

EVALUACIÓN DE LADRILLOS FOTOCATALÍTICOS CON ADICIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO (TiO₂) PARA CAPTURAR EL DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂) EN LA REGIÓN DE TACNA

EVALUATION OF PHOTOCATALYTIC BRICKS WITH THE ADDITION OF TITANIUM DIOXIDE (TiO₂) TO CAPTURE CARBON DIOXIDE (CO₂) IN THE TACNA REGION

Autores: ¹Fabiola del Rocío Apaza Paredes, ²Alexsander Alexis Vargas Mamani y ³Albert Stony Gamboa Zavala.

¹ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-3829-7655>

²ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4207-3000>

³ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-6930-8535>

¹E-mail de contacto: fdapazap@unjbg.edu.pe

²E-mail de contacto: aavargasm@unjbg.edu.pe

³E-mail de contacto: agamboaz@unjbg.edu.pe

Afiliación: ^{1*} ^{2*} ^{3*}Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, (Perú).

Artículo recibido: 3 de Julio del 2024

Artículo revisado: 15 de Julio del 2024

Artículo aprobado: 10 de Agosto del 2024

¹Estudiante del VII ciclo de la carrera profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann

²Estudiante del VII ciclo de la carrera profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann

³Ingeniero Ambiental y catedrático de la escuela de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann

Resumen

En la presente investigación se realizó ladrillos fotocatalíticos compuestos de dióxido de titanio (TiO₂), tales ladrillos tienen la propiedad de captar el dióxido de carbono (CO₂) del ambiente, y de esta manera contribuir a nuestro planeta a la descontaminación de los diferentes gases atmosféricos contaminantes, causantes del calentamiento global. Tales ladrillos fueron hechos inicialmente en un tamaño de 5 cm³ a diferentes dosis 0, 3, 6 y 12 g de dióxido de titanio. Los resultados demostraron que 3 g se tiene una captura de 139.6 ppm de CO₂ en promedio, con 6 g se tiene una captura de 316.6 ppm y con 12 g una captura de 631 ppm. Se evidencia que a medida que aumenta la dosis, la captura de CO₂ también aumenta. Pero por costos se optó por la dosis de 6 g para en proporcionalidades fabricar un ladrillo a escala de venta de 20x40x15.

Palabras Clave: Fotocatalíticos, Dióxido de titanio, Dióxido de carbono, Dosis, Ladrillo.

Abstract

In the present investigation, photocatalytic bricks made of titanium dioxide (TiO₂) were made. These bricks have the property of capturing carbon dioxide (CO₂) from the environment, and in this way contribute to the

decontamination of our planet from the different polluting atmospheric gases, which cause global warming. These bricks were initially made in a size of 5 cm³ at different doses of 0, 3, 6 and 12 g of titanium dioxide. The results showed that 3 g captures 139.6 ppm of CO₂ on average, with 6 g there is a capture of 316.6 ppm and with 12 g a capture of 631 ppm. It is evident that as the dose increases, the capture of CO₂ also increases. However, due to costs, the dose of 6 g was chosen to proportionally manufacture a brick on a sales scale of 20x40x15.

Keywords: Photocatalytic, Titanium dioxide, Carbon dioxide, Dose, Brick.

Sumário

Nesta pesquisa foram confeccionados tijolos fotocatalíticos compostos de dióxido de titânio (TiO₂). Tais tijolos têm a propriedade de capturar dióxido de carbono (CO₂) do meio ambiente, e desta forma contribuem para a descontaminação de diversos gases atmosféricos do nosso planeta, causando problemas globais. aquecimento. Esses tijolos foram inicialmente confeccionados no tamanho de 5 cm³ em diferentes doses de 0, 3, 6 e 12 g de dióxido de titânio. Os resultados mostraram que 3 g tem uma captura de 139,6 ppm de CO₂ em média, com 6 g há uma captura de 316,6 ppm e com 12 g uma captura de 631 ppm. É

evidente que a medida que a dose aumenta, a captura de CO₂ también aumenta. Mas devido aos custos, optou-se pela dose de 6 g para fabricar proporcionalmente um tijolo na escala de vendas 20x40x15.

Palavras-chave: Fotocatalítico, Dióxido de titânio, Dióxido de carbono, Dose, Tijolo.

Introducción

El dióxido de carbono es un gas incoloro, formado por un átomo de carbono y dos átomos de oxígeno. Este compuesto se halla en la atmósfera desempeñando un papel crucial en el ciclo vital del planeta. Sin embargo, su creciente aumento está generando serias preocupaciones respecto al aumento de la temperatura promedio del planeta y el calentamiento global (Estela y Wilson, 2022).

Según la ONU (2022), se espera que para el año 2100 la temperatura global supere un 1.5 % y llegue al 2 %, lo que originara consecuencias devastadoras para toda forma de vida, como el derretimiento de diez centímetros de los océanos, la evaporación instantánea del océano ártico y la aniquilación total de los arrecifes y corales del mundo.

La búsqueda de soluciones innovadoras para abordar el problema de las emisiones de CO₂ se ha vuelto una prioridad. para gobiernos, organizaciones internacionales, empresas y la sociedad en su conjunto. Desde el desarrollo de tecnologías limpias y sostenibles hasta la implementación de políticas ambientales más estrictas, se requiere un enfoque integral y colaborativo para conseguir una disminución notable de las emisiones de CO₂ y avanzar hacia un futuro más sostenible y en armonía con el medio ambiente (Valbuena, 2021).

Seguidamente el crecimiento demográfico ha llevado a un aumento de las urbanizaciones de todas las ciudades del mundo. Sin embargo, estas urbes o ciudades son responsables de la

mayor parte de las emisiones de carbono en el mundo (Prugh et al., 2016).

Por consiguiente, si las urbes crecen significa que el sector de la construcción también, por lo cual esta actividad es la que más se le atribuye al impacto ambiental debido a su producción, ya sea por la fabricación de los materiales o como la puesta en obra de éstos (De la Hoz, 2009).

El cemento y sus productos derivados son esenciales en el sector de la construcción. Sin embargo, durante su proceso de fabricación, generan contaminación y requieren un alto consumo de energía, lo que resulta en la emisión de considerables cantidades de dióxido de carbono a la atmósfera (Xavier, 2009)

Por consiguiente, para mitigar el impacto ambiental y garantizar un nivel de sustentabilidad, se propone implementar dióxido de Titanio (TiO₂) en la fabricación de ladrillos y bloquetas. Este aditivo convierte estos materiales en fotocatalíticos, lo que les confiere propiedades autolimpiantes y ayuda a disminuir la presencia de contaminantes en el aire (Morbi et al. 2010).

La adición de TiO₂ a los materiales de construcción puede efectuarse ya sea como elaboración del propio material o mediante la aplicación de revestimientos en su superficie. Esta fusión de componentes estructurales y funcionales representa una innovadora tecnología, y diversas compañías han registrado patentes para productos como adoquines y recubrimientos con propiedades fotocatalíticas (Mantilla, 2023).

Por consiguiente, el objetivo de la siguiente investigación es elaborar, construir ladrillos a base de dióxido de titanio (TiO₂) un compuesto que capta gases contaminantes mediante fotocatalisis. El gas que se optó evaluar para

descontaminar es el dióxido de carbono (CO_2). De tal manera se tendría una solución a la contaminación generada por las ciudades, ya que, si se opta construir las infraestructuras como edificios, con los ladrillos que se propone se estaría contribuyendo a la descontaminación de nuestro planeta.

Desarrollo

La presente investigación será de carácter experimental y cuantitativo, enfocándose en los resultados de las propiedades de los ladrillos con la incorporación de TiO_2 . También se incluirán cálculos, gráficos y tablas estadísticas para evaluar las características del ladrillo y así contrastar la hipótesis formulada. Además, se realizará la prueba estadística diseño completamente al azar con el software Statgraphics.

Cemento

El cemento que se utilizará en la elaboración de los ladrillos y bloquetas será el cemento Portland Tipo I de la marca YURA, el cual fue adquirido en cementeras ubicadas en la calle patricio Meléndez, comúnmente llamado Pesquero en Tacna, que es de uso general para obras de concreto, revestimiento o tarrajeos y solaqueos.

Agregado

El material utilizado en los diseños de mezcla será un agregado fino. Se considera agregado fino cualquier material granular de origen natural que, al realizar el ensayo de granulometría, pase a través del tamiz de 3/8" y cuyos sedimentos queden retenidos en la malla N° 200.

Dióxido de Titanio (TiO_2)

En este estudio se utilizará el Dióxido de Titanio (TiO_2) como aditivo para la activación de la fotocatalisis en los ladrillos elaborados. El producto químico fue adquirido en Lima, en

jirón Moquegua 645, por la empresa OREGON CHEN GROUP S.A.C.

Procedimiento de elaboración del ladrillo

Se elaborarán inicialmente 4 unidades de mini ladrillos fotocatalíticos las cuales tendrán 0 %, 5 %, 10 % y 20 % de TiO_2 en base al peso total del cemento. Hay que mencionar además que cada ladrillo tendrá unas dimensiones de 5 cm de ancho x 5 cm de largo y 5 cm de altura, las cuales se realizó con un molde fabricado de madera.

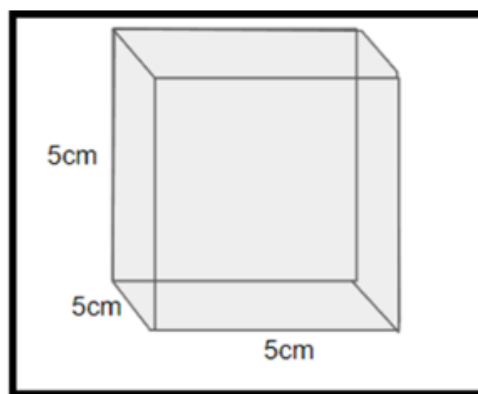


Figura 1 Diseño del mini ladrillo

Fuente: Elaboración propia.

Después se mezcla en un balde la arena, agua, cemento y dióxido de titanio, en las proporciones que se visualiza en la tabla 1.

En la siguiente tabla se visualiza la composición de cada ladrillo y su diferente dosis de TiO_2 , cabe mencionar que el 0 g hace referencia al 0% de TiO_2 , el 3 g al 5 %, el 6 g al 10 % y el 12 g al 20 %.

Los 4 ladrillos serán secados a sol durante 48 horas, después se le procederá a poner a una cámara o embace de 1 m³ forrado con papel film, cada ladrillo se puso en la cámara, uno por uno, durante 1 hora. A la par en tal cámara se pondrá una reacción química de 40 ml de ácido acético (vinagre) y 5 g de bicarbonato sódico en un recipiente, tal reacción originará dióxido de carbono que será almacenada en la cámara y

será captado por cada ladrillo que se ponga y además se cuantificara cuanto de dióxido de carbono capto el ladrillo mediante el medidor de CO₂ de la marca Yem-42.

Resultados

Los resultados de las diferentes dosis de dióxido de titanio 0, 3, 6 y 12 g fueron las que aparecen en la tabla 2.

Tabla 1: Composición y cantidad para la elaboración del ladrillo por unidad

| Materiales | Cantidad |
|--------------------|-------------------------|
| Cemento | 60 g |
| Arena | 250 g |
| Agua | 50 ml |
| Dióxido de Titanio | X (0 g, 3 g, 6 g, 12 g) |

Nota. Elaboración propia

Tabla 2: Resultados de captación de CO₂ de los mini ladrillos elaborado

| Dosis (g) | Dióxido de carbono (CO ₂) (ppm) | | Aumento de CO ₂ (ppm) | Promedio de tope de CO ₂ (ppm) | Promedio captación de CO ₂ (ppm) | Porcentaje de captación de CO ₂ (ppm) |
|-----------|---|-------|----------------------------------|---|---|--|
| | Inicial | Final | | | | |
| 0 | 516 | 1594 | 1078 | 1077 | - | - |
| 0 | 520 | 1595 | 1075 | | | |
| 0 | 504 | 1582 | 1078 | | | |
| 3 | 449 | 1386 | 937 | 938.3 | 138.7 | 12.87 % |
| 3 | 440 | 1371 | 931 | | | |
| 3 | 445 | 1392 | 947 | | | |
| 6 | 439 | 1197 | 758 | 761.3 | 315.7 | 29.31 % |
| 6 | 445 | 1204 | 759 | | | |
| 6 | 442 | 1209 | 767 | | | |
| 12 | 440 | 870 | 430 | 447 | 630 | 58.49 % |
| 12 | 439 | 891 | 452 | | | |
| 12 | 442 | 901 | 459 | | | |

Nota. Elaboración propia

Tabla 3: ANOVA de la captación de CO₂ (ppm) por dosis (g)

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Entre grupos | 45.3739 | 3 | 222372. | 2791.28 | 0.0000 |
| Intra grupos | 0.779346 | 8 | 79.6667 | | |
| Total (Corr.) | 46.1532 | 11 | | | |

Nota. Elaboración propia

En la tabla 3 se visualiza la captación de dióxido de carbono de cada mini ladrillo, además se observa que esta aumenta a medida que se aumenta la dosis de dióxido de titanio, cabe

mencionar que para calcular la captación de ladrillo se aplicó la siguiente formula: Captación de CO₂ (ppm) = Tope de CO₂ con dosis 0 – Tope de CO₂ con dosis diferente de 0.

Medias y 95.0% de Fisher LSD

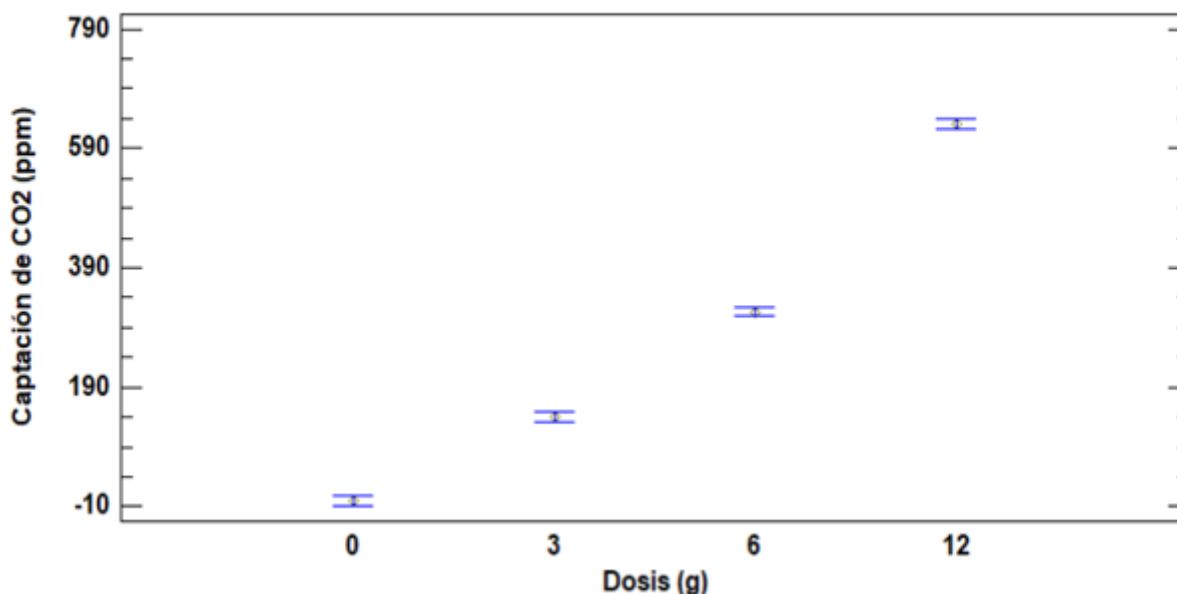


Figura 2: Medias y 95 % de Fisher LSD de la captación de CO₂ (ppm) por dosis (g)

Nota. Elaboración propia

Tabla 4: Precio del ladrillo de 20 % de dióxido de titanio

| Composición | Precio |
|-------------------------|--------------------------------------|
| Dióxido de titanio 12 g | 0.3392 céntimos (706.87 soles 25 kg) |
| Arena 250 g | 0.0345 céntimos (6.90 soles 50 kg) |
| Cemento 48 g | 0.031 céntimos (27.50 soles 42.5 kg) |
| Total | 0.4047 céntimos |

Nota. Elaboración propia

La tabla 3 ANOVA descompone la varianza de la Captación de CO₂ (ppm) en dos componentes: uno entre grupos y otro dentro de grupos. La razón-F, que en este caso es de 2791.28, representa el cociente entre el estimado entre grupos y el estimado dentro de grupos. Dado que el valor-P de la prueba-F es inferior a 0.05, se concluye que hay una diferencia estadísticamente significativa en la media de Captación de CO₂ (ppm) entre diferentes niveles de Dosis (g), con un nivel de confianza del 95.0%.

En la figura 2 se visualiza que a medida que se aumenta la cantidad de dosis de dióxido de

titanio aumenta la cantidad de captación de ppm de CO₂. Por consiguiente, el ladrillo con la dosis de 12 g es un candidato para poder utilizar sus proporciones o datos de cemento, arena y dióxido de titanio, un ladrillo a escala o tamaño de venta, las que generalmente hay en construcción, las cuales tiene una medida promedio de 20 altura x 40 de largo x 15 de ancho.

Discusiones

Según Álvarez (2023) su estudio investiga la fotocatalisis heterogénea en la degradación del colorante Negro de Eriocromo T utilizando TiO₂ puro y TiO₂ dopado con metales (Ag, Cu,

Fe) en concentraciones de 0.25, 0.5 y 1.0 at% bajo luz de xenón. Los materiales, sintetizados por el método sol-gel/solvotermal, fueron caracterizados por diversas técnicas, mostrando morfología esférica y fase cristalina anatasa. El TiO₂ dopado presentó una menor energía de banda prohibida, siendo el TiO₂: 0.5 Fe el más bajo (2.79 eV). Los dopajes con 0.25 at% aumentaron el área superficial y mejoraron la eficiencia fotocatalítica, destacando el Cu (0.25 at%), que logró un 90% de remoción de color y reducciones significativas en TOC y DQO tras 180 minutos de exposición. Esto quiere decir que si es efectivo al usar TiO₂

Por otro lado, Elizabeth (2022) en su estudio analiza la reducción de CO₂ mediante vallas publicitarias impregnadas con dióxido de titanio (TiO₂) en el terminal terrestre de Guayaquil. Se midieron las concentraciones de CO₂ en áreas de alta congestión vehicular y se instaló una valla ecológica de 1 m² expuesta a la radiación solar. Utilizando TiO₂, se logró una reducción de 64 ppm, equivalente al 12% de las concentraciones de CO₂. Se concluye que es viable implementar vallas ecológicas más grandes para mejorar la descomposición de contaminantes, contribuyendo así al equilibrio ambiental y a la mitigación del cambio climático.

Conclusiones

Se ha construido un invento que descontamina el dióxido de carbono del ambiente y a la vez mediante procesos químicos lo convierte en carbonato de calcio un tipo de fertilizante que ayuda al suelo a nivelar la salinidad y de tal manera utilizarlo como fertilizante natural.

Se concluye que con 3 gramos podemos descontaminar 139.66 ppm de dióxido de carbono; con 6 gramos podemos descontaminar 316.66 ppm de dióxido de carbono y con 12

gramos se descontamina 631 ppm de dióxido de carbono.

Se concluye que las emisiones excesivas de este gas, que es incoloro e inodoro y está compuesto por oxígeno y carbono, representan una de las principales causas del calentamiento global. Este problema es resultado de las actividades humanas y se ve agravado por la prolongada permanencia del CO₂ en la atmósfera.

Referencias Bibliográficas

- Alvarez, R. (2023). Efecto en la actividad fotocatalítica de la inclusión de iones metálicos en microesferas de dióxido de titanio. *Recopilado de* <https://cio.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1002/1285>
- Bermejo, M. (2018). Fotocatálisis y su capacidad descontaminante. Aplicación en Gran Vía [*Tesis fin de grado, Universidad Politécnica de Madrid*]. *Obtenido de* <https://oa.upm.es/49612/>
- Blesa. (2011). En M. Blesa (Ed.), *Eliminación de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogénea* (pág. xii.). Buenos aires, Argentina: CYTED.
- Clavijo Penagos, A. (2022). Sobre las reacciones de eliminación de compuestos contaminantes de aguas por fotocatálisis con TiO₂/UV: caso azul de metileno. *Recopilado de* <https://alejandria.poligran.edu.co/handle/10823/6244>
- De La Hoz M. Felipe. (2009). Desinfección de aguas de uso agrícola, mediante la utilización de un fotocatalizador inmovilizado en mortero de cemento y activado por luz solar. *Recopilado de* <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/1431>
- Elizabeth, F. (2022). Análisis técnico de la reducción de co₂ mediante vallas publicitarias impregnadas con dióxido de titanio en el terminal terrestre-guayaquil (*Doctoral dissertation, Universidad Agraria Del Ecuador*). *Recopilado de* <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/COLO>

[MA%20GAIBOR%20FERNANDA%20ELIZABETH.pdf](#)

Eslava, B., & Gutiérrez, G. (2021). Evaluación comparativa de las características de porosidad entre el cemento Portland, MTA y Biodentine con microscopio electrónico de barrido. *Revista Científica Odontológica*, 9(1). *Recopilado de* <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10919816/>

Estela, S., & Wilson, J. (2022). El dióxido de carbono como agente de contaminación ambiental en la región Piura. *Recopilado de* https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUMP_4264efb4895327da6d7cc75043dd825c

Inocencio Otrera, I., & Guillermo Sánchez, J. (2022). Propuesta de uso de la fotocatalisis de dióxido de titanio TIO₂ en morteros como agente descontaminante en el distrito de Lima. *Recopilado de* https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/667517/Guillermo_SG.pdf?sequence=17&isAllowed=y

Mantilla, F. (2023). Influencia Del Dióxido De Titanio En El Concreto Permeable Con Efecto Fotocatalizador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(5), 2648-2672. *Recopilado de* https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i5.79

Morbi, A., Cangiano, S., & Borgarello, E. (2010, June). Cement based materials for sustainable development. In Proceedings of the Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies, University of Wisconsin, Milwaukee, USA.

Organización de las Naciones Unidas. (2022). Crisis climática. *Recopilado de* <https://www.france24.com/es/minuto-a-minuto/20231120-el-mundo-se-dirige-hacia-un-calentamiento-de-entre-2-5->

[%C2%B0c-y-2-9-%C2%B0c-seg%C3%BAAn-la-onu](#)

Prugh, T., & Renner, M. (2016). Ciudades y emisiones de gases de efecto invernadero: la dimensión del reto. *Gardner, G*, 127-142. *Recopilado de* <https://www.fuhem.es/wp-content/uploads/2020/09/Ciudades-emisiones-T.Prugh-M.Renner-SituacionMundo2016.pdf>

Rivera, B., De la Cruz Vega, A., & Neyra, V. (2023). Modificación de la mezcla asfáltica por vía seca mediante la incorporación de dióxido de titanio. *Ingeniería*, 33(2), 75-85. *Recopilado de* <https://www.scielo.sa.cr/pdf/ingenieria/v33n2/44174486004.pdf>

Rhee, I., Jun-Seok, L., Beom, J., Ho, J., & Mateo. (2018). Eficiencia de mitigación de óxidos de nitrógeno de Materiales Cementosos Incorporados con TiO₂. *Materials* 2018, 11(6), 877. doi: <https://doi.org/10.3390/ma1106087>

Segura Montoya, J., & Camelo Manzanares, M. (2019). Evaluación de las propiedades fotocatalíticas de prefabricados para obras de infraestructura vial en concreto adicionado con dióxido de titanio (TIO₂) (Doctoral dissertation). *Recopilado de* <https://repositorio.ucsp.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/bbe2d474-858c-446d-8280-537606867d0c/content>

Valbuena García, J. (2021). Diseño y estudio energético de un edificio nzeb (near zero energy building), planteamientos de sostenibilidad. *Recopilado de* <https://repositorio.esan.edu.pe/items/cc9ec07d-7909-4161-b1ea-557c3e868be9>



Esta obra está bajo una licencia de **Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional**. Copyright © **Fabiola Del Rocío Apaza Paredes, Alexander Alexis Vargas Mamani y Albert Stony Gamboa Zavala**.

