el usuario de las horas gestionables del aparato y las franjas posibles para desplazar cada una de las horas

de uso, construir las matrices A_{eq} y A , definir b y B_{eq} , limitar los valores entre los cuales puede estar los componentes del vector X (resultado esperado) con ayuda de lb y ub y finalmente la forma en que se utilizará los componentes en la función $linprog$ y la manera en que se utilizara el resultado (vector X) para la entregar la nueva alternativa, el diseño para éste caso se puede observar en 4.5.

El segundo caso es para desplazar franjas de horas del uso de un aparato la cuales requieren que sean horas continuas, para éste caso se llevará a cabo los mismos pasos para la construcción de los elementos para el uso de $linprog$ iniciando con definir la función objetivo con la información que debe entregar el usuario de las franjas gestionables de horas de uso continuo, el número de horas continuas requeridas y las franjas posibles para el desplazamiento del uso del aparato, construir las matrices A_{eq} y A , definir b y B_{eq} , limitar los valores entre los cuales puede estar los componentes del vector X (resultado esperado) con ayuda de lb y ub y finalmente la forma en que se utilizará los componentes en la función $linprog$ y la manera que se utilizara el resultado (vector X) para la entregar la nueva alternativa de las franjas. En éste caso la construcción de dichos elementos será un poco más compleja debido a la nueva restricción de uso continuo de las horas de la franja en que se utiliza el aparato que se puede gestionar, el diseño para éste caso se puede observar en 4.6.

En 4.4 se dará un explicación más sencilla del uso de la función $linprog$ y sus elementos realizando un ejemplo para posteriormente explicar el diseño para los dos casos mencionados en los dos párrafos anteriores que son un poco mas complejos, los cuales se irán explicando también con ejemplos para facilitar su comprensión.

A continuación se presenta los diagramas de flujo 1 y 2 del algoritmo para tenerlo en cuenta en el desarrollo matemático de su estructura.

FASE DE CALCULO DE TARIFAS USADAS POR EL
ALGORITMO PARA CREAR ALTERNATIVAS

FASE DE CALCULO DE CONSUMO
HABITUAL

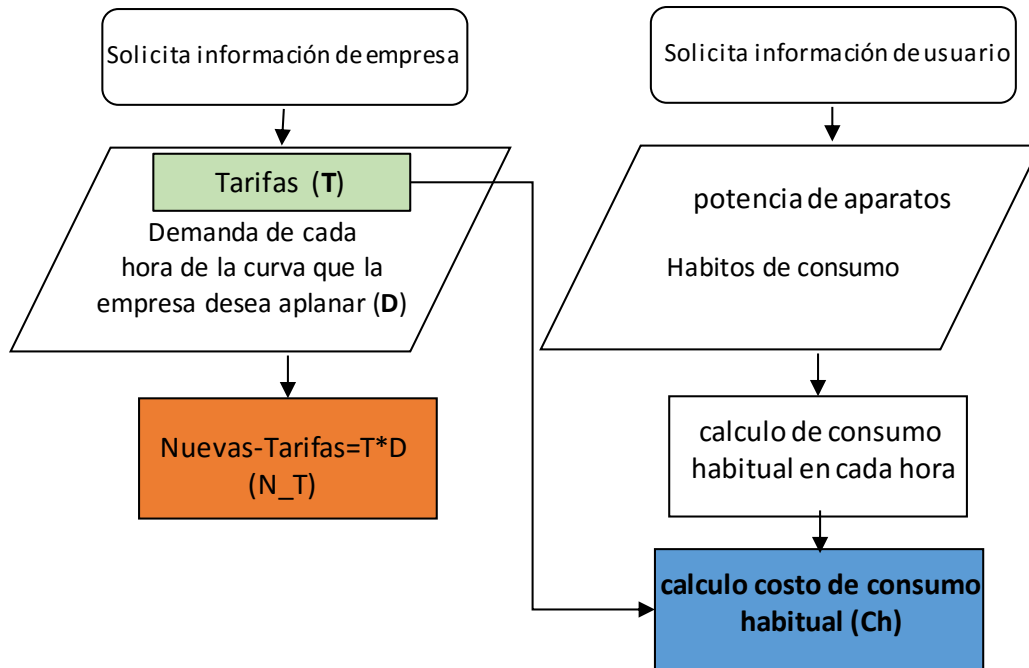


Diagrama 1. Calculo de las nuevas tarifas y costo de consumo habitual.

Se almacena (N_T) y (Ch) para ser usado en la siguiente fase mostrado en el Diagrama 2.

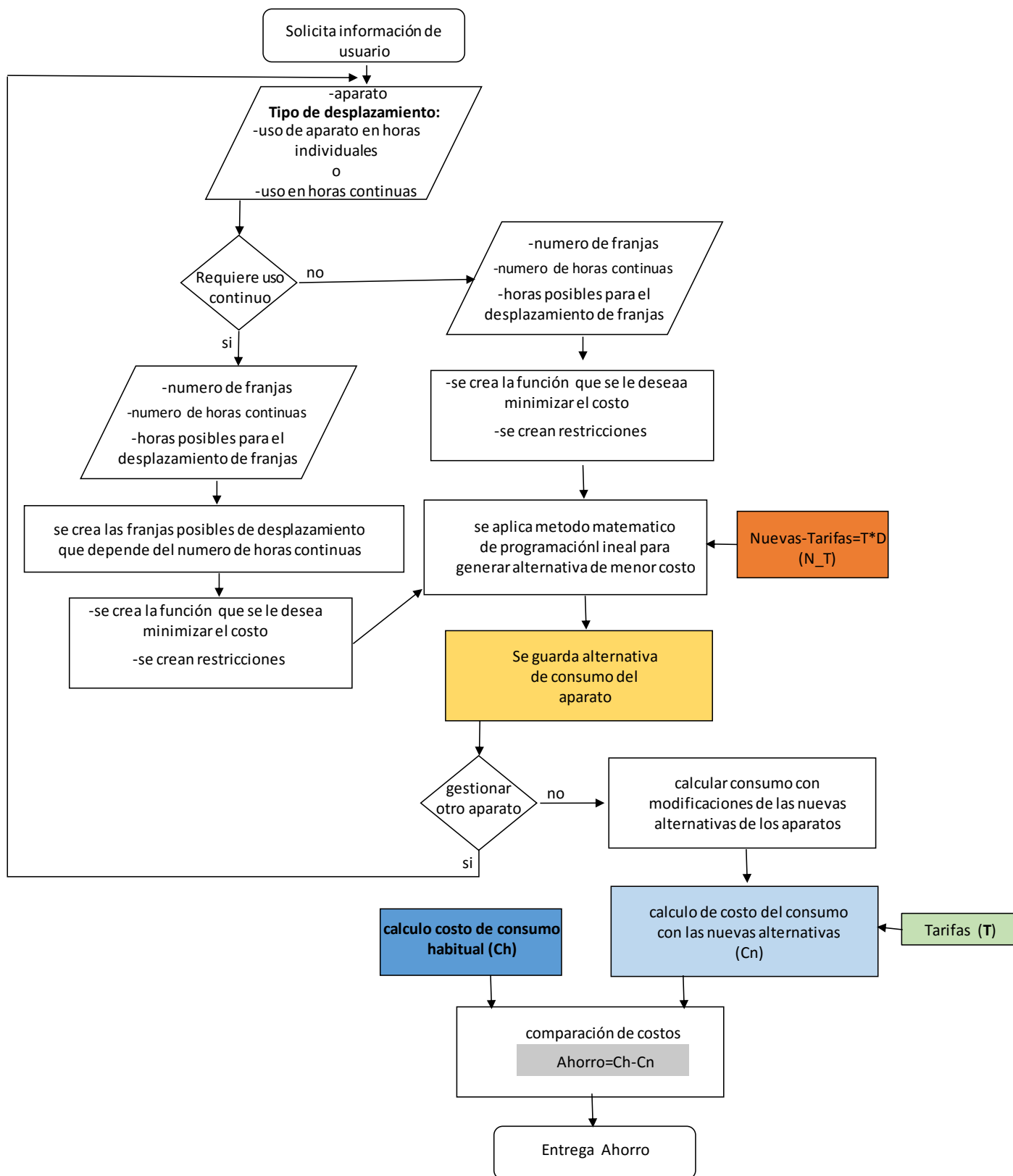


Diagrama 2. Fase de entrega de alternativa de acuerdo a las posibilidades del usuario.

4.4 Explicación a través de un ejemplo de la funcionalidad y objetivos de los elementos de la función linprog usados para el algoritmo.

4.4.1 Función objetivo

Con la función objetivo se busca plantear matemáticamente el problema de la selección de las horas para desplazar el uso de un aparato expresado en una ecuación la cual se buscará minimizar con la ayuda de la función linprog.

Para éste caso la función objetivo depende de la información entregada por el usuario de las horas gestionables de los aparatos y sus horas posibles para su desplazamiento, al igual que dependerá del tipo de uso del aparato si es por horas individuales o si el uso requiere de horas continuas.

La estructura de la función objetivo se compone de la suma de unas variables multiplicadas por constantes, básicamente se buscan los valores de las variables X que minimicen la función como se muestra en la ecuación 8 para ejemplificar.

$$3X_1 + 7X_2 + 2X_3 + 3X_4 = (\text{valor minimo}) \quad (8)$$

Expresado en forma de vectores sería la multiplicación entre un vector fila que contiene las constantes y un vector columna que contendría las variables como se muestra en la ecuación 9.

$$(3 \quad 7 \quad 2 \quad 3) * \begin{matrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{matrix} = (\text{valor minimo}) \quad (9)$$

Ésta estructura es la que se usa en MATLAB para la función linprog, donde el objetivo es hallar el vector de X que minimice la función objetivo la cual estará limitada por unas condiciones y restricciones que se establecen con ayuda de la matriz A y Aeq que son restricciones de desigualdad y restricciones de igualdad respectivamente las cuales servirán para evitar errores y que los valores entregados estén dentro de un rango establecido.

Como se señaló al principio de apartado, la gestión de cada aparato tendrá su propia función objetivo, y se debe buscar el desplazamiento de todas las horas gestionables al mismo tiempo y resolverlo como un todo y no una por una ya que se podría generar un error y no entregar el resultado mínimo como se muestra en un ejemplo sencillo a continuación:

Un usuario residencial (varios integrantes) necesita usar dos horas un mismo aparato, un integrante debe usar una hora el aparato entre las horas h1, h2, h3, h4 que tienen un costo de \$2, \$3, \$4 y \$1 respectivamente y un segundo integrante debe usar otra hora el aparato entre h3, h4, h5, h6 que tienen un costo de \$4, \$1,

\$5 y \$6 respectivamente, si se plantea matemáticamente cada uno por separado se tendría las siguientes expresiones:

$$(2 \quad 3 \quad 4 \quad 1) * \begin{matrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \\ h_4 \end{matrix} = (\text{valor minimo}) \quad (4 \quad 1 \quad 5 \quad 6) * \begin{matrix} h_3 \\ h_4 \\ h_5 \\ h_6 \end{matrix} = (\text{valor minimo})$$

Si se resolviera los dos casos por separado se escogería h_4 para ambos casos en cual sería un error ya que es la misma hora, suponiendo que se condiciona para que no se escojan horas iguales y se sigue resolviendo por separado, se tendría que para la primera hora se escogería h_4 y para la segunda h_3 que sería la segunda hora más económica, teniendo así como resultado un costo total entre las dos horas seleccionadas de \$5, pero ésta no sería en realidad la opción de costo mínimo, debido a esto se propone resolver el problema como un todo y resolverlo con una sola función objetivo.

Obsérvese que las dos horas que se deben seleccionar están entre h_1 y h_6 la función objetivo que contiene los dos casos se propone en la siguiente expresión:

$$(2 \quad 3 \quad 4 \quad 1 \quad * \quad * \quad * \quad * \quad 4 \quad 1 \quad 5 \quad 6) * \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \\ h_4 \\ h_5 \\ h_6 \\ H_1 \\ H_2 \\ H_3 \\ H_4 \\ H_5 \\ H_6 \end{bmatrix} = (\text{valor minimo})$$

Con la forma de ésta expresión se logra resolver el problema como un todo, las primeras 6 posiciones del vector fila (color verde-naranja) representa las horas posibles para la primera hora, y de la posición 7 a la 12 del vector fila (color verde-naranja) representa las horas posibles para la segunda hora, los asteriscos representa horas que no pueden seleccionarse según la información dada por el usuario, éstas posiciones tendría valores muy altos para que no sean tenidas en cuenta por el algoritmo, sin embargo las posiciones son necesarias para mantener la simetría.

Con ésta nueva expresión se tiene dos dificultades, la primera es que se debe garantizar que se debe escoger mínimo una hora entra las primeras 6 posiciones del vector columna (color rojo), y otra hora entre la posición 7 y 12 del mismo vector columna ya que son las dos horas de los dos casos, y la otra dificultad es que se debe garantizar que el algoritmo no podrá seleccionar horas equivalentes es decir

por ejemplo h_4 y H_4 las cuales cumplirían con la restricción de la primera dificultad pero generaría un error ya que representan la misma hora el cual no tendría sentido, hay que señalar que los valores que puede tomar las variables del vector columna es 1 o 0 el cual se irá restringiendo con los demás elementos de la función linprog.

Las restricciones para éste caso se plantearan con ayuda de la matriz Aeq y la matriz A.

4.4.2 Matriz Aeq y vector Beq

La matriz Aeq junto con el vector resultado Beq son los encargados de garantizar que se escoja una hora para cada grupo de horas disponibles de las determinadas horas gestionables el cual era la primera dificultad a resolver que se había señalado en 4.4.1, siguiendo el ejemplo del apartado 4.4.1 donde se tenía la función objetivo que incluía los dos casos como un todo se tendría la siguiente matriz Aeq y vector Beq.

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} * \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \\ h_4 \\ h_5 \\ h_6 \\ H_1 \\ H_2 \\ H_3 \\ H_4 \\ H_5 \\ H_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

La matriz Aeq está constituida por los dos vectores fila, el vector columna de las horas (color rojo) es el vector X que deseamos que la función linprog entregue y Beq es el vector columna (color morado) que debe ser el resultado de la operación, una vez se hace la multiplicación se obtendría las condiciones expresadas en las siguientes ecuaciones.

$$h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6 = 1$$

$$H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5 + H_6 = 1$$

Obsérvese que al multiplicarse el primer vector fila (color azul) con el vector X (color rojo) el resultado debe ser igual a 1, para que esto se cumpla solo es posible seleccionando una hora de las primeras 6 posiciones del vector X (color rojo) el cual tomará el valor de 1, similar sucede con el segundo vector fila de la matriz (color verde) que al multiplicarse por el vector X (color rojo) el resultado debe ser igual a 1, y para que esto se cumpla una de las variables del vector X entre la posición 7 y 12 debe tomar el valor de 1. Estos dos resultados garantizan que se escoja una

hora para cada grupo de horas disponibles, de ésta manera cumpliéndose la restricción $Aeq \cdot X = Beq$.

4.4.3 Matriz A y vector b

La matriz A junto con el vector b es el encargado de solucionar la segunda dificultad en el ejemplo del apartado 4.4.1, que era garantizar que el algoritmo no escogiera dos horas equivalentes, para ese caso la matriz A y el vector b planteados serán los siguientes:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \\ h_4 \\ h_5 \\ h_6 \\ H_1 \\ H_2 \\ H_3 \\ H_4 \\ H_5 \\ H_6 \end{bmatrix} \leq \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

La matriz A es la que está constituida por los seis vectores fila, el vector columna de las horas (color rojo) es el vector X que deseamos que la función linprog resuelva y b es el vector columna (color negro) que debe ser el resultado de la multiplicación.

Al analizar la matriz A téngase en cuenta que el problema del ejemplo se plantea entre 6 variables que son las 6 horas entre las que se encuentran las horas disponibles, debido a esto el número de filas de la matriz son 6.

Con ésta estructura obsérvese que al multiplicarse los vectores fila de la matriz A por el vector X de las horas (color rojo) los resultados deben ser menor o igual a 1, pero con otras restricciones que se darán con los límites lb y ub en el siguiente apartado se restringen los valores del vector X que deben tener como valor 0 o 1.

Al multiplicar los vectores fila de la matriz A por el vector X (color rojo) se tendría las siguientes ecuaciones:

$$h_1 + H_1 \leq 1$$

$$h_2 + H_2 \leq 1$$

$$h_3 + H_3 \leq 1$$

$$h_4 + H_4 \leq 1$$

$$h_5 + H_5 \leq 1$$

$$h_6 + H_6 \leq 1$$

h_1 y H_1 son horas equivalentes que representan la misma hora, con la ecuación se garantiza que no se escojan horas equivalentes, las posibilidades a la que queda limitada es escoger una o ninguna es decir que puede haber 3 posibilidades que son:

- a) $h_1 = 1$ y $H_1 = 0$
- b) $h_1 = 0$ y $H_1 = 1$
- c) $h_1 = 0$ y $H_1 = 0$

Ésta misma condición se da para las 5 ecuaciones restantes cumpliendo así las restricciones de la operación $A \cdot X \leq b$.

4.4.4 limites lb y ub

Para los límites de las variables del vector X es necesario solo el límite inferior lb, el cual será para éste caso un vector de ceros de tamaño (12×1) con esto se garantiza que las variables de X no puedan tomar valores negativos para cumplir con las restricciones.

$$l_b = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

El límite superior ub no es necesario ya que con las restricciones de Aeq y A junto con los resultados de Beq y b, las variables del vector X se ven limitadas a tomar valores máximos de 1.

4.4.5 selección de las horas que minimizan el costo del ejemplo

Ya habiendo planteado la función objetivo que resuelve el problema como un todo y las debidas restricciones para evitar errores, la función linprog arrojaría el resultado óptimo del problema del ejemplo planteado en 4.4.1 escogiendo las dos horas que generan el menor costo que serían la hora h_1 para la primera hora y H_4 para la segunda hora dando un costo total de \$3 a diferencial de haberlo resuelto por separado que daba un costo de \$5.

$$(2 \ 3 \ 4 \ 1 \ * \ * \ * \ * \ 4 \ 1 \ 5 \ 6) * \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = (3)$$

4.5 Diseño de los elementos para la Función linprog para horas gestionables individuales

4.5.1 Construcción de la función objetivo para horas gestionables individuales

La función objetivo cambiará para cada aparato y dependerá del número de horas gestionables.

Para cada aparato el usuario deberá indicar el número de horas que puede desplazar (N_h) y para cada hora debe indicar las franjas posibles a las que se podría desplazar.

Es decir que cada hora de uso de un aparatos a desplazar tiene sus franjas posibles de desplazamiento que no necesariamente son las mismas de otra hora, pueden tener franjas posibles para desplazar con horas en común como puede que no haya horas en común.

Ejemplo:

Un computador se usa generalmente a las 2 pm y 5 pm, la primera hora se puede ubicar y desplazar entre la 11 am y 6 pm, la segunda hora se puede ubicar entre las 1 pm y 7 pm.

Las franjas posibles de desplazamiento de cada hora gestionable se almacenaran en un vector diferente ($V_{hdisponibles}$) de tamaño 1×24 , en las posiciones de las horas que son posibles el desplazamiento se ubicará el valor respectivo del vector $resultado_{D_C}$ que fue el resultante de la multiplicación de los valores de los vectores $C_{tarifas}$ (factores multiplicativos) y $Demanda_h$ (demanda diaria en cada hora) como se observa en la tabla 7. Y en las horas que no son posibles se tendrá un valor muy grande con la intención que en el momento de minimizar la función éstas horas no se escojan.

Para todas las horas gestionables se debe hacer el procedimiento anterior, obteniendo así N_h vectores de horas posibles, que son equivalente al número de horas gestionables.

Teniendo todos los vectores de franjas posibles se creará un nuevo vector $Funcion_{obj}$ el cual se convertirá en la función objetivo y será de tamaño $(1 \times 24 \times N_h)$, en éste vector se ubicará todos los valores de los vectores anteriores de forma seguida, conteniendo así todos los vectores de franjas disponibles.

Se hace la función objetivo de ésta manera ya que se debe escoger las N_h horas de manera simultánea para obtener la combinación de menor costo, con A y Aeq se restringirá posteriormente para evitar errores.

4.5.2 Construcción de Aeq para horas gestionables individuales

Aeq es la matriz de condiciones de igualdad, ésta matriz tendrá N_h filas y en cada fila un vector de tamaño $(1 \times 24 \times N_h)$, como en la función objetivo del apartado anterior se une todos los vectores de horas disponibles, se debe garantizar que en cada 24 posiciones debe haber una hora seleccionada de la función objetivo, esto se logra ubicando un 1 en las 24 posiciones correspondientes a la hora gestionable y 0 en los demás.

Ejemplo: si se va a gestionar 3 horas de un aparato, la matriz Aeq deberá tener un tamaño de (3×72) , en la primera fila correspondiente a la primera hora gestionable se ubicaran unos en las posiciones de 1 a 24 y de 25 a 72 se ubicaran ceros, en la segunda fila correspondiente a la segunda hora gestionable se ubicaran unos en las posiciones de 25 a 48 y ceros en las demás posiciones, en la tercera fila correspondiente a la tercera hora gestionable se ubicaran unos en las posiciones de 49 a 72 y ceros en las demás posiciones.

Así sucesivamente debe realizarse dependiendo del tamaño de la matriz el cual dependerá de N_h , la multiplicación de $Aeq \times X = Beq$ debe dar 1 en la respectiva posición de Beq, ésta condición es la encargada de garantizar que para cada hora gestionable se escoja una de las posibles opciones dadas por el usuario.

El tamaño de ésta matriz será $(N_h \times 24 \times N_h)$. Mírese el ejemplo del numeral 4.5.7 para tener una idea más clara.

4.5.3 Construcción de A para horas gestionables individuales

A es la matriz de condiciones de desigualdad, para éste caso ésta matriz es utilizada para garantizar que en la función objetivo no se pueda seleccionar dos o más posiciones equivalentes como se había mencionado anteriormente, ya que se

estaría generando un error, que equivale a decir que el aparato se utilizara 2 horas o más en un hora h .

Ejemplo: un aparato al que se le va gestionar 3 horas individualmente ($N_h=3$) genera una función objetivo de tamaño (1×72) , recuérdese que la función objetivo cada 24 posiciones contiene las franjas posibles de desplazamiento de cada hora gestionable, con A_{eq} del apartado anterior se logra que se escoja 1 hora de cada 24 posiciones, como es el mismo aparato ahora con ayuda de A se debe garantizar que las horas que se escojan no sean equivalentes, es decir posiciones como la posición 1 con la posición 25 o 49 ya que estas posiciones representan una misma hora el cual sería un error.

En esta matriz se debe ubicar 1 en las posiciones equivalentes de la función objetivo, es decir por ejemplo la posición 1 y la posición 25 para el caso de $N_h=2$ ya que ambas hacen referencia a la hora 0.

Esta matriz tendrá 24 filas, ya que debe realizarse el mismo procedimiento para las 24 horas del día.

La multiplicación de $A \cdot X \leq b$ debe dar menor (0) o igual a 1 en la respectiva posición del vector b para cada hora h .

Si da menor (0) representaría que no se escogió la hora h para ninguna hora gestionable y si da 1 indicaría que solo para una hora gestionable se le asignó esa hora.

El tamaño de la matriz A será de $(24 \times N_h \times 24)$.

4.5.4 Construcción de b y Beq

Beq y b son los vectores de resultados de las multiplicaciones $A_{eq} \cdot X = Beq$ y $A \cdot X \leq b$ respectivamente y serán vectores de unos, el vector b tendrá tamaño $(N_h \times 1)$ y Beq será de tamaño (24×1) .

4.5.5 Límites lb y ub

Para los límites de las variables de X es necesario solo el límite inferior lb , el cual será un vector de ceros de tamaño $(24 \times N_h \times 1)$, con esto se garantiza que las variables de X no puedan tomar valores negativos para cumplir con las restricciones.

El límite superior no es necesario como se había mencionado en 4.4 ya que con las restricciones de A_{eq} y A junto con los resultados de Beq y b , las variables del vector X se ven limitadas a tomar valores máximos de 1.

4.5.6 Disposición de los elemento en la función linprog

```
[x, costo]=linprog(f,A,b,Aeq,Beq,zeros(24*NumeroHorasGestionables,1));
```

El vector X que entregará linprog es de tamaño $(24 \times N_h \times 1)$ y la respuesta que se requiere es un vector de tamaño (24×1) que indique las posiciones donde se debe desplazar el nuevo consumo para un aparato determinado, para llegar a éste objetivo se sumarán todas las posiciones equivalentes de una hora h del vector X y se ubicará en un nuevo vector. Ejemplo en el caso de $N_h=2$ se tendría:

Nuevo_Vector (1,1)=X(1,1) + X(25,1)

Nuevo_Vector (2,1)=X(2,1) + X(26,1)

Así sucesivamente hasta completar la posición (24,1) del nuevo vector, obteniendo de ésta manera las horas seleccionadas por la función linprog.

El costo que entrega linprog depende de los datos de la función objetivo y ésta está constituida por datos del vector *resultado_{D_C}*.

Para obtener un valor de un costo aproximado se debe tomar el Nuevo_Vector (vector columna) y multiplicarlo por el vector *C_{tarifas}* (vector fila) y se tendría el total de los factores multiplicativos de las horas en la que se desplazó la carga.

El nuevo vector debe almacenarse hasta haber terminado éste mismo proceso con todas las cargas gestionables, posteriormente con los nuevos vectores construir el perfil de carga resultante después de aplicar el algoritmo.

4.5.7 Ejemplo de uso de linprog para horas gestionables individuales

Se tiene la oportunidad de desplazar 2 horas de un mismo aparato y cada hora tiene su vector de horas posibles de desplazamiento, el aparato debe usarse la primera hora entre las 8 am y 12m o entre 2 pm y 4pm, y la segunda hora se puede usar entre las 11 am y 4pm. El orden de la construcción de los vectores y matrices sería: función objetivo, Aeq, Beq, A, b y lb.

Vector de franjas disponibles para la hora gestionable 1.

V_h1=(***** 15400, 16000, 16800, 17200, ** 17160, 17180, *****)

Vector de franjas disponibles para la hora gestionable 2.

V_h2=(***** 17200, 17000, 17100, 17160, 17180, *****)

La función objetivo en este caso será unir los dos vectores en un solo vector como se muestra en la figura 28.

Figura 28. Función objetivo caso de ejemplo de gestión de horas individuales.

Ahora para Aeq como es la encargada de condicionar que en cada franja haya una hora seleccionada, tendrá la distribución de la figura 29.

Figura 29. Ejemplo configuración de matriz Aeq para N_h=2 -

$$\text{Beq} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Además de A_{eq} debe cumplir las condiciones de desigualdad de la matriz A que quedaría como se muestra en la figura 30.

Figura 30. Matriz de condiciones de desigualdad caso de horas gestionable individuales

Obsérvese que en la matriz donde se ubican los 1 en una misma fila son posiciones equivalentes, es decir posición 1 con posición 25 que ambas representan la hora 0, la posición 2 y posición 26 representan la hora 1, de ésta manera se crea la matriz de desigualdad hasta llegar a las posiciones 24 y 48.

Si fuera 3 horas gestionables ($N_h=3$) se debería ubicar un 1 en las posiciones 1, 25 y 49 en la primera fila, así sucesivamente si aumenta el número de horas a desplazar.

Las matrices deben tener el mismo número de columnas de la función objetivo.

Recuérdese que el objetivo de ésta matriz es asegurarse que no se elija ubicar el uso de 2 horas o más de un mismo aparato en una misma hora h .

4.6 Diseño de los elementos para la Función linprog para horas gestionables con uso continuo.

Como se indicaba en 4.3 aquí surge una nueva restricción debido a que se van a desplazar franjas de horas con requerimiento de uso continuo de un aparato.

Para éste caso la estructura de la función linprog permanece igual, lo que cambia es el diseño de sus elementos como lo es la función objetivo y las matrices de restricciones A_{eq} y A .

4.6.1 Construcción de la función objetivo para horas gestionables de uso continuo.

Para cada aparato el usuario deberá indicar el número de franjas que puede desplazar (N_f), el número de horas continuas de uso (hc) y para cada franja debe indicar las franjas posibles a las que se podría desplazar.

Al igual que en el caso de horas gestionables individuales las franjas posibles de cada franja gestionable se almacenaran en un vector ($V_{hdisponibles}$) de tamaño 1×24 , en las posiciones de las horas de las franjas que son posibles se ubicará el valor respectivo del vector $resultado_{D_C}$. Y en las horas que no son posibles se ubicará un valor muy grande comparado con los valores del vector $resultado_{D_C}$.

Para todas las franjas gestionables se debe hacer el procedimiento anterior, obteniendo así N_f vectores, que es equivalente al número de franjas gestionables.

Cuando se tiene el vector con las franjas posibles, se procederá a crear un vector ($V_{combinaciones}$) que contenga las combinaciones que se pueden presentar para crear franjas de hc horas. El tamaño de éste vector será $(1 \times 24 + (1 - hc))$. Es decir, por ejemplo si se requiere gestionar una franja de $hc=3$ las combinaciones posibles de franjas de 3 horas será igual a $24 + (1 - 3) = 22$ o sea que $V_{combinaciones}$ tendrá tamaño (1,22) y en cada posición se almacenará la suma de las horas combinadas, para el caso del ejemplo de la franja de 3 horas se haría de la siguiente manera:

$Vector_{combinaciones}(1,1) = V_{hdisponibles}(1,1) + V_{hdisponibles}(1,2) + V_{hdisponibles}(1,3)$

$\text{Vector_combinaciones (1,2)} = \text{V_hdisponibles (1,2)} + \text{V_hdisponibles (1,3)} + \text{V_hdisponibles (1,4)}$

$\text{Vector_combinaciones (1,3)} = \text{V_hdisponibles (1,3)} + \text{V_hdisponibles (1,4)} + \text{V_hdisponibles (1,5)}$

▪
▪
▪

$\text{Vector_combinaciones (1,22)} = \text{V_hdisponibles (1,22)} + \text{V_hdisponibles (1,23)} + \text{V_hdisponibles (1,24)}$

Este procedimiento debe hacerse a todos los vectores de franjas disponibles obteniendo N_f vectores de $V_combinaciones$.

Una vez que se tiene todos los vectores $V_combinaciones$ se organizan en un solo vector $Funcion_{obj}$ de manera continua y será de tamaño $(1 \times N_f \times (24 + (1 - hc)))$, para el caso de ejemplo si fueran dos franjas a gestionar $N_f = 2$ y el número de horas continuas $hc = 3$, el tamaño de la función objetivo en éste caso sería:

$$(1 \times 2 \times (24 + (1 - 3))) = (1 \times 44)$$

De ésta manera se construye la función objetivo para cualquier número de franjas gestionables y número de horas continuas.

4.6.2 Construcción de Aeq para horas gestionables de uso continuo

Al igual que Aeq del apartado 4.4.2 para la gestión de horas individuales se usa para garantizar que de cada vector $V_combinaciones$ haya una franja seleccionada, pero en este caso se hace con $(24 + (1 - hc))$ posiciones.

El tamaño de ésta matriz será $(N_f \times N_f \times (24 + (1 - hc)))$. Mírese el ejemplo de 4.6.7 para tener una idea más clara.

4.6.3 Construcción de A para horas gestionables de uso continuo

Para éste caso ésta matriz tendrá una gran variación comparada con A de gestión de horas individuales, ya no solo se requiere restringir posiciones equivalentes de las combinaciones para diferentes franjas gestionables sino que se debe restringir el uso de combinaciones que tengan horas en común. Ejemplo:

Recuérdese que en $V_combinaciones$ quedaron las posibles combinaciones para el desplazamiento de las franjas, si se requiere gestionar $N_f = 2$ franjas de $hc = 3$ horas cada una, hay que condicionar el algoritmo de tal manera que no escoja por ejemplo la combinación 1 y la combinación 2, ni la 2 con la 3, ni la 3 con la 1 del vector $V_combinaciones$ porque tienen horas en común y así sucesivamente con todas las combinaciones con horas en común, el número de combinaciones que se deben restringir en la matriz A dependerá del número de horas continuas (hc) que

se requieren en las franjas. Mirando las horas en común del caso con $hc=3$ se tendría.

Vector_combinaciones (1,1)=V_hdisponibles (1,1)+V_hdisponibles (1,2)+V_hdisponibles (1,3)

Vector_combinaciones (1,2)=V_hdisponibles (1,2)+V_hdisponibles (1,3)+V_hdisponibles (1,4)

Estas dos franjas tienen en común la hora 2 y la hora 3.

Vector_combinaciones (1,2)=V_hdisponibles (1,2)+V_hdisponibles (1,3)+V_hdisponibles (1,4)

Vector_combinaciones (1,3)=V_hdisponibles (1,3)+V_hdisponibles (1,3)+V_hdisponibles (1,4)

Estas franjas tienen en común la hora 3 y la hora 4.

El tamaño de A se verá afectado también por el número de horas continuas de las franjas, ya que entre más grande sea la franja, las combinaciones con horas en común aumentarían y esto haría disminuir el total de restricciones de la matriz A.

El tamaño de la matriz A será $(24+(1-hc)+(1-hc) \times N_f \times (24+(1-hc)))$.

Obsérvese que $24+(1-hc)$ es el tamaño de Vector_combinaciones y las restricciones disminuirán $(1-hc)$.

Para una mayor claridad observar el ejemplo de 4.6.7 donde muestra la construcción de A dependiendo de hc.

4.6.4 Construcción de b y Beq

Beq y **b** seguirán siendo vectores de unos que contienen el resultado de las multiplicaciones $Aeq \times X = Beq$ y $A \times X \leq b$ respectivamente, el vector Beq tendrá tamaño $(N_f \times 1)$ y b será de tamaño $(24+(1-hc)+(1-hc) \times 1)$. Conservándose el tamaño del número de filas de Aeq y A respectivamente.

4.6.5 Límites lb y ub

Para los límites de las variables de X es necesario solo el límite inferior lb, el cual será un vector de ceros de tamaño $(N_f \times (24+(1-hc)) \times 1)$, al igual que el caso de horas gestionables individuales éste límite no permite tomar valores negativos a las variables del vector X.

El límite superior no es necesario ya que con las restricciones de Aeq y A las variables del vector X también se ven limitadas a tomar valores máximos de 1.

4.6.6 Disposición de los elementos en la función linprog

La disposición de los elementos que se le ingresa a la función es la misma que para el caso de horas gestionables individuales pero el tamaño de X y la información que entrega la función linprog es diferente.

El vector X que entregará linprog es de tamaño $(N_f \cdot (24 + (1 - hc)) \times 1)$ y estaría entregando las combinaciones seleccionadas de cada vector de combinaciones que minimiza la función, para llegar a la información deseada primero se debe reducir la información de X a un vector $V_{\text{equivalente}}$ que tendrá tamaño $(1 \times 24 + (1 - hc))$ y cada posición de este nuevo vector guardará la suma de las posiciones equivalentes.

Ejemplo para el caso de $N_f = 2$ (franjas gestionables) y $hc = 3$ (horas continuas).

Téngase en cuenta que para éste caso $(24 + (1 - hc)) = 24 + (1 - 3) = 22$.

Y como son 2 franjas el vector X resultante tendrá tamaño $(22 \cdot 2 \times 1) = (44 \times 1)$.

Entonces:

$$V_{\text{equivalente}}(1,1) = X(1,1) + X(23,1)$$

$$V_{\text{equivalente}}(1,2) = X(2,1) + X(24,1)$$

Así sucesivamente hasta la posición $(1,22)$, obteniendo de esta manera las combinaciones seleccionadas por linprog en un solo vector.

Una vez se tiene las combinaciones se pasa a convertirlas en las horas que componen éstas combinaciones obteniendo las horas donde se ubicará las franjas.

Recuérdese que el costo que entrega linprog depende de los datos de la función objetivo y ésta está constituida por datos del vector $resultado_{D_C}$ por eso no se puede tomar éste costo.

Para obtener el costo que nos interesa se procederá a multiplicar las horas seleccionadas por los factores de las posiciones respectivas del vector C_{tarifas} y se sumarán, obteniendo de ésta manera el costo.

El proceso para utilizar la función linprog debe hacerse individualmente para cada carga con horas continuas gestionables, se debe guardar la información entregada de las horas desplazadas para cada aparato y construir luego el perfil de carga con la alternativa entregada y lograr comparar con el perfil de carga inicial.

4.6.7 Ejemplo de uso de linprog para horas gestionables de uso continuo

Se utiliza las mismas horas disponibles del ejemplo del 4.5.7 para observar la diferencia más fácilmente.

Se tiene la oportunidad de desplazar 2 franjas de un mismo aparato, cada franja debe tener 3 horas continuas y se tiene los vectores de franjas disponibles para

cada franja gestionable, una franja del aparato se puede usar entre 8 am y 12m o entre 2 pm y 4pm, y la segunda franja se puede usar entre las 11 am y 4pm. El orden de la construcción de los vectores y matrices sería: función objetivo, Aeq, Beq, A, b y lb.

Vector de franjas disponibles para la franja 1.

V_h1=(* * * * * 15400, 16000, 16800, 17200, * * 17160, 17280, * * * * *)

Vector de franjas disponibles para la franja 2.

V_h2=(* * * * * 17200, 17000, 17100, 17160, 17180, * * * * *)

Teniendo los vectores de horas disponibles se procede construir los vectores de combinaciones.

V_combinaciones1 tendrá tamaño (1 x 24+(1-3))=(1 x 22)

V_combinaciones1(1,1)=V_h1(1,1)+V_h1(1,2)+V_h1(1,3)=* + * + *=3*

V_combinaciones1(1,2)=V_h1(1,2)+V_h1(1,3)+V_h1(1,4)=* + * + *=3*

Obsérvese que las primeras combinaciones es la suma de horas no disponibles el cual tomaría un valor muy alto para que el algoritmo no lo seleccione y son necesarias todas las posiciones para mantener la simetrías entre los elementos, así se procedería con las demás combinaciones.

V_combinaciones1(1,7)=V_h1(1,7)+V_h1(1,8)+V_h1(1,9)=* + * +15400

V_combinaciones1(1,8)=V_h1(1,8)+V_h1(1,9)+V_h1(1,10)=*+ 15400+16000

V_combinaciones1(1,9)=V_h1(1,9)+V_h1(1,10)+V_h1(1,10)=15400+16000+16800

V_combinaciones1(1,10)=V_h1(1,9)+V_h1(1,10)+V_h1(1,10)= 16000+16800+17200

Obsérvese que la posición (1,7) y (1,8) de V_combinaciones sigue siendo un valor muy alto por contener en la combinación un * que representa un valor muy grande, ya en la posición (1,9) se tiene un valor que el algoritmo podría llegar a considerar.

De ésta manera se construye V_combinaciones1 y V_combinaciones2 hasta llegar a la posición (1,22) en éste caso.

Calculándolos por aparte se tiene:

V_combinaciones1=(* * * * * 48200 50000 * * * * *)

V_combinaciones2=(* * * * * 51300 51260 51440 * * * * *)

```
Function_obj=(***** 48200 50000 ***** ***** 51300 51260 51440 *****);
```

Obsérvese que el tamaño del vector $Funcion_{obj}$ es $(1 \times N_f^*(24+(1-hc))) = (1 \times 44)$, cumpliéndose lo que se había indicado anteriormente.

Para la construcción A_{eq} que es la encargada de condicionar que en cada vector de combinaciones haya una combinación seleccionada, tendrá la distribución de la figura 32.

Figura 32. Matriz de condiciones de igualdad caso de ejemplo horas continuas gestionables.

También se ubicó 1 en las primeras 22 posiciones del primer vector fila, en el segundo vector fila se ubicó 1 en las siguientes 22 posiciones, como se mencionó en el numera 4.5.2.

$$\text{Beq} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

La matriz busca restringir la selección de combinaciones equivalentes y a su vez restringe combinaciones que tenga horas en común, teniendo en cuenta esto matriz quedaría como se muestra en la figura 33.

Figura 33. Matriz de condiciones de desigualdad caso ejemplo de horas continuas gestionables.

El tamaño de ésta matriz para el caso del ejemplo será:

$$(24 + (1 - hc) + (1 - hc) \times N^{f(24 + (1 - hc))}) = (24 + (1 - 3) + (1 - 3) \times 2^{(24 + (1 - 3))}) = (20 \times 44)$$

Como se había indicado en el numeral 4.5.3

Para los límites lb y ub igualmente solo se requiere el límite inferior para evitar que las variables del vector X tomen valores negativos, el cual será un vector de uno de tamaño (1 x 44).

4.7 Análisis del algoritmo y recomendaciones para el uso de la función linprog

Es necesario recordar que la alternativa entregada por el algoritmo está diseñada para beneficiar principalmente al usuario logrando reducir el costo del consumo, paralelamente los desplazamientos realizados brindan un beneficio a la empresa prestadora del servicio de energía y cuando los posibles desplazamientos no refleja ningún beneficio al cliente ya que tienen la misma tarifa, el algoritmo realiza el desplazamiento a la hora de menor demanda beneficiando a la empresa.

Las matrices pueden llegar a ser muy grandes a medida que aumenta el número de horas gestionables de un aparato, debido a esto es necesario un algoritmo que cree las matrices con la información del número de horas (N_h) y si son horas gestionables continuas dependerá del número de franjas (N_f) y horas continuas requeridas (hc).

Matemáticamente y la estructura del algoritmo puede tornarse un poco compleja pero realmente es importante entrar en detalles ya que se espera que en trabajos futuros se lleve a cabo su programación y aplicación, tratando de ésta manera facilitar ese proceso y reducir algunos posibles errores.

CAPÍTULO 5. APLICACIÓN DEL ALGORITMO PARA DESPLAZAMIENTO DE CARGA EN UN USUARIO RESIDENCIAL HIPOTÉTICO

Para la aplicación del algoritmo se utilizará el caso hipotético que se planteó en el capítulo 3, se dispondrá una serie de aparatos de la tabla 4 que puedan ser gestionados, se dará las especificaciones de exigencia de uso continuo o no del aparato y las respectivas franjas para el desplazamiento de cada hora o franja de uso continuo.

Recuérdese que el usuario entrega la información del uso habitual de los aparatos con el que se construye un perfil de carga inicial, para éste caso previamente se realizó en el numeral 3.4. La construcción de éste perfil se puede ver en detalle en el anexo A.

5.1 Perfil de carga habitual del usuario.

Con la información del usuario se procede a construir el perfil de carga como se indica en el numeral 4.1 donde permitirá ver con facilidad los posibles picos de demanda durante las 24 horas del día y el consumo de cada área como se observa en la figura 34.

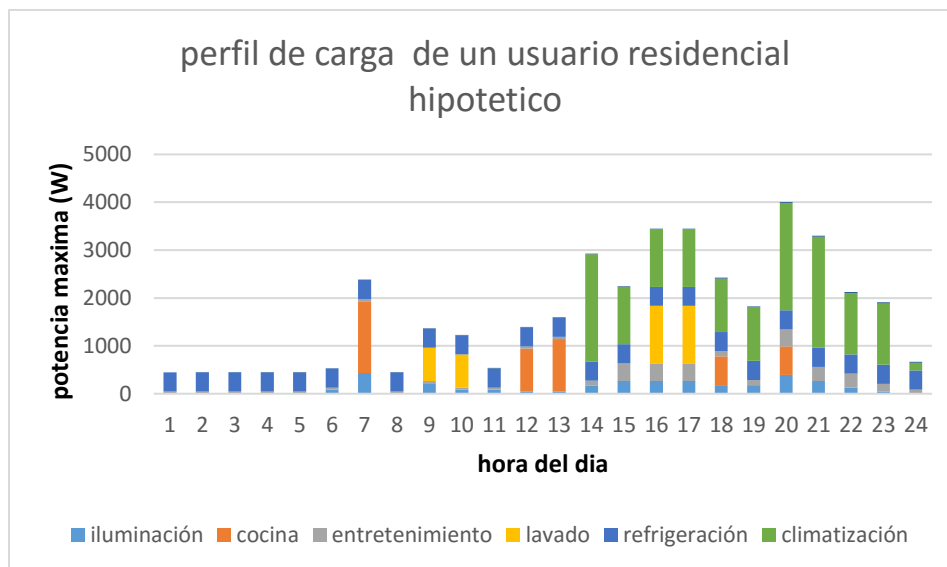


Figura 34. Perfil de carga de usuario residencial hipotético para un día de trabajo.

La demanda del usuario en cada hora se puede observar en la figura 35.

	DEMANDA MAXIMA EN CADA HORA ANTES DEL DESPLAZAMIENTO DE CARGA																							
Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Demanda(W/h)	444	444	444	444	444	528	2376	444	1359	1221	528	1386	1586	2914	2234	3434	3434	2406	1806	3985	3279	2101	1886	644
	(W/h)	%																						
Suma de demandas	39771	100																						
	(W/h)	%																						
Demanda total en hora pico (W/h)	13577	34%																						
	(W/h)	%																						
Demanda total fuera de pico (W/h)	26194	66%																						

Figura 35.Demanda máxima en cada hora de la figura 34.

La suma total de todas las demandas de cada hora como muestra la figura 35 permitirá hacer comparaciones entre la energía total antes y después de generar una alternativa ,ya que ésta suma deberá permanecer igual al realizar la gestión de carga.

En [7] se indicaba que un PRD TOU era más apropiado aplicarlo cuando mínimo 2/3 de la demanda total se producía en horas fuera de pico, para hacer una analogía con el perfil de carga del usuario hipotético, se tiene que en el periodo pico que va desde las 17 horas hasta las 21 horas se tiene alrededor de 34% del consumo el cual no se aleja mucho del 1/3 del consumo que debe estar en horas pico.

Para el caso del cobro de la energía con una tarifa plana el costo a pagar por un usuario residencial de estrato 4 está alrededor de \$450 y \$500 el kWh, para éste caso tomaremos el valor de \$450 kWh para realizar los cálculos y mirando la suma de la demandas como la energía total consumida por el usuario durante el día el cual equivale a 39,78 kWh como se muestra en la figura 35, el costo resultante a pagar sería alrededor de \$17896 que el resultado la multiplicación de la energía por el costo del kWh, este dato permitirá comparar los beneficios que podría brindar a un usuario ya que se busca reducir ese costo total.

5.2 Selección de tarifas

Recuérdese que el algoritmo debe permitir la variación de tarifas ya que éstas se ven afectadas constantemente por diferentes variables.

Para las tarifas no se define un precio para cada periodo, lo que se propone es un factor multiplicativo que indica el número de veces el precio más bajo para cada periodo, el cual aumenta para los periodos de medio pico y máximo pico como se indicó en el numeral 4.2.

Se utilizará los factores multiplicativos que se muestra en la figura 36.

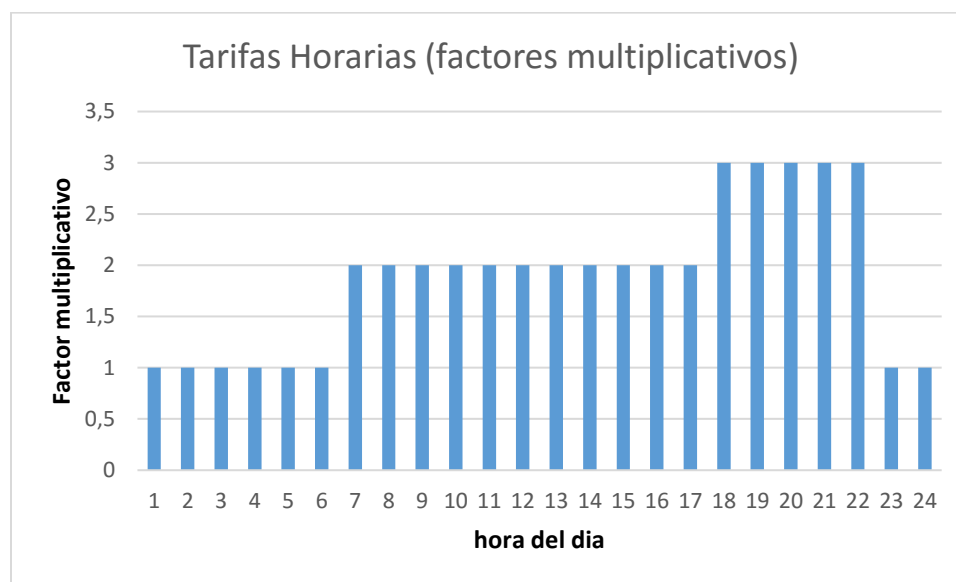


Figura 36. Tarifas horarias hipotéticas para construcción del algoritmo.

Como se indicó en el numeral 4.2 el vector que se utilizará para seleccionar la nueva alternativa es el que se muestra en la figura 37 como vector resultante de la multiplicación de los factores multiplicativos y los valores de demanda de cada hora de la curva que requiere la empresa reducirle los picos de consumo, que para éste caso se escogió la curva de demanda nacional del día viernes.

4	Demanda maxima en cada hora del dia (MW)																							
5	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
6	6500	6300	6100	6000	6200	6700	7000	7250	7700	8000	8400	8600	8500	8550	8580	8590	8380	8350	8650	9220	9000	8706	8000	7000
7	factores multiplicativos de las tarifas en las 24 horas																							
8	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	1	1
9																								
10																								
11	Vector resultante																							
12	=A6*A8	6100	6000	6200	6700	14000	14500	15400	16000	16800	17200	17000	17100	17160	17180	16760	25050	25950	27660	27000	26118	8000	7000	
13	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 37. Resultado de la multiplicación de los valores en los vectores C_tarifas y Demanda_h.

5.3 Cargas gestionables y vectores de horas disponibles.

Se pondrá de ejemplo algunas cargas con posibilidad de desplazamiento con las que se construyó el perfil de carga del usuario hipotético, en el anexo A se puede observar el uso habitual de los aparatos.

Tabla 8. Horas disponibles para aparatos gestionables.

Aparato	Gestión de horas individuales		gestión de horas con uso continuo	
	Hora de uso habitual	horas posibles para desplazamiento	franja de uso habitual	horas posibles para desplazamiento
licuadora	12	10,11,12		
	19	17,18,19		
horno microondas	11	9,10,11		
sandwichera	6	5,6		
	17	16,17		
cafetera	6	5,6		
olla arrocera	12	11,12		
portátil 2			19,20,21	17,18,19,20,21
aire acondicionado 1			19,20,21,22	18,19,20,21,22,23
aire acondicionado 2	13	12,13		
lavadora			8,9	8,9,10,11
plancha			15,16	15,16,17

Obsérvese en la tabla 8 que no aparecen aparatos del área de iluminación y entretenimiento ya que tienen mayor dificultad para su desplazamiento, como se mencionaba en [17] éstos aparatos requieren un uso inmediato del usuario cuando los requieren, de lo contrario se vería afectado significativamente el confort. La iluminación para el caso de un usuario residencial está asociada principalmente al ciclo del día y la noche.

La aplicación del algoritmo debe realizarse a cada carga por separada, al tener el resultado de todas las cargas gestionadas se procede a entregar la alternativa con la que construye el nuevo perfil de carga y se comparará los beneficios de la nueva alternativa.

5.4 Alternativa entregada por el algoritmo

Al haber ingresado los datos de las horas gestionables de cada carga con las respectivas horas posibles para un desplazamiento de carga, el algoritmo seleccionó las horas que se muestran en la tabla 9.

Tabla 9. Horas seleccionadas por el algoritmo.

Aparato	alternativa de horas individuales		alternativa de horas con uso continuo	
	Hora de uso habitual	hora seleccionada	franja de uso habitual	horas seleccionadas
licuadora	12	10		
	19	17		
horno microondas	11	9		
sandwichera	6	5		
	17	16		
cafetera	6	5		
olla arrocera	12	12		
portátil 2			19,20,21	17,18,19
aire acondicionado 1			19,20,21,22	20,21,22,23
aire acondicionado 2	13	12		
lavadora			8,9	8,9
plancha			15,16	15,16

Para un mayor detalle de la construcción de los elementos de la función linprog y los resultados de las simulaciones en MATLAB observar el anexo B.

En la tabla 9 se puede observar que para algunas cargas se generó una alternativa y para otras se asignó la misma hora en la que se encontraba, esto se debe a que entre las horas disponibles para el uso de esa carga la más adecuada para el usuario y la empresa de energía era en la que se encontraba.

Los resultados de la suma de los factores multiplicativos en la tabla 10 es la suma de los factores del costo de las horas en donde se ubica el uso del aparato antes y después del desplazamiento en las columnas respectivas, observar los resultados de las simulaciones en el anexo B.

Tabla 10. Beneficios de la alternativa entregada.

	Suma de factores multiplicativos		Menor demanda de las horas seleccionadas en la curva nacional (MW)		beneficios	
Aparato	En horas habituales	En horas de la nueva alternativa	En horas habituales	Horas de alternativa	beneficio para usuario	beneficio para empresa
licuadora hora 1	2	2	8500	8400	igual	mejoró
licuadora hora 2	3	3	9300	8350	igual	mejoró
horno micro	2	2	8600	8000	igual	mejoró
sandwichera hora 1	2	1	7000	6700	mejoró	mejoró
sandwichera hora 2	3	2	8350	8380	mejoró	bajó
cafetera	2	1	7000	6700	mejoró	mejoró
olla arrocera	2	2	8500	8500	igual	igual
portátil 2	9	9	8706	8350	igual	mejoró
aire acondicionado 1	10	8	8000	7000	mejoró	mejoró
aire acondicionado 2	2	2	8550	8500	igual	mejoró
lavadora	4	4	15400	15400	igual	igual
plancha	4	4	8380	8380	igual	igual

Los beneficios que se muestra en la tabla 10 permiten ver el funcionamiento del algoritmo donde el principal objetivo es reducir el costo a los usuarios pero a su vez desplazar carga a horas con una menor demanda.

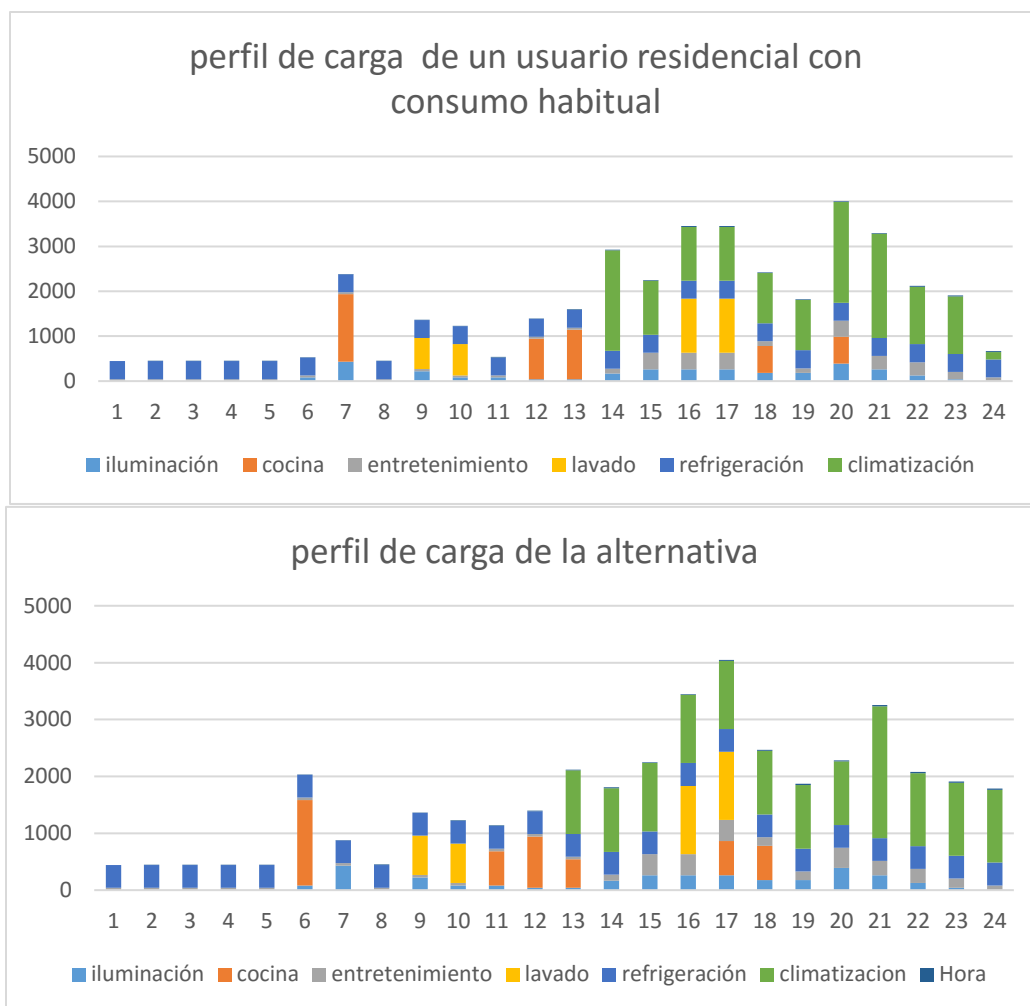


Figura 38. Perfil de carga de la alternativa entregada de la tabla 9 comparada con el consumo habitual.

En la figura 38 se detalla claramente que se redujo la demanda durante horas pico, generando una curva mejor distribuida con respecto al perfil de carga mostrado en la figura 34.

	DEMANDA MAXIMA EN CADA HORA DESPUES DEL DESPLAZAMIENTO DE CARGA ALTERNATIVA 1																							
Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Demanda(W/h)	444	444	444	444	444	2028	876	444	1359	1221	1128	1386	2106	1794	2234	3434	4034	2451	1851	2265	3234	2056	1886	1764
	(W/h)	%																						
Suma de demandas	39771	100																						
	(W/h)	%																						
Demanda total en hora pico (W/h)	11857	30%																						
	(W/h)	%																						
Demanda total fuera de pico (W/h)	27914	70%																						

Figura 39. Demanda máxima de cada hora de la nueva alternativa.

En la figura 39 se permite ver que la demanda total después de realizar la gestión de carga permaneció igual siendo 39771 W/h. El porcentaje del consumo que se presenta dentro del periodo pico disminuyó un 4% el cual le traería beneficio al usuario reduciendo su costo.

También aumentó el porcentaje del consumo que se presenta fuera de horas pico a un 70% el cual se sugiere que esté por encima de 2/3 del total.

Una vez obtenida la alternativa se calcula el costo que tiene el consumo habitual con una tarifa plana, el costo del consumo habitual con tarifa TOU y el costo de la nueva alternativa con tarifa TOU y para ilustrar la energía que se consiguió desplazar de horas picos a otras franjas, se muestra la energía consumida en cada franja con el consumo habitual y la energía en cada franja con la nueva alternativa y finalmente mostrar el porcentaje de ahorro obtenido con la tarifa TOU como se observa en la figura 40.

Para la tarifas TOU se usó \$200 pesos como el precio más bajo para el kWh, esto quiere decir que se tendría un precio de \$200, \$400, \$600 para los periodos valle, medio pico y pico respectivamente.

	numero de veces el precio mas bajo			numero de veces el precio mas bajo		
Precio Mas Bajo(kWh)	valle	medio pico	pico	valle	medio pico	pico
\$ 200,00	1	2	3	1	2	3
	demanda en cada periodo (kWh)			demanda en cada periodo (kWh)		
	valle	medio pico	pico	valle	medio pico	pico
	5,278	20,916	13,577	7,898	20,016	11,857
	costo total tarifa TOU			costo total tarifa TOU aplicando desplazamiento		
\$	17.568,20			16.700,20		
	Ahorro con respecto a tarifa plana			Ahorro con respecto a tarifa plana		
\$	328,75			1.196,75		
	2%			6,7%		
precio tarifa plana	demanda total (kW)		costo total			
\$ 450,00	39,771		\$ 17.896,95			

Figura 40. Calculo de ahorro con la nueva alternativa

En la figura 40 se muestra el ahorro conseguido con la alternativa entregada por el algoritmo, recuérdese que la energía consumida no es la real como se había aclarado anteriormente, esto es debido a que la información que se tiene de las cargas es la hora en que se usan mas no el tiempo exacto del uso de aparato.

Con la aplicación de TOU el usuario tendría un beneficio con respecto a la tarifa plana como se muestra en la figura 40. Se observa que hubo una reducción del costo alrededor del 2% sin haber presentado aún un desplazamiento de carga.

Posteriormente habiéndose llevado a cabo el desplazamiento de carga de los aparatos gestionables se logró tener un beneficio significativo.

Siendo el 4% de la demanda total la que se logró desplazar del periodo pico a periodos de menor actividad se obtuvo un ahorro del 6,7% del costo con respecto a una tarifa plana.

5.5 Alternativa entregada por el algoritmo afectando confort del usuario

Si el usuario entregara otras posibilidades de consumo reduciendo de cierta forma su confort, como lo son las posibilidades de la tabla 11 donde se incluyen más cargas gestionables a la tabla 8, la diferencia de reducción de costo entre las dos posibilidades no son muy significativas para justificar la reducción del confort del usuario, ya que el ahorro se encuentra alrededor del 0,5 % más que la primera alternativa como se observa en la figura 42 y la reducción de picos tampoco varia demasiado entre las alternativa como muestra en la figura 41.

Tabla 11. Horas disponibles para aparatos gestionables alterando confort.

Aparato	Gestión de horas individuales		gestión de horas con uso continuo	
	Hora de uso habitual	horas posibles para desplazamiento	franja de uso habitual	horas posibles para desplazamiento
licuadora	12	10,11,12		
	19	17,18,19		
horno microondas	11	9,10,11		
sandwichera	6	5,6		
	17	16,17		
cafetera	6	5,6		
olla arrocera	12	11,12		
portátil 1	19	19,20,21,22	19,20,21	17,18,19,20,21
portátil 2			19,20,21	17,18,19,20,21
aire acondicionado 1			19,20,21,22	18,19,20,21,22,23
aire acondicionado 2	13	12,13		
lavadora			8,9	8,9,10,11
plancha			15,16	15,16,17
CFL 3	6	5,6		
CFL 4	6	5,6		
CFL 6	6	5,6		
Televisor 2			19, 20, 21	19, 20, 21, 22

Tabla 12. Horas seleccionadas de las posibilidades de la tabla 11.

Aparato	alternativa de horas individuales		alternativa de horas con uso continuo	
	Hora de uso habitual	hora seleccionada	franja de uso habitual	horas seleccionadas
licuadora	12	10		
	19	16		
horno microondas	11	9		
sandwichera	6	5		
	17	16		
cafetera	6	5		
olla arrocera	12	12		
portátil 1	19			
portátil 2			19,20,21	17,18,19
aire acondicionado 1			19,20,21,22	20,21,22,23
aire acondicionado 2	13	12		
lavadora			8,9	8,9
plancha			15,16	15,16
CFL 3	6	5		
CFL 4	6	5		
CFL 6	6	5		
Televisor 2			19, 20, 21	20, 21, 22

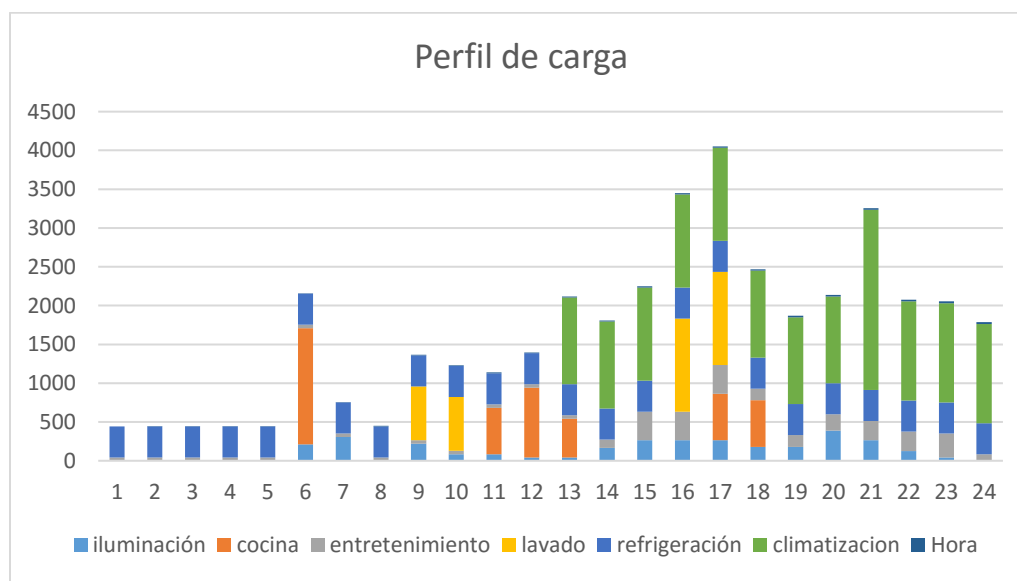


Figura 41. Perfil de carga de la alternativa de la tabla 12.

numero de veces el precio mas bajo			numero de veces el precio mas bajo		
valle	medio pico	pico	valle	medio pico	pico
1	2	3	1	2	3
demanda en cada periodo (kWh)			demanda en cada periodo (kWh)		
valle	medio pico	pico	valle	medio pico	pico
7,898	20,016	11,857	8170	19890	11711
costo total tarifa TOU aplicando desplazamiento			costo total tarifa TOU con alternativa afectando confort		
\$ 16.700,20			\$ 16.616.600,00		
Ahorro con respecto a tarifa plana			Ahorro con respecto a tarifa plana		
\$ 1.196,75			\$ 1.280,95		
6,7%			7,2%		
precio tarifa plana	demanda total (kW)	costo total			
\$ 450.00	39.771	\$ 17.896.95			

Figura 42. Comparación de ahorro con alternativa afectando confort.

5.6 máximo ahorro y sobrecosto posible para el usuario

Para observar los casos extremos que nos permitirían tener el costo más bajo y más alto para el usuario se hace la suposición de desplazar toda la demanda al periodo de menor actividad y al periodo pico teniendo los resultados de la figura 43.

costo desplazando toda la demanda a periodo valle	Ahorro	porcentaje de ahorro
\$ 7.954,20	\$ 9.942,75	56%
costo desplazando toda la demanda a periodo pico	Ahorro	porcentaje de ahorro
\$ 23.862,60	-\$ 5.965,65	-33%

Figura 43. Ahorro y sobrecosto máximo que podría tener el usuario.

Se observa que el usuario puede lograr tener un mayor porcentaje de ahorro que un sobrecosto por encima del valor de la tarifa plana, éste porcentaje será variante para cada usuario dependiendo de sus hábitos de consumo.

5.7 Análisis del capítulo 5

Aunque el usuario al que se le aplica el algoritmo es un usuario hipotético, el algoritmo sigue siendo funcional para cualquier caso real ya que básicamente dependen las posibilidades de cada usuario y el algoritmo le entregará la mejor opción.

El ahorro que puede obtener un usuario estará limitado a sus hábitos de consumo y las posibilidades de desplazamiento buscando no afectar el confort, lo ahorros que puede tener un usuario afectando su confort pueden llegar a tener poca diferencia comparados con otras alternativas sin afectar el confort con fue para éste con el usuario hipotético.

El máximo ahorro que podría tener un usuario con tarifa TOU con respecto a la tarifa plana depende del porcentaje de energía consumida en horas pico, ya que si el consumo de energía en horas pico es baja la gestión de carga podría ser indiferente para el usuario ya que los dos costo podrían ser similares, debido a esto, en el momento de definir tarifas reales con la que trabajaría un PRD de TOU requiere un estudio del porcentaje de usuarios que presentan gran potencial para desplazamiento de carga y cuáles serán las mejores tarifas para incentivar a los usuarios.

CONCLUSIONES

La revisión bibliográfica de los casos de estudio de los diferentes países permitieron tener una comprensión más amplia de los beneficios que se buscan obtener con los PRD como TOU, pero para llevar a cabo una implementación adecuada de TOU queda claro que se debe realizar previamente estudios del perfil de carga de los usuarios, la metodología y condiciones para su implementación.

Para que las tarifas TOU tengan el efecto deseado en los usuarios el número de franjas más adecuado para los usuarios sería de 3 diferentes tarifas para no generar confusión en los usuarios y debe haber una gran diferencia de precio entre ellas para incentivar al usuario a gestionar sus cargas, donde los precios puedan variar dependiendo de factores como las estaciones del año y el tipo de día de la semana.

Con respecto a los objetivos planteados en el trabajo de grado sobre el desarrollo de un algoritmo que facilite la participación de un usuario regulado en un PRD de TOU, se puede decir que la alternativa que genera el algoritmo propuesto presenta la mejor opción dependiendo de las posibilidades del usuario, manteniendo el confort y la necesidad del uso de equipos en horarios específicos.

La alternativa entregada por el algoritmo permite tener beneficios tanto a los usuarios como a las empresas de energía ya que dependiendo de las posibilidades del usuario, el algoritmo propondrá un desplazamiento de cargas a periodos de menor actividad no solo basado en el costo de cada hora sino basado en la demanda que se presenta en cada una de ellas.

Aunque el trabajo está enfocado a usuarios regulados, el algoritmo podría llegar utilizarse en usuarios no regulados que también estén participando de PRD de TOU, ya que el funcionamiento del algoritmo también dependería solo de sus posibilidades de gestión de carga.

Las restricciones y necesidades para la construcción del algoritmo se ajustaron muy bien en la función linprog de MATLAB el cual facilitó los cálculos de minimización.

Este tipo de trabajos puede llegar a ser muy útiles en el momento de aplicar un PRD de tiempo de uso a diferentes usuarios, por éste motivo el grupo de investigación Gralta debe continuar desarrollando investigaciones con la intención de facilitar y contribuir a proyectos que lleven a cabo el mejoramiento de la eficiencia energética con la participación de los usuarios.

TRABAJOS FUTUROS

Con lo logrado en éste trabajo de grado se propone 3 trabajos futuros que permitiría complementar el algoritmo planteado.

1. Diseñar un software para implementar el algoritmo, que facilite la toma y entrega de información al usuario.
2. Utilizar el algoritmo como base para futuros trabajos donde se tenga la necesidad de nuevas restricciones para PRD de “Tiempo de Uso”.
3. Incluir en el algoritmo la posibilidad de realizar una gestión de carga para usuarios con generación distribuida que entregue las horas adecuadas para almacenar, usar e inyectar a la red la energía generada.

Bibliografía

- 1] García Arbeláez, C.; Barrera, X.; Gómez, R. y R. Suárez Castaño. El ABC de los compromisos de Colombia para la COP21. 2 ed. WWF-Colombia. 2015. 31 pp..
- [2] Integración de las energías renovables no convencionales al sistema energetico nacional, Colombia: UPME, 2014, p. 26.
- [3] Ministerio de minas y Energia y S. I. Nacional, “decreto 2492 del 3 de diciembre 2014,” pp. 2–4, 2014.
- [4] Ministerio de minas y energia, “Taller de discusión : Respuesta de la demanda Proceso de reglamentación Ley 1715 de 2014,” 2014.
- [5] N. S. Hussin, M. P. Abdullah, A. I. M. Ali, M. Y. Hassan, and F. Hussin, “Residential Electricity Time of Use (ToU) Pricing for Malaysia,” pp. 429–433, 2014.
- [6] M. A. R. Muzmar, M. P. Abdullah, M. Y. Hassan, and F. Hussin, “Time of Use Pricing for Residential Customers Case of Malaysia,” pp. 589–593, 2015.
- [7] S. Maggiore, M. Gallanti, and M. Benini, “Paper IMPACT OF THE ENFORCEMENT OF A TIME-OF-USE TARIFF TO RESIDENTIAL CUSTOMERS IN ITALY,” no. 0320, pp. 10–13, 2013.
- [8] C. Kang, S. Member, and W. Jia, “Transition of Tariff Structure and Distribution Pricing in China,” no. 51077077, 2011.
- [9] A. Trindade and P. Verdelho, “Determination of Time-Of-Day Schedules in the Portuguese Electric Sector,” pp. 1–8, 2006.
- [10] Public utilities commission of Sri Lanka , “Study report on electricity demand curve and system peak reduction public utilities commission of Sri Lanka,” 2012.
- [11] J Terry Cousins, TLC Engineering Solutions, “Using Time Of Use (Tou) Tariffs In Industrial , Commercial And Residential Applications Effectively .”
- [12] T. Matona of ESKOM “Power System Status Update,” December, 2014.
- [13] N. Kinhekar, N. P. Padhy and H. O. Gupta, “Demand Side Management for Residential Consumers,”paper No. 143, 2013.
- [14] Government of India and Ministry of Power “Load generation balance report,” vol. 73, 2016.
- [15] R. S. Ferreira, L. A. Barroso, P. R. Lino, P. Valenzuela, and M. M. Carvalho,

- "Time-of-Use Tariffs in Brazil : Design and Implementation Issues," 2013.
- [16] H. Aalami, "Optimum Time of Use Program Proposal for Iranian Power Systems," 2009.
- [17] L. Zhou and Y. Li, "Modeling and Optimal Scheduling of Residential Controllable Load with TOU Price," 2014.
- [18] N. Zhu, X. Bai, and J. Meng, "Benefits Analysis of All Parties Participating in Demand Response," pp. 11–14, 2011.
- [19] V. S. Borkar, "An Efficient Scheduling Algorithm for Solving Load Commitment Problem under Time of Use Pricing with bound on maximum demand," 2014.
- [20] UPME y ministerio de minas y energia, "Caracterización energetica de los sectores residencial, comercial y terciario.," Colombia, 2006.
- [21] W. Gómez and G. Archila, "CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA DE LA TOPOLOGÍA DE UN SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA RESIDENCIAL .," pp. 86–100, 2012.
- [22] C. Felipe and P. Lombo, DANE "Indicadores Básicos de Tenencia y Uso de Tecnologías de la Información y Comunicación – TIC en Hogares y Personas de 5 y más años de edad 2015," pp. 1–36, 2016.
- [23] DANE, "Censo general 2005, perfil Colombia," pp. 9–14, 2010.
- [24] L. Hernandez, "Aspectos regulatorios asociados a la implementación de programas de gestión activa de la demanda eléctrica en colombia," Universidad del Valle, 2016.
- [25] EMCALI, "Tarifas de energia 2017 para mercado regulado." [Online]. Available: http://www.emcali.com.co/web/energy_service/tarifas-energia.
- [26] MATLAB, "Solve linear programming problems - linprog - MathWorks," 2017. [Online]. Available: <https://es.mathworks.com/help/optim/ug/linprog.html>.

ANEXO A

Distribución de las carga del usuario durante las 24 horas

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	X	Y	Z	AA																																						
3	DIA	AREA	INTEGRAN	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23																																					
4	dia de lunes a viernes	iluminación	padre							84							42						84	42	42	42																																						
5			madre							222								42						84																																								
6			hijo 1							84								42	42	42	84			42	42	42																																						
7			hijo 2							42								42	180	180	180	180	180	180	180	42																																						
8		p.servicio										222	84	84	42	42		42	42																																													
9		cocina	padre																																																													
10			madre																					600																																								
11			hijo 1																																																													
12			hijo 2																																																													
13		p.servicio													300	1100					600																																											
14		entretenimien- to	padre															62						180	120	120	120	10																																				
15			madre																					86	86	86	10																																					
16			hijo 1																86	240	240	240	62	62	86	86	10																																					
17			hijo 2																					45	45	45	10																																					
18		p.servicio																																																														
19		bases		44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44																																				
20		lavado	padre																																																													
21			madre																																																													
22			hijo 1																																																													
23			hijo 2																																																													
24		p.servicio											693	693						1200	1200																																											
25		refrigeraci- ón	padre																																																													
26			madre																																																													
27			hijo 1	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400																																				
28	hijo 2																																																															
29	p.servicio																																																															
30	climatizació	padre															1120						1120	1120	1120	1120																																						
31		madre																					1120	1120	1120	1120																																						
32		hijo 1																1120	80	80	80	1120	1120	1120	80	80	80																																					
33		hijo 2																1120	1120	1120	1120	1120	1120	1120	80	80	80																																					
34	p.servicio																																																															
35		total		444	444	444	444	444	528	2376	444	1359	1221	528	1386	1586	2914	2234	3434	3434	2406	1806	3385	3279	2101	1886	644																																					
36				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23																																					
37																																																																
38																																																																
39																																																																
40		iluminación		0	0	0	0	0	84	432	0	222	84	84	42	42	168	264	264	264	180	180	330	264	126	42	0																																					
41		cocina		0	0	0	0	0	0	1500	0	0	0	0	900	1100	0	0	0	0	600	0	600	0	0	0	0																																					
42		entretenimiento		44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	106	370	370	370	106	106	355	295	235	164	84																																					
43		lavado		0	0	0	0	0	0	0	0	693	693	0	0	0	0	0	1200	1200	0	0	0	0	0	0	0																																					
44		refrigeración		400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400																																					
45		climatización		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2240	1200	1200	1200	1120	1120	2240	2320	1280	1280	160																																					
46		Hora		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23																																					
47																																																																
48																																																																
49				perfil de carga de un usuario residencial										suma de demanda de energía todas las horas																																																		
50				4500										33971																																																		
51																																																																
				cargas para día laboral										perfil de carga habitual										matriz_C_habitual										cargas desplazables										perfil_de alternativa										% de demanda antes y despues										

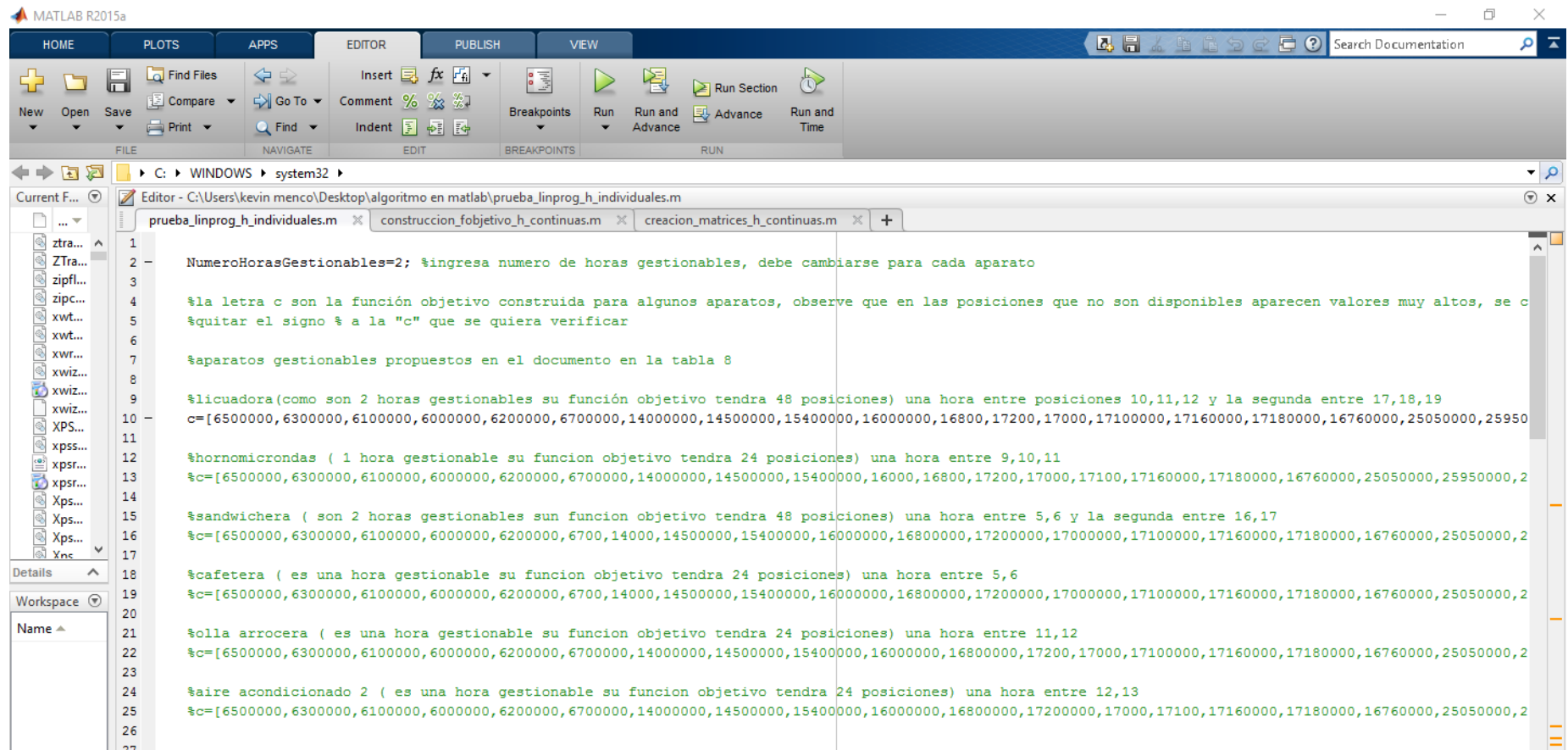
Matriz para cálculo de consumo

	Detalles	Aparato	potencia (w)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
cocina		licuadora	600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
		horno microon	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		sandwicher	600	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
		cafetera	300	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		olla arrocera	500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
iluminación	sala	llo incandes	60	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
		llo incandes	60	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
		llo incandes	60	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
	cuarto princip	CFL 1	42	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0
		CFL 2	42	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	cuarto hijo1	CFL 3	42	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0
	cuarto hijo2	CFL 4	42	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	cocina	CFL 5	42	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0
	sofo princip	CFL 6	42	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
		portatil 1	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
		portatil 2	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
entretenimien		pc escritorio	240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
		decodificado	12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		decodificado	12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		cargador celu	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
		cargador celu	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
		cargador celu	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
		cargador celu	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
		modem	20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	sala	televisor 1	62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
	hijo 1	televisor 2	86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0
	cuarto princip	televisor 3	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0
refrigeración		nevera	400	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
climatizació		aire acondiciona	1120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
		ventilador 1	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1
		ventilador 2	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
lavado		lavadora	693	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		plancha	1200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
suma de potencia				PT1	PT2	PT3	PT4	PT5	PT6	PT7	PT8	PT9	PT10	PT11	PT12	PT13	PT14	PT15	PT16	PT17	PT18	PT19	PT20	PT21	PT22	PT23	PT24
				444	444	444	444	444	528	2376	444	1359	1221	528	1366	1586	2914	2234	3434	3434	2406	1806	3365	3279	2101	1886	644

Para una mejor interpretación dirigirse al documento de Excel donde se permite ver los cálculos en detalle junto con comentarios.

ANEXO B

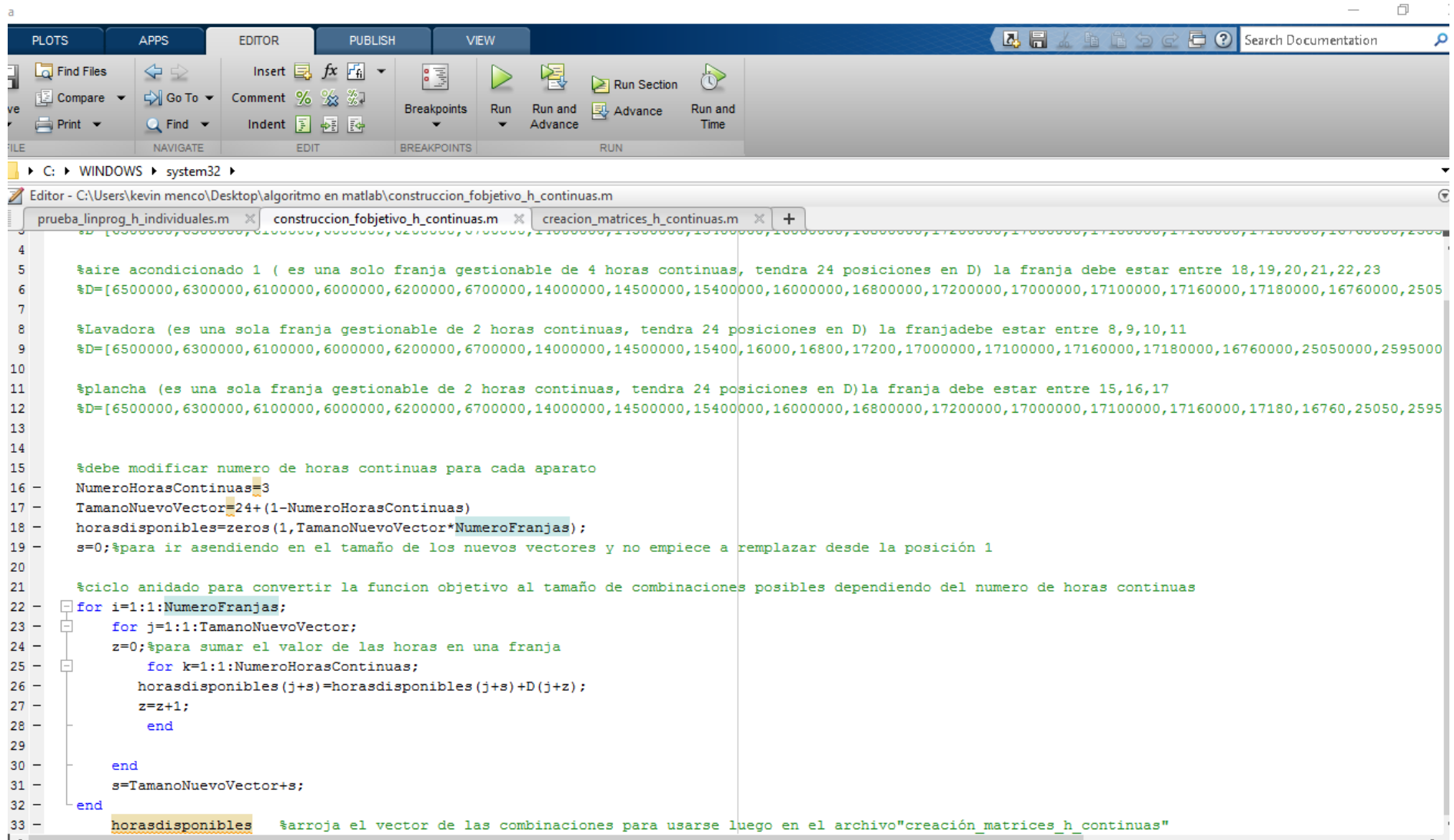
Datos para la nueva alternativa de algunos aparatos con horas gestionables individualmente.



The image shows the MATLAB R2015a interface with the Editor window open. The script file is `prueba_linprog_h_individuales.m`. The script defines the number of manageable hours for various appliances and their corresponding objective function coefficients.

```
1 NumeroHorasGestionables=2; %ingresa numero de horas gestionables, debe cambiarse para cada aparato
2
3
4 %la letra c son la función objetivo construida para algunos aparatos, observe que en las posiciones que no son disponibles aparecen valores muy altos, se c
5 %quitar el signo % a la "c" que se quiera verificar
6
7 %aparatos gestionables propuestos en el documento en la tabla 8
8
9 %licuadora (como son 2 horas gestionables su función objetivo tendra 48 posiciones) una hora entre posiciones 10,11,12 y la segunda entre 17,18,19
10 c=[6500000,6300000,6100000,6000000,6200000,6700000,14000000,14500000,15400000,16000000,16800,17200,17000,17100000,17160000,17180000,16760000,25050000,25950
11
12 %hornomicroondas ( 1 hora gestionable su funcion objetivo tendra 24 posiciones) una hora entre 9,10,11
13 %c=[6500000,6300000,6100000,6000000,6200000,6700000,14000000,14500000,15400000,16000,16800,17200,17000,17100,17160000,17180000,16760000,25050000,25950000,2
14
15 %sandwichera ( son 2 horas gestionables sun funcion objetivo tendra 48 posiciones) una hora entre 5,6 y la segunda entre 16,17
16 %c=[6500000,6300000,6100000,6000000,6200000,6700,14000,14500000,15400000,16000000,16800000,17200000,17000000,17100000,17160000,17180000,16760000,25050000,2
17
18 %cafetera ( es una hora gestionable su funcion objetivo tendra 24 posiciones) una hora entre 5,6
19 %c=[6500000,6300000,6100000,6000000,6200000,6700,14000,14500000,15400000,16000000,16800000,17200000,17000000,17100000,17160000,17180000,16760000,25050000,2
20
21 %olla arrocera ( es una hora gestionable su funcion objetivo tendra 24 posiciones) una hora entre 11,12
22 %c=[6500000,6300000,6100000,6000000,6200000,6700000,14000000,14500000,15400000,16000000,16800000,17200,17000,17100000,17160000,17180000,16760000,25050000,2
23
24 %aire acondicionado 2 ( es una hora gestionable su funcion objetivo tendra 24 posiciones) una hora entre 12,13
25 %c=[6500000,6300000,6100000,6000000,6200000,6700000,14000000,14500000,15400000,16000000,16800000,17200000,17000,17100,17160000,17180000,16760000,25050000,2
26
27
```

Código para gestión de horas con uso continuo



```
4
5 %aire acondicionado 1 ( es una sola franja gestionable de 4 horas continuas, tendra 24 posiciones en D) la franja debe estar entre 18,19,20,21,22,23
6 %D=[6500000,6300000,6100000,6000000,6200000,6700000,14000000,14500000,15400000,16000000,16800000,17200000,17000000,17100000,17160000,17180000,16760000,2505
7
8 %Lavadora (es una sola franja gestionable de 2 horas continuas, tendra 24 posiciones en D) la franja debe estar entre 8,9,10,11
9 %D=[6500000,6300000,6100000,6000000,6200000,6700000,14000000,14500000,15400,16000,16800,17200,17000000,17100000,17160000,17180000,16760000,25050000,2595000
10
11 %plancha (es una sola franja gestionable de 2 horas continuas, tendra 24 posiciones en D) la franja debe estar entre 15,16,17
12 %D=[6500000,6300000,6100000,6000000,6200000,6700000,14000000,14500000,15400000,16000000,16800000,17200000,17000000,17100000,17160000,17180,16760,25050,2595
13
14
15 %debe modificar numero de horas continuas para cada aparato
16 NumeroHorasContinuas=3
17 TamanoNuevoVector=24+(1-NumeroHorasContinuas)
18 horasdisponibles=zeros(1,TamanoNuevoVector*NumeroFranjas);
19 s=0;%para ir asendiendo en el tamaño de los nuevos vectores y no empiece a remplazar desde la posición 1
20
21 %ciclo anidado para convertir la funcion objetivo al tamaño de combinaciones posibles dependiendo del numero de horas continuas
22 for i=1:1:NumeroFranjas;
23     for j=1:1:TamanoNuevoVector;
24         z=0;%para sumar el valor de las horas en una franja
25         for k=1:1:NumeroHorasContinuas;
26             horasdisponibles(j+s)=horasdisponibles(j+s)+D(j+z);
27             z=z+1;
28         end
29     end
30     s=TamanoNuevoVector+s;
31 end
32
33 horasdisponibles %arroja el vector de las combinaciones para usarse luego en el archivo "creación_matrices_h_continuas"
```

Dirigirse a los documentos correspondientes para observar en detalle el código de MATLAB y la nota de explicación para correr el código.