



Energía solar para el ahorro de energía y mitigación de CO₂ en la Universidad Nacional Autónoma de México:

Estaciones del Pumabus

En este artículo se presenta el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero relacionadas con las estaciones del servicio de transporte conocido como Pumabus en Ciudad Universitaria (CU), el cual es el principal campus de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

El campus tiene un área de 7.3 km², para poder trasladar a los universitarios a las instalaciones y dependencias se utilizan 13 rutas de transporte. Con base en un levantamiento de cargas de las estaciones del Pumabus (Fig. 1 y 2), se identificó que hay varios tipos.

El consumo de energía actual corresponde solo a iluminación, para determinar el consumo total de energía se estimó un escenario base para tres condiciones del uso de la iluminación: 5, 12 y 24 horas.

Con el fin de estaciones del Pumabus alimentadas con paneles solares se plantea el aumento de los servicios tales como TV noticias, recarga para celular-laptop-iPad, cámaras de vigilancia, servicio de internet y la iluminación.

David Morillón Gálvez, German J. Carmona Paredes, Iván García Kerdan*

- Instituto de Ingeniería, UNAM
- *Tecnológico de Monterrey, Escuela de Ingeniería y Ciencias



El aumento en el consumo de energía se cubrirá con electricidad fotovoltaica y se plantea no sólo satisfacer la demanda de energía de las estaciones, sino también que la energía excedente para inyectar la red de la UNAM.

La propuesta con este proyecto se analizó para tres escenarios de uso de las estaciones del Pumabus, con los impactos y beneficios por el aprovechamiento de la energía solar.

Primero el consumo de energía total de las estaciones por tipo, luego considerando los nuevos servicios para determinar los requerimientos energéticos y diseñar el sistema para la generación de electricidad con energía solar fotovoltaica.

El estudio se complementó con los antecedentes sobre los usos finales de energía en Ciudad Universitaria (CU). Los resultados se compararon con las mediciones del potencial solar y la generación de electricidad.

Como conclusiones se demostró que se cubre los requerimientos de energía con el sistema solar propuesto, en cada una de las estaciones, pero además de lograr contar con un excedente de energía para alimentar la red eléctrica de CU.

con posibilidad de suministrar energía a la red eléctrica universitaria, conocida como energía plus, el objetivo de hacer un primer prototipo, de una red de estaciones que permitan la generación distribuida dentro de CU, para caminar o ir en busca de una universidad sustentable, así como disminuir las emisiones de CO₂, que provocan el cambio climático, además de brindar solución al incremento de consumo de energía, con energías renovables.

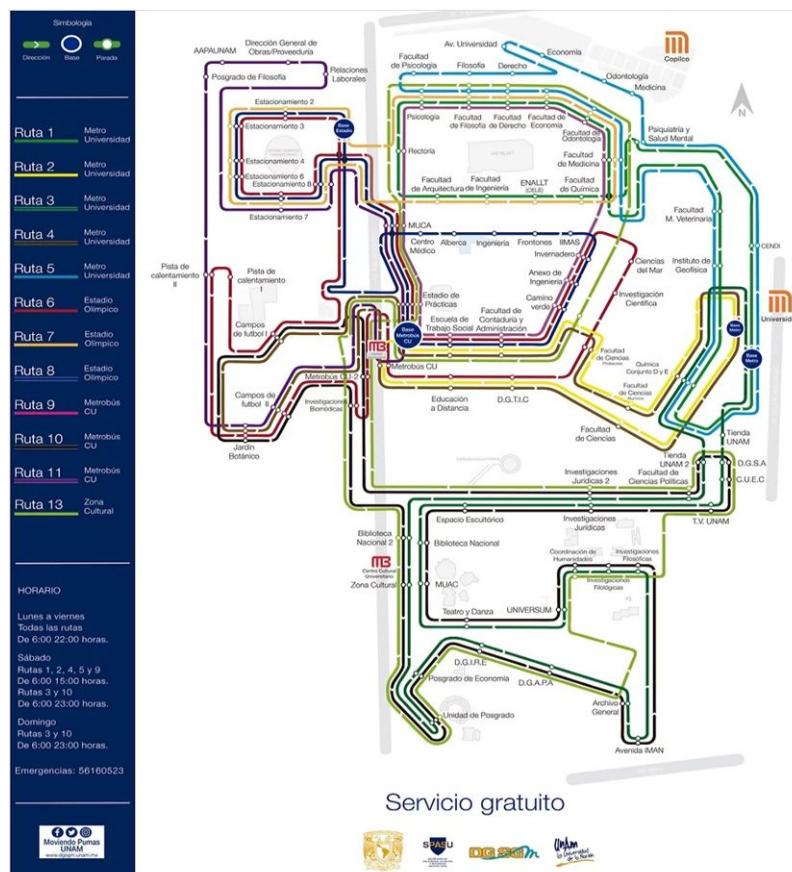




Fig. 2 Estación del Pumabus.

El diseño y construcción de un prototipo de estación solar es a partir de la adaptación de una de las estaciones del Pumabus la cual sería base para una red de estaciones solares con generación distribuida para convertir a CU en un campus sustentable.

Entre los antecedentes sobre el tema, Escobedo, Morillón, Sheinbaum, entre otros investigadores, presentaron el análisis y modelación del consumo de energía eléctrica en edificios universitarios, con base a usos finales y parámetros arquitectónicos: Caso CU-UNAM. En el cual se identifica el porcentaje de energía relacionado con la iluminación, parámetro que servirá para comparar la importancia del uso de energía solar en las estaciones del Pumabus (Escobedo A., et al, 2013).

En el mismo año se publica el trabajo relacionado con el comportamiento termo-lumínico y de confort de los edificios: estrategias para la adecuación, se resalta el caso de la Torre de Ingeniería de la UNAM (Morillón et al, 2013). Un año después, se presentan escenarios de consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero en CU de la UNAM, en específico trataron lo relacionado con los edificios, ante un cambio de tecnología en iluminación y en el calentamiento de agua.

Además, presentan las emisiones de CO_2 por dicha sustitución de tecnología (Escobedo A., et al, 2014). Un trabajo que representó no solo información de las instalaciones de la UNAM sino metodologías fue el diagnóstico energético de los edificios del Instituto en Energías Renovables de la UNAM, para determinar consumos totales y usos finales de la energía (Gonzalez et al, 2018). Recientemente se evaluó el potencial de implementar un sistema de energía distribuida basado en energía solar para una universidad que utiliza las paradas de autobús del campus (Morillón et al, 2022).

Como línea base del consumo de energía en CU-UNAM, no se considera los años 2019 y 2020, por situación de la pandemia ya que no son representativos del consumo y uso final de la energía en las instalaciones de CU. Por lo anterior se tomará el consumo total de energía del año 2018 por ser representativo del funcionamiento de las instalaciones en condiciones normales.

El consumo total de energía en CU-UNAM es de 83.3 GWh/anual (Escobedo et al, 2014 y UNAM, 2021). En cuanto a los usos finales del consumo de electricidad en CU-UNAM son en: iluminación con el 32.6 %, refrigeración 16.4 %, equipos especiales 14.9 %, cómputo 5.2 %, aire acondicionado 4.3 % misceláneos 3.8 %, fuerza 2.2 %, calefacción 0.4 % y Otros 20.2 5 % (Escobedo et al, 2014).

Las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) relacionadas con el consumo de energía en CU-UNAM, en el 2011 alcanzaron las 49.58 millones de toneladas de CO_2 eq, lo cual representa el 0.01 % de las emisiones nacionales y el 0.1% de las emisiones de la Ciudad de México. Los GEI en 2018 fueron de 50.80 millones de toneladas de CO_2 eq. Las emisiones de CO_2 representan el 99.7% del total de los GEI.

La iluminación interior es el uso final que genera más emisiones, con 12.82 GTon de CO_2 eq, la iluminación exterior 3.11 GTon de CO_2 eq (Escobedo et al, 2014). Lo que no se indica ni se tiene claro, es si el consumo de energía y las emisiones de CO_2 de las estaciones del Pumabus están incluidas en dicha cantidad, se asume para este estudio que sí para poder comparar los beneficios de la estación solar.

Se parte de medir y estimar el consumo de energía eléctrica en las estaciones del Pumabus, para determinar el beneficio ambiental en el horizonte de vida del proyecto con la estación solar. Además, demostrar que es posible combatir los efectos del calentamiento global mediante el aprovechamiento de energía renovable con generación distribuida en las instalaciones de CU y poder concientizar a la población universitaria sobre la importancia que tiene este tipo de proyectos.

La energía en las estaciones del Pumabus se determinó con un diagnóstico, con la visita a las instalaciones, hasta la entrega y presentación del reporte del diagnóstico energético ante los responsables del manejo energético de la instalación. Las actividades principales para la elaboración del diagnóstico:

- Recorrer las instalaciones
- Recabar información sobre las facturas eléctricas
- Recabar información básica de la instalación
- Realizar levantamiento de datos de los equipos consumidores de energía
- Analizar el levantamiento de datos
- Identificar potenciales de ahorro de energía
- Elaborar el reporte del diagnóstico energético
- Estimar las emisiones de CO_2 relacionadas con el uso y ahorro de energía, con metodología IPCC

Previo a la construcción de la estación solar se midió y evaluó la radiación solar durante 6 meses con el fin de tener datos en el sitio. Los resultados mensuales oscilan entre 4 y 6.4 kWh/m² por día.

Además de evaluar la generación de energía eléctrica correspondiente al equipo instalado en la Facultad de Ingeniería para que con dichos datos estimar los correspondientes a la estación solar (Tabla 1) y corroborar con mediciones.

| Mes | Insolación (kWh/m ²) | Generación por día (kWh) | Generación por mes (kWh) | Generación Sistema (kWh) |
|-----|----------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Ene | 4.86 | 7.583 | 235.08 | 23,508.33 |
| Feb | 4.44 | 6.933 | 194.13 | 19,413.33 |
| Mar | 6.61 | 10.313 | 319.71 | 31,971.33 |
| Abr | 6.89 | 10.747 | 322.40 | 32,240.00 |
| May | 6.42 | 10.010 | 310.31 | 31,031.00 |
| Jun | 5.72 | 8.927 | 267.80 | 26,780.00 |
| Jul | 6.47 | 10.097 | 313.00 | 31,299.67 |
| Ago | 9.22 | 14.387 | 445.99 | 44,598.67 |
| Sep | 5.81 | 9.057 | 271.70 | 27,170.00 |
| Oct | 4.81 | 7.497 | 232.40 | 23,239.67 |
| Nov | 4.97 | 7.757 | 232.70 | 23,270.00 |
| Dic | 4.89 | 8.898 | 275.83 | 27,583.11 |

Tabla 1. Radiación solar mensual, generación de energía y en la estación solar.

Entre los beneficios se tiene el ahorro de energía que se lograría en la UNAM con las estaciones solares y se presenta en la tabla 3, tres escenarios: para las condiciones actuales con servicio de iluminación durante 5, y 12 y 24 horas, así como el ahorro que se lograría con los servicios propuestos con este proyecto para las estaciones del Pumabus, tanto el ahorro actual y prospectivo con la adaptación para lograr estaciones solares en CU.

| Consumos actuales de energía (kWh) | | | Consumo con adecuación* (kWh) | Generación de electricidad en la Estación solar (kWh) |
|------------------------------------|-----------|------------|-------------------------------|---|
| 5 horas | 12 horas | 24 horas | | |
| 23,111.80 | 55,468.31 | 110,936.61 | 12,370,580.00 | 25,315,548.00 |

Tabla 3. Escenarios anuales de ahorros de energía en CU-UNAM con las estaciones solares. ||* Consumo de electricidad con 18 brindar varios servicios en las estaciones del Pumabus

Los servicios que se brindaran en la estación solar son: Iluminación, recarga de celulares, servicio de internet, TV con anuncios UNAM o en general y cámara de vigilancia, implican consumo de energía de 3900 Wh y 250 W de potencia.

Considerando todos los servicios en la estación solar se estima el consumo de energía mensual (Tabla 2).

| Generación Sistema (kWh) | Consumo en estaciones (kWh) |
|--------------------------|-----------------------------|
| 23,508.33 | 14,198.00 |
| 19,413.33 | 12,824.00 |
| 31,971.33 | 14,198.00 |
| 32,240.00 | 13,740.00 |
| 31,031.00 | 14,198.00 |
| 26,780.00 | 13,740.00 |
| 31,299.67 | 14,198.00 |
| 44,598.67 | 14,198.00 |
| 27,170.00 | 13,740.00 |
| 23,239.67 | 14,198.00 |
| 23,270.00 | 13,740.00 |
| 27,583.11 | 14,198.00 |

Tabla 2. Energía generada vs consumo de energía mensual de las estaciones Pumabus.

Además de lograr que las estaciones del Pumabus sean energéticamente sustentables, se estima la generación de un excedente para inyectar a la red por 12,944,968 kWh.

En cuanto a la mitigación de CO₂, en la tabla 4 se presentan las emisiones de los diversos escenarios.

| Emisiones actuales (Ton eq CO ₂) | | Emisiones con adecuación* (Ton eq CO ₂) | Mitigación de emisiones en Estación solar (Ton eq CO ₂) |
|---|----------|--|--|
| 5 horas | 12 horas | 24 horas | |
| 17.27 | 41.46 | 82.91 | 9,245.28 18,919.83 |

Tabla 4. Escenarios anuales de mitigación de CO₂ en CU-UNAM con las estaciones solares. || * Con brindar varios servicios en las estaciones del Pumabus

La mitigación que se podría lograr con las estaciones solares es del 0.038 % del total del consumo de la UNAM, deja enseñanza para trabajar en otras instalaciones y avanzar con el objetivo de cero emisiones en la UNAM.

Con el levantamiento de información se obtuvo una clasificación de los tipos de estaciones y equipamiento o cargas en dichas instalaciones correspondiente exclusivamente a la iluminación, se estimó el escenario base en consumo de energía y emisiones de GEI para tres condiciones de uso de la iluminación correspondientes a 5, 12 y 24 horas.

El primer caso corresponde las necesidades y patrón de uso de las instalaciones de CU, las siguientes a problemas identificados como instalaciones encendidas las 24 horas y las encendidas toda la noche

El estudio se complementó con una comparación de los resultados del diseño con las mediciones del potencial solar y la generación de electricidad realizados. Encontramos que la situación actual de las estaciones representa un consumo total de energía de 55,468-110,936.61 kWh. Con el aumento de servicio sube a 12,370,580.00 kWh y el CO₂ correspondiente a cada caso.

Si cubren los requerimientos de energía con el sistema solar propuesto en cada una de las estaciones.

Además, se presentan 12,944,968 kWh de diferencia entre lo requerido y generado, lo cual permite tener cuantificada la energía plus para alimentar la red eléctrica de CU como resultados.

Agradecimiento al PAPIIT-DGAPA de la UNAM

Referencias

- Escobedo A. (2009), Análisis y modelación del consumo de energía eléctrica en edificios universitarios con base a usos finales y parámetros arquitectónicos: Caso UNAM-CU, Tesis de Doctorado en Arquitectura, UNAM, México.
- Escobedo Izquierdo A, Morillón Gálvez D, (2013), Uso de la energía eléctrica en edificios de oficinas del centro del país, *Revista Eficiencia Energética*, Ed. FIDE, Año 1, No. 1, jul-sep. 2013, pp.12-15, sep., México
- Morillón D, Vetró P, Gallego LG, Edeza CH (2013), El comportamiento termo-lumínico y de confort e los edificios: estrategias para la adecuación, *Revista de Energías renovables*, Ed. ANES, No. 17, ene-mar 2013, pp.16-18, mar, México.
- Escobedo A., Briseño S., Juárez H., Castillo D., Imaz M y Sheinbaum C., (2014) Energy consumption and GHG emission scenarios of a university campus in México, *Energy for Sustainable Development*, 18, 49-57.
- NASA (2017) Surface meteorology and Solar Energy - Available Tables, Atmospheric Science Data Center
- González Galvez OD, Morales M, Seefoó C, Morillón D y Valdés H (2018) Energy diagnosis of university buildings: Renewable Energy Institute from UNAM, *Buildings*, 27 de sep
- Quiñones Aguilar, JJ, Estación Solarimétrica y Meteorológica (ESOLMET, IER)
- SENER (2021) Balance Nacional de Energía 2020, México
- Morillón Gálvez D, García Kerdan I y Carmona Paredes GJ, (2022) Assessing the potential of implementing a solar-based distributed energy system for a university using the campus bus stops. *Energies*, Vol. 15, issue 10/103390 en 15103660.

