



Environmental | Physics | Laboratory

**EPHYS Lab**

**Universidade de Vigo**

Volumen 12 - Noviembre 2022

Avances en Ciencias de la Tierra

# Avances en Ciencias de la Tierra

ISSN: 2172-9328

# Avances en Ciencias de la Tierra

Volumen 12

ISSN 2172-9328

Editado por EPHYSLAB en colaboración con la Asociación  
Ambiental ESCLIMA



**Equipo Editorial** (responsable de este volumen)

**Editores en Jefe:**

**D. Fernández-Nóvoa**  
EPhysLab, CIM-UVIGO  
Universidade de Vigo  
diefernandez@uvigo.es

**X. Costoya**  
EPhysLab, CIM-UVIGO  
Universidade de Vigo  
xurxocostoya@uvigo.es

**O. García-Feal**  
EPhysLab, CIM-UVIGO  
Universidade de Vigo  
orlando@uvigo.es

**Editores**

**R. Varela**  
EPhysLab, CIM-UVIGO  
Universidade de Vigo  
ruvarela@uvigo.es

**M. Des**  
EPhysLab, CIM-UVIGO  
Universidade de Vigo  
mdes@uvigo.es

**A.J.C. Crespo**  
EPhysLab, CIM-UVIGO  
Universidade de Vigo  
alexbexe@uvigo.es

**J. M. Domínguez**  
EPhysLab, CIM-UVIGO  
Universidade de Vigo  
jmdominguez@uvigo.es

**J. González Cao**  
EPhysLab, CIM-UVIGO  
Universidade de Vigo  
jgcao@uvigo.es

**M.C. Sousa**  
CESAM/Physics Department  
Universidade de Aveiro  
mcsousa@ua.pt

**A. Ribeiro**  
CESAM/Physics Department  
Universidade de Aveiro  
americoribeiro@ua.pt

**M. de Castro**  
EPhysLab, CIM-UVIGO  
Universidade de Vigo  
mdecastro@uvigo.es

**M. Gómez-Gesteira**  
EPhysLab, CIM-UVIGO  
Universidade de Vigo  
mggesteira@uvigo.es

**M. Chao Amaro**  
Chao Arquitectos  
Praza Paz Novoa, 6, Ourense  
marcoschao@chaoarquitectos.com



### Prefacio

ACT es una revista de carácter científico-docente que se lleva publicando de forma ininterrumpida desde 2010. La publicación fue concebida para estudiantes de último curso de titulaciones relacionadas con Ciencias de la Tierra, así como para alumnos de Másteres de temática similar. Se partía de la premisa de que la comunicación escrita no es una disciplina que se imparta en la mayor parte de las titulaciones y, por lo tanto, los alumnos tienen dificultades metodológicas cuando se enfrentan a la elaboración de un documento escrito. De ahí surge la vertiente docente de la publicación. Se trata de que los futuros egresados (o los recién egresados) conozcan una serie de metodologías que les permitan elaborar un documento escrito que sea a la vez conciso y totalmente explicativo, un documento que evite tanto las sentencias vagas como los juicios de valor. En definitiva, un documento científico.

A principios del curso 2019- 2020 ya se había establecido una primera toma de contacto con el profesorado del IES As Lagoas (Ourense), que estaba lanzando un STEMBACH centrado principalmente en bioconstrucción. El STEMBACH incluía no solamente la construcción a partir de materiales de bajo impacto ambiental o ecológico, sino también la posibilidad de dotar a las viviendas de fuentes energéticas sostenibles. Así estaban las cosas cuando llegó la pandemia y el confinamiento... Normalmente, se considera que los momentos de tribulación y crisis son, a su vez, momentos propicios para el cambio, la innovación y donde pueden surgir ventanas de oportunidad. En algún momento, mientras impartíamos clases *online* y todo lo que estaba a nuestro alrededor parecía tambalearse, surgió una pregunta que en otros momentos no nos hubiésemos planteado ¿pueden los alumnos de bachillerato realizar todo el proceso que va desde tener una primera idea, realizar un diseño, ejecutar un plan de trabajo y, finalmente, plasmarlo de forma escrita? La respuesta, creemos que es afirmativa, tal como muestran los diferentes trabajos que se incluyen en este número especial y que han sido compilados desde 2020 a 2022. En ellos, la labor de los alumnos ha sido fundamental. En un bachillerato tan lleno de materias “*imprescindibles*”, donde a una semana cargada de exámenes le sucede otras más cargada, donde la alargada sombra de la ABAU está siempre presente, el conseguir que un grupo de jóvenes haya dedicado parte de su escaso tiempo a tareas no absolutamente obligatorias es un soplo de aire fresco. El proceso no habría podido llevarse a cabo sin la inestimable colaboración de los tutores, que han vigilado que el proceso se llevase a cabo sin demasiada divagación, al menos no más de la estrictamente necesaria. Debe tenerse en cuenta que se trata de una actividad tutelada, no dirigida, donde un cierto grado de “ensayo y error” y de falta de concreción es positiva... siempre que no sobrepase unos ciertos límites.

En el presente volumen se incluye un primer documento [Días Vilela *et al.*, 2022] donde los responsables del STEMBACH por parte del IES As Lagoas resumen los diferentes retos afrontados en el proceso. A ese documento le siguen varios artículos que tratan respectivamente del análisis de diferentes materiales para proteger las construcciones frente a radio frecuencias [Álvarez Hereda *et al.*, 2022], de la climatización de una vivienda usando un pozo canadiense [Anta Gil *et al.*, 2022], del aislamiento térmico de las viviendas [Cabada Feijoo *et al.*, 2022], de la resistencia de los bloques de construcción [López González *et al.*, 2022], de las preferencias con respecto a recubrimiento [Castro Acevedo *et al.*, 2022] y de la resistencia de las vigas de madera [Fraguas Nieto y Fernández Prado, 2022]. En un bloque temático diferente, en [Conde Abad *et al.*, 2022] se describe un sistema para la adquisición automática de datos en experimentos de bioconstrucción. Finalmente, en un bloque temático relativo a diferentes fuentes de energía se incluyen tres artículos dedicados a la energía eólica [Gómez de Castro, 2022], solar [Cachaldora *et al.*, 2022] y undimotriz [Rodríguez *et al.*, 2022].

Días Vilela, S., Fernández, M.A. y Gil Pereiras, A. 2022. Estudo teórico e deseño dunha construción bioclimática: O marco de referencia. Avances en Ciencias de la Tierra 12, 1-8.

Álvarez Hereda, L., Novoa Suárez, J y Álvarez Álvarez, C. 2022. Estudio del comportamiento ante Radiofrecuencias de los materiales de construcción. Posibilidades de aplicación práctica. Avances en Ciencias de la Tierra 12, 9-14.

Anta Gil, A., Gómez Parada, A., Moncho Diéguez, A. y Rio González, E. 2022. Deseño e construción dun pozo canadense dentro dun sistema de casa pasiva. Avances en Ciencias de la Tierra 12, 15-21.

Cabada Feijoo, A., Pereira Muñiz, P., Rodriguez López, M. y Taboada Delgado, C. 2022. Análise térmico dun cerramento: Estudo da transmisión da calor, desfase térmico e inercia térmica nos distintos materiais que conforman o muro. Avances en Ciencias de la Tierra 12, 22-27.

López González, M., Estévez Domínguez, S. y Vázquez López, S. 2022. Os bloques na construción. Estudo da resistencia á erosión atmosférica en función da súa composición. Avances en Ciencias de la Tierra 12, 28-32.

Castro Acevedo, L., Barreiro Feijóo, M. y Traba Gómez, J. 2022. Recubrimientos e acabados superficiais con materiais de bioconstrución. A arxila e o cal. Avances en Ciencias de la Tierra 12, 33-39.

Fraguas Nieto, D. y Fernández Prado, A. 2022. Construción de vigas laminadas de madeira. Comparación coa madeira maciza. Avances en Ciencias de la Tierra 12, 40-46.

## Avances en Ciencias de la Tierra

Conde Abad, M., Duro Álvarez, I. y Rodríguez Mateo, P. 2022. Sistema de medida versátil con microprograma para a adquisición automática de datos en experimentos de bioconstrucción. Avances en Ciencias de la Tierra 12, 47-55.

Gómez de Castro, N. 2022. Estudio del recurso eólico en la costa gallega. Avances en Ciencias de la Tierra 12, 56-62.

Cachaldora, C., Ventura, D. y Martínez, A. 2022. Instalación dun panel solar no IES As Lagoas e validación das súas medidas. Avances en Ciencias de la Tierra 12, 63-70.

Rodríguez, A., Pérez, J., Fidalgo, J. y Araújo, P. 2022. Energía de las olas: Generador undimotriz. Avances en Ciencias de la Tierra 12, 71-78.

El Equipo Editorial.

Noviembre de 2022.





## **Contenido**

<b>Estudo teórico e deseño dunha construción bioclimática: O marco de referencia.</b> S. Díaz Vilela, M. Ángel Fernández, A. Gil Pereiras .....	1
<b>Estudio del comportamiento ante RadioFrecuencias de los materiales de construcción. Posibilidades de aplicación práctica.</b> L. Álvarez Hereda, J. Novoa Suárez, C. Álvarez Álvarez .....	9
<b>Deseño e construción dun pozo canadense dentro dun sistema de casa pasiva.</b> A. Anta Gil, Á. Gómez Parada, A. Moncho Diéguez, E. Rio González .....	15
<b>Análise térmico dun cerramento: Estudo da transmisión da calor, desfase térmico e inercia térmica nos distintos materiais que conforman o muro.</b> A. Cabada Feijoo, P. Pereira Muñiz, M. Rodríguez López, C. Taboada Delgado .....	22
<b>Os bloques na construción. Estudo da resistencia á erosión atmosférica en función da súa composición.</b> M. López González, S. Estévez Domínguez, S. Vázquez López .....	28
<b>Recubrimientos e acabados superficiais con materiais de bioconstrución. A arxila e o cal.</b> L. Castro-Acevedo, M. Barreiro-Feijóo, J. Traba-Gómez .....	33
<b>Construción de vigas laminadas de madeira. Comparación coa madeira maciza.</b> D. Fraguas Nieto, A. Fernández Prado .....	40
<b>Sistema de medida versátil con microprograma para a adquisición automática de datos en experimentos de bioconstrución.</b> M. Conde Abad, I. Duro Álvares, P. Rodríguez Mateo .....	47
<b>Estudio del recurso eólico en la costa gallega.</b> N. Gómez de Castro .....	56
<b>Instalación dun panel solar no IES As Lagoas e validación das súas medidas.</b> C. Cachaldora, D. Ventura, A. Martínez .....	63
<b>Energía de las olas: Generador undimotriz.</b> A. Rodríguez, J. Pérez, J. Fidalgo, P. Araújo .....	71



# Estudo teórico e deseño dunha construción bioclimática: O marco de referencia

S. Díaz Vilela\*, M. Ángel Fernández, A. Gil Pereiras

\*santidv@edu.xunta.gal

IES As Lagoas, Rúa Blanco Amor, 2, 32004 Ourense, España

## RESUMEN

Dentro do marco de referencia da bioconstrución, o traballo divídese en dúas fases principais: a) un proxecto de gran grupo; b) un conxunto de microproxectos a realizar por un número pequeno de alumnos (non maior de 4). No primeiro caso trátase do deseño e planificación dunha pequena construción bioclimática dun só espazo. No caso dos microproxectos, vanse analizar casos concretos como a análise térmica, o comportamento fronte a radio frecuencias, así como a resistencia dos materiais á carga e á erosión por parte dos axente atmosféricos.

*Palabras Clave:* bioconstrución, Passivhaus, microproxectos.

---

## 1. Introducción

Entendemos a bioconstrución coma unha disciplina que busca a harmonía das construcións coa natureza. Así, dáselle especial importancia á simpleza e adecuación á contorna en contraposición a grandes moles estruturais.

Porén, a bioconstrución ten como principios fundamentais o estudo previo da contorna natural para lograr minimizar o impacto ambiental na zona, así como o emprego de enerxías renovables e materiais autóctonos e de baixo contido enerxético nas súas estruturas (Heyman, 2001). Deste xeito, considérase fundamental o uso de materiais naturais, reciclables e reutilizables para acadar unha pegada de carbono que sexa practicamente nula (Minke, 2010; Ghoreishi Karimi, 2011; Soriano, 2011; Rijven, 2017).

A bioconstrucción ten unha serie de principios, como:

(a) Emprego de formas xeométricas presentes na natureza, tomando como referencia elementos presentes na contorna para así acadar unha maior harmonía co entorno. Neste senso, a bioconstrución aposta por formas liñas, ondas e formas xeométricas que encaixan de forma natural na contorna.

(b) Crear espazos sans e personalizados. Cada proxecto é unha oportunidade única de integrar unha edificación na contorna, respondendo de forma persoal ás necesidades da familia para a que se vai a realizar o proxecto. Aínda que respondendo aos mesmos principios xerais, non é o mesmo unha vivenda deseñada para unha parella de idade avanzada que para unha familia con nenos pequenos.

(c) Redución dos niveis de ondas electromagnéticas. Na actualidade, o ser humano vive nun ambiente onde esta permanentemente exposto á radiación electromagnética, xa sexa no seu traballo, nun centro comercial ou mesmo na escola. Polo tanto, un dos

factores para ter en conta á hora de levar a cabo un proxecto é limitar a presenza de ondas electromagnéticas e a súa influencia na vivenda. Así, buscarase situar a construción nun lugar coa menor influencia posible de ondas, o que pode acadarse tanto situando a vivenda nunha contorna libre de radiación como buscando materiais que a absorban.

(d) Integración do edificio na contorna. Ademais da procura de formas xeométricas presentes na natureza, o deseño debe adecuarse co resto de vivendas que xa existen na área.

(e) Reducir a pegada de carbono. Isto debe facerse a tódolos niveis, desde a eficiencia enerxética ata á diminución do emprego do coche, polo que a localización tamén conta cun papel preponderante.

## 2. O marco de referencia

O traballo consiste no estudo dun sistema, módulo ou edificación realizada baixo criterios de bioconstrución; é dicir, respectando o medio ambiente e as persoas que residen na vivenda. En resumo: aforro de enerxía na vivenda e no proceso construtivo, emprego de materias axeitadas dende o punto de vista medioambiental e no referente á saúde das persoas, creación de ambientes interiores axeitados (con condicións axeitadas de luz, humidade e temperatura), respecto e uso eficiente dos recursos (auga, reciclaxe...), e respectar os demais principios da bioconstrución.

Por tanto, primeiro deben estudarse os principios básicos, os distintos materiais, os sistemas construtivos e o bioclimatismo básico, que permitan posteriormente deseñar e logo construír unha edificación onde se poida analizar o funcionamento e idoneidade do deseño e enfoques iniciais.

Os principais obxectivos son:

- Fomentar nos alumnos a sensibilidade real coas tendencias de futuro nos ámbitos ambientais e en consonancia co que se está a traballar nos países máis avanzados.
- Achegar os conceptos de bioconstrución e bioclimatismo ós estudos ordinarios.
- Realizar unha posta en práctica dos conceptos a través dunha experiencia real e completa.
- Desenrolar proxectos científicos para determinar a idoneidade das solucións propostas, e fomentar a súa análise crítica.

## 3. Fases do proxecto

Debe terse en conta que o proxecto comezou no curso 2019-2020 co conseguinte parón debido á pandemia da COVID- 19 polo que non foi posible realizar a construción práctica onde os alumnos farían os seus traballos de investigación. Polo tanto, tomouse a decisión de mantela latente ata que as circunstancias permitan retomar o traballo. Pero, lóxicamente, houbo que xerar un marco para que os alumnos realizaran os seus proxectos de investigación que se acadou cambiando as propostas iniciais.

Tendo isto en conta, o traballo divídese en dúas fases principais:

a) Proxecto de gran grupo.

Este proxecto consiste nun deseño e planificación dunha pequena construción bioclimática dun só espazo. Nun primeiro momento farase un estudo dos materiais e sistemas construtivos susceptibles de seren empregados na construción. Analizaranse as construcións existentes como exemplo e inspiración para o traballo. Realizarase o proxecto técnico cos planos, cálculos, vistas, etc. que sexan necesarios. Mercaranse os materiais cos que se fará a obra e pasarase á súa execución.

A edificación bioclimática construída vai servir de base para a realización das

experiencias de estudo: os microproxectos ( $\mu$ Proxectos), e futuros proxectos de investigación. Algúns deles expóñense no punto seguinte, que se pretenden desenvolver a través da propia materia de afondamento. Unha das potencialidades indubidables do proxecto é que permite dar continuidade aos contidos científicos do bacharelato de excelencia incorporando cada ano novas propostas e experiencias, sen prexuízo de repetilas se así se considera con novas formulacións e ante as sucesivas promocións de alumnado. A outra posibilidade é que a bioconstrución, como instalación consolidada, pasa a converterse nun obradoiro de experimentación científica que facilite experiencias prácticas adaptadas a tódolos niveis das ensinanzas académicas do Instituto.

- Análise térmico dun cerramento. Estudo da transmisión da calor, desfase térmico e inercia térmica nos distintos materiais que conforman o muro.
- Estudo do comportamento ante Radio Frecuencias dos materiais de construción. Posibilidades de aplicación práctica.
- Os bloques na construción. Estudo e análise da súa capacidade de carga e resistencia á erosión atmosférica en función da súa composición.
- Standard "Passivhaus". Modelado dun sistema de casa pasiva, e análise do seu comportamento.

Esta división en pequenos proxectos foi o resultado do plan de continxencia para adaptarse á nova realidade asociada á pandemia.

b) Microproxectos, a realizar en pequenos grupos.

Na figura 1 amósase o esquema idealizado de temporización ao longo de bacharelato.

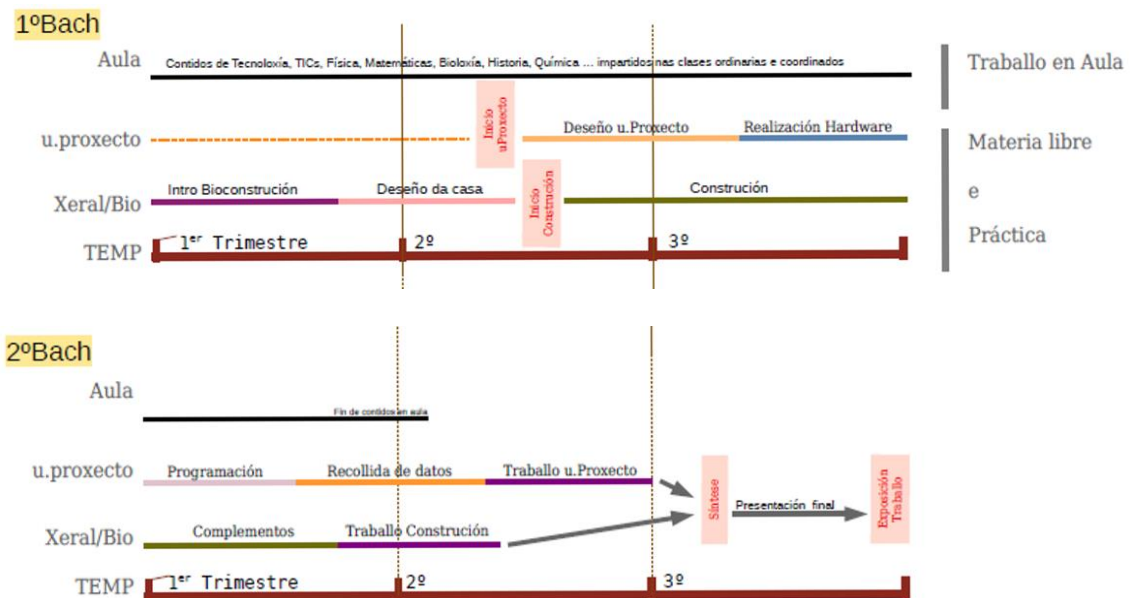


Figura 1. Esquema de temporización ao longo do bacharelato.

#### 4. Elección de materiais e localización

Neste apartado vaise facer un estudo de materiais para acadar as condicións axeitadas de humidade e temperatura tendo en conta tamén o emprazamento.

##### 4.1. Requisitos previos para a elección de materiais.

Hai unha serie de requisitos mínimos que aparecen resumidos na seguinte

táboa. Nela, faise unha comparación entre unha vivenda que segue os parámetros de bioconstrución cunha vivenda convencional onde ningún deses parámetros son fundamentais. Estes requisitos van determinar o tipo de materiais que poden ou non ser utilizados nunha vivenda que segue os principios da bioconstrución.

Elemento	Vivenda convencional	Bioconstrución
Terreo emprazamento	Calquera lugar	Elección e orientación solar
Desfeitos de obra	Plásticos e entullos, materiais tóxicos, vertedoiros especiais	Reutilización de elementos
Cimentación e soleira	Lousa de formigón armado, cemento gris con cinsas dubidasas, fosfatos	Bioformigón con cal, pouco armado e fibras sintéticas
Estrutura vertical	Pilares de formigón armado con compoñentes dubidosos	Muros de carga de ladrillo macizo, termo-arxila, adobe, tapial, cachotaría de pedra natural
Estrutura horizontal en forxados e cubertas	Lousa de formigón armado, bovedillas de formigón...	Vigas de madeira fixadas a zunchos de madeira
Illamento térmico e acústico	Grosos escaso ó límite legal, escumas de poliuretano, fibra de vidro, fibra de rocha, poliespán ...	Espesores grosos para aforro enerxético, con materiais naturais. Fibra de cáñamo, cortiza, celulosa, fibras de madeira...
Carpintería	Ventás e portas de PVC, madeiras tropicais de talas non controladas	Ventás, portas e invernadoiros apegados, madeiras do país ou europea FSC
Calefacción	Gasóleo e gas. Non renovables	Arquitectura bioclimática, calefacción adicional con biomasa, muro radiante, colectores solares

Táboa. 2. Resumo dos requisitos asociados a unha bioconstrución comparados cos requisitos dunha vivenda convencional.

##### 4.2. Sistema construtivo.

Despois da análise comparativa dos principais sistemas construtivos decidiuse empregar estrutura de bloque de cal e terra da marca Cannabric (Cannabric, <http://www.cannabric.com>). As características relevantes deste bloque son: axeitado para muro de carga monocapa, composto de cáñamo con

alta retención de CO<sub>2</sub>, resistencia a ser atacado por parasitos, protección adecuada fronte ao frío e ao calor con boas propiedades illantes e de inercia térmica, e creación de espazos interiores confortables e saudables.

Por outra banda, para completar a envolvente do edificio decidiuse usar lousa de formigón na cimentación e unha cuberta verde.

#### 4.3. Localización e orientación.

Realizouse un estudo preliminar do chan dispoñible no IES As Lagoas. Nese estudo tívose en conta en primeiro lugar a resistencia ás cargas da construción.

Avaliouse tamén o sombreamento e insolación ó longo de todo o ano. Os posibles lugares para albergar a construción son os sinalados na Figura 2a cun polígono amarelo.

A orientación foi determinada tras aplicar a carta solar sobre o terreo da construción (Fig. 2b). Decídese

maximizar a captación solar e a relación volume construído.

Conclusións:

- Planta rectangular. Case forma de maior eficiencia enerxética na relación volume construído-superficie perda calor.
- Orientación do alzado sur perpendicular á sombra do mediodía, para favorecer no inverno a máxima captación solar desde a saída do sol.
- Proporción de lados 1,4 (6,82 m: 4,82 m), próxima ao rectángulo solar.

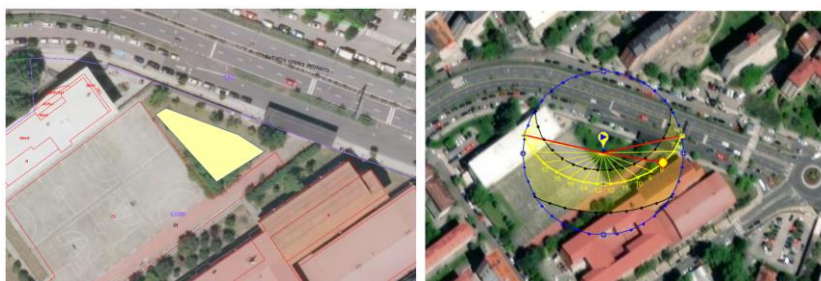


Figura 2. a) Posibles localizacións. b) Aplicación da carta solar sobre o terreo de construción.

#### 4.4. Humidade.

A humidade ambiental incide significativamente no grao de confort das estancias. Así, unha alta humidade en ambientes fríos, produce unha sensación de máis frío, e con temperaturas elevadas fai que ambiente sexa aínda mais abafante. Pola contra aire moi seco pode causar irritación da pel. A zona de confort atópase entre 40% e 60% de humidade relativa. Para controlar a humidade no deseño vanse usar solucións pasivas. Estudáronse os materiais en función do seu grao de higroscopicidade e difusión do vapor de auga. Ademais, a correcta elección dos materiais das paredes, evitará a proliferación de esporas tóxicas de fungos, o efecto das paredes frías, incidirá no aforro en calefacción por perdas por evaporación, evitará cheiros desagradables, impedirá a proliferación de insectos, bacterias e ácaros, e por

último evitará a degradación dos materiais de construción por posibles condensacións.

Os materiais que cumpren esta función axeitadamente son a madeira, fibras naturais, arxila, barro e cal.

Utilizaranse para a parte interior do cerramento os bloques de canabric. Posúen características de regulación da humidade ambiental (absorción de auga 0,41 g/cm<sup>2</sup>-5 minutos UNE-EN 772-11/2001) e difusión de vapor.

#### 4.5. Illamento térmico. Materiais.

Analizáronse os materiais illantes desde os criterios de balance medioambiental (consumo mínimo de enerxía no seu proceso de fabricación e facilidade de reciclaxe, enerxía primaria e efecto invernadoiro), durabilidade (en función da humidade, axentes biolóxicos, etc), utilización (lugar da vivenda onde se van instalar), características illantes



(coeficiente de condutividade térmica  $\lambda$  [W/mK], capacidade higroscópica (absorber o exceso de auga e devolvelo ó ambiente cando se seca), resistencia á difusión do vapor de auga, resistencia ó lume, desfase térmico, custes económicos.

Estudouse a seguinte relación de illantes clasificados en función da súa procedencia:

- Illantes sintéticos
  - Polistireno expandido
  - Poliuretano
- Las minerais
  - La de vidro
  - La de rocha
- Illantes de orixe vexetal
  - Fibra de madeira
  - Guata de celulosa
  - Cortiza
  - La de cáñamo
  - Cañiza
  - La de liño
- Illantes de orixe animal
  - La de ovella

Do estudo de todos eles conclúese que ningún illante é superior ós demais en

todas as características. Con todo, decantámonos por dous xa que cumpren moi equilibradamente tódalas condicións: cortizas e fibras de madeira. As fibras de madeira fábrícanse a partir de desfeitos de serrado ou árbores de inferior calidade. É moi cómoda de traballar, presenta un desfase térmico elevado que favorece o illamento nos meses cálidos.

A cortiza, obtense da parte exterior das sobreiras. Non podrece e funciona ben con humidade. A produción é próxima (Portugal) e non se precisa de ningún aditivo, salvo a súa propia resina (suberina) e vapor de auga.

#### 4.5.1. Illamento no cerramento e inercia térmica.

Analizáronse dúas solucións básicas de illamento no cerramento: exterior ou interior (Fig. 3). En canto á cuberta, ó optar pola solución de cuberta verde vexetal, non hai outra opción que situar o illamento baixo dela.

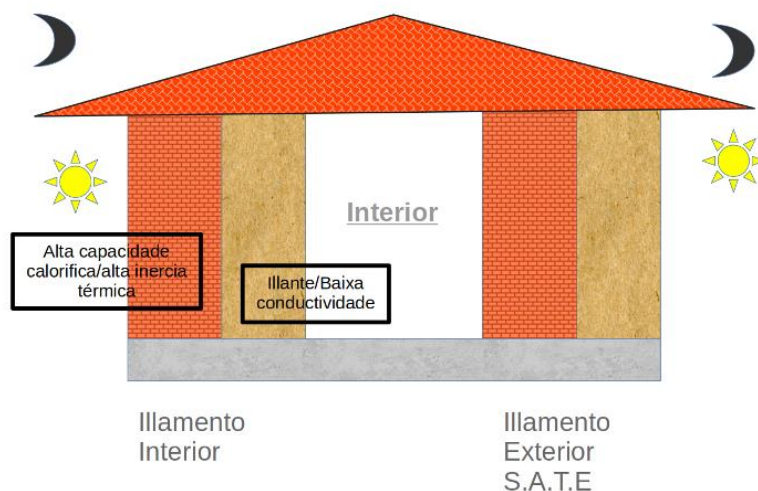


Figura 3. Illamento no cerramento.

Illamento interior. Non aproveita a masa térmica dos muros de carga ó quedar estes cara ó exterior, desaproveitamento das ganancias pasivas solares. Ten un arrefriamento rápido con dificultade para almacenar a enerxía solar. O

material con boa higroscopicidade non pode neste caso realizar a súa función de regulación da humidade. Pode ser interesante para un uso ocasional e esporádico das estancias xa que son fáciles de quentar. Tamén pode ser de

utilidade en dormitorios onde se permiten refrescar rapidamente en climas calorosos. Pode crear un efecto barraca (variacións rápidas de temperatura debidas á pouca inercia térmica).

Illamento exterior. É o máis axeitado para lugares ocupados permanentemente. Os materiais interiores con gran capacidade calorífica, como materiais cerámicos e arxilas, permiten almacenar enerxía térmica que máis adiante será soltada cando a fonte de calor non estea presente. Non alcanzan altas temperaturas superficiais. Permiten ter o muro que ademais dunha función estrutural tamén realiza a función de almacén de enerxía solar. O confort aumenta moito nas vivendas xa que non se sofre apenas variación errática de temperatura interior e permiten manter a temperatura do aire interior e da parede equilibrada, manténdonos dentro da área de benestar. Engadir que se evitan facilmente as pontes térmicas.

Polo tanto elixiuse o illamento exterior para maximizar a inercia térmica e acumulación de calor evitando as ponte térmicas. En resumo: reforzouse o illamento no exterior e a acumulación de calor no interior.

## 5. Conclusión

Tendo en conta a diferentes fases do proxecto mencionadas no apartado 3, no

presente manuscrito desenrolouse o chamado “*proxecto de gran grupo*”, que pon os fundamentos do deseño e planificación dunha pequena construción bioclimática.

Deste xeito, fíxose un estudo dos materiais e sistemas construtivos susceptibles de seren empregados na construción. Información adicional técnica relativa a diferentes partes da construción pódese ver no Anexo.

Como se mencionou anteriormente, a edificación bioclimática construída vai servir de base para a realización dos microproxectos.

## Referencias

- Cannabric. Ficha técnica <http://www.cannabric.com>.
- Ghoreishi Karimi, K. 2011. Ecomateriales y construcción sostenible. Escuela de Organización Industrial.
- Heyman, J. 2001. La ciencia de las estructuras. Instituto Juan de Herrera, ISBN: 84-95365-98-7
- Minke, G. 2010. Manual de construcción en tierra. Edición Ecohabitar ISBN 978-84-614-2405-4
- Rijven, T. 2017. Entre paja y tierra., Ecohabitar Visiones Sostenibles S.L: ISBN 978-84-94-946367-1-4.
- Soriano, M. Experiencias de construcción con residuos. Edición 2011 Ediciones Ecohabitar. ISBN 978-84-615-3466-1

## Anexo

### Sistema estrutural: Cimentación

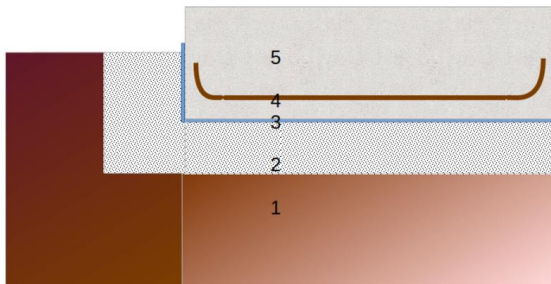


Figura A1. Cimentación: 1. Chan; 2. Grava; 3. Capa Polietileno 1mm antihumidade. 4. Mallado electrosoldado 5. Formigón.

### Encontro Soleira-Cerramento Vertical

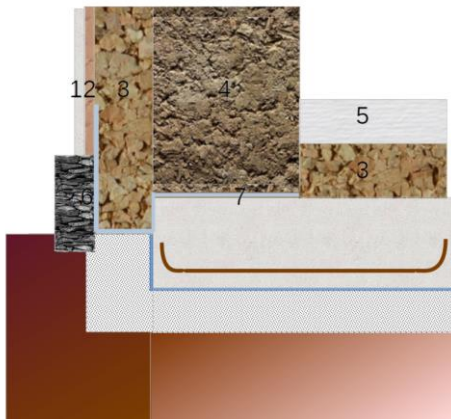


Figura A2. Encontro soleira- cerramento vertical. 1. Revoco de cal; 2. Taboleiro SATE; 3. Cortiza; 4. Cannabric; 5. Chan continuo, cal hidráulica; 6. Zócalo protección humidade de pedra; 7. Lámina EPDM.

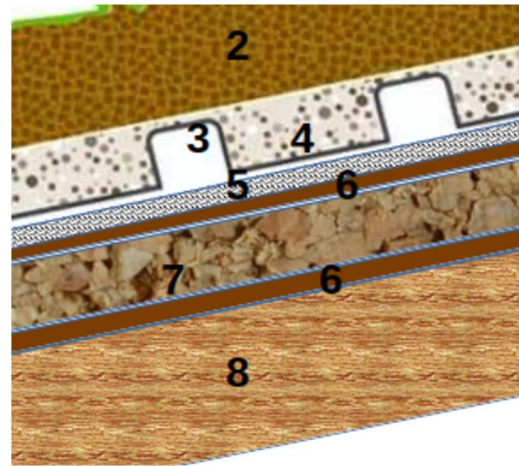


Figura A3. Cuberta verde. 1. Vexetación (verde); 2. Terra; 3. Lámina nodular drenante de PE; 4. Recheo grava e area; 5. Capa xeotéxtil de protección e impermeabilización; 6. Taboleiro de madeira OSB; 7. Cortiza; 8. Viga laminada estrutural.

# Estudio del comportamiento ante RadioFrecuencias de los materiales de construcción. Posibilidades de aplicación práctica

L. Álvarez Hereda, J. Novoa Suárez, C. Álvarez Álvarez

*IES As Lagoas, Rúa Blanco Amor, 2, 32004 Ourense, España*

## RESUMEN

Dentro del marco de referencia de los microproyectos se analizó la capacidad de aislamiento de diferentes materiales. Para ello se construyó un sistema con un emisor y un receptor, siendo el último situado en el interior de una jaula de Faraday aislada mediante los diferentes materiales estudiados

*Palabras Clave:* radiofrecuencias, generador, analizador de espectro, jaula de Faraday.

---

### 1. Introducción y objetivos

Las ondas son fenómenos físicos que no suelen despertar mucha atención en la población general. En este caso, las denominadas como ondas electromagnéticas son el foco de estudio, y en concreto, las radiofrecuencias hasta 1,5 GHz.

Se pretende realizar el análisis del comportamiento de distintos materiales de construcción ante emisiones de ondas caracterizadas por distintas frecuencias. La idea de trabajar en este campo surge de observar las magnitudes físicas que otros grupos de alumnos estaban estudiando. Así pues, si el calor se transmite de manera diferente según el medio en el que se halle, ¿ocurrirá lo mismo con las ondas?

Se parte de un objetivo base: obtener datos ilustrativos sobre la eficacia a la hora de proporcionar aislamiento de los distintos materiales a estudiar en relación a las ondas electromagnéticas. De esta manera se podrá elaborar una conclusión acerca de las características que debe poseer un material en este

caso de absorción y apantallamiento a radiofrecuencias.

### 2. Material y métodos

#### 2.1. Material

En primer lugar, se dispone de dos antenas, una receptora y una emisora, posicionadas de manera que queden la una en frente de la otra, para facilitar así la medición (Fig. 1). La primera, se encuentra en el interior de una caja de madera que, con anterioridad, se cubrió con papel de aluminio (Fig. 2) para aislar el interior. Esto es lo que se conoce como caja o jaula de Faraday, de forma que únicamente puedan entrar a la caja, y por consiguiente ser medidas por la antena, aquellas ondas que hallan penetrado en el material.

De esta forma, con un analizador de espectro se recopilan estas alteraciones para posteriormente exhibirlas, compararlas entre ellas y concluir cuál de los materiales utilizados es el que presenta mejores características de aislamiento. La Fig. 1 muestra un esquema del montaje experimental.

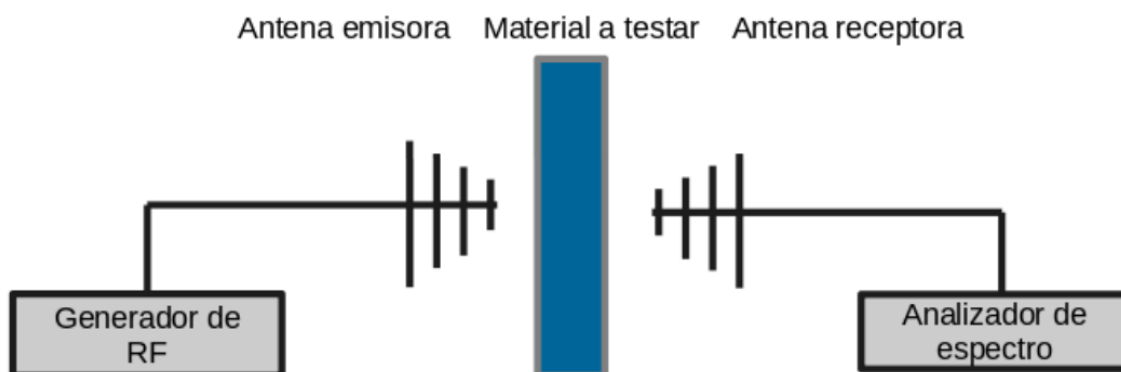


Figura 1. Esquema del montaje experimental.



Figura 2. Jaula de Faraday

Un analizador de espectro (Fig. 3) es un equipo de medición electrónica que permite visualizar en una pantalla los componentes espectrales en un espectro de frecuencias de las señales presentes, pudiendo analizar la frecuencia y la amplitud de las ondas electromagnéticas. En el eje de ordenadas suele presentarse

en una escala logarítmica el nivel en dBm del contenido espectral de la señal. En el eje de abscisas se representa la frecuencia, en una escala que es función de la separación temporal y el número de muestras capturadas. Se denomina frecuencia central del analizador a la correspondiente con la frecuencia en el punto medio de la pantalla.

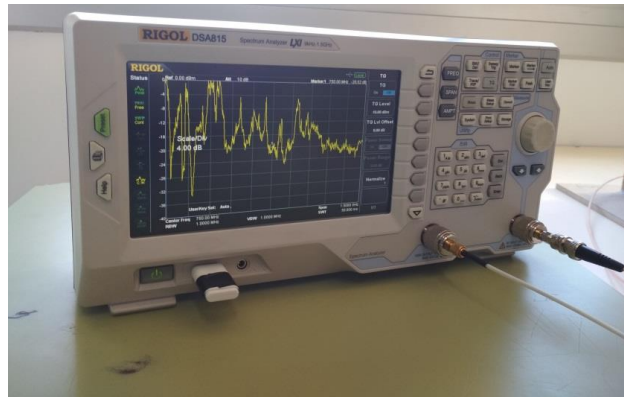


Figura 3. Analizador de espectro.

## 2.2. Procedimiento de medida

Inicialmente se enciende la máquina y se calibra de la siguiente manera:

- Primeramente se conectan las antenas y se unen al generador de señal-analizador de espectro mediante cables coaxiales y adaptadores BNC-SMA.
- Se establece la frecuencia de inicio a 100MHz y la de finalización en 1500MHz: estas definen el intervalo o ancho banda en el cual se realizará la medición.
- Sin material delante de la caja, se aplica una normalización a la escala a 0dBm
- Se coloca el material a analizar delante de la abertura.
- Se ajusta la amplitud de la escala en función del rango de medida.
- Se toman capturas y se analizan los resultados obtenidos.

## 2.3. Listado de materiales

En el montaje experimental se consideraron diferentes materiales como:

- Poliestireno expandido: El poliestireno expandido (EPS, del inglés expanded polystyrene) es un material plástico espumado, derivado del poliestireno. Tiene diversos usos tales como el producir envases, aditamentos de construcción o tablas de surf accesibles de bajo costo.

- Fibra de madera: plancha de madera OSB de 10mm de grosor
- Lana de vidrio: La lana de vidrio es una fibra mineral fabricada con millones de filamentos de vidrio unidos con un aglutinante. El espacio libre con aire atrapado entre las fibras aumentan la resistencia a la transmisión de calor.
- Plancha de corcho: aglomerado de corcho natural expandido
- Termo arcilla: bloques de cerámica aligerada.
- Aislante reflexivo.

## 2.4. Construcción

Para fabricar EL PROTOTIPO de jaula de Faraday se comenzó con una estructura hecha a partir de planchas de madera fijada a una base. Posteriormente se recubrió el interior de la caja con papel de aluminio para conferirle un carácter aislante. Para una mayor fiabilidad y estabilidad se sellaron los resquicios de la misma con polisiloxano.

Para realizar las mediciones se introdujo la antena receptora en el interior de la caja que se fabricó. Para la antena emisora se utilizó un mecanismo similar y se situó en frente a la otra pero en el exterior de la caja, de manera que los materiales a estudiar serían colocados entre ellas y servirían de obstáculo al avance de las ondas generadas.

### 3. Fundamento teórico

#### 3.1. Radiación electromagnética

La radiación es la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o de un medio material (Vaz, 2015).

A diferencia de otros tipos de onda, como el sonido, las cuales necesitaran un medio material para propagarse, la radiación electromagnética se puede propagar en el vacío.

Las ondas electromagnéticas pueden ser generadas por distintas fuentes como son: cargas aceleradas, dipolos oscilantes o corrientes variables en distintos tipos de antenas, entre otras. La forma de las ondas electromagnéticas depende de la fuente que las genera y de la distancia recorrida por las mismas.

En función de la frecuencia, las ondas electromagnéticas pueden no atravesar medios conductores. Esta es la razón por la cual las transmisiones de radio no funcionan bajo el mar y los teléfonos móviles se queden sin cobertura dentro de una caja de metal. Sin embargo, como la energía no se crea ni se destruye, cuando una onda electromagnética choca con un conductor pueden suceder dos cosas. La primera es que se transformen en calor: este efecto tiene aplicación en los hornos de microondas. La segunda es que se reflejen en la superficie del conductor (como en un espejo).

#### 3.2. Funcionamiento de una antena

Cuando una radiación electromagnética incide en un conductor eléctrico, hace que los electrones de su superficie oscilen, generándose de esta forma una corriente alterna cuya frecuencia es la misma que la de la radiación incidente. Este efecto se usa en las antenas, que pueden actuar como emisores o

receptores de radiación electromagnética.

#### 3.3. Propagación de ondas en materiales

Cada material se comporta de forma diferente atendiendo a las siguientes magnitudes básicas:

- Permitividad ( $\epsilon$ ). Llamada también constante dieléctrica, es una constante física que describe cómo un campo eléctrico afecta y es afectado por un medio. Así, el medio puede estar entre dos estados límite: dieléctrico perfecto y conductor ideal.

- Permeabilidad magnética ( $\mu$ ): Es la capacidad de una sustancia o medio para atraer y hacer pasar a través de ella campos magnéticos, la cual está dada por la relación entre la inducción magnética existente y la intensidad de campo magnético que aparece en el interior de dicho material. A partir de esta propiedad el medio se considera ferromagnético, diamagnético o paramagnético.

- Conductividad eléctrica ( $\sigma$ ): Es la medida de la capacidad de un material o sustancia para dejar pasar la corriente eléctrica a través de él. A partir de esta propiedad el medio se puede considerar conductor, semiconductor o aislante.

Estos parámetros son magnitudes complejas y son función de la frecuencia ( $f$ ), orientación, estructura del material, temperatura, presión, etc. (Lomba Vaz et al., 2013)

### 4. Resultados

La Tabla I evidencia el comportamiento tanto aislante, como no aislante de los materiales estudiados. Algunos apantallan o reflejan mejor las radiaciones de altas frecuencias, otros a bajas frecuencias, mientras que otros no afectan significativamente a la radiación incidente.

<b>Comportamiento</b>	<b>Materiales</b>
No afectan significativamente:	Lana de vidrio Fibra de madera Poliestireno expandido
Afectan a altas frecuencias:	Aislante Reflexivo
Afectan a bajas frecuencias:	Láminas de corcho Termoarcilla Plancha de madera

Tabla I. Análisis del comportamiento de diferentes materiales

## 5. Conclusiones

En primer lugar mencionar que las ondas de RF que llegan al interior de la vivienda son debidas a la parte no reflejada en la frontera exterior y a la parte no absorbida en el interior del material.

En materiales con una alta conductividad (metales, láminas de apantallamiento, etc) se produce una muy alta reflexión tanto en la superficie como internamente, debido a que las corrientes inducidas poseen un factor muy grande de amortiguamiento y por lo tanto absorción.

Los materiales derivados de la tierra y con un espesor adecuado poseen una elevada capacidad de absorción cuando aumenta la frecuencia hacia el entorno de las microondas. Su reflexión es limitada, así como su absorción en frecuencias más bajas, casos en los que no pueden reducir drásticamente la radiación.

Destacar que al aumentar la frecuencia de las ondas aumenta la absorción en los materiales masivos.

Primeramente destacar que si se desean obtener grandes reflexiones, se necesitan materiales metálicos o laminas o pinturas de apantallamiento muy conductoras como las que existen en el mercado. El problema de las soluciones metálicas, es que cumplen

muy mal otros criterios de bioconstrucción y además reflejarían también cualquier radiación que se produzca en el interior de la vivienda un numero muy grande de veces, y provocarían un efecto contrario al buscado. Esta solución puede ser necesaria en el caso de personas electrosensibles, atendiendo también a los elementos eléctricos radiantes que quedan en el interior y cuidando el diseño global. Por norma general se descartaría esta propuesta.

Puede ser útil construir con sistemas constructivos y materiales compactos y masivos derivados de la tierra, primeramente con altos contenidos en arcillas. Tambien es interesante que al aumentar la frecuencia funcionen mejor, ya que el espectro de comunicaciones continúa creciendo hacia bandas de mayor frecuencia. De nuevo no existe una solución idónea, que no puede lograrse sin considerar la casa en su totalidad y su forma de vida. Recordar que una puerta abierta anula prácticamente todas las ventajas. También hay que descartar los sistemas constructivos basados en la madera por norma general, lo cual puede ser problemático en zonas con mucha madera.



Como conclusión general, es poco realista supeditar toda la práctica constructiva con el fin de paliar los efectos de la contaminación electromagnética. Como alternativa, desde la bioconstrucción debería existir una implicación social para reducir la contaminación por RF.

## Referencias

- Lomba Vaz, A., Carrera Martínez, M. y Carpintero Rodríguez, V. Electrotecnia. 2013. 2º de bachillerato. Bachillerato a distancia. Ed. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Área de Educación. ISBN. 9788436954951.
- Vaz, P. 2015. El fascinante mundo de la Física: Un viaje a través de las leyes y conceptos de la Física clásica y moderna. ISBN. 9781517614072.

# Deseño e construción dun pozo canadense dentro dun sistema de casa pasiva

A. Anta Gil, Á. Gómez Parada, A. Moncho Diéguez  
y E. Rio González  
*IES As Lagoas, Rúa Blanco Amor, 2, 32004 Ourense, España*

## RESUMO

Dentro do marco de referencia dos microproxectos vaise deseñar a construír un pozo canadense co obxectivo de acadar un sistema de regulación da temperatura da vivenda cun custo enerxético practicamente nulo.

*Palabras Clave:* pozo canadense, climatización, casa pasiva.

---

### 1. Introducción e obxectivos

Unha Passive House ou Passivhaus (Feist, 2014; Wassouf, 2014) é un tipo de edificación de moi alta eficiencia enerxética que presenta un baixo consumo enerxético, ou mesmo nulo, e que garante un excelente confort. Para construír unha Passive House hai que ter en conta os seguintes criterios:

- Gran illamento térmico. Optimízase a envolvente térmica mediante un bo illamento que será beneficioso tanto no inverno coma no verán. As fachadas ou paredes exteriores, así como as cubertas e os pisos ou forxados exteriores deben ter unha baixa transmitancia térmica (U).
- Ventás e portas de altas prestacións. Os ocos (carpinterías e vidros) son o punto feble da envolvente, polo que se debe pór moita atención nas súas características no momento de desenvolver o proxecto, mesmo na súa correcta colocación durante a obra, así como nas súas proteccións solares.
- Ausencia de pontes térmicas. A transmisión de enerxía dáse continuamente por toda a envolvente:

fachadas, cubertas e pisos, e tamén se da nas esquinas, eixos, xuntas, etc. Por todo isto é fundamental analizar cada detalle da envolvente para garantir a súa correcta construción.

- Hermeticidade do aire. A envolvente é o máis hermética posible coidando ao máximo a execución das xuntas durante a construción, ensaiándose co denominado Blower Door, un test para garantir a correcta execución da envolvente hermética e a súa eficiencia.
- Ventilación mecánica con recuperación de calor. Requírese unha ventilación mecánica con recuperación da calor para poder reaproveitar a temperatura do aire interior e prequentar ou arrefriar o aire limpo que entra do exterior antes de expulsar o aire viciado do interior ao exterior.

Neste microproxecto, e dentro do marco de referencia das casas pasivas, vaise construír un sinxelo sistema de climatización xeotérmica coñecido como pozo canadense.

## 2. Os pozos canadenses

Os pozos canadenses, tamén coñecidos como provenzais polo seu uso na rexión francesa da Provenza, son sinxelos sistemas de climatización xeotérmica. Están formados por redes de tubaxes asentadas no subsolo exterior das vivendas, conectadas a elas e que traballan baixo o principio de inercia térmica para axustar a temperatura do aire que se emprega na vivenda. Este sistema non consome enerxía eléctrica polo que, tras a súa instalación, a climatización da casa será máis económica.

A inercia térmica emprégase na construción para conservar a temperatura do interior das estancias durante o día. Os muros quéntanse polo día e pola noite ceden calor á estancia. No verán absorben a calor a través dun sistema de ventilación e pola noite arrefrían cun sistema de características similares.

No caso dos pozos canadenses, a temperatura da superficie presenta unha diferenza coa do ambiente. Esta diferenza acentúase e mantense estable aproximadamente aos dous metros de profundidade, onde a temperatura adoita manterse estable entre os 18°C e os 24°C. Dependendo do lugar xeográfico e as condicións do clima, as temperaturas acentúase de distinto modo. Esta temperatura coñécese como temperatura media e se é agradable será adecuado conectalo co edificio e coa terra. A 15 metros de profundidade a temperatura é constante ao longo de todo o ano.

O principio de funcionamento é simple. Cando se toma a temperatura na superficie, hai unha diferenza de temperaturas (amplitude térmica), que dependerá do lugar xeográfico e condicións particulares que definan o clima do lugar.

Por outro lado, cando se considera a temperatura do solo a distintas

profundidades, pódese observar que a unha determinada profundidade, arredor dos dous metros, a temperatura permanece constante ao longo do ano, e ademais dita temperatura corresponde á temperatura media do lugar. Se esta temperatura media é agradable, entón resultará adecuado “conectar” a nosa casa coa terra.

O pozo canadense consiste nunha serie de tubos, colocados á profundidade desexada, que percorren unha determinada cantidade de metros por debaixo da terra, polos que circula aire, permitindo que se produza un intercambio de calor, entre o aire que circula e a terra que o rodea.

A calor móvese dende os corpos máis quentes aos máis fríos. En inverno, o aire exterior está máis frío. A temperatura a dous metros de profundidade é maior que a temperatura na superficie, polo tanto, ao circular aire frío, polos tubos, a terra cede calor e quenta o que chegará á casa permitindo desta forma calefactar a vivenda.

Pola contra, no verán a temperatura do aire é maior que a temperatura media (a dous metros de profundidade), polo que ao circular aire polos tubos, cederá calor e chegará á casa con varios graos menos, refrixerando así o ambiente.

En conclusión, os pozos canadenses constitúen unha tecnoloxía natural de baixo custo para climatizar as casas aforrando enerxía.

Na Fig. 1 pode verse un esquema simplificado do funcionamento dun pozo canadense. No primeiro caso particular, que corresponde ao verán, o aire exterior, que está a unha temperatura superior aos 30°C graos, vai diminuindo a temperatura ata acadar o entorno dos 25°C tras atravesar o solo a una profundidade de aproximadamente 2 metros. Algo similar sucede na segunda imaxe que corresponde a unha situación invernal (ou tamén nocturna nalgúns casos), onde a temperatura exterior é moito

menor que a temperatura do solo que é practicamente constante ao longo do ano. Así, cando a aire frío do exterior circula polas tubaxes que están

soterradas a súa temperatura vai aumentando. A única enerxía necesaria en calquera dos dous casos é a que se utiliza para impulsar o aire.

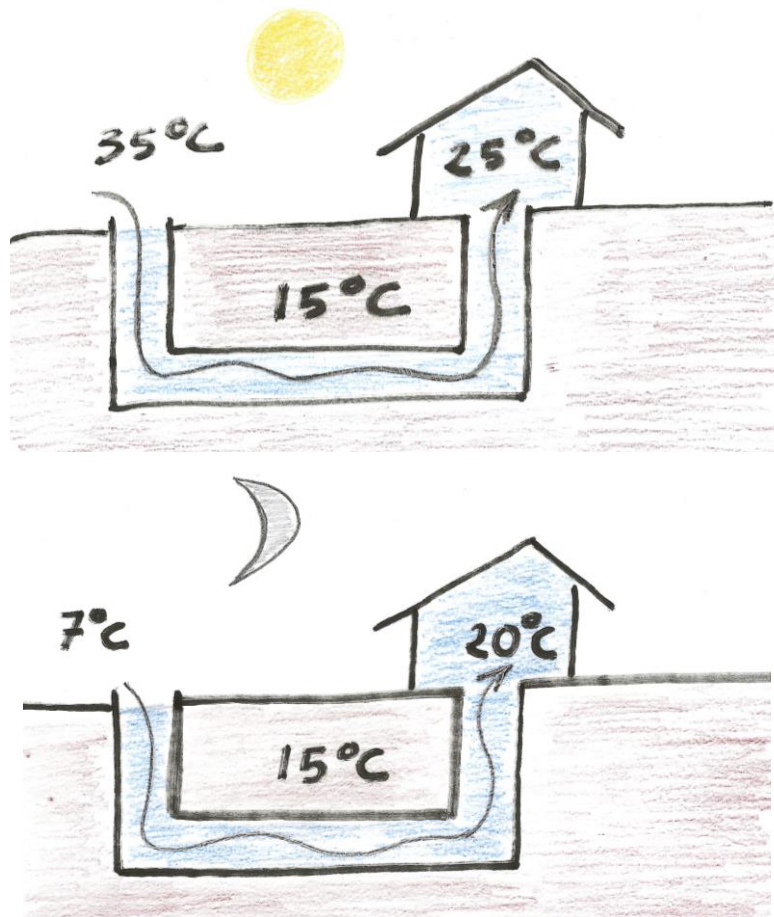


Figura 1. Esquema do funcionamento dun pozo canadense no verán (arriba) e no inverno (abaixo). (esquemas baseados no deseño de <https://ecoinventos.com/pozos-canadienses/> na revista *Ecoinventos*, 2022)

Hai lugares onde son máis efectivos en inverno e outros onde son máis efectivos no verán.

O aire que se acumula nas tubaxes soterradas encóntrase máis frío que o aire da casa no verán, pero máis quente no inverno. Sen ningún consumo eléctrico, un intercambio de calor que pode aproveitarse para quentar en inverno e refrixerar no verán.

O máis efectivo e económico é instalar o pozo canadense durante a construción da vivenda, xa que a instalación posterior pode resultar cara. Este sistema reduce de maneira significativa

a demanda enerxética. É unha estratexia bioclimática moi efectiva para mellorar a eficiencia enerxética dunha edificación.

### 3. Montaxe experimental

O montaxe experimental utilizado para a construción do pozo canadense e o sistema de medida asociado pode verse na Fig. 2. As diferentes partes do montaxe poden verse en máis detalle no Anexo (Figs. A1, A2, A3, A4, A5 e A6).

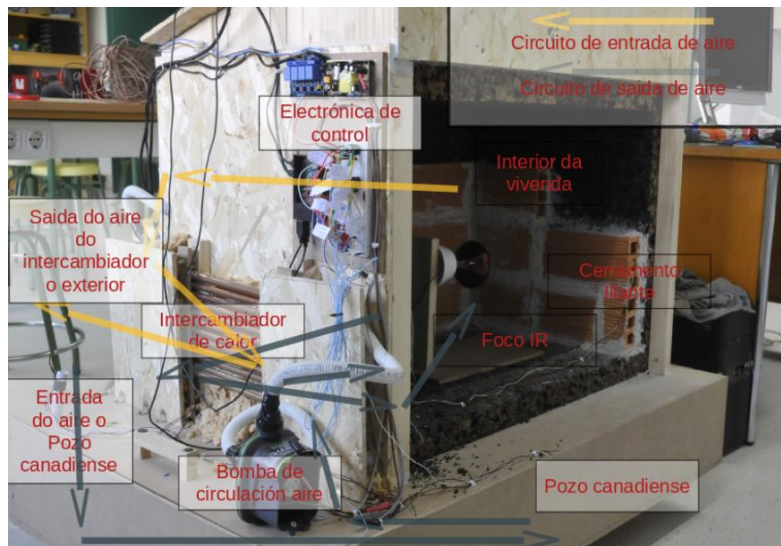


Figura 2. Montaxe experimental

### 3.1. Deseño do sistema de medida e control

Vanse describir de forma sinxela as distintas partes do sistema:

#### 3.1.1. Hardware

Situáronse varios sensores de temperatura en toda a estrutura, tanto interior como exterior, entradas e saídas; para medir a evolución da temperatura así como a influencia dos cambios de temperaturas, tanto do interior como do exterior.

Colocáronse doce sensores TMP 86, de forma que as conexións dos tres terminais de cada sensor (+V, output, GND) fosen independentes para evitar a influencia da temperatura dun sensor noutro, que se produciría se se unisen os dous terminais de alimentación (+V e GND) nas proximidades do sensor debido á alta condutividade térmica do cobre.

Para a toma de datos de temperatura na zona do illante escolleuse o TMP 86, que transforma o valor da temperatura nun sinal de voltaxe, de tal xeito que a 100°C da un sinal de 1V, e ten unha variación aproximada de  $-11\text{mV}/^\circ\text{C}$ .

#### 3.1.2. Selección de datos

Para seleccionar a información única que chega ao procesador Raspberry Pi en cada instante de entre os 12 sensores de temperatura hai que acudir a un sistema de dous multiplexores CI 408. Os 408 son multiplexores analóxicos de 8 entradas e unha saída, que estarán controlados con tres sinais de selección que sairán desde a Raspberry Pi.

As entradas de información que son 8 en cada multiplexor (S1..S8), veñen cada unha dun sensor de temperatura TMP 86, e será un sinal entre 0 e 2 V, segundo a temperatura.

As entradas de selección no multiplexor son os terminais 1 (A0), 15 (A1) e 16(A2) que van ir conectadas cos GPIO 17, 27 e 22 da Raspberry.

A saída de datos é o terminal 8 (D), que vai ao convertedor analóxico dixital ADS 1115.

Segundo a selección dixital enviada pola Raspberry polas sinais de selección (A2, A1 e A0), o multiplexor porá na súa saída (D) a información do sensor de temperatura escollido, un entre os conectados entre S1 e S8. Un esquema do funcionamento pode verse na Fig. 3

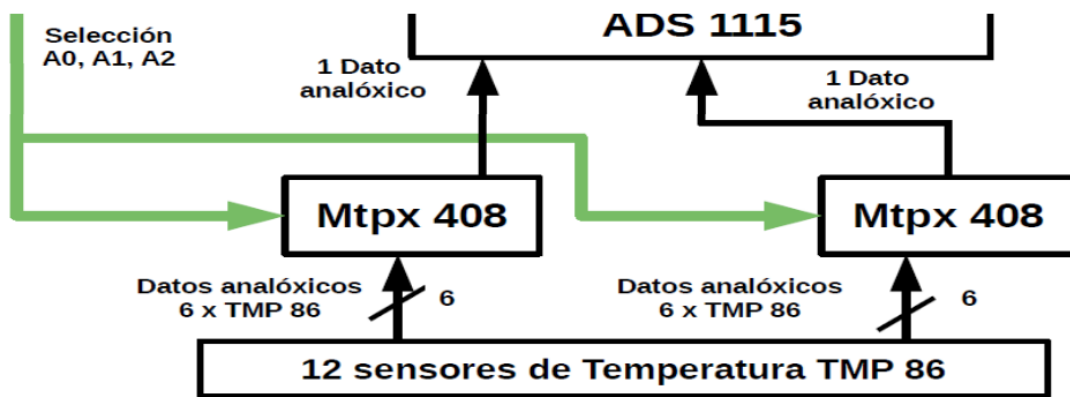


Figura 3. Esquema do sistema de medida

### 3.1.3. Conversor analóxico-dixital

O ADS 1115 transforma os datos analóxicos que recibe dos tres multiplexores (408), en dixitais e envíaos á Raspberry Pi para que os procese.

O ADS1115 proporciona unha precisión de 16 bits a 860 mostras por segundo. Ten catro canales de entrada, que se enlazan da seguinte maneira. A0 e A1 que recollen os datos que proceden do primeiro multiplexor 408, e A2 e A3 que recolle a información do segundo multiplexor. Trabállase con 5V que saen do controlador.

A placa ADS 1115, comunícase coa Raspberry cos terminais SCA / SDL co protocolo I2C, cos correspondentes da Raspberry, que son os GPIO 2 e GPIO 3.

### 3.1.4. Controladora

Raspberry Pi é a tarxeta controladora de todo o proceso de medidas, de actuadores e de almacenamento de datos. Ten unha capacidade de procesar toda a información que precisamos e de actuar sobre as entradas e saídas, o que fai que sexa a peza central do proceso. As súas funcións son diversas.

Proporciona a alimentación dos circuítos de lectura da temperatura (sensores TMP 86 ) e dos compoñentes

dixitais e analóxicos (multiplexor 408 e convesor AD 1115).

Recibe a información dos datos de temperatura do ADS 1115 polos terminais SCA / SDL co protocolo I2C, nos terminais GPIO 2 e GPIO 3.

Envía os sinais de control do multiplexor aos terminais 1 (A0), 15 (A1) e 16 (A2) que van ir conectados cos GPIO 17, 27 e 22 da Raspberry.

Envía os sinais dixitais de control (GPIO) para a lámpada que simulara a temperatura interior, á bomba de aire que intercambiará o calor interior do recinto e o exterior da terra.

### 3.1.5. Saídas de control

Os relés (Fig. 4) reciben os sinais dixitais de control da Raspberry para activar o funcionamento ou parada da lámpada interior e da bomba de aire.



Figura 4. Relés.

No seguinte esquema (Fig. 5) pode verse o sistema de medida e control

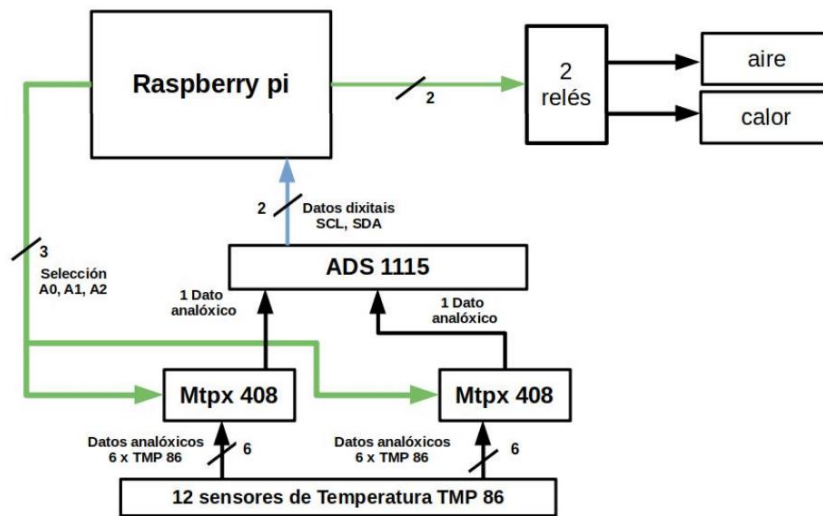


Figura 5. Sistema de control e medida

#### 4. Resumo

A falta de tempo non permitiu facer simulacións detalladas para comprobar o funcionamento da casa en distintas situacións, achegas de calor e formas de funcionamento.

O traballo realizado debe enfocarse principalmente no deseño do sistema que pode ser usado en anos seguintes tanto para realizar melloras construtivas coma para realizar simulacións de diferentes situacións.

#### Referencias

- Ecoinventos, 2022. Pozos canadienses: Tecnología natural de bajo coste para climatizar tu casa ahorrando energía. (<https://ecoinventos.com//pozos-canadienses/>)
- Feist, W, 2014. Active for more comfort: Passive House. Publisher International Passive House Association.
- Wassouf, M. 2014. De la casa pasiva al estándar Passivhaus: La arquitectura pasiva en climas cálidos. Ed. Gili. ISBN. 978-8425224522.

#### Anexo

A continuación móstranse imaxes de algunhas das partes don montaxe experimental.



Figura A1. Pozo canadiense



Figura A2. Achega de calor interior / Lámpada IR

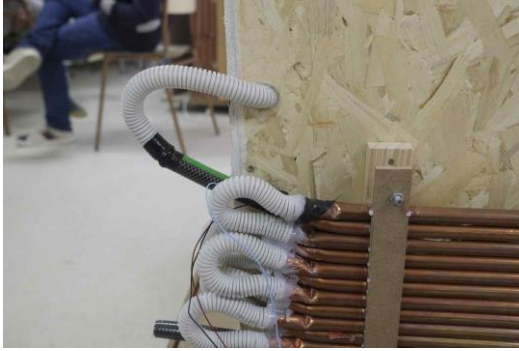


Figura A3. Intercambiador de calor Recuperador

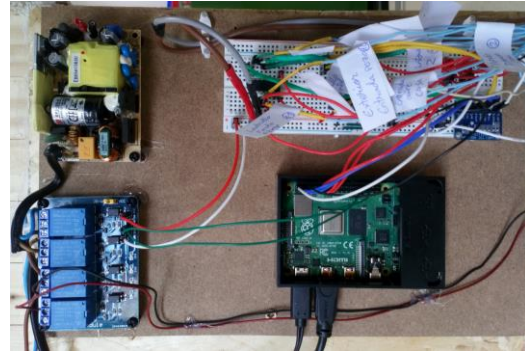


Figura A4. Electrónica de control



Figura A5. Bomba de ventilación forzada

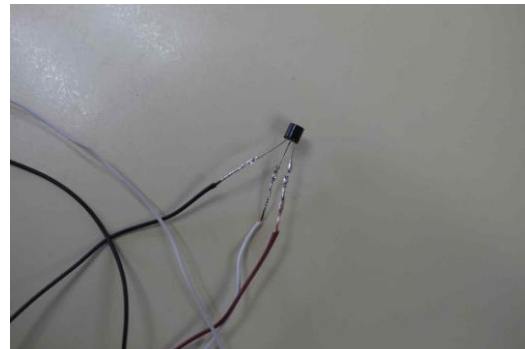


Figura A6. Sensores de temperatura



# **Análise térmico dun cerramento: Estudo da transmisión da calor, desfase térmico e inercia térmica nos distintos materiais que conforman o muro**

A. Cabada Feijoo, P. Pereira Muñiz, M. Rodríguez López y  
C. Taboada Delgado

*IES As Lagoas, Rúa Blanco Amor, 2, 32004 Ourense, España*

## RESUMO

Dentro do marco de referencia dos microproxectos vaise deseñar e construír un cerramento vertical co obxectivo de estudar as características térmicas dunha topoloxía construtiva. En particular, vaise considerar un sistema de illamento térmico exterior, construído con materiais propios da bioconstrución.

*Palabras Clave:* cerramento vertical, características térmicas, bioconstrución.

---

### 1. Introducción e obxectivos

Debido ós requirimentos cada vez máis esixentes de respecto ambiental, as envolventes das construcións cobran unha gran importancia. Neste senso, os cerramentos verticais son de vital importancia para lograr un illamento axeitado e uns requirimentos enerxéticos case nulos. Dentro deles os illamentos polo exterior coñecidos como SATE (Anfapa, 2021) destacan por dous motivos principais:

- Permiten engadir inercia térmica ó edificio e evitar moi facilmente as pontes térmicas.
- Son apropiados para novas construcións, e o que é máis interesante pódense aplicar ás xa existentes con relativa facilidade.

En canto á elección do cerramento, escolleuse muro de termoarxilla illado exteriormente con paneis de fibra de madeira e cortiza.

O obxectivo deste microproxecto é o estudo das características térmicas da

topoloxía construtiva escollida, que será válida tanto para nova construción como tamén para rehabilitación. Vaise considerar un sistema de illamento térmico polo exterior, construído con materiais propios da bioconstrución de uso común.

Polo tanto, o desenvolvemento deste microproxecto considerará as seguintes fases:

- Construción do cerramento.
- Deseño e realización do sistema hardware:
  - Sistema de captación e almacenaxe de datos.
  - Sistema de control de temperatura.
- Programación do software para o seu funcionamento.
- Posta a punto final e avaliación do sistema. Erros.
- Experiencia práctica. Simulación de condicións térmicas.

## 2. Descrición do cerramento

O cerramento construído é un muro de termoarxilla illado exteriormente con paneis de fibra de madeira e cortiza (Fig. 1).

O deseño consta das seguintes capas:

- Capa 1: Termoarxilla de 19cm unida con morteiro de cal hidráulica natural NHL5 en proporción 1:3. Dobre tendel separado 3cm para favorecer o rotura da ponte térmica.
- Capa 2: Triplo panelado de illante de fibra de madeira de 4cm a unidade (total 12cm)

- Capa 3: Panel de cortiza expandida de 5cm.



Figura 1. Sección do cerramento.

A seguinte táboa resume as principais características dos materiais empregados.

Material	e [m]	$\lambda$ [W/K·m]	$R = e / \lambda$ [m <sup>2</sup> ·K/W]
$Rs_i$	-	-	0,17
Capa 1: Termoarxilla	0,19	0,26	0,73
Capa 2: Fibras de madeira	0,12	0,040	3,00
Capa 3: Cortiza	0,05	0,040	1,25
$Rs_e$	-	-	0,04
Total	0,36	-	$R_t$ 5,19

Táboa I. Características dos materiais empregados. Onde e = Espesor do material [m];  $\lambda$  = Condutividade térmica do material [W/K·m];  $Rs_i$  = Resistencia térmica superficial interior, segundo norma.;  $Rs_e$  = Resistencia térmica superficial exterior, segundo norma;  $R_{1,...,N}$  é a resistencia térmica de cada capa calculada como  $R_i = e_i / \lambda_i$ . Finalmente, a resistencia térmica total calcúlase como  $R_t = Rs_e + R_1 + R_2 + R_3 + Rs_i$ .

## 3. Deseño do hardware

Situáronse varios sensores de temperatura ao longo do muro de arxila e do illamento para medir a evolución da temperatura ao ancho da parede, así como a influencia dos cambios de temperaturas do interior e do exterior.

Os sensores situáronse na parte central do muro, entre o interior do recinto e o exterior, cunha separación de 2cm. Colocáronse 10 sensores no muro de arxila e outros seis na parte do illante.

Utilizouse o sensor de temperatura LM35 na parte da arxila e o TMP 86 na parte do illante.

As conexións dos tres terminais de cada sensor (+V, output e GND) sacáronse

polo lateral de forma independente para evitar a influencia da temperatura dun sensor en outro, que se produciría se se unisen os dous terminais de alimentación (+V e GND) nas proximidades do sensor debido á alta condutividade térmica do cobre.

Haberá dous sensores na parte exterior do muro que recolleran a temperatura do aire exterior, que estará influenciado por un calefactor.

O sensor de temperatura LM 35 proporciona un voltaxe de saída que varía de forma lineal coa temperatura. Non necesita calibración, proporciona unha voltaxe de saída de 750 mV a 25 °C e varía de forma lineal 10mV/°C. O sensor LM 35 ten tres terminais, dous

de alimentación (5V e GND) e unha de saída de información en voltios (encapsulada en formato TO-92). No controlador haberá que pasar esta información a graos centígrados sabendo que a 25°C da un resultado de 0,25V e varía 10mV con cada grao centígrado de aumento ou baixada de temperatura. Para a toma de datos de temperatura na zona do illante escolleuse o TMP 86, que transforma o valor da temperatura nun sinal de

voltaxe. A 100°C da un sinal de 1V, e ten unha variación de -11mV/°C. O encapsulado é de tipo TO-92, con alimentación a 5V e con saída en voltios (OUT), que irán conectadas ás entradas dos multiplexores analóxicos 408. Devolve un sinal analóxico, en voltios inversamente proporcional a temperatura. A expresión que relaciona a temperatura responde a seguinte expresión, onde T é a temperatura en °C e V o voltaxe medido en milivoltios.

$$T = \frac{10,888 - \sqrt{(10,888)^2 + 4 \times (-0,00347) \times (1777,3 - V)}}{2 \times (-0,00347)} + 30$$

O mesmo sensor DT11 mide temperatura e humidade. Detecta temperaturas entre 0 e 50°C, cunha precisión de 2°C, e a humidade relativa 20-80% cunha precisión de 5%, podendo tomar unha mostra por segundo.

A conexión é simple, +V e GND, coas correspondentes do microcontrolador e o pin de sinal directamente a unha entrada dixital. No presente experimento vanse colocar 4 sensores de humidade ao longo do muro de arxila, alternados cos 10 de temperatura.

O 408 é un multiplexor analóxico de 8 entradas. As entradas de información (S1..S8), veñen cada unha dun sensor de temperatura, xerando un sinal entre 0 e 2V, segundo a temperatura.

As entradas de selección no multiplexor son os terminais 1 (A0), 15 (A1) e 16

(A2) que van ir conectadas cos GPIO 17, 27 e 22 da Raspberry. A saída de datos é o terminal 8 (D), que vai ao convertedor analóxico dixital ADS 1115 Segundo a selección dixital enviada pola Raspberry polas sinais de selección (A2, A1 e A0), o multiplexor porá na súa saída (D) a información do sensor de temperatura escollido, un entre os conectados entre S1 e S8.

O resto do circuíto, e dicir, o convertedor analóxico-dixital ADS1115, a controladora Raspberry Pi e as saídas de control foron descritos previamente en Anta Gil *et al.* (2022).

Un esquema do funcionamento do circuíto de control e toma de datos pode verse na Fig. 2, que é complementado ca Fig. 3 na que aparece o esquema de conexións dos sensores e ca Fig. 4 na que aparece o cableado da circuitería.

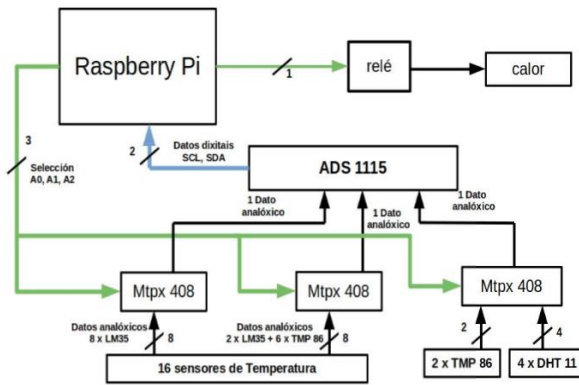


Figura 2. Esquema do circuito de toma de datos e control.

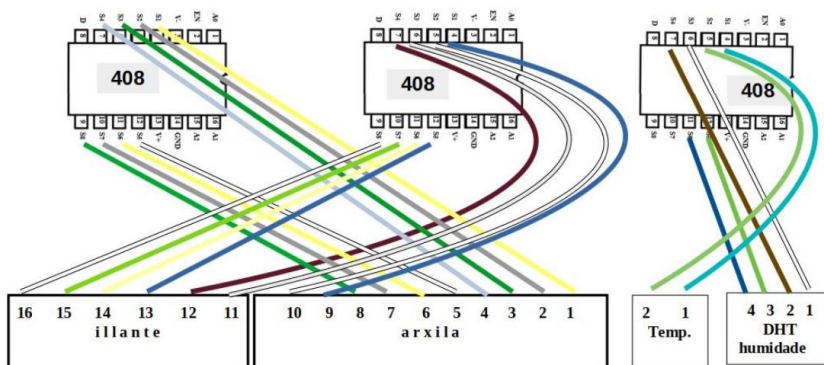


Figura 3. Esquema do conexión dos sensores

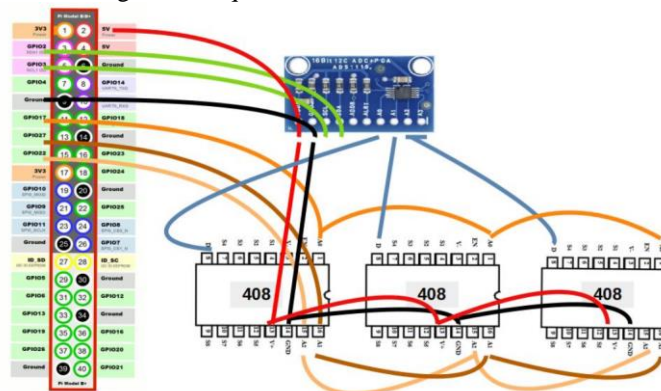


Figura 4. Cableado da circuitería.

#### 4. Montaxe experimental

Na Fig. 5 pode verse unha descrición xeral da montaxe experimental, onde a posición dos diferentes sensores pode identificarse con facilidade.

Antes de realizarse ningunha experimentación analizáronse as limitacións e posibles fallas de funcionamento da montaxe.

O sinal do cuarto sensor, non deu resultados xa desde as primeiras probas, revisando as conexións concluímos que o erro está no interior dos bloques de arxila e non foi posible corrixilo sen romper o muro.

As medidas en voltios e polo tanto en temperatura dos sensores diverxían entre 2 e 3 graos en función dos modelos de sensor usado, o que nos pareceu excesivo. A sensibilidade dos sensores é de +10 mV/°C e -11 mV/°C,



## 5. Estudo práctico

Con este sistema experimental poden realizarse diferentes experimentos:

### 4.1. Transmitancia térmica

A transhumancia térmica mide como a calor pasa a través dunha superficie, ou neste caso cerramento, no espazo e no tempo. Empregase para indicar a capacidade de illamento dun elemento construtivo formado por una superposición de capas de distintos materiais. Baseado neste principio realizáronse diferentes experimentos de quecemento e arrefriamento.

### 4.2. Desfase térmico. Pulso de calor

O desfase térmico é o tempo que tarda a calor en atravesar un cerramento. Desfases elevados son interesantes por permitir que as horas altas de temperatura cheguen cando o ambiente é máis frío.

Un desfase elevado, de entre 8-12 horas, soe ser o interesante. Cando é moi superior, o cerramento amortece moi ben as variacións de temperatura. Pode estudarse o desfase na termoarxila, aínda que non hai posibilidade técnica de facelo do exterior a interior, no muro completo.

Para estudar o desfase térmico procédese polo tanto do seguinte xeito: Co muro a temperatura ambiente (todos os sensores indican a mesma temperatura que coincide ca ambiental), ponse en funcionamento o calefactor, e régúlase a temperatura a 52°C. Entón, comeza a subir a temperatura nos sensores máis próximos ao foco quente. Cando os dous primeiros sensores alcanzan os 52°C, apágase o calefactor e retirase a tapa traseira, para que a temperatura do foco quente baixe á

ambiente. Nese momento o muro comeza a arrefriarse ata a temperatura ambiental (18°C). Prodúcese polo tanto, unha curva de temperatura cun máximo (que vai diminuindo, pois o muro estase a arrefriar), onde o máximo da curva avanza cara o interior do muro. Ese avance temporal permite observar a velocidade de propagación do calor e analizar o desfase temporal térmico. Para a toma de datos de temperatura na zona do illante escolleuse o TMP 86.

## 6. Resumo

Construíuse un sistema que permite realizar a análise térmica dun cerramento, incluíndo o estudo da transmisión da calor, desfase térmico e inercia térmica nos distintos materiais que conforman o muro.

O traballo realizado enfocouse principalmente no deseño do sistema que pode ser usado en anos seguintes tanto para realizar melloras construtivas coma para realizar simulacións de diferentes situacións.

Foi especialmente educativa a análise e intento de resolución das limitacións e posibles fallas de funcionamento da montaxe.

## Referencias

- Anfapa, 2021. Sistema de Aislamiento Térmico por el exterior (SATE). ([https://anfapa.com/uploads/docs/mografico\\_sate\\_2021.pdf](https://anfapa.com/uploads/docs/mografico_sate_2021.pdf)).
- Anta Gil, A., Gómez Parada, Á., Moncho Diéguez, A. y Río González, E. 2022. Deseño e construción dun pozo canadense dentro dun sistema de casa pasiva. ACT 12, 15-21.

# Os bloques na construción.

## Estudo da resistencia á erosión atmosférica en función da súa composición

M. López González, S. Estévez Domínguez y S. Vázquez López

*IES As Lagoas, Rúa Blanco Amor, 2, 32004 Ourense, España*

### RESUMO

Dentro do marco de referencia dos microproxectos analizouse a resistencia á erosión de bloques de construción elaborados a partir de diferentes materiais. Isto, xunto co coñecemento de resistencia á carga dos diferentes materiais, permitiu unha análise preliminar sobre a posible utilización duns materiais ou outros, onde tamén se tivo en conta a sostibilidade.

*Palabras Clave:* bloques, erosión atmosférica.

### 1. Introducción e obxectivos

No deseño dunha edificación resulta unha parte fundamental a escolla do sistema construtivo. Neste senso, unha parte da execución das obras son os cerramentos verticais. De entre todos os cerramentos verticais dos distintos sistemas construtivos, destacan os que empregan os bloques unidos mediante morteiros, os cales poden realizarse previamente ou de fabrica (Crespo Escobar, 2010; Cabrera, y González, 2021).

Á súa vez estes muros pódense realizar con varias capas, entre as que se realizan illamentos con distintos acabados interiores e exteriores. Tamén poden ser monocapa, onde o bloque e mailo morteiro forman todo o cerramento e determinan as características totais do muro. Neste caso deben cumprir con dúas características fundamentais:

- Resistencia ás cargas de compresión.
- Resistencia ós axentes climáticos (erosión, calor, etc).

Os bloques normalmente fábrícanse cunha combinación de distintos materiais. Existe a posibilidade de fabricación mediante proceso de cocido en forno (arxilas principalmente), sen embargo este proceso leva asociado un balance enerxético e ecolóxico na fabricación non moi favorable. Estudaranse, polo tanto, bloques sen coción e analizarase o seu comportamento con respecto á segunda das resistencias mencionadas anteriormente: á erosión (Broto Comerma, 2006).

### 2. Material e métodos

#### 2.1. Proceso de elaboración dos bloques

Para comezar o proceso de elaboración dos bloques escolleuse a medida dos ladrillos (11×11cm). Tras isto escolléronse os materiais a utilizar de entre tódolos os dispoñibles. A fabricación comezou escollendo as diferentes composicións dos materiais,

considerando principalmente a cal e o cemento, os cales recibiron especial importancia pola súa resistencia. Ademais disto engadiuse a cortiza e a fibra para ver a interferencia que farían en cada bloque.

Unha vez escollidos os elementos que formarían os ladrillos e escollidas as cantidades, realizáronse as medicións e

a mestura nunha talla e engadiuse auga. Enchéronse tres caixas coa mesma mestura, para facer tres bloques de cada composición, un para facer a proba de resistencia á auga, outra para a resistencia á presión e o último de exemplo.

Para continuar deixouse secar ata o momento do uso.



Figura 1. Diferentes instantes do proceso de elaboración dos bloques.

## 2.2. Deseño experimental

### 2.2.1. Deseño do ensaio de erosión

Deseñouse un sistema estándar de erosión mediante chorro de auga. Con este ensaio tratouse de investigar como se comportarían os bloques co paso do tempo, ante as inclemencias adversas meteorolóxicas. O resultado daría unha idea do comportamento relativo dos bloques en función dos compoñentes que o constitúen.

Traballouse a unha presión de 100 bar. A incidencia da auga considerouse constante e perpendicular ó bloque. Fixéronse ciclos de tres chorros, controlados automaticamente polo sistema deseñado a tal efecto.

### 2.2.2. Deseño do hardware

O sistema consistiu nunha estrutura e soporte para a lanza de presión, no que se instalou unha bomba controlada mediante un sistema programado. Este sistema contaba con dúas lámpadas pilotos que permitían traballar coa

máquina con seguridade. Tamén contaba cun sistema de dobre relé en cascada para controlar a bomba de presión.

Na Figura 2 amósase unha imaxe do sistema de control.



Figura 2. Sistema de control.

Poden verse claramente a Raspberry (esquina inferior esquerda), o módulo de relés (azul e negro, no centro), o relé de estado sólido (metalizado na esquina inferior dereita) e as dúas lámpadas.

O diagrama de bloques e o esquema eléctrico poden verse nas Figuras 3 e 4. O esquema do diagrama de conexións pode verse na Figura 5. Finalmente, creouse un software específico en Python para controlar o experimento.



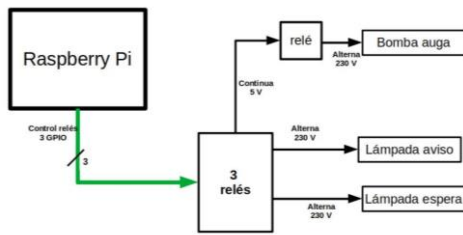


Figura 3. Diagrama de bloques do sistema de control.

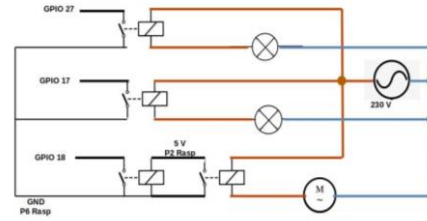


Figura 4. Esquema eléctrico.

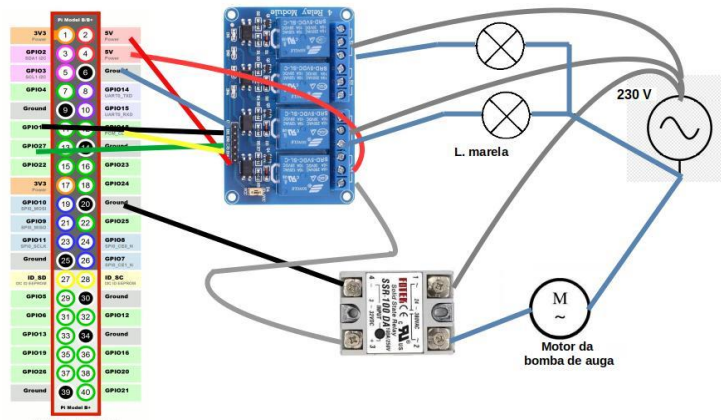


Figura 5. Diagrama de conexions.

Na Figura anteriormente descrita, poden identificarse con claridade as diferentes compoñentes do sistema de control.

### 3. Resultados

A Táboa 1 resume os diferentes experimentos realizados. Os materiais máis resistentes a este tipo de degradación foron os que tiñan maioritariamente cal e cemento, polo que estes serían mais idóneos para facer uns recubrimentos, seguidos dos que tiñan partes de fibras de madeira ou cortiza, os cales serían mellores se o que se busca son bloques máis lixeiros e económicos. Tamén se pódese ver que os que peor resistiron foron os que tiñan unha menor porcentaxe de cal ou cemento e area, xunto cos que presentaban unha gran desproporción na súa composición.

Tendo en conta que os resultados de experimentos de compresión realizados en paralelo amosaron que os ladrillos máis resistentes de todos foron os que tiñan unha maior cantidade de cemento, pode concluírse que os ladrillos realizados a partir deste material serían os mellores, iso se non se ten en conta a contaminación producida na elaboración de cemento e o prezo dos materiais. Doutra banda, os materiais de cal pura foron os que amosaron unha maior resistencia á erosión polo que servirían mellor como recubrimento. Se o obxectivo é traballar coa opción máis biosostible e lixeira, a opción sería mesturar cal con fibras ou cortiza, que aínda que posúen unha menor resistencia, ao ser mais lixeiras exercerían menos esforzo nos bloques inferiores e cunha cobertura de cal non importaría a baixa resistencia á erosión.

En resumo, nos procesos de construción, é importante acadar un equilibrio entre os diferentes parámetros: resistencia á compresión, resistencia á erosión e sostibilidade.

Ensaio	COMPOSICIÓN (%)					CICLOS		
	Fibras madeira	Cal	Cemento	Cortiza	Area	1°	2°	3
1	25	25	10		40	1,7	1,9	2,05
2	25	25		25	25	1,9	2,7	3
3	50	25			25	1,4	1,8	2,2
4	25	37,5			37,5	0,5	1	1,3
5		50	20		30	0,4	0,5	0,6
6		100				0,1	0,2	0,3
7		50			50	0,5	0,7	0,8
8		10			90	rev		
9		20			80	rev		
10		30			70	1,4	1,8	2
11		40			60	0,55	0,7	0,9
12			4		96	2,6	rev	
13			8		92	1,1	1,8	3,3
14			12		88	0,9	1,3	1,5
15			16		84	0,3	0,5	0,6
16			20		80	0,3	0,4	0,5
17			40		60	0,2	0,3	0,45
18		25	10		65	1,2	1,6	1,8
19		25		25	50	1,3	1,4	1,8
20		37,5		25	37,5	0,7	0,9	1,4

Táboa 1. Resumo da composición dos materiais e dos experimentos.

#### 4. Conclusións

A montaxe experimental permitiu analizar a resistencia de ladrillo de diferentes materias fronte á erosión producida mediante unha bomba de auga. Este proceso experimental pretende simular a exposición dos materiais fronte aos diversos factores climáticos.

Tendo en conta ademais a capacidade de carga dos diferentes materiais, así coma a súa sostibilidade realizouse unha análise preliminar sobre o posible uso de materiais de diferente composición.

Nunha fase posterior sería recomendable mellorar o estudo, engadindo novas posibilidades de elaboración de bloques. Principalmente

aquelas que inclúen variedades de barro e arxila, así como tamén con distintos tipos de aditivos vexetais e minerais, que farían a función de estabilizantes.

#### Referencias

- Broto Comerma, C. 2006. Enciclopedia Broto de las Patologías de la Construcción. Tirant Editorial. ISBN. 9788489861954.
- Cabrera, S y González, A. 2021. Resistencia a Erosión Húmeda en Bloques de Tierra Comprimida. Evaluación de Diferentes Métodos para el Análisis de Resultados. Revista Tecnología y Ciencia, 40, 49-62. DOI:/10.33414/rtyc.40.49-62.2021

Crespo Escobar, S. 2010. Materiales de construcción para edificación y obra civil. Editorial Club Universitario. ISBN. 9788484548874.

## **Recubrimientos e acabados superficiais con materiais de bioconstrución. A arxila e o cal.**

L. Castro-Acevedo, M. Barreiro-Feijóo, J. Traba-Gómez

*IES As Lagoas, Ourense, Spain.*

### **RESUMO**

No marco do proxecto STEMBach que se levou a cabo no IES As Lagoas, marcouse como obxectivo o de analizar que recubrimientos e cores empregados na bioconstrución contan cun maior grado de aceptación. Con este propósito elaboráronse distintas pinturas a base de diferentes tipos de cal, area, arxila e varios pigmentos co obxectivo de encontrar unha pintura que fose favorable ao medio e ademais que fose agradable para as persoas. Tras varias mesturas destes materiais, obtivemos 12 combinacións diferentes. Estas combinacións aplicáronse sobre un panel e posteriormente elaborouse unha enquisa na que se preguntou ós participantes polas diferentes combinacións e o seu nivel de agrado ou desagregado respecto da cor e a textura. En total participaron un total de 128 alumnos/as.

Palabras Chave: Bioconstrución, recubrimientos,

#### **1. Obxectivo**

O propósito deste estudo e coñecer as preferencias de cor e textura entre o alumnado do IES As Lagoas de diferentes revestimentos empregados na bioconstrución. Con este propósito realizamos un estudo contando con diferentes materiais e coa interacción dos nosos compañeiros a través de enquisas.

#### **2. Materiais e procedemento**

##### *2.1 Materiais*

O principal requisito que queríamos que cumprisen as nosas pinturas era que fosen favorables para o noso medio ambiente. Para iso contactamos con diferentes empresas para que nos puidesen ofrecer materiais e decantámonos por NaturClay. Contamos con 4 tipos diferentes de materiais e, ademais, un pack de 12 pigmentos. Procedemos a explicar cada un destes :

---

Enfoscado cal NHL: : morteiro de enfoscado natural 100% a base de cal NHL , areas seleccionadas e aditivos naturais, listo para aplicar manualmente. Este está deseñado para a aplicación sobre soportes porosos e rugosos das paredes, tanto para interior como exterior.

Arcibase/Arxila : morteiro de enfoscado 100% natural a base de arxilas, areas e cal NHL. O material sèrvese puro ou para grandes cantidades listo ao uso (PREMEZCLADO con area) . Pódese aplicar manualmente (como foi o noso caso) ou con máquina de proxectado. Está especialmente recomendada para o enfoscado das paredes interiores, debido a numerosas propiedades termorreguladoras , deshumificadoras e, en xeral, mellora de confort e saúde.

Cal NHL: cal hidráulica 100% natural, sen aditivos nin sales solubles . Obtida da cocción da pera calcárea margosa. Utilízase na formulación de morteros de

revoco base para paredes, para a colocación dos ladrillos e para a creación de recrecidos.

Cal aérea en pasta: 100% natural, sen aditivos nin sales solubles. Obtida do apagado de óxido de cal e resultado unha cal branca en pasta cunha pureza superior ao 95% en CaO, amurada e envellecida por máis de 6 meses. Utilízase na formulación dos morteros de revoco base para paredes como cal base e cal raso, mentres que a cal aérea en pasta fina utilízase para a formulación de acabados das paredes interiores onde se queira conseguir un acabado de gran valor. Todas as pastas de cal aérea poden ser utilizadas como abono para os terreos para regularizar o Ph, cantidade de CaCO<sub>3</sub>, desinfectar as plantas de parasitos e reducir a cantidade de insectos nos terreos.

## 2.2 Procedemento:

Comezamos confeccionando o noso propio panel sobre o que posteriormente aplicamos as pinturas. Dividimos a nosa táboa, en seis columnas e dúas filas, contando con 12 cuadrículas. Para facilitar a mobilidade deste, optamos por integrar nela dous soportes con rodas e frenos. Para conseguir un mellor acabado do noso panel comezamos cunha capa de enfoscado cal NHL. Para isto o soporte debía estar limpo e consistente, estar libre de partes friables, de po, de vellos revestimentos e mofo. Mollamos o panel antes da aplicación. Mesturamos a cal NHL con auga limpa nunha porción aproximada. Estendémola polo noso panel a man cun pincel e deixámolo secar durante un día. Unha vez seco, o noso panel conseguiu unha gran resistencia.



Figura 1. Diferentes fases de montaxe do panel ca impresión das diferentes combinacións de cor e texturas.

Os 12 cadros foron divididos en 3 seccións: Na primeira sección formada por 4 cadros (números: 5, 6, 11, 12) empregamos como base a arxila, premesturada con auga limpa nunha porción de 2 vasos de arxila e un de auga. Para o número 5 aplicamos a base tal e como é, e co número 11 fixemos o mesmo engadíndolle, a maiores, un vaso de area para que acadara un aspecto rugoso. Para a pintura número 6 utilizamos a mezcla de auga e arxila cunha pequena porción de pigmento marrón para conseguir un acabado claro. Para o número 12, utilizando a mesma cor do número 6, engadímoslle un vaso de area. Para a aplicación destas a táboa, utilizamos unha “llana” para que quedasen estendidas homoxeneamente. Coa segunda sección (números 3, 4, 9, 10) utilizamos cal NHL. Nestes 4 cadros optouse por crear cores máis chamativo. Os números 3 e o 4 non contiñan area sen embargo o 9 e o 10 si. Na última división (números 1, 2, 7, 8) fixemos 4 cores diferentes, todos sen a aplicación de area. Un resumo de tódalas combinacións pódese ver na táboa 1.

**Táboa 1:** Cor e material asignados a cada unha das doce cuadrículas do panel.

	<b>COR</b>	<b>MATERIAL</b>
1	Mestura de pigmentos= marrón clarito grisáceo	Cal aérea en pasta
2	Sin pigmento, cor branca propio da cal	Cal aérea en pasta
3	Morado liso	Cal NHL
4	Amarelo mostaza liso	Cal NHL
5	Branco roto liso	Arxila
6	Marrón claro liso	Arxila
7	Mestura de pigmentos= branco alaranxado	Cal aérea en pasta
8	Mestura de pigmentos= rosa claro	Cal aérea en pasta
9	Morado rugoso	Cal NHL
10	Amarelo mostaza rugoso	Cal NHL
11	Branco roto rugoso	Arxila
12	Marrón claro rugoso	Arxila

alumnos do centro para poder contar coa súa opinión.

Precisamos unha xornada escolar enteira para repartir estas enquisas por varias clases a alumnos de diferentes idades e ramas. Posteriormente, recompilamos todos os datos no ordenador e fixemos o seu estudo sacando diferentes conclusións.

1. SEXO:  H  M

2. EDAD: 12-15  15-19  20-30  30-40  40-50  50-60  >60

3. ¿QUÉ RAMA ESCOGES/ A QUÉ RAMA PERTENECEZ?

- CIENCIAS TÉCNICAS
- CIENCIAS DE LA SALUD
- CIENCIAS SOCIALES
- HUMANIDADES
- ARTES

4. SI ERES PROFESOR/A, ¿CUÁL ES TU ASIGNATURA?

5. ¿QUÉ COLOR TE GUSTA MÁS?

6. ¿QUÉ COLOR TE GUSTA MENOS?

7. ¿QUÉ TEXTURA ENCUENTRAS MÁS AGRADABLE?

8. ¿QUÉ TEXTURA ENCUENTRAS MENOS AGRADABLE?

9. ¿QUÉ CASILLA ESCOGERÍAS PARA PINTAR TU HABITACIÓN?

A LAS SIGUIENTES PREGUNTAS RESPONDE RODEANDO EL NÚMERO CORRESPONDIENTE A LA CASILLA QUE ESCOJAS DE CADA UNA DE LAS MUESTRAS ( 0 mínima, desagradable, poco... ; 5 máxima, agradable, todo...)

Sensación al tacto						Sensación visual							
M	Valoración					M	Valoración						
1	0	1	2	3	4	5	1	0	1	2	3	4	5
2	0	1	2	3	4	5	2	0	1	2	3	4	5
3	0	1	2	3	4	5	3	0	1	2	3	4	5
4	0	1	2	3	4	5	4	0	1	2	3	4	5
5	0	1	2	3	4	5	5	0	1	2	3	4	5
6	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5
7	0	1	2	3	4	5	7	0	1	2	3	4	5
8	0	1	2	3	4	5	8	0	1	2	3	4	5
9	0	1	2	3	4	5	9	0	1	2	3	4	5
10	0	1	2	3	4	5	10	0	1	2	3	4	5
11	0	1	2	3	4	5	11	0	1	2	3	4	5
12	0	1	2	3	4	5	12	0	1	2	3	4	5

Figura 3. Plantilla utilizada para a enquisa.



Figura 2. Imaxe final do panel das 12 combinacións de cores e texturas.

Tras todo este proceso pasamos a realizar o estudo. Redactamos varias preguntas (ver Figura 3) coa que elaboramos unha enquisa a que posteriormente entregaríamos aos

### 3. Resultados

Comentaremos a mostra poboacional que participou no test e posteriormente os principais resultados que se obtiveron ó analizar os datos desas enquisas. En primeiro lugar se tratarán os datos globais e posteriormente divididos por sexo. Antes de mostrar os resultados mostrámosvos unha táboa poñendo o número da casilla co seu cor e materiais correspondentes para que sexan sinxelos de identificar ao nomealos nos resultados:

### 3.1. Mostra poboacional

Realizáronse un total de 128 enquisas. Así, ó analizar as idades dos participantes temos que 63 fixéronas participantes cunha idade entre os 12 e 15 anos e 62 alumnado cunha idade entre os 15 e 19 anos.

Ó analizar a participación por sexo temos que participaron 49 homes e 78 mulleres.

Finalmente, en relación a rama de estudos do alumnado obtivemos uns resultados máis heteroxéneas que se resumen na Figura 4. É importante destacar que a maior parte do alumnado (38%) participante non conta aínda cunha especialidade ou non a manifestou á hora de participar no proxecto. A maior participación acadouse entre alumnado de ciencias técnicas (30 participantes), seguido polo alumnado de ciencias sociais e ciencias da saúde (16 participantes cada rama). Algo máis baixa é a participación de alumnado de artes (12 participantes) e humanidades, tan só 5 participantes.

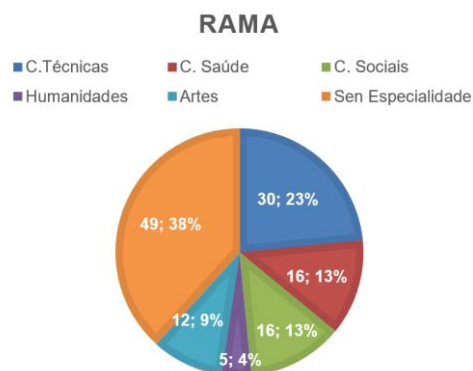


Figura 4. Rama de estudos do alumnado participante no proxecto.

### 3.2. Análise global da sensación ó tacto e visual

Cada participante no proxecto valorou de 0 a 5 tódalas cores e tódalas texturas. En relación á textura (Figura 5) vemos que a que obtivo a mellor valoración é a número 6 (marrón claro liso, arxila).



Figura 5. Valoración da textura favorita das mostras de todos os participantes.

Sen embargo ao analizar os datos da textura máis desagradable (Figura 6) a número 10 foi a que tivo máis votos

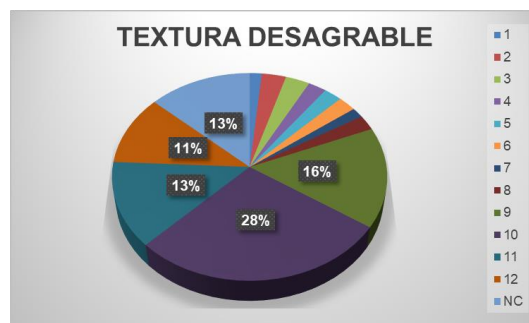


Figura 6. Valoración da textura desagradable das mostras de todos os participantes.

En relación a cor (Figura 7), a mellor puntuada foi a número 2 (cor branca, pigmento da propia cal). Ademais obtiveron unha puntuación superior o 3 as números 5, 6 e 7.

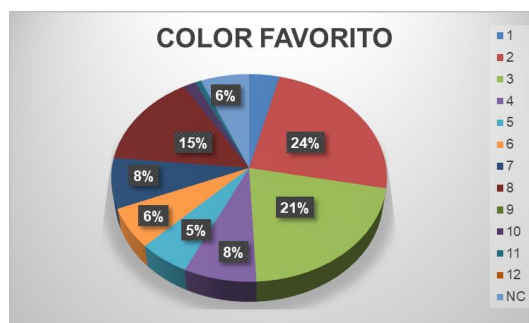


Figura 7. Valoración da cor favorita das mostras de todos os participantes.

Sen embargo ao analizar os datos de cada participante en canto a cor máis desagradable saíron os números 10 (Amarelo mostaza rugoso, cal NHL) e cunha porcentaxe de diferenza os números 4 (amarelo mostaza liso, cal NHL) e 1 (marrón clarito grisáceo, cal aérea en pasta) como os máis votados.

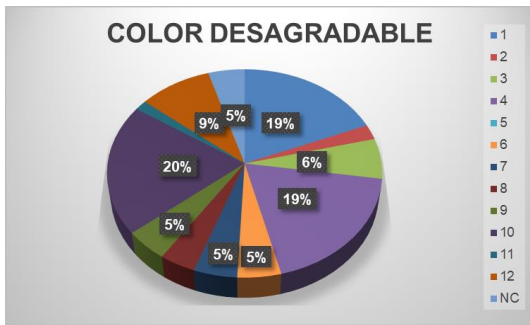


Figura 8. Valoración da cor desagradable das mostras de todos os participantes.

Ó analizar a valoración combinada de cor e textura, co fin de poñer esta cor nas súas habitacións (Figura 9) vemos que a número 2 (sen pigmento, cal aérea en pasta) e a número 6 (marrón claro liso, arxila) obtiveron a puntuación máis alta.

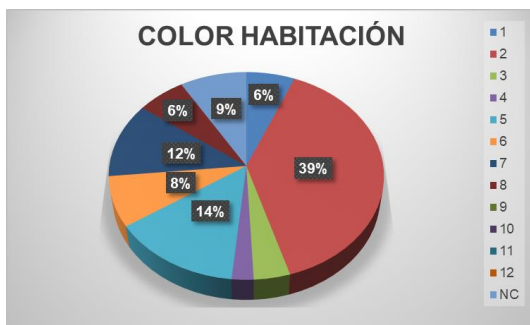


Figura 9. Valoración da cor que escollerían para a súa habitación.

### 3.3. Análise por xénero da sensación ó tacto e visual

En relación a textura nas mulleres (Figura 10), a mellor puntuada por estas foi a número 2 (cor branca, pigmento da propia cal). Ademais obtivo unha puntuación inferior a número 10 (amarelo mostaza rugoso, cal NHL)

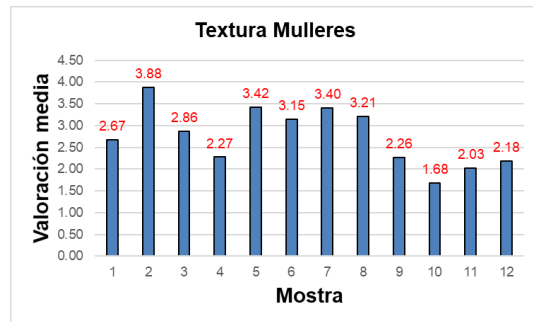


Figura 10. Valoración da textura das mostras por parte das mulleres.

Ó analizar a valoración das mulleres en canto a cor das pinturas (Figura 11), a máis valorada foi o número 6 (marrón claro liso, arxila). Sen embargo a peor valorada foron os números 10 (amarelo mostaza rugoso, cal NHL) e o 11 (branco roto rugoso, arxila)

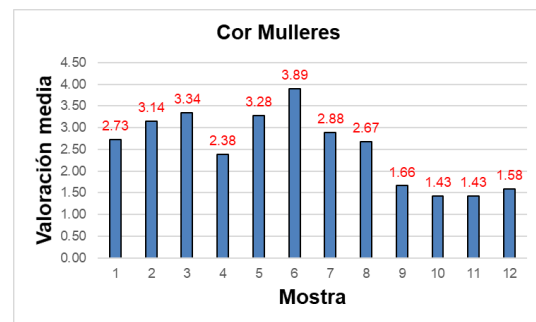


Figura 11. Valoración da cor das mostras por parte das mulleres.

En relación a valoración conxunta de cor e textura para as mulleres (Figura 12) a pintura mais votada foi a 6 (marrón claro liso, arxila) e a menos votada a 10 (amarelo mostaza rugoso, cal NHL)



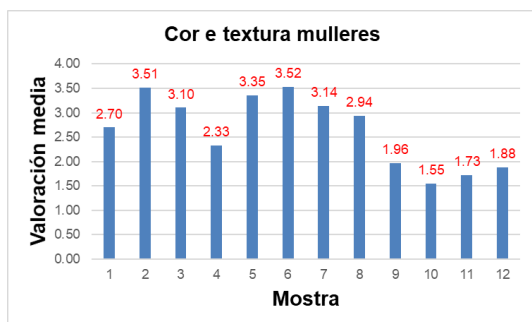


Figura 12. Valoración combinada da textura e a cor por parte das mulleres.

Con respecto as valoracións dos homes das texturas (Figura 13) a textura favorita foi a da pintura 2 (sen pigmento, cal aérea en pasta) e a menos votada a pintura 10 (amarelo mostaza rugoso, cal NHL)

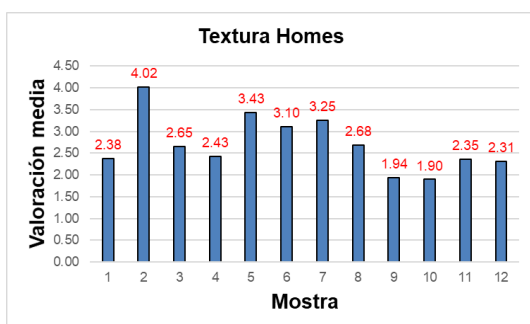


Figura 13. Valoración da textura das mostras por parte dos homes.

Nas cores, para os homes (Figura 14), a máis votada foi o número 6 (marrón claro liso, arxila) e a menos o número 10 (Amarelo mostaza rugoso, cal NHL)

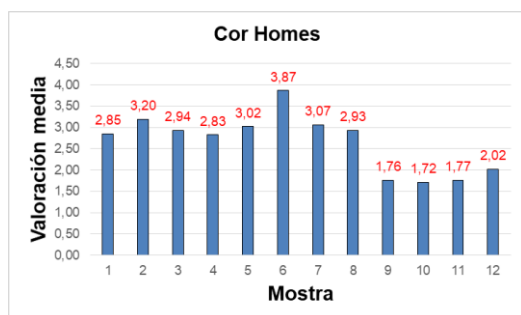


Figura 14. Valoración da cor das mostras por parte dos homes

Na valoración combinada de textura e cor en homes (Figura 15), a mellor valorada foi a pintura 6 (marrón claro liso, arxila) e a menos valorada a 9 (morado rugoso, cal NHL).

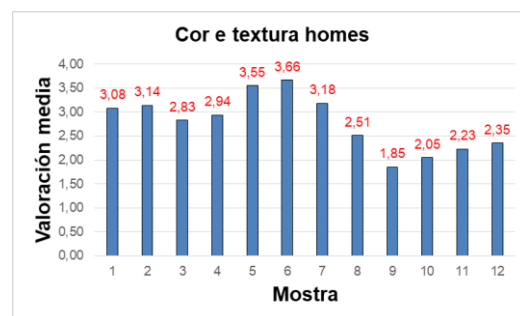


Figura 15. Valoración combinada da textura e a cor por parte dos homes.

#### 4. Discusión e conclusións

Con respecto á textura favorita, a orde da que máis gustou á que menos gustou é: 6, 2, 3, 5, 10 y 7, 1, 12, 8, 4, 9, 11. Tendo en conta esta clasificación e as seccións divididas por materiais (sección 1 arxila: cadros 5, 6, 11 e 12; sección 2 cal NHL: cadros 3, 4, 9 e 10; sección 3 cal aérea en pasta: cadros 1, 2, 7 e 8) podemos comprobar ao sumar os resultados que o material que obtivo mellores resultados foi a arxila, seguindo ca cal aérea en pasta acadando a cal NHL a última posición. Un dato importante a comentar é que a textura gañadora foi o número 6 e a textura que menos gustou foi o cadro 11, que curiosamente eran do mesmo material. A única diferenza entre eles é que o número 11 contén area que proporciona un aspecto rugoso, característica que puido influír nas votacións. Compre comentar que os votantes non contaban co coñecemento dos materiais dos que estaba feita cada pintura. Tamén, en relación coa textura, concluimos que as cores que tiñan aspecto rugoso (9,10,11,12) foron as que tiveron menos éxito na enquisa. Os votantes clasifícanas como desagradables ao tacto.

Respecto á cor favorita, o mais votado foi o cadro 2 (cor branca propia da cal) e no segundo posto foi para o número 3 (morado liso). Pareceunos curioso que xusto as dúas cores gañadoras fosen tan distintas entre elas, sendo o branco unha cor moi clara, pura e pouco chamativa e o morado unha cor escura, potente e moi chamativa.

Ao estudar a táboa de texturas en homes e mulleres puidemos observar que os homes valoraron máis a favor a textura da pintura número 2 e a da número 8, polo que chegamos a concluír que na maioría dos casos as texturas agradables para os homes non o son para as mulleres.

## Construcción de vigas laminadas de madeira. Comparación coa madeira maciza

D. Fraguas Nieto\*, A. Fernández Prado

\**davidfraguasn@gmail.com*

*IES As Lagoas, Rúa Blanco Amor 2, 32004 Ourense*

### RESUMO

A madeira é un dos materiais de construción máis sostible que podemos atopar. Ademais posúe numerosas cualidades, entre as que se poden destacar a súa gran resistencia, lixeireza, facilidade para traballar con ela, boa estética ou baixo custo, entre outras, que fan que o seu uso estea moi estendido. Ademais, o feito de que sexa un material renovable e que case non contamina no seu procesado, fan que o seu uso sexa cada vez máis necesario nos tempos actuais de cambio climático. Sen embargo, non todos os tipos de madeira e estruturas xeradas con elas, como poden ser os diferentes tipos de vigas, teñen a mesma eficiencia e características. É por ilo que é necesario analizar as propiedades tanto de cada tipo de madeira, como das diferentes estruturas xeradas. Neste traballo analizarase a resistencia de diferentes tipos de madeira (piñeiro, faia e castiñeiro) xunto con diferentes tipos de vigas construídas con elas (maciza, dúo, trío e laminada).

*Palabras Clave:* Madeira, Piñeiro, Faia, Castiñeiro, Vigas, Resistencia.

---

### 1. Introducción

A madeira é un dos materiais de construción máis sostibles que existen, posto que é renovable, pero ademais é estético e comfortable (Zepeda, 2008). De feito, practicamente todas as civilizacións que foron habitando o planeta empregaron este material nas súas construcións (Zepeda, 2008; García-Ortega e Benedetti-Ruiz, 2021), o que sen dúbida, da boa mostra da súa aplicabilidade. Para corroborar isto, numerosos estudos científicos consideran a madeira coma un material, non so de gran beleza estética, se non que tamén posúe importantes propiedades, tales como: unha boa relación resistencia-peso, unha boa resistencia á tensión, compresión e flexión, e ademais, é un material lixeiro,

fácil de traballar e acoplar, bo illante, regulador natural do ambiente interior, favorecedor da ventilación, estabiliza a humidade e filtra e purifica o aire, sendo cálido ao tacto, capaz de absorber o son e de baixo custo (Álvarez, 1969; Zepeda, 2008). Así, os produtos derivados da madeira, tales coma a cortiza, caucho, taboleiros compostos (fibras, contra-chapado, aglomerado...) gozan das mesmas propiedades que a propia madeira. Ademais, a madeira necesita de pequenas cantidades de enerxía no seu procesamento e transporte. Neste senso, outros materiais amplamente utilizados en construción, coma por exemplo, o formigón ou o aceiro, implican a emisión dunha gran cantidade de gases de efecto invernadoiro e contaminantes, tales coma o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>),

dióxido de nitróxeno (NO<sub>2</sub>) ou dióxido de xofre (SO<sub>2</sub>), entre outros, para a extracción da materia prima e a súa posterior transformación e produción (Zepeda, 2008). Por estes motivos é que o uso de materiais non contaminantes en construción, como o madeira, sexa cada vez mais fundamental, tendo en conta o cambio climático no que estamos inmersos nos tempos actuais e que perdurará e se estenderá no futuro (Fernández-Nóvoa et al., 2021; IPCC, 2021). Ademais, nos países con tradición de explotación forestal, o uso de madeira non implica, ao contrario do que se poda pensar, a destrución de bosques, se non ao contrario, podendo incluso aumentar a superficie arbórea sempre e cando se realice baixo determinadas e axeitadas condicións (Zepeda, 2008). Concretamente, isto é debido á implantación de plantacións forestais ou bosques xestionados de forma sostible e tecnolóxica, e coa premisa de que a madeira colleitada non exceda á que medra na plantación (Zepeda, 2008).

Estas características e propiedades da madeira fixeron que nos últimos tempos haxa unha demanda cada vez mais alta de madeira para a construción, o que ao mesmo tempo implica a necesidade de mais formación e avances tecnolóxicos na materia (García-Ortega e Benedetti-Ruíz, 2021). Polo tanto, para un desenvolvemento e emprego cada vez mais eficientes da madeira, é fundamental un coñecemento profundo das súas características e aplicabilidade na construción (Zepeda, 2008). Nese senso, a pesar de que está amplamente demostrada a eficiencia do uso de madeira en construción, non todos os tipos de madeiras e estruturas xeradas con ela ofrecen as mesmas prestacións, o que fai necesario analizar que madeiras e tipo de estruturas son as que mellor se adaptan ás necesidades concretas (Cuevas, 1988; Chávez-Valencia et al., 2010). É por elo que no

presente estudo analizouse unha das características mais importantes das vigas de madeira, a súa resistencia. Así, determinouse e comparouse a resistencia de 4 tipos de vigas conxuntamente con 3 tipos de madeira diferentes, co obxectivo de analizar cales posúen mellores características.

## 2. Datos e procedemento

Para levar a cabo a experiencia, seleccionamos 3 tipos de madeira (piñeiro, faia e castiñeiro) e 4 tipos de vigas (macizas, dúo, trío e laminadas). En total temos 12 vigas para realizar a análise. Todas as vigas teñen o mesmo tamaño total, a diferenza é que a maciza ten unha soa lámina, as vigas dúo teñen 2 láminas, as vigas trío están formadas por 3 láminas e as vigas laminadas teñen 6 láminas. Sumando o tamaño de todas as láminas, o tamaño final das vigas é o mesmo en todas.

### 2.1. Construción das vigas

En canto á construción das vigas, con excepción da viga maciza, que xa viña directamente preparada, as outras tivéronse que construír. O procedemento que se seguiu foi o de coller cada lámina e aplicarlle pegamento de poliuretano ao longo de toda ela, colocando a continuación, outra lámina enriba, e así sucesivamente. Este proceso repetiuse tantas veces como láminas compuñan cada viga. Unha vez realizado o proceso para todas as láminas da viga, colocáronse sarxentos ao longo da viga para asegurar que quedaran ben unidas as láminas a medida que se secaba a cola. Deixabamos que se pegasen durante un día para que se secara a cola, e despois retirábanse os sarxentos quedando xa definitiva a viga.

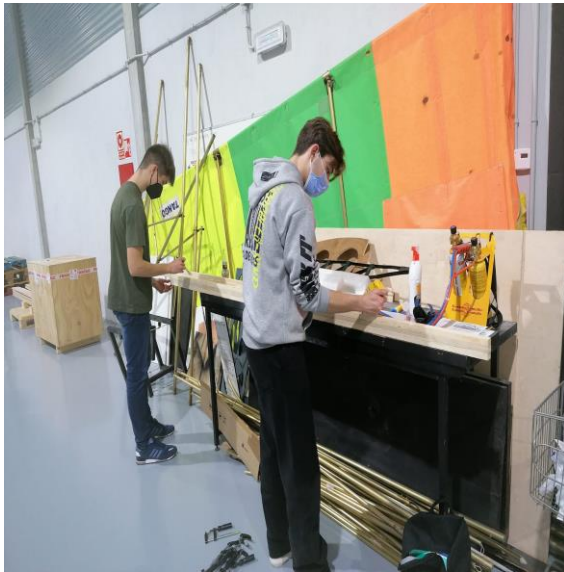


Figura 1. Proceso de construción das vigas.

## 2.2. Medición da resistencia das vigas

Unha vez construídas as 12 vigas, o seguinte paso foi medir a resistencia das mesmas. Para ilo, utilizamos unha prensa hidráulica situada no Edificio do Campus da Auga da Universidade de Vigo coa colaboración de técnicos expertos na mesma. Colocouse cada viga na máquina onde 2 pistóns situados a unha distancia de 0.5 metros entre eles, e cada un a 0.25 metros do punto respectivo onde apoiaba a viga (Figura 2), facían presión para que as vigas se fosen flexionando a medida que a forza exercida sobre elas aumentaba. Así, a máquina medía a forza aplicada e o correspondente desprazamento da viga, ata chegar ao punto de rotura. Isto permite elaborar gráficas para analizar a relación entre forza e flexión así como analizar a resistencia máxima soportada por cada viga ata o punto de rotura.

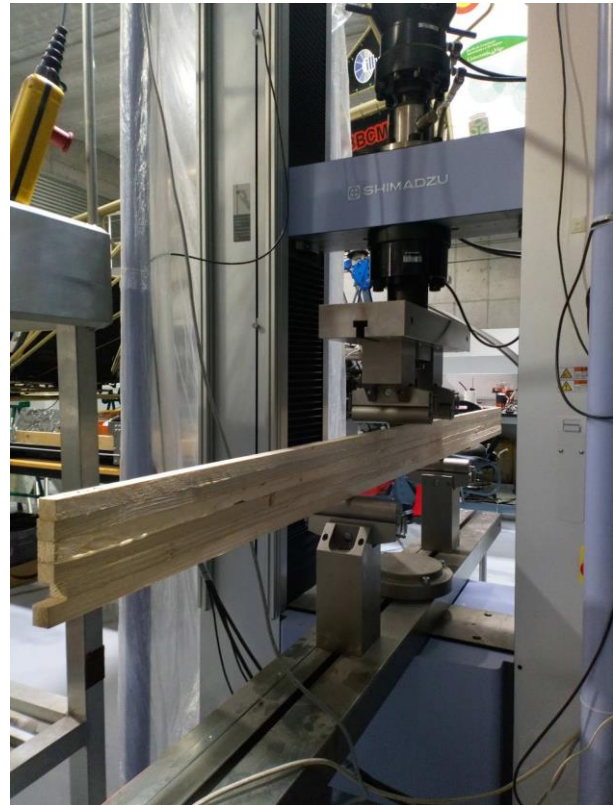


Figura 2. Medición da resistencia das vigas.

## 3. Resultados

Para cada tipo de viga e madeira elaboramos unha gráfica onde comparamos o desprazamento que se produce en cada viga a medida que aumentaba a forza que a máquina exercía sobre ela. Posteriormente, extraemos o valor máximo da forza, é dicir, aquel que aguanta a viga ata que se produce a rotura, e así podemos analizar e comparar a resistencia das distintas vigas empregadas. Concretamente, utilizaremos esa forza máxima para calcular o momento máximo que soporta cada viga (ver Figuras 3, 4 e 5 mais a táboa 1).

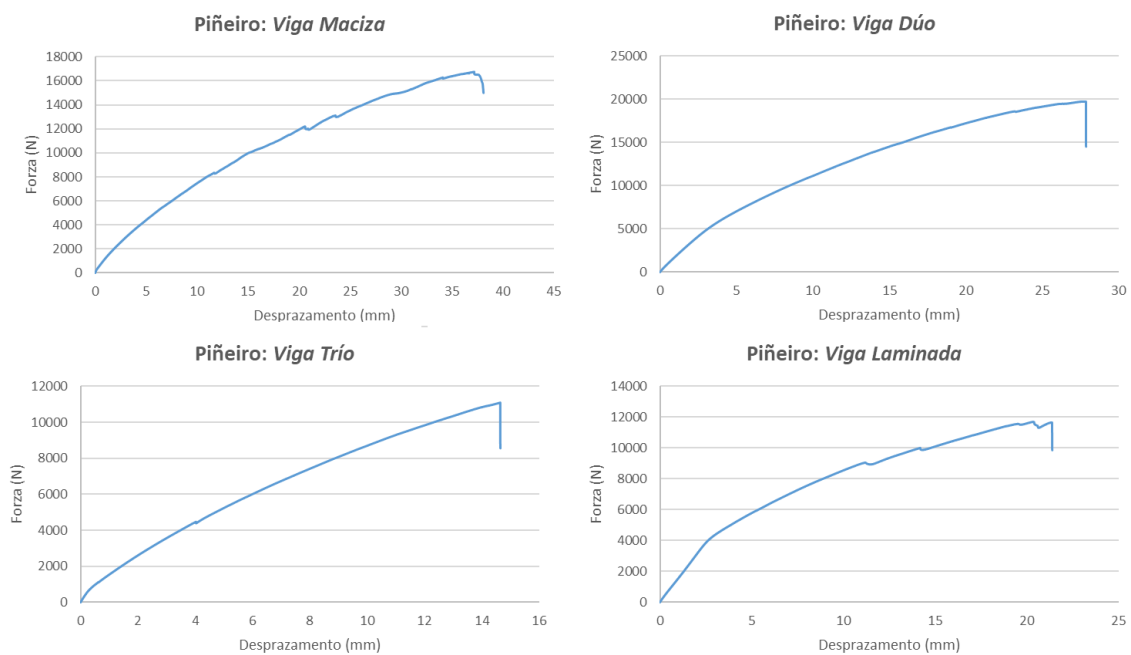


Figura 3. Gráficas onde se mostra o desprazamento (flexión) da viga (en milímetros) fronte á forza aplicada (en Newtons) para as distintas vigas de Piñeiro.

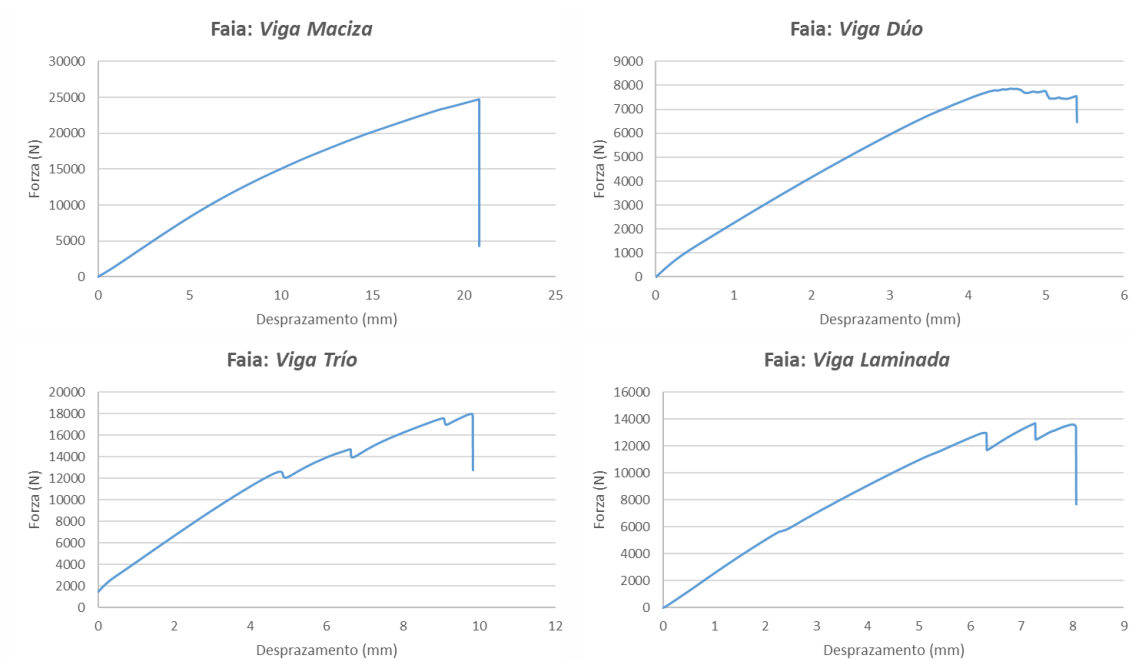


Figura 4. Gráficas onde se mostra o desprazamento (flexión) da viga (en milímetros) fronte á forza aplicada (en Newtons) para as distintas vigas de Faia.

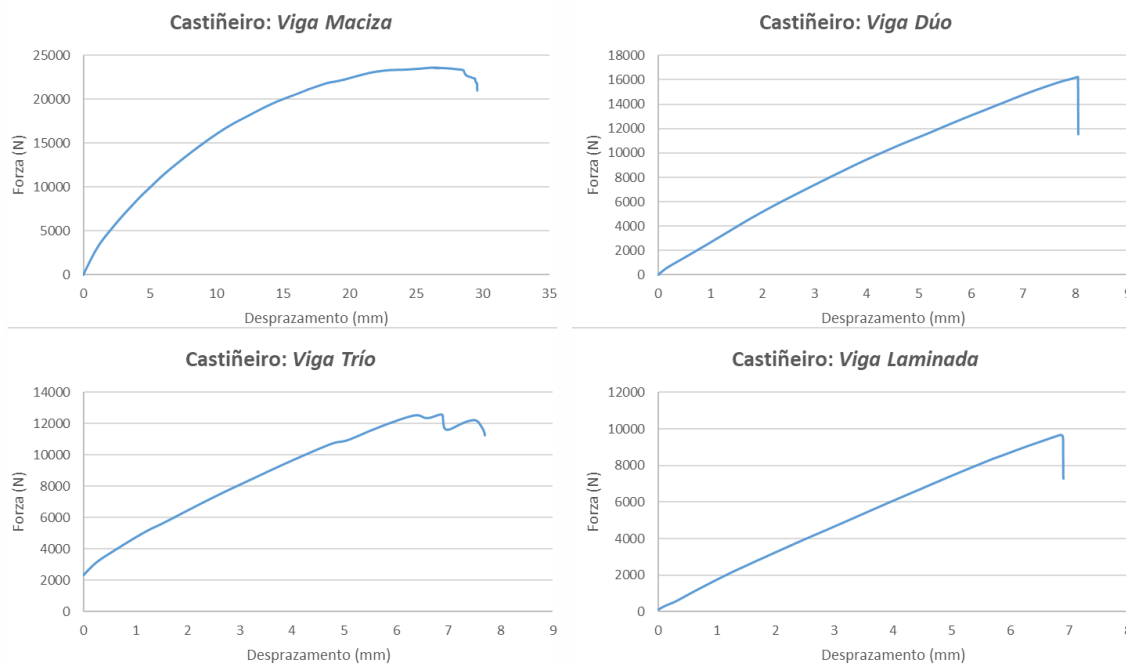


Figura 5. Gráficas onde se mostra o desprazamento (flexión) da viga (en milímetros) fronte á forza aplicada (en Newtons) para as distintas vigas de Castiñeiro.

Tipo de Madeira	Tipo de Viga		
	Maciza	Dúo	Trío
Piñeiro	2093	2467	1388
Faia	3091	983	2244
Castiñeiro	2952	2029	1574

Táboa 1. Momento máximo que aguanta cada viga expresado en Newton por metro (N m).

Como podemos ver nas gráficas, amósase claramente como a viga se vai deformando (flexionando) a medida que aumenta a forza aplicada sobre ela, ata que a liña da gráfica descende bruscamente, que é o punto onde a viga rompe e o cal indica a máxima forza que pode soportar a viga. A partir desta información, como dicíamos, o que imos comparar é o momento máximo de cada viga. O momento é unha expresión matemática que implica o produto dunha distancia e unha cantidade física. Os momentos xeralmente defínense respecto a un punto de referencia fixo e refírense a cantidades físicas exercidas a

certa distancia do punto de referencia. Neste caso concreto, o momento máximo que soporta cada viga calcularase a partir da seguinte expresión:

$$M = \frac{F}{n} d$$

Onde  $F$  é a forza máxima exercida sobre a vida,  $n$  o número de pistóns que exercen forza, e  $d$  a distancia entre o punto de aplicación da forza e o punto de apoio respectivo da viga.

Así, analizando os momentos soportados por cada viga (Táboa 1), podemos concluír que claramente, a madeira que ofrece unha maior

resistencia é a da faia. Hai unha pequena discrepancia no valor da viga dúo, onde o momento é menor do esperado. Analizando esta viga con detemento, comprobamos que existen ocos entre as láminas, polo que esa deficiencia no pegado é a que pode implicar ese baixo valor de momento, e polo tanto, de resistencia da viga. As vigas de castiñeiro, especialmente a maciza, ofrece tamén unha boa resistencia. Neste caso podemos observar claramente como a resistencia baixa a medida que aumentan as láminas. Estudos previos experimentais indican que as discrepancias entre madeira laminada e maciza non deberían de ser tan grandes (Araujo-Molina et al., 2005), polo que esa baixada no momento, á vista dos resultados e estudos previos, estimamos que podería ser debida ao pegado, pois ao non ser profesional pode provocar que quede espazo entre as láminas de madeira, o que pode influír e facer que baixe a resistencia das vigas que presentan algunha laminación. En canto ao pino, é a que presenta unha menor resistencia en canto á viga maciza, pero a medida que se lamina parece que nalgúns casos a resistencia pode ser da orde, ou incluso superior, á do castiñeiro. Pero como dixemos, en canto ás vigas laminadas, habería que facer un pegado moi profesional para poder extraer resultados máis precisos.

#### 4. Conclusións

O principal obxectivo deste traballo era analizar a resistencia de 3 tipos de madeira diferente (piñeiro, faia e castiñeiro) xunto con 4 tipos de vigas (maciza, dúo, trío e laminada). Os principais resultados obtidos foron os seguintes:

- A madeira de faia é a que presenta, de forma xeral, unha maior resistencia.

- De forma xeral, observouse unha baixada da resistencia a medida que se laminaban as vigas. Isto hai que tomalo con cautela porque pode ser debido ao pegado entre as diferentes láminas das vigas, xa que para facer unha comparativa máis precisa, debería facerse con métodos profesionais.
- Este é un exemplo de metodoloxía que serve de base para estudos futuros que analicen, de forma máis precisa, as diferentes características de madeiras e tipoloxías de vigas para construción, seleccionando aquelas máis axeitadas.

#### Referencias

- Álvarez, R. A. (1969). Cálculo de estruturas de madeira. Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho (AITIM).
- Cuevas, H. R. (1988). Un criterio de selección y consideraciones de uso de la madera en construcción. *Bosque*, 9(2), 71-76.
- Fernández Nóvoa, D., Des Villanueva, M., Gómez Gesteira, M. (2021). O Cambio Climático. *Esenciais. Breviarios de Divulgación do Saber. Universidade de Vigo*.
- García Ortega, M., Benedetti Ruiz, S. (2021). La madera como material para la construcción: mitos, realidades y oportunidades. DOI: 10.52904/20.500.12220/31358.
- IPCC, (2021): Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and



- B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- Molina, O. A., Cardeña, M. C., Martín, M. C., García, M. A. (2005). Resistencia a la flexión de vigas laminadas con tres especies de madera tropical mexicana. *Ingeniería*, 9(1), 5-12.
- Valencia, L. E. C., Barriga, C. H., Jaime, C. L. R. (2010). Determinación de la calidad de la madera de construcción. *Acta Universitaria*, 20(2), 5-13.
- Zepeda, R. F. (2008). Construcción sostenible y madera: realidades, mitos y oportunidades. *Tecnología en Marcha*, 21(4), 92-101.

# Sistema de medida versátil con microprograma para a adquisición automática de datos en experimentos de bioconstrucción

M. Conde Abad\*, I. Duro Álvares, P. Rodríguez Mateo

\**martincondeabad@gmail.com*  
*I.E.S As Lagoas*

## RESUMO

A bioconstrucción estuda o emprego de procesos e materiais de construción que teñen un baixo impacto no medio ambiente. Para a avaliación de distintas técnicas e materiais é preciso realizar numerosos experimentos e extensivos procesos de toma de datos. Actualmente é habitual empregar sistemas automáticos de toma de datos que xeralmente téñense que deseñar de xeito explícito para cada experimento. Neste traballo propónse un sistema configurable para a adquisición automática de datos que pode ser adaptado ás necesidades dunha ampla variedade de experimentos de bioconstrucción. Este sistema baséase no emprego de software libre e compoñentes electrónicos de ampla dispoñibilidade e baixo custo, de xeito que poda ser adoptado por calquera persoa que precise levar a cabo este tipo de experimentos.

*Palabras Chave: Bioconstrucción, Recompilación de datos, Big data, Raspberry Pi*

## 1. Introducción

O termo bioconstrucción fai referencia á estrutura e o emprego de procesos de construción que son respectuosos co medio ambiente e fan un uso eficiente de recursos ó longo de todo o ciclo de vida dos edificios (Ding *et al.*, 2018). Moitas destas prácticas empregan non só tecnoloxías recentes senón tamén técnicas e materiais empregados dende a antigüidade (Sayer *et al.*, 2017). Deste xeito, co obxectivo de reducir o impacto ambiental dos edificios, a bioconstrucción estuda a aplicación de materiais naturais como a madeira ou pedra. Moitos destes materiais quedaron desprazados co paso dos anos a partir da revolución industrial por outros materiais cun gran impacto como o cemento ou o aceiro (Abed *et al.*, 2022). Sen embargo, a día de hoxe, debido a diversos factores como a falta de

sustentabilidade e o impacto no medio ambiente que provoca o ritmo de construción excesivo, estase a producir unha volta á bioconstrucción. Búscase así unha alternativa baseada na utilización de materiais naturais cun baixo impacto ambiental e que fagan un uso eficiente dos recursos.

Antes de comezar unha construción é necesario realizar unha análise e buscar os materiais óptimos en función das súas propiedades (como son a retención de humidade, a resistencia á choiva, lume e outros, o illamento térmico dependendo da zona...). En función destas propiedades poderase determinar a configuración óptima para o edificio en base ós requirimentos do mesmo. Esta análise implica a realización dunha serie de experimentos na que se obteñen unha serie de datos para cada un dos parámetros medidos. Esta toma de datos

que antigamente era realizada de xeito manual (por exemplo, mediante observacións dun termómetro de mercurio) son a día de hoxe realizadas de xeito electrónico. O emprego de sensores electrónicos e a adquisición dixital de datos por medio de microcontroladores ou ordenadores de formato reducido SBCs (Single Board Computers) permiten non só automatizar a adquisición dunha gran cantidade de datos senón que permiten engadir dun xeito sinxelo lóxica adicional como pode ser xestión de alertas, procesamento dos datos ou funcións de rede.

O I.E.S As Lagoas (Ourense) e a Universidade de Vigo veñen realizando unha serie de traballos no ámbito da bioconstrucción (Díaz Vilela *et al.*, 2021) baixo o programa STEMBach (STEMbach | Universidade de Vigo, 2022). Esta iniciativa busca mellorar a adquisición de competencias por parte do alumnado en materias transversais do ámbito STEM (Science Technology Engineering and Mathematics). Froito da experiencia en traballos anteriores, detectouse problemática de ter desenvolver un sistema de toma de datos *ad hoc* para cada tipo de experimento coa conseguinte perda de tempo e recursos.

Neste traballo propónse un sistema de medición automática para unha ampla variedade de experimentos de bioconstrucción. Trátase dun sistema configurable polo usuario que permite engadir diferentes sensores para a toma de medidas de diferentes parámetros físicos e ambientais. Esta solución proposta permite acelerar o proceso de toma de datos ó non ter que desenvolver un sistema *ad hoc* para cada tipo de experimento. Este sistema fai uso dunha serie de compoñentes *hardware* amplamente utilizados e facilmente dispoñibles como pode ser o SBC Raspberry Pi 4 (Raspberry Pi 4 Model B specifications – Raspberry Pi, 2022)

mentres que o software deseñado emprega a linguaxe de programación Python e execútase baixo unha distribución de GNU/Linux.

Este artigo está organizado do seguinte xeito. A Sección 2 describe a metodoloxía empregada para o desenvolvemento deste sistema detallando as diferentes tecnoloxías utilizadas. Na Sección 3 analízanse os distintos compoñentes do sistema proposto como resultado deste traballo. Para rematar, a Sección 4 resume as principais conclusións obtidas como froito deste proxecto.

## 2. Metodoloxía

Para a realización deste proxecto empregáronse diversos compoñentes software e hardware que se detallan de seguido.

### 2.1. Compoñentes electrónicos

Nos seguintes apartados descríbense os diferentes compoñentes hardware encargados de controlar o proceso de toma de datos.

#### 2.1.1. Raspberry Pi 4

Trátase basicamente dun ordenador de formato compacto (ver *Figura 1*) que permite a todo aquel usuario que o desexe acercarse ó mundo da informática e a creación dixital. A versión orixinal foi lanzada en 2012 para o mundo da educación principalmente pero gañou popularidade sendo empregada a día de hoxe en multitude de ámbitos. É unha ferramenta axeitada para desenvolver prototipos pequenos, polo que é a elección perfecta para os propósitos deste traballo.



Figura 1. Detalle da Raspberry Pi modelo 4 empregado neste traballo. (Fonte: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Raspberry\\_Pi\\_4\\_Model\\_B\\_-\\_Side.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Raspberry_Pi_4_Model_B_-_Side.jpg))

O modelo concreto empregado foi a Raspberry Pi 4 que conta cun procesador ARM Cortex-A72 de catro núcleos de procesamento a 1.5 GHz, emprega memoria RAM LPDDR4 en configuracións de entre 1 e 8 GB e para o almacenamento de datos emprega tarxetas Micro-SD (Raspberry Pi 4 Model B specifications – Raspberry Pi, 2022). En canto a conectividade conta con portos USB (3.0 e 2.0), HDMI (High-Definition Multimedia Interface), ethernet, wireless e GPIO (General Purpose Input/Output) entre outros. Compre destacar a conectividade GPIO que será a que se empregará para a lectura de datos dos sensores que se incorporen ó sistema.

A Raspberry Pi é a tarxeta controladora de todo o proceso de medidas, de actuadores e de almacenamento de datos. Ten unha capacidade de procesar toda a información que precisamos e de actuar sobre as entradas e saídas, o que fai que sexa a peza central do proceso. As súas funcións son diversas. Proporciona a alimentación dos circuitos de lectura dos sensores e dos compoñentes dixitais e analóxicos (multiplexor 408 e conversor AD 1115). Recibe a información dos datos do ADS 1115, polos terminais SCA / SDL co protocolo I<sup>2</sup>C, nos terminais GPIO 2 e GPIO 3. Envía os sinais de control do multiplexor aos terminais 1 (A0), 15 (A1) e 16(A2) que

van ir conectadas cos GPIO 17, 27 e 22 da Raspberry.

### 2.1.2. Placa protoboard

As placas protoboard (Figura 2) son un tipo de placas de probas que permiten crear circuitos electrónicos de xeito sinxelo, permitindo mediante o cableado, unir os diferentes compoñentes. Esta opción empregouse debido a que o seu uso é máis sinxelo que o uso de cables soldados e permite facer modificacións de forma áxil.

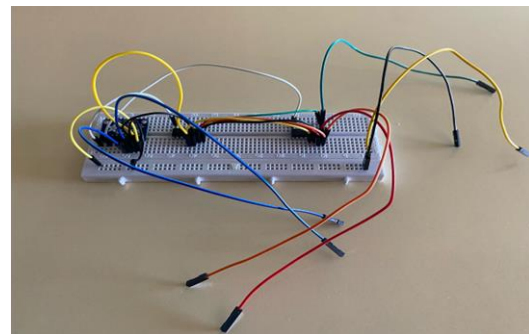


Figura 2. Fotografía da placa protoboard empregada coa correspondente conexión dos diferentes compoñentes electrónicos.

### 2.1.3. Multiplexores CI 408

Os multiplexores son circuitos que combinan varias entradas con unha única saída, empréganse para seleccionar unha delas obtendo os datos que indicados en cada momento. Os CI 408 son multiplexores analóxicos de 8 entradas e unha saída, que estarán controlados con tres sinais de selección que saíran desde a Raspberry Pi. Neste caso empregáronse dous multiplexores analóxicos 408 de 8 entradas, con tres grupos de sinais, soportando deste xeito un máximo de 16 sensores simultáneos.

### 2.1.4. Convertidor analóxico dixital ADS 1115

O ADS1115 (Figura 3) é un convertidor analóxico dixital que proporciona unha precisión de 16 bits a 860 mostras por segundo. Permite transformar os datos

analóxicos que recibe dos dous multiplexores (408), en datos dixitais que envía á Raspberry Pi para que os procese.



Figura 3. Fotografía do conversor analóxico dixital empregado. (Fonte: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:16bit\\_ADC\\_Card.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:16bit_ADC_Card.jpg))

## 2.2. Sensores

De seguido descríbense os sensores empregados para a toma de datos en experimentos de bioconstrución. Esta selección é tan só unha mostra, sendo o sistema facilmente ampliable a outros tipos de sensores que se podan precisar un determinado experimento.

### 2.2.1. Sensor de temperatura LMT 86

Este sensor ten un bo funcionamento para os valores que manexamos para este tipo de experimentos. Transforma o valor da temperatura nun sinal de voltaxe, variando de 2V a 1,5 V para uns cambios entre 0°C e 50° C. O encapsulado é de tipo TO-92, con alimentación a 5V, que tomaremos da controladora, e con saída en Voltios (OUT), que irán conectadas ás entradas dos multiplexores analóxicos 408.

Devolve un sinal analóxico, en voltios inversamente proporcional a temperatura. A expresión que relaciona a temperatura co voltaxe responde a seguinte relación. De maneira moi

aproximada, utilízase unha ecuación que relaciona V e T que se deduce das características que aporta o fabricante. Consiste en tomar a pendente da liña V-T como -11mV/°C e que a 100°C a saída é de 1V. As unidades usadas son milivoltios e °C.

### 2.2.2. Sensor de temperatura LM 35

O sensor de temperatura LM 35 proporciona un voltaxe de saída que varía de forma lineal coa temperatura. Non necesita calibración, proporciona un voltaxe de saída de 750 mV a 25 °C e varía linealmente 10mV/°C A relación lineal de Temperatura e voltaxe, fai que responda cunha expresión moi simple. Do tipo  $V = 10 \cdot T$ , sendo 0 o voltaxe en mV e a temperatura en °C. (O equivalente é  $T = 0,1 \cdot V$ ).

O sensor LM 35 ten tres terminais, dous de alimentación (5V e GND) e un de saída de información, que dará en Voltios. Encapsulado en placa, xa ven soldado á placa base e só é preciso unir os cables. No controlador haberá que pasar esta información a graos centígrados sabendo que a 25°C dá un resultado de 0,25 V e varía 10 mV con cada grao centígrado de aumento ou baixada de temperatura.

### 2.2.3. Sensor de distancias HC-SR04

O sensor HC-SR04 pode medir a distancia á que se encontran os obxectos. Traballa con ondas fora do espectro audible (40 Khz), que se propagan a 340 m/s, e rebotando nos obxectos que se encontran. Ten dous elementos, un emisor e un receptor para traballar a estas frecuencias. O sinal que sae do emisor rebota no obxecto e volve para ser captada polo receptor. Ten catro conexións exteriores: GND, ECHO, TRIG e +V.

O funcionamento é o seguinte:

- Enviamos desde a controladora un pulso dixital a TRIG, ( pode ser de 10  $\mu$ s),
- O sensor responde emitindo unha secuencia de pulsos ultrasónicos e pon a saída ECHO en nivel alto e mantense até que recibe a sinal de retorno que pon a ECHO en nivel baixo.
- O ancho do pulso de ECHO mide o tempo que tarda o sinal en ir e volver ao obxecto (proporcional ao dobre da distancia).
- Medimos o valor do pulso en ms ou microsegundos e calculamos a distancia en cm ou metros ( sabendo que o son viaxa a 340 m/s).

#### 2.2.4. Sensor de gases MQ 7

Os sensores da serie MQ, teñen a capacidade de detectar a presenza de distintos gases. O sensor de gas MQ 7 permite medir gas Monóxido de Carbono (CO), ideal para detectar concentracións perigosas de CO no aire e así evitar danos na saúde. O sensor MQ-7 pode detectar valores no rango de 20 a 2000 ppm. O módulo ten unha saída analóxica que proven do divisor de voltaxe que forma o sensor e unha resistencia de carga. Tamén pode ter unha saída dixital regulable por un potenciómetro. Este sensor tamén é adecuado para a detección de metano, alcohol, ou hidróxeno. Presentase en modulo de placa, con tres ou catro conexións exteriores, dúas para alimentación, +V, GND, unha terceira como saída analóxica. A cuarta é unha saída dixital (non a usamos; só ten utilidade como aviso, non como medida). A alimentación é de 5V. Ten un potenciómetro exterior para axustar a sensibilidade e necesita un período inicial de quecemento, para que os valores sexan mais precisos. No noso caso para usala como detector de CO, medindo en condicións de aire limpo, temos unha V de saída de 1 V, e se hai un pouco de CO xa pasa rapidamente a

uns 2 V e se a cantidade é moi superior alcanza os 3,5 V.

#### 2.3. Software

Para a implementación deste sistema empréganse diferentes compoñentes de software libre. Comezando polo sistema operativo que goberna o ordenador, neste caso emprégase Raspberry Pi OS (Raspberry Pi OS – Raspberry Pi, 2022), unha distribución de GNU/Linux especialmente adaptada para as placas Raspberry Pi. Esta distribución instálase directamente na tarxeta micro SD da placa dun xeito áxil e sinxelo. Está baseada na distribución Debian polo que conta con soporte para un amplo número de paquetes software adicionais.

O software desenvolto emprega a linguaxe de programación Python (About Python™ | Python.org, 2022). É linguaxe de programación interpretada de alto nivel que permite desenvolver programas dun xeito áxil e dinámico. Ademais, conta cunha gran cantidade de librerías que son de especial utilidade para o desenvolvemento deste sistema ó facilitar a comunicación cos diferentes compoñentes electrónicos.

Algunhas das librerías empregadas son:

- Pygame: un conxunto de ferramentas para a creación de gráficos en dúas dimensións que se emprega para o deseño de videoxogos pero tamén é útil para a representación de datos e creación de interfaces de usuario.
- CircuitPython: é un conxunto de librerías deseñadas para o manexo de circuítos e microcontroladores dun xeito sinxelo. Dentro deste conxunto empréganse os módulos *busio* e *board*.
- Adafruit\_ads1x15: librería específica para manexar o conversor analóxico dixital ADS1115.
- PIO: esta librería é específica para manexar o módulo GPIO das placas Raspberry Pi.

### 3. Resultados

O resultado deste traballo é sistema desenvolvido para poder conectar os diferentes sensores á Raspberry Pi e posteriormente obter os datos para o seu almacenamento nun arquivo CSV ou o posterior procesamento. Baséase en utilizar a protoboard mencionada anteriormente e os multiplexores que permiten conectar os sensores. Isto xúntase coa implementación en Python obtendo un sistema compacto, eficiente, así como útil.

O sistema deseñado ofrece a posibilidade de obter datos de 16 sensores, que se poderán conectar nas entradas dispoñibles nos dous multiplexores. Tanto poderán ser os 16 sensores todos distintos, como ser 16 sensores do mesmo tipo situados en distinto lugares ou ben varios sensores iguais entre si e outros distintos. As medicións quedarán almacenadas na Raspberry Pi para o seu posterior tratamento. O diagrama de bloques do proceso é o que se indica na *Figura 4*, e que se comenta en detalle a continuación.

Para seleccionar a información única que vaia chegar ao procesador Raspberry Pi en cada instante de entre os 16 posibles sensores hai que recorrer a un sistema de dous multiplexores CI 408. Segundo a selección dixital que se faga desde a Raspberry, en cada instante só un único sensor transmitirá información. As entradas de información que son 8 en

cada multiplexor (S1..S8), veñen cada unha dun único sensor. As entradas de selección no multiplexor son os terminais 1 (A0), 15 (A1) e 16(A2) que van conectadas cos conectores GPIO 17, 27 e 22 da Raspberry (ver *Figura 5*). A saída de datos é o terminal 8 (D), será

conectada a un convertidor analóxico dixital. Segundo a selección dixital enviada pola Raspberry polas sinais de selección (A2,A1,A0), o multiplexor porá na súa saída (D) a información do sensor escollido entre os conectados entre S1 e S8.

O convertidor ADS 1115 ten catro canles de entrada, que enlazamos da seguinte maneira. A0 e A1 que recollen os datos que proceden do primeiro multiplexor 408, e A2 e A3 que recolle a información do segundo multiplexor. Traballamos con 5V que tomamos do controlador. A placa ADS 1115, comunícase coa Raspberry cos terminais SCA / SDL co protocolo I2C, cos correspondentes da Raspberry, que son os GPIO 2 e GPIO 3.

O software deseñado pódese dividir en dous grandes bloques. En primeiro lugar ten lugar a inicialización do sistema. Como se pode observar no diagrama de fluxo da *Figura 6*, en primeiro lugar o programa carga tódalas librerías precisas. A continuación configura o módulo de GPIO en modo BCM e os correspondentes conectores en modo entrada ou saída segundo se indicou anteriormente.

Por último, deben configurarse as entradas de datos para o que é precisa a intervención do usuario. Para iso emprégase un bucle no que o usuario poderá introducir a localización (é dicir, a que multiplexor se atopa conectado e en que entrada do multiplexor) e o tipo de sensor (para o cal poderá escoller entre unha lista de sensores implementados). Os datos dos sensores serán almacenados nunha estrutura de datos interna que será empregada máis tarde no segundo bloque.

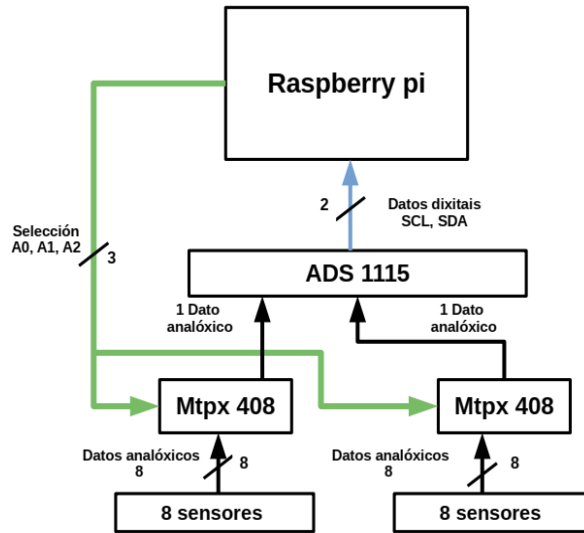


Figura 4. Diagrama de bloques do sistema proposto.

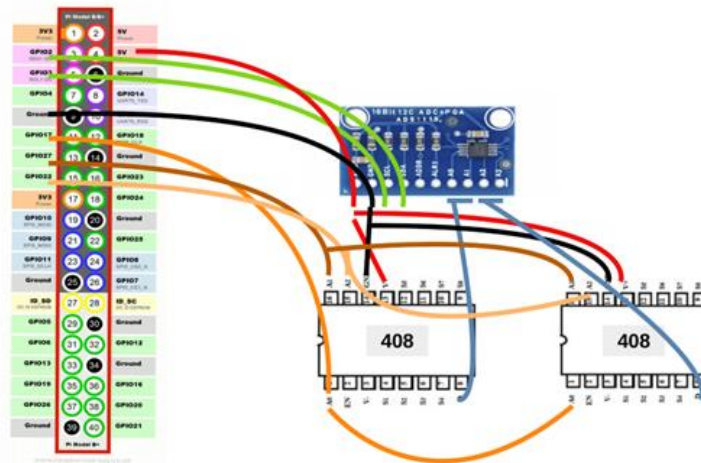


Figura 5. Esquema das conexións dos diferentes compoñentes electrónicos. Á esquerda o módulo GPIO da Raspberry Pi e á dereita o multiplexores e conversor analóxico dixital.

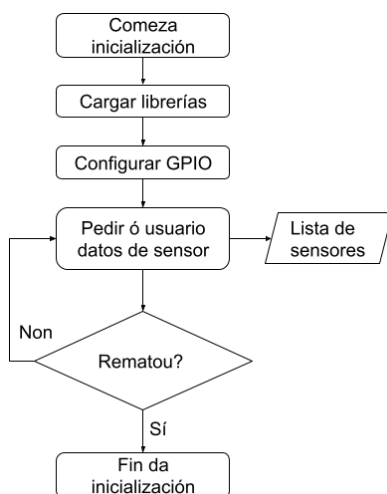


Figura 6. Diagrama de fluxo da inicialización do sistema.

A continuación comeza a etapa de toma de datos, como se pode apreciar no diagrama de fluxo da *Figura 7*, este bloque conta cun bucle principal que realiza unha toma de datos de forma indefinida ata que o usuario finaliza o programa. Dentro do bucle principal, existe un bucle interno que realiza unha iteración sobre cada un dos sensores introducidos polo usuario. Para cada un destes sensores, o programa configura a entrada adecuada do multiplexor e a continuación fai unha lectura do dato do multiplexor adecuado a través do



conversor analóxico dixital. Este dato almacénase nunha estrutura de datos en memoria. Unha vez finalizado este segundo bucle, os datos lidos son pasados a un ficheiro de texto CSV incluíndo ademais o instante de tempo no que se rexistrou a lectura. Para continuar, o programa amosa por pantalla estes datos procedentes da lectura.

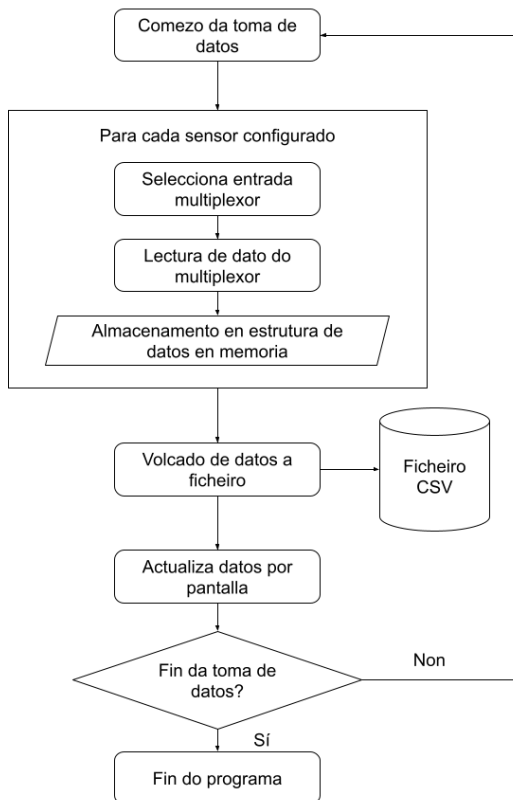


Figura 7. Diagrama de fluxo do proceso de toma de datos.

#### 4. Conclusións

Neste artigo propónse un sistema de medida versátil e configurable para experimentos de bioconstrución. O sistema parte de compoñentes de hardware amplamente dispoñibles e cun baixo custo económico e elementos de software libre. É por isto que este sistema pode ser empregado por calquera que estea interesado na realización de toma de datos en xeral e máis especificamente en experimentos de bioconstrución. O sistema destaca pola súa versatilidade ao poder integrar múltiples sensores de

diferente tipo, é facilmente extensible e portable debido ó seu pequeno tamaño. Ademais como actividade dentro do programa STEMBach do I.E.S. As Lagoas e a Universidade de Vigo, cabe destacar que o traballo realizado supuxo para os autores unha excelente introdución ó mundo da electrónica e a programación.

#### Agradecementos

Agradecemos enormemente a axuda prestada por Orlando García Feal, o cal axudounos no desenvolvemento do programa informático en Python. Queremos agradecer tamén a Antonio Gil Pereiras, que nos proporcionou tanto os materiais para poder facer a parte do hardware como os seus coñecementos; e por último a Santiago Díaz Vilela, o cal nos axudou e guiou durante todo o proceso.

#### Referencias

- Abed, J., Rayburg, S., Rodwell, J., and Neave, M.: A Review of the Performance and Benefits of Mass Timber as an Alternative to Concrete and Steel for Improving the Sustainability of Structures, 14, 5570, <https://doi.org/10.3390/SU14095570>, 2022.
- About Python™ | Python.org: <https://www.python.org/about/>, last access: 15 May 2022.
- Raspberry Pi 4 Model B specifications – Raspberry Pi: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/specifications/>, last access: 13 May 2022.
- Raspberry Pi OS – Raspberry Pi: <https://www.raspberrypi.com/software/>, last access: 15 May 2022.
- STEMbach | Universidade de Vigo: <https://www.uvigo.gal/es/ven-uvigo/centros->

- secundaria/steam/stembach, last access: 13 May 2022.
- Díaz Vilela, S. et al.: Análise térmico dun cerramento. Estudo da transmisión da calor, desfase térmico e inercia térmica nos distintos materiais que conforman o muro., 2021.
- Ding, Z., Fan, Z., Tam, V. W. Y., Bian, Y., Li, S., Illankoon, I. M. C. S., and Moon, S.: Green building evaluation system implementation, 133, 32–40, <https://doi.org/10.1016/J.BUILDEN.V.2018.02.012>, 2018.
- Sayer, E., Matt Syal, M. G., and Berghorn, G.: Comparison of buildings in ancient times with modern green building practices, in: ISEC 2017 - 9th International Structural Engineering and Construction Conference: Resilient Structures and Sustainable Construction, <https://doi.org/10.14455/isec.res.2017.205>, 2017.

# Estudio del recurso eólico en la costa gallega

N. Gómez de Castro

*nicogdcastro@gmail.com*

*IES As Lagoas, Rúa Blanco Amor, 2, 32004 Ourense, España*

## RESUMEN

Se ha analizado el recurso eólico en el litoral gallego a partir de los datos de una boya de Puertos del Estado situada en Cabo Silleiro, observando diferencias de recurso eólico dependiendo de la estación, siendo máximo en invierno y mínimo en verano. También se ha analizado el aprovechamiento del recurso para un aerogenerador de última generación, siendo del orden de un 30%.

*Palabras Clave:* Energía eólica *offshore*, recurso eólico, aerogeneradores.

---

## 1. Introducción

Los vientos se generan por el calentamiento del Sol y la rotación de la Tierra. La energía cinética transportada por el viento puede ser aprovechada por los aerogeneradores y transformada en electricidad.

A pesar de que ya se habían desarrollado turbinas para generar electricidad a finales del siglo XIX, no fue hasta la década de los 80 del siglo XX, cuando se instalaron los primeros parques eólicos en tierra. Aún tardarían dos décadas más en comenzar a instalarse los primeros parques eólicos marinos en el mar del Norte.

Actualmente, Europa tiene una capacidad eólica de 170 GW, lo que representa un 12,2% de la electricidad consumida en 2019 por la Unión Europea. España fue el país que más potencia instaló en tierra en 2019 con 2.2 GW.

Por otro lado, Europa produjo 22 GW mediante energía eólica marina en 2019, lo que constituyó un 2,3% de la energía

consumida por la Unión Europea en ese año. En conjunto, la energía eólica ha sido alrededor de un 15% de la electricidad consumida en Europa en 2019. En España la energía eólica ocupa el primer puesto entre las energías renovables, suponiendo el 46.8% de la energía renovable instalada.

Cuando se compara la energía eólica marina con la eólica en tierra, puede verse que la marina tiene sus ventajas y desventajas.

Entre las ventajas cabe destacar:

- El viento es más constante, lo que supone un mayor recurso.
- Hay grandes extensiones para instalar los parques.
- Hay un menor impacto visual y acústico.
- Pueden instalarse turbinas más grandes.

Entre las desventajas cabe destacar:

- Unos mayores costes de instalación, mantenimiento y conexión a la red eléctrica terrestre.
- La tecnología de estructuras flotantes aún no está lo suficientemente

desarrollada para instalarse en zonas con profundidades mayores de 50- 60 m.

- Hay una peor accesibilidad a los aerogeneradores, sobre todo debido a las malas condiciones climáticas.
- La necesidad de compartir el espacio marítimo con otras actividades (pesca, transporte marítimo, usos militares, parques naturales, áreas protegidas...).

En el presente estudio se va a analizar el recurso eólico existente en el litoral gallego a partir de datos obtenidos de boyas instaladas por Puertos del Estado ([www.puertos.es](http://www.puertos.es)).

## 2. Material y métodos

Puertos del estado ([www.puertos.es](http://www.puertos.es)) mantiene una red de medida a lo largo de todo el litoral español. En particular, se analizarán los datos correspondientes a la boya situada en Cabo Silleiro, cuyas características pueden verse en la figura 1.

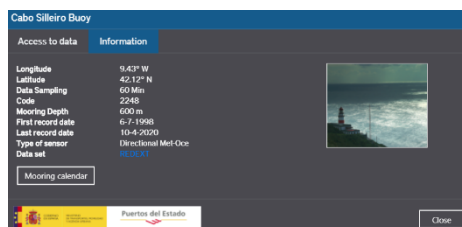


Figura 1. Características de la boya de medida.

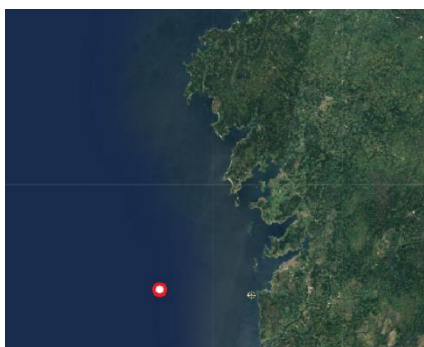


Figura 2. Posición de la boya de medida.

Esta boya forma parte de la REDEXT, la red exterior, constituida por boyas que se encuentran a alrededor de 50 km de distancia de la costa. En la figura 2 puede verse su posición aproximada.

En el caso particular de las boyas de Puertos del Estado los valores de intensidad del viento están tomados a una altura de 3 m. En general, los vientos proporcionados por boyas están dados a una altura que no coincide con la posición del rotor de los aerogeneradores, por lo que es necesario extrapolarlos mediante la ecuación (1)

$$W_H = W_B \frac{\ln\left(\frac{H}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{H_B}{z_0}\right)} \quad (1)$$

donde H es la altura a la que se van a extrapolar los vientos (120 m, que coincide con la altura del rotor),  $H_B$  es la altura a la que la boya mide los datos (3 m),  $W_B$  es la intensidad del viento a la altura  $H_B$  y  $z_0$  es una longitud de rugosidad que puede asumirse para el océano de  $1.52 \times 10^{-4}$  m.

El recurso es la cantidad de energía que transporta el viento y que puede calcularse mediante la ecuación:

$$WP = \frac{1}{2} \rho_a W_H^3 \quad (2)$$

donde  $\rho_a$  es la densidad del aire ( $1,225 \text{ kg m}^{-3}$ ). Esta variable, que tiene unidades de  $\text{Wm}^{-2}$  es totalmente teórica y no depende de las características del aparato.

Cuando se quiere tener en cuenta las dimensiones del aparato se usa:

$$P = \frac{1}{2} \rho_a A W_H^3 \quad (3)$$

donde A es el área que describen las aspas al girar. Es un círculo cuyo radio coincide con la longitud de las palas. Las unidades son Watts en este caso. Se considerará un aparato en particular que es el 6 MW SWT-6.0-154 (<https://www.siemensgamesa.com/es-es/products-and-services/offshore/aerogenerador-swt-6-0-154>). Esta turbina se colocó en el primer parque eólico flotante del mundo

(parque Hywind Scotland). Se puede asumir un radio de la pala de 77 m y una altura del rotor de 120 m.

Los aerogeneradores reales tienen una curva de potencia, es decir, se adaptan al viento existente. En el caso particular del 6 MW SWT-6.0-154 el aparato permanece inactivo para vientos inferiores a  $4 \text{ ms}^{-1}$  y deja de producir energía para vientos muy fuertes por encima de los  $25 \text{ ms}^{-1}$ . Entre los 4 y los  $13 \text{ ms}^{-1}$  el aparato produce energía usando la ecuación (3) y para vientos entre 13 y  $25 \text{ ms}^{-1}$  las aspas se recolocan para que el viento efectivo sea de  $13 \text{ ms}^{-1}$ , es decir, se vuelve a aplicar la ecuación (3), pero con un viento reducido.

Para el presente estudio se usarán datos de la boya de Cabo Silleiro correspondiente a los años 2003-2018 que serán tratados con un código Matlab (ver apéndice).

### 3. Resultados

La figura 3 muestra el histograma de vientos extrapolados a 120 m de altura. Los vientos más probables están entre 5 y  $12 \text{ ms}^{-1}$ , mientras que los vientos mayores de  $15 \text{ ms}^{-1}$  son muy poco probables.

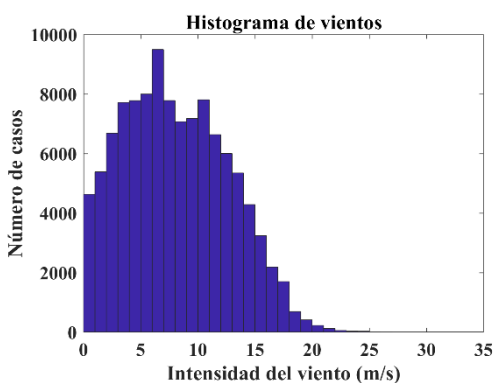


Figura 3. Histograma de vientos a 120 m.

El valor de la densidad de potencia (WP) que se calculó mediante la ecuación (1), se muestra en la figura 4, donde se

representa la densidad de potencia anual (línea punteada) y estacional (barras).

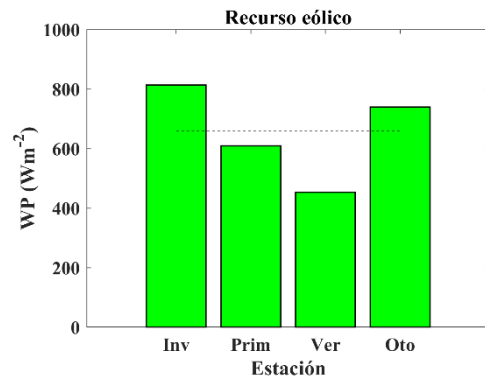


Figura 4. Densidad de potencia anual y por estación.

Puede verse que las estaciones con mayor densidad de potencia son invierno y otoño y las de menor son verano y primavera. El valor medio es de  $658 \text{ Wm}^{-2}$ . Este valor coincide con los datos del atlas eólico de España [Margarit, 2011] (ver figura 10 en ese estudio).

Tal como se mencionó anteriormente, el recurso (WP) solo da una estimación teórica de la cantidad de energía que podría extraerse del viento. Para obtener un valor más real es necesario tener en cuenta la curva de potencia definida anteriormente. La figura 5 muestra la curva de potencia para la turbina 6 MW SWT-6.0-154 descrita en la sección anterior.

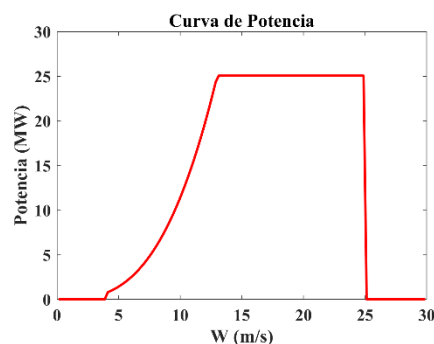


Figura 5. Curva de potencia para el 6 MW SWT-6.0-154.

Puede verse que para valores superiores a  $25 \text{ ms}^{-1}$  e inferiores a  $4 \text{ ms}^{-1}$  el aerogenerador no produce energía. En la tabla siguiente puede verse la energía que se produciría en teoría y la que se produce realmente usando la curva de potencia.

La tabla 1 muestra que solo se podría aprovechar alrededor de un 75% de la potencia. Además, debe tenerse en cuenta que cada aparato tiene su eficiencia, que normalmente es alrededor de un 40%, es decir, de los 9,3 MW podrían llegar a aprovecharse alrededor de 3,7 MW, lo que sería alrededor de un 30% del recurso disponible.

	Potencia (MW)
Teórica	12,3
Real	9,3

Tabla 1. Comparación entre la potencia teórica y real obtenida por el 6 MW SWT-6.0-154.

#### 4. Conclusiones

Se ha analizado el recurso eólico en el litoral gallego a partir de los datos de la boya de Puertos del Estado situado en Cabo Silleiro. La boya está situada a aproximadamente unos 50 km de costa y se ha usado el periodo 2003-2018 para realizar el estudio.

La media del recurso se sitúa alrededor de los  $650 \text{ Wm}^{-2}$ , coincidiendo con estudios previos en la misma zona. Se han observado importantes diferencias de recurso eólico dependiendo de la estación, con valores máximos en invierno y mínimos en verano.

Finalmente, se ha observado que el aprovechamiento del recurso mediante el análisis de un aerogenerador de última generación es del orden de un 30%.

#### Referencias

- [1] Margarit, J. 2011. Análisis del recurso. Atlas eólico de España. Estudio Técnico PER 2011-2020.

## Apéndice

```

clear all
close all
clc
%Fichero de 5 columnas
%año mes día hora viento
datos=load('vientos_silleiro_nico.txt');
w=datos(:,5);
mes=datos(:,2);
n=length(datos);

Hh=120;Hb=3;Z0=1.5*10^(-4);
densidad=1.225;
suma=0; suma_i=0;suma_p=0;suma_v=0;suma_o=0;
ni=0;np=0;nv=0;no=0;
for i=1:n
    wh(i)=w(i)*log(Hh/Z0)/log(Hb/Z0);%extrapola viento de 3 a 120 m
    WPD(i)=0.5*densidad*wh(i)^3;
    suma=suma+WPD(i);
    if mes(i)>=1 & mes(i)<=3 %Invierno
        ni= ni+1;
        suma_i= suma_i +WPD(i);
    elseif mes(i)>=4 & mes(i)<=6 %Primavera
        np= np+1;
        suma_p= suma_p +WPD(i);
    elseif mes(i)>=7 & mes(i)<=9 %Verano
        nv= nv+1;
        suma_v= suma_v +WPD(i);
    else %Otoño
        no= no+1;
        suma_o= suma_o +WPD(i);
    end
end
WPDmed=suma/n;
WPDannual(1:4)=WPDmed;
WPDmed_s(1)= suma_i/ni;
WPDmed_s(2)= suma_p/np;
WPDmed_s(3)= suma_v/nv;
WPDmed_s(4)= suma_o/no;

figure(1)
clf
hold on
bar(WPDmed_s,'FaceColor',[0 1 0],'EdgeColor',[0 0 0],'LineWidth',1)
plot(WPDannual,'k--');
xticks([1 2 3 4])
xticklabels({'Inv'; 'Prim'; 'Ver'; 'Oto'})
xlabel('Estación','Fontname','Times New Roman','FontSize',12,'FontWeight','Bold');
ylabel('WP (Wm^{-2})','Fontname','Times New Roman','FontSize',12,'FontWeight','Bold');
title('Recurso eólico','Fontname','Times New Roman','FontSize',14,'FontWeight','Bold');

```

```

myfiguresize = [2.5, 2.5, 14, 10];
set(gcf, 'PaperPosition', myfiguresize);
set(gca, 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 14, 'FontWeight', 'bold');
box on
print -dtiff -r300 estaciones

%Calculo para aparato dado 6 MW SWT-6.0-154
%(https://www.siemensgamesa.com/es-es/products-and-services/offshore/aerogenerador-swt-6-0-154).
%Esta turbina se usó en el primer parque eólico flotante del mundo (parque Hywind Scotland).
%Se puede asumir:
%   radio del rotor de 77 m
%   una altura del hub de 120 m
A=pi*77^2;
sumaa=0;
for i=1:n
    if wh(i)<4
        whc=0;
    elseif wh(i)>=4 & wh(i)<13
        whc=wh(i);
    elseif wh(i)>=13 & wh(i)<25
        whc=13;
    else
        whc=0;
    end
    WPDa(i)=0.5*densidad*A*whc^3;
    sumaa=sumaa+WPDa(i);
end
WPDamed=sumaa/n;
fprintf(1, 'La energía promedio es %f W/m2\n', WPDamed);
fprintf(1, 'La energía promedio para el aparato es %f W\n', WPDamed);
fprintf(1, 'La energía maxima aprovechable por el aparato es %f W\n', WPDamed*pi*77*77);

%Histograma
figure (2)
clf
dw=0.5:30.5;
hist(wh,dw)
box on
xlabel('Intensidad del viento (m/s)', 'Fontname', 'Times New Roman', 'FontSize', 12, ...
    'FontWeight', 'Bold');
ylabel('Número de casos', 'Fontname', 'Times New Roman', 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'Bold');
title('Histograma de vientos', 'Fontname', 'Times New Roman', 'FontSize', 14, ...
    'FontWeight', 'Bold');
myfiguresize = [2.5, 2.5, 14, 10];
set(gcf, 'PaperPosition', myfiguresize);
set(gca, 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 14, 'FontWeight', 'bold');
print -dtiff -r300 hist_vientos
%Curva de potencia
i=0;
for n=0.125:0.25:30
    i=i+1;

```



```
W(i)=n;
if W(i)<4
    whc=0;
elseif W(i)>=4 & W(i)<13
    whc=W(i);
elseif W(i)>=13 & W(i)<25
    whc=13;
else
    whc=0;
end
Potencia(i)=0.5*A*densidad*whc^3/1000000;
end
figure (3)
clf
plot(W,Potencia,'r-','LineWidth',2);
box on
xlabel('W (m/s)', 'Fontname','Times New Roman','FontSize',12,'FontWeight','Bold');
ylabel('Potencia (MW)','Fontname','Times New Roman','FontSize',12,'FontWeight','Bold');
title('Curva de Potencia','Fontname','Times New Roman','FontSize',14,'FontWeight','Bold');
myfiguresize = [2.5, 2.5, 14, 10];
set(gcf, 'PaperPosition', myfiguresize);
set(gca,'FontName','Times New Roman', 'FontSize',14,'FontWeight','bold');
print -dtiff -r300 curva_potencia
```

# Instalación dun panel solar no IES As Lagoas e validación das súas medidas

C. Cachaldora, D. Ventura , A. Martínez

*IES As Lagoas, Rúa Blanco Amor 2, 32004 Ourense*

## RESUMO

No marco do proxecto STEMBach que se levou a cabo no IES As Lagoas de Ourense, instalouse unha placa solar no tellado do instituto co propósito de aumentar o coñecemento sobre a enerxía solar fotovoltaica. Este dispositivo consta da propia placa solar e dun multímetro que permite configurar a toma das medicións de intensidade solar. Co primeiro paso, os alumnos realizaron unha estimación da curva I-V do panel fotovoltaico comparando os distintos datos de días con niveis de radiación similares. A realización desta curva presentou unha gran serie de inconvenientes posto que o multímetro utilizado non era capaz de soportar a medida de intensidade e voltaxe a vez, obrigándolles a realizar estas medidas en días separados.

Posteriormente comparáronse os datos de intensidade do panel solar con datos de radiación solar tomados nunha estación próxima de Meteogalicia durante os meses de febreiro e marzo. A principal conclusión desta comparativa é que a placa solar mide correctamente a intensidade solar xa que existe unha clara equivalencia cas medidas tomadas por Meteogalicia. Finalmente, tendo en conta que durante a realización deste proxecto tivo lugar un evento intenso de calima na cidade de Ourense, analizouse con maior detalle este evento que tivo lugar entre os días 14 e 19 de marzo.

*Palabras Clave:* STEMBach, solar fotovoltaica, panel solar, calima

---

## 1. Introducción

A enerxía solar refírese ao aproveitamento da enerxía transmitida polo sol en forma de radiación electromagnética que chega á superficie terrestre. Actualmente existen dous tipos de aproveitamento de enerxía solar. Por un lado, a enerxía térmica solar aproveita a enerxía do sol para producir calor, que posteriormente será aproveitado de diferentes formas na vida cotiá (quentar auga, servizos domésticos, xerar electricidade...). Esta enerxía obtense a partir duns captadores solares ou colectores. Por outro lado, a enerxía solar fotovoltaica consiste no uso de células fotovoltaicas que transforman a enerxía da luz solar en

enerxía eléctrica grazas ao efecto fotoeléctrico. O efecto fotoeléctrico cosiste na expulsión ou emisión de electróns dos átomos dun metal cando sobre o metal incide a luz, liberándoos da atracción do seu correspondente átomo .

Sabendo que a corrente eléctrica é simplemente un movemento de electróns, o efecto fotoeléctrico pode considerarse unha boa forma de conseguir enerxía , posto que os electróns adquiren unha enerxía cinética unha vez son desprendidos do seu núcleo.

A aplicación do efecto fotoeléctrico a cela denomínase efecto fotovoltaico. A explicación de como se produce dita

corrente, sería, dun modo resumido, a seguinte:

- A unión de dous elementos semicondutores (un tipo n e outro tipo p) provoca unha diferenza de potencial.
- Os fotóns (cuanto de radiación electromagnética) transfíren a enerxía da radiación solar incidente aos electróns dos semicondutores, liberándoos da rede cristalina na que estaban unidos.
- A diferenza de potencial existente na unión provoca un fluxo de electróns fotoxenerados, orixinando una diferenza de potencial na célula fotovoltaica.
- Mediante os contactos existentes na célula permite conectarse a un circuíto exterior, por o cal circulará unha corrente eléctrica.

Unha das vantaxes da enerxía solar fotovoltaica é que permite producir enerxía eléctrica en zonas illadas onde a rede eléctrica non chega. Os usos máis comúns son os destinados a servizos domésticos, bombeo de auga, rega de campos ou iluminación de invernadoiros e granxas. É o tipo de aproveitamento de enerxía no que se vai centrar este proxecto. A tecnoloxía usada nesta sección son as celas fotovoltaicas, que é o dispositivo máis común para a obtención de enerxía eléctrica mediante a creación dun campo eléctrico e o uso dun material condutor como o silicio.

A enerxía solar fotovoltaica é unha forma de enerxía renovable que ademais permite a xeración de enerxía en zonas illadas da rede eléctrica, isto fai que sexa moi interesante para xerar enerxía en zonas máis remotas. Ademais as súas instalacións son flexibles xa que se pode adecuar o tamaño da instalación os

intereses que se persiguen. Desta forma podemos instalar paneis nos tellados de edificacións con pequenas instalacións ou tamén é posible un aproveitamento máis masivo como o que se da en aproveitamentos que ocupan grandes extensións de terreo. No planeta terra a incidencia solar non é igual en todas partes nin constante durante todo o ano. Isto dá lugar a existencia de lugares máis axeitados para a instalación de esta enerxía, como por exemplo zonas desérticas, como Atacama en Chile, o Sáhara ou Australia. España é considerada unha zona de media incidencia solar, ao estar localizada nas latitudes medias do hemisferio norte (deCastro e Costoya, 2020).

Neste traballo o principal obxectivo é o de validar o correcto funcionamento dunha placa solar instalada no tellado do IES As Lagoas da cidade de Ourense. Ademais, describirase o proceso de instalación e a localización de dita placa. Este traballo encádrase dentro do proxecto STEMBach que desenvolve o Departamento de Tecnoloxía do Instituto As Lagoas de Ourense.

## 2. Datos e procedemento

### 2.1. Panel solar

O panel solar instalado no tellado do IES As Lagoas de Ourense (Figura 1 e Figura 2) é un panel da marca Xunzel Solar Module SOLARPANEL. Este panel conta cunhas dimensións de 340x 240x 25mm e de 10w e 12v e duns 30° de inclinación. A orientación é completamente sur, que é o recomendado neste tipo de instalacións para cubrir toda a traxectoria do sol ó longo do día sen que ningún posible obstáculo poida xerar unha zona de sombra sobre o mesmo o que prexudicaría a xeración de electricidade.



Figura 1: Fotografía da placa solar instalada no punto máis alto do instituto As Lagoas de Ourense.



Figura 2: Fotografía da placa solar instalada no tellado do IES As Lagoas de Ourense.

Ademais da placa solar, a instalación conta cun multímetro (Figura 3) que é o dispositivo que permite o control do sistema de medición. Este multímetro é da marca Multicorp ProMP730027, e ten unhas dimensións de 110mm x 235mm x 295mm. O software que trae incorporado este dispositivo permite seleccionar algúns parámetros da medición. Así, por exemplo, permite seleccionar cada canto tempo queremos

realizar e gardar nunha memoria as medidas de intensidade da luz. Neste traballo seleccionouse tomar medidas cada 5 minutos xa que nos pareceu que este período de tempo representa un bo equilibrio entre a toma de datos e a capacidade de memoria que trae o dispositivo. Así, foi preciso descargar os datos cada 5 minutos, aínda que posteriormente colleríamos solo os datos de 10 en 10 minutos, para ter o mesmo número de referencias que Meteogalicia. A recolla destes foi feita con un lapis dixital que permitía o almacenamento dos datos durante un tempo definido.

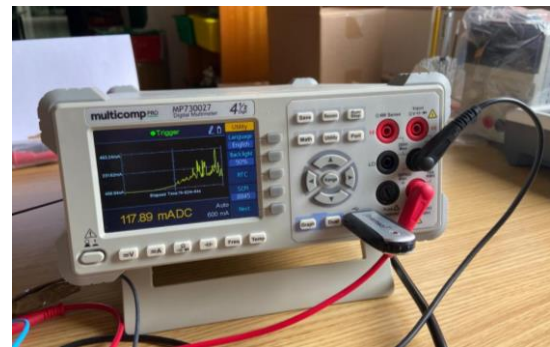


Figura 3 Fotografía do multímetro onde se acumulan os datos medidos pola placa solar.

## 2.2. Datos de Meteogalicia

Un dos principais obxectivos do traballo foi o de comparar os datos medidos pola placa solar con datos doutra fonte co propósito de asegurar que a placa está realizando as medicións correctamente. A fonte externa de datos que se seleccionou foi a dunha estación meteorolóxica de Meteogalicia. Este organismo conta con diferentes estacións meteorolóxicas na cidade de Ourense, seleccionouse a única que contén datos de radiación solar medidos cun piranómetro. A estación meteorolóxica, que se pode ver na Figura 4, localízase a unha distancia de aproximadamente de dous kilómetros do instituto das Lagoas. Polo tanto, a variable a analizar, a radiación solar é totalmente representativa e pode

empregarse para realizar a comparación cos datos da placa solar dada a escasa distancia.

Dende a páxina web de Meteogalicia ([https://www.meteogalicia.gal/observacion/estacions/estacions.action?request\\_locale=gl#](https://www.meteogalicia.gal/observacion/estacions/estacions.action?request_locale=gl#)) pódense consultar os datos de radiación solar (medida en W/m<sup>2</sup>) medidos cada 10 minutos. Tendo en conta que os datos da placa solar se tomaron cada 5 minutos o que se fixo foi empregar datos dezminutais tanto para os datos de Meteogalicia como para os da placa solar. A comparación fíxose tomando datos dos meses de febreiro e de marzo.



Figura 4 Imaxe da estación meteorolóxica de Meteogalicia

### 2.3. Estimación da curva I-V do panel fotovoltaico

A curva I-V trátase da curva característica dun panel fotovoltaico, tamén chamada curva de intensidade-

voltaxe (curva I-V), representa os valores de tensión e corrente, medidos experimentalmente, dun panel fotovoltaico en concreto sometido a unhas determinadas condicións constantes de insolación e temperatura. Variando a resistencia externa desde cero a circuíto aberto, pódense medir diversos valores de pares (I-V), que xuntando as súas respectivas representacións nun eixo cartesiano forman a curva característica para cada valor de radiación (ver figura 5).

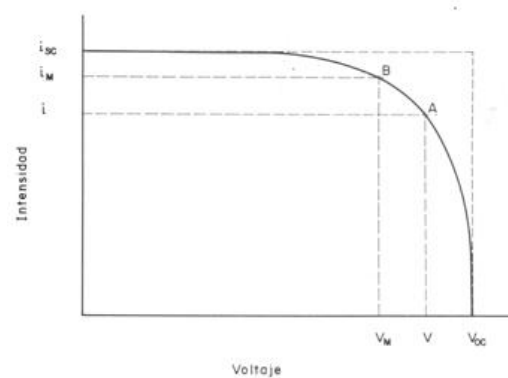


Figura 5 Curva I-V teórica

O punto A é un punto calquera que representa o funcionamento do panel nunhas condicións (determinadas pola resistencia ou "carga" exterior) de intensidade e tensión. O panel desenvolve certa potencia  $IV$ , que xeometricamente coincide coa área do rectángulo cuxo vértice superior dereito é o punto A.

Se o punto A "se despraza" cara á dereita, baixando pola curva, vese que a área do devandito rectángulo, ao decrecer  $I$  (intensidade) moi rapidamente, faríase máis e máis pequena. O mesmo sucedería se o devandito punto se trasladase cara á esquerda, aproximándose ao eixo de coordenadas, xa que neste caso o que se faría moi pequeno sería o valor de  $V$  (voltaxe). Existirá un certo punto intermedio B que faga que a área do rectángulo sexa a maior posible. Devandito punto B é o punto coñecido

como MPPT ou punto de potencia máxima .

O Factor de Forma (FF) (Ecuación 1) é o cociente da área do rectángulo definido polo punto B e o rectángulo exterior á curva, este e o encargado de definir a eficacia dunha célula solar, trátase da relación entre o máximo punto de potencia dividido entre o *voltaxe en circuito aberto (Voc)* e a *corrente en cortocircuíto Isc*:

$$FF = \frac{P_m}{V_{oc} \times I_{sec}} = \frac{\eta \times A_c \times E}{V_{oc} \times I_{sec}} \quad (1)$$

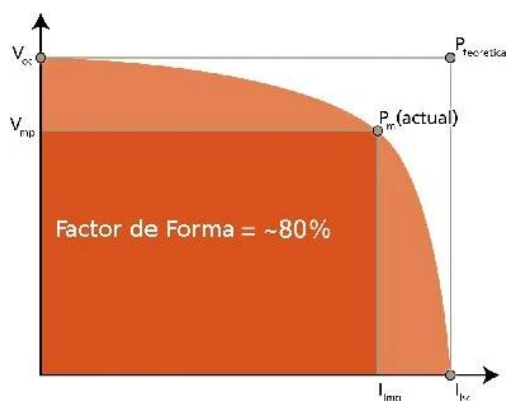


Figura 6. Representación Factor de Forma

Para un determinado modelo de panel e nunhas condicións de intensidade luminosa e temperatura constante, a curva I-V queda determinada e o punto concreto sobre a devandita curva que representa as condicións de traballo do panel quedará fixado para o circuíto que alimenta este.

Se se modifican a intensidade radiante incidente sobre o panel ou a temperatura ambiente, que son as dúas variables que mais influencia teñen na resposta eléctrica do mesmo, a curva i-V tamén se modifica, como se ve nas seguintes curvas.

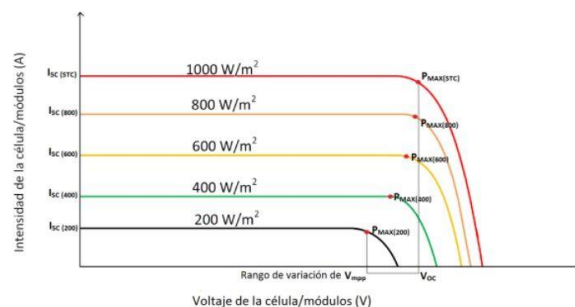


Figura 7. Representación gráfica modificando a intensidade radiante.

O estándar internacionalmente aceptado para medir respostas de paneis fotovoltaicos é unha intensidade radiante de 1000 W/m<sup>2</sup>, que se coñece como unha intensidade de "un Sol" e unha temperatura da célula de 25 °C. Estas condicións simúlanse nun laboratorio de ensaio mediante un simulador solar (lámpadas que emiten un espectro luminoso moi similar ao do sol).

As condicións de traballo reais dos paneis unha vez instalados poden ser moi diferentes ás do laboratorio, polo que convén coñecer as variacións que poden producirse, a fin de efectuar as pertinentes correccións nos cálculo.

### 3. Resultados

#### 3.1. Comparación dos datos da placa solar e Meteogalicia

A comparativa entre os datos da placa solar e da estación de Meteogalicia realizáronse empregando Microsoft Excel. É importante subliñar que a variable que se representa nos datos de Meteogalicia é a radiación solar, medida en W/m<sup>2</sup>, mentres que os datos que se representan da placa solar son os de intensidade, medida en Amperios. Estes valores son equivalentes pero son dunha orde de magnitude diferente, por ese motivo os datos represéntanse empregando dous eixos verticais.

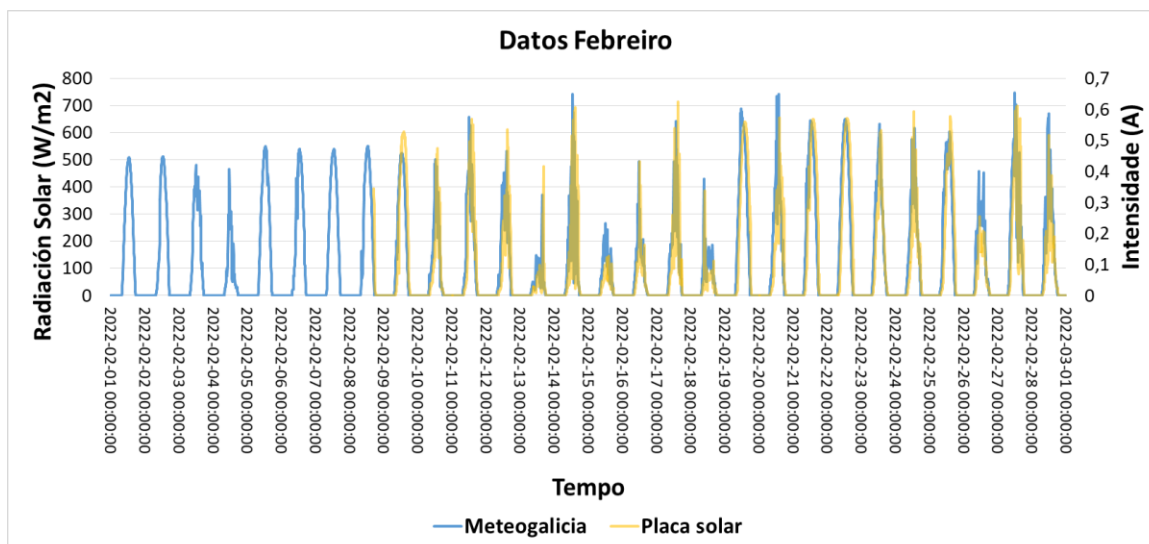


Figura 8. Datos de intensidad (A) medidos pola placa solar (liña naranxa) e datos de radiación solar ( $W/m^2$ ) medidos pola estación de Meteogalicia (liña azul) durante o mes de febreiro.

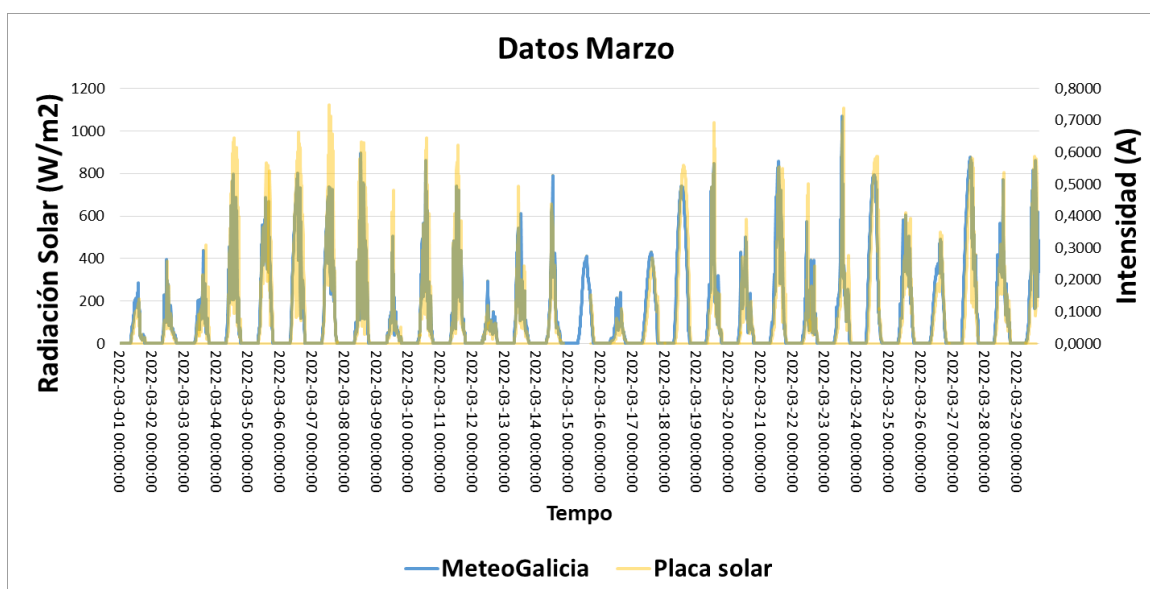


Figura 9. Datos de intensidad (A) medidos pola placa solar (liña naranxa) e datos de radiación solar ( $W/m^2$ ) medidos pola estación de Meteogalicia (liña azul) durante o mes de marzo.

Na figura 8 represéntanse os datos da placa solar e de Meteogalicia para o mes de febreiro, mentres que os datos para o mes de marzo móstranse na figura 9. O principal resultado que se pode extraer ó analizar estas gráficas é que o patrón xeral dos datos de intensidade medidos polo panel solar son moi similares aos datos de radiación solar de Meteogalicia. Pódese observar unha equivalencia clara de tal forma que

os días nos que a radiación solar é alta tamén é alta a intensidade medida pola placa solar, e o mesmo acontece cos valores máis baixos. Inclúese algúns días onde se observan diferentes incrementos e diminucións da radiación solar, coma por exemplo o 15 ou o 19 de febreiro, tamén son reproducidos pola placa solar.

### 3.2 Evento de calima intensa

Durante o desenvolvemento deste proxecto produciuse un evento relevante dende o punto de vista da medición da radiación solar. Entre os días 14 e 19 de marzo tivo lugar un evento intenso de calima na cidade de Ourense como consecuencia da chegada ó norte da Península Ibérica de gran cantidade de partículas procedentes do Sahara. A maior intensidade deste evento tivo lugar entre os días 15 e 17 de marzo, sendo o 16 de marzo o día no que se notou un maior efecto. Os efectos deste evento foron recollidos pola placa solar. Na figura 11 pódese ver en detalle como a intensidade medida pola placa solar foi claramente menor nos días centrais deste evento de calima.

Ó analizar os datos cun maior nivel de detalle temporal obsérvanse unhas pequenas diferencias entre a hora do día en que o radiómetro de Meteogalicia comeza a obter medidas e a hora na que o comeza a facer a placa solar instalada no instituto. O mesmo acontece para a

hora na que os dispositivos deixan de obter valores distintos de cero. Este patrón vese claramente na figura 11 durante o día 18 de marzo. Co propósito de coñecer mellor a que se debe esta discrepancia consultáronse na web de Meteogalicia os datos da hora na que sae o sol e se pon na cidade de Ourense. Estes datos poden consultarse no seguinte enlace:

[https://www.meteogalicia.gal/web/prediccion/orto/ortoIndex.action?request\\_locale=gl](https://www.meteogalicia.gal/web/prediccion/orto/ortoIndex.action?request_locale=gl). Segundo Meteogalicia o día 18 de marzo o sol saíu na cidade de Ourense ás 07:38 e púxose as 19:40. Estes datos coinciden bastante ben cas medidas tomadas pola placa solar, xa que o primeiro valor distinto de cero obtívose as 07:30 e a última medida as 19:40. Sen embargo, no caso dos datos medidos na estación de Meteogalicia obsérvase que a primeira medida foi as 06:50 e a última as 18:20. É dicir, existe unha pequena discrepancia entre os datos que ofrece Meteogalicia de saída e posta do sol e os datos medidos polo piranómetro da estación meteorolóxica. Esta diferenza constatouse para outros

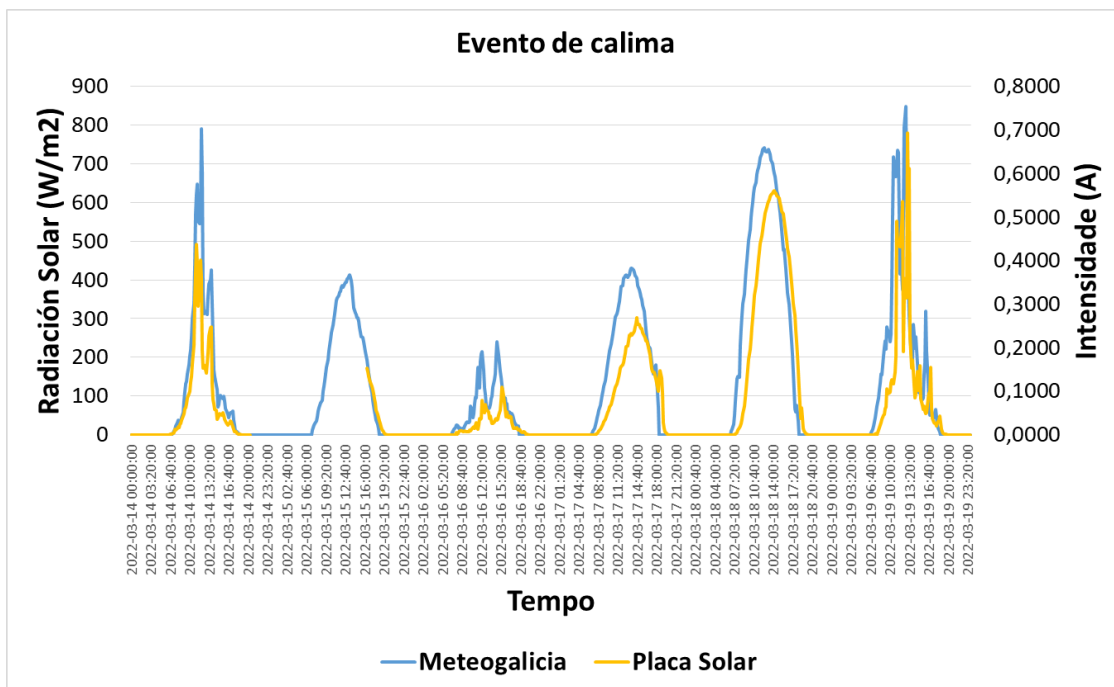


Figura 10. Datos de intensidade (A) medidos pola placa solar (liña naranxa) e datos de radiación solar ( $W/m^2$ ) de Meteogalicia medidos durante un evento de calima intensa entre os días 14 e 19 de marzo.



días do período analizado. Este feito pode deberse a diferentes motivos, como por exemplo a que se produza un efecto de sombra por parte das edificacións que rodean a estación meteorolóxica de Meteogalicia xa que o medidor da radiación solar está localizado a pouca distancia do solo. Polo tanto, é importante comentar que a localización da placa solar no tellado do IES As Lagoas é idónea tendo en conta a coincidencia do inicio de toma de valores de intensidade cas horas de saída e posta do sol.

#### 4. Conclusións

Neste traballo realizado por alumnado do IES As Lagoas no marco do programa STEMBach instalouse unha placa solar no instituto e corroborouse o seu correcto funcionamento empregando un multímetro e comparando as medidas obtidas con datos tomados dunha estación meteorolóxica de Meteogalicia localizada en Ourense. As principais conclusións as que se chegaron son as seguintes:

- Tendo en conta a comparativa cos datos da estación meteorolóxica de Meteogalicia, podemos concluír que o panel fotovoltaico, xunto co multímetro, miden dunha maneira correcta a intensidade da radiación solar.
- Dito panel estivo colocado nunha posición que determinamos como adecuada, xa que está nunha parte onde non recibe impedimentos físicos que poidan perxudicar a medición de intensidade e está exposto ao sol durante todo o día.
- Observouse que o panel recollía os datos durante mais tempo que o posto de Meteogalicia, polo que pode-

mos deducir que está mais exposto ao sol. Ademais o inicio e finalización das medidas do panel coinciden perfectamente ca hora de saída e posta do sol na cidade.

#### Referencias

de Castro, M. e X. Costoya, 2020. As enerxías renovables. Breviarios de divulgación do saber. Servizo de publicacións da Uvigo.

#### Sitios web consultados:

- Meteogalicia:  
<https://www.meteogalicia.gal/web/inicio.action>
- Características panel solar:  
<https://www.xunzel.com/inicio/solar-power-10w-12v/>
- Características do multímetro:  
<https://es.farnell.com>

# Energía de las olas: Generador undimotriz

A. Rodríguez\*, J. Pérez, J. Fidalgo, P. Araújo

\**adrianarodriguezdgz3@gmail.com*

*IES As Lagoas, Rúa Blanco Amor 2, 32004 Ourense*

## RESUMEN

Se ha conseguido utilizar la energía mecánica del oleaje para la obtención de energía eléctrica mediante la ley de inducción de Faraday en un prototipo de tanque de olas construido con fines educacionales (Eólince). La energía eléctrica obtenida se utilizó para iluminar una casita de miniatura mediante un led. Para mostrar la conversión de la energía mecánica de las olas en corriente eléctrica se diseñó un dispositivo experimental en el cual un tren de olas, generado por un pistón controlado por ordenador, incide sobre una estructura que consta de una boya anclada a una armazón con poleas y a un sistema imanes- bobina cuya salida está conectada a un circuito eléctrico. El circuito eléctrico es indispensable para rectificar el voltaje obtenido de la bobina y para almacenar y generar la intensidad de corriente necesaria para encender el led. Este sencillo dispositivo experimental ilustra la capacidad de obtención de energía eléctrica a partir de un recurso natural prácticamente infinito como el oleaje.

*Palabras Clave:* Energías renovables, energía undimotriz, tanque de olas, Ley de inducción de Faraday.

## 1. Introducción

La energía es uno de los bienes más preciados en el mundo en la actualidad, puesto que se ha convertido en indispensable para el desarrollo de la mayoría de las actividades. El actual modelo de producción está basado en un uso abusivo de este recurso, el cual se obtiene en un alto porcentaje de fuentes no renovables, altamente contaminantes, que dañan el planeta.

Como se puede observar en el gráfico de la Figura 1, la obtención de energía está repartida de forma prácticamente equitativa entre las fuentes renovables y no renovables.

Estructura de la generación eléctrica en España (2020)

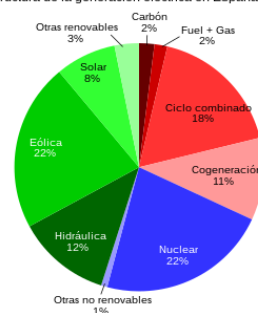


Figura 1. Generación de electricidad en España en el año 2020 (de [wikipedia](https://es.wikipedia.org/wiki/Estructura_de_la_generaci3n_el3ctrica_en_Espa1a)).

Este equilibrio tenderá a decantarse hacia las energías renovables en un futuro, gracias a los acuerdos a los que se ha llegado en las últimas cumbres del cambio climático y a la conciencia colectiva sobre el estado crítico del planeta (General Assembly, 2017).

Hoy por hoy, las fuentes renovables “líder” (la eólica, la hidráulica y la solar

fotovoltaica) presentan un problema común: sólo obtienen energía, de media, el 25% del tiempo. Las razones son varias, ya sea por ausencia de viento, por corrientes débiles o por la imposibilidad de aprovechar las horas nocturnas en el caso de la fotovoltaica. En esta situación surge la difícil tarea de encontrar una fuente que aproveche un recurso estable y energético. La respuesta que parece solucionar mejor tal coyuntura es la energía undimotriz.

La energía undimotriz se obtiene a partir del movimiento de las olas del mar. Actualmente, no existe una única tecnología que la explote de una forma altamente eficiente (Aderinto *et al.*, 2019, Silva *et al.*, 2013), como sucede con otras energías renovables (por ejemplo la eólica). Sin embargo, es una fuente de energía extremadamente fiable (IRENA2021; Ribeiro *et al.*, 2020), ya que actúa alrededor del 75% del tiempo, siendo Europa uno de los lugares más idóneos para la instalación de generadores undimotrices (Fig. 2).

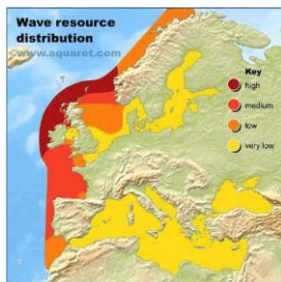


Figura 2: Distribución del recurso undimotriz en Europa basado en el tamaño del mar de fondo y de las olas generadas por el viento ([www.aquaret.com](http://www.aquaret.com)).

Teniendo en cuenta los datos de la imagen, se puede deducir que gran parte de la costa occidental de Europa es propicia para la obtención de energía undimotriz. En general el mejor recurso undimotriz se genera cuando fuertes vientos actúan a lo largo de grandes distancias. Por este motivo, en Europa, el mejor recurso se encuentra a lo largo de su costa oeste, donde llegan las olas que

han recorrido todo el Atlántico. Otro aspecto determinante es la profundidad ya que en aguas someras la fricción con el fondo disipa parte de la energía transportada por las olas. La mezcla de ambos factores provoca que zonas como Irlanda y Galicia o Portugal, en menor medida, sean óptimas para la obtención de energía undimotriz (Mota & Pinto, 2014; Iglesias *et al.*, 2009; Silva *et al.*, 2015; Bento *et al.*, 2018).

Actualmente existen muchos tipos de generadores undimotrices. Atendiendo a su posición respecto a la dirección de propagación del oleaje se pueden clasificar en atenuadores, terminadores y absorbedores puntuales (Olmo, 2009; Rusu *et al.*, 2017; Pecher & Kofoed, 2017) (Fig. 3).

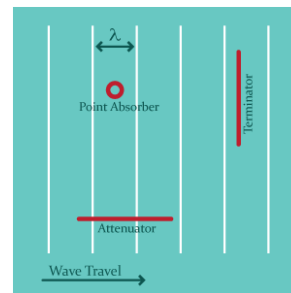


Figura 3. Esquema de los diferentes tipos de generadores de energía undimotriz.

Los absorbedores puntuales (Fig. 4) son de menor dimensión que la longitud de onda de la ola ( $\lambda$ ) (Bozzi *et al.*, 2014) y oscilan verticalmente por acción de las olas en relación a una base sin importar la dirección del oleaje.



Figura 4. Absorbedor puntual. Ocean Power Technologies. Imagen obtenida de la página web de TETHYS ([tethys.pnnl.gov/technology/wave](http://tethys.pnnl.gov/technology/wave)).

Los atenuadores y terminadores tienen formas alargadas con dimensiones mayores que  $\lambda$ . Los atenuadores (por ejemplo, el *Pelamis*, Fig. 5) se sitúan en la dirección de propagación de la ola mientras que los terminadores se colocan en dirección perpendicular, de tal forma que rompen el oleaje que impacta contra la estructura (por ejemplo el *Wave Dragon*, Fig. 6).



Figura 5. Prototipo de Pelamis en Orkney, Escocia. Imaxe obtida por P123 de Public Domain, commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4859717, e de Public Domain, commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4859702.



Figura 6. Wave Dragon. Imagen cedida por www.wavedragon.net.

El objetivo final de este proyecto es la transformación de la energía de oscilación de las olas en potencial eléctrico siguiendo la Ley de Faraday. Para ello, se decidió utilizar un dispositivo flotante cuya oscilación debido a las olas mueve un imán con respecto a una bobina, produciendo un campo eléctrico.

## 2. Material y métodos

### 2.1. Tanque de olas

Para generar las olas cuya energía mecánica se va a aprovechar para la obtención de electricidad se utilizó un canal de olas pequeño (Eólíce) que se muestra en la Fig. 7.

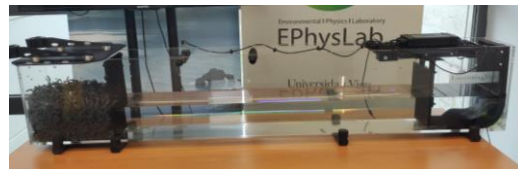


Figura 7. Canal de olas (Eólíce) usado en los experimentos.

Las dimensiones de Eólíce se resumen en la Tabla 1.

Características	Tamaño (m)
Largo	2,00
Alto	0,36
Fondo	0,20
Ancho cámara pistón	0,32
Ancho cámara anti-reflexión	0,35
Altura agua	0,14

Tabla 1. Características del tanque de olas Eólíce.

Eólíce fue diseñado con fines educativos y consta de tres partes bien diferenciadas:

- Un pistón que genera el tren de olas (Fig. 8 derecha). Mediante un programa de ordenador se selecciona el periodo y el recorrido del pistón; esto determinará las características de las olas (periodo y altura de ola).

- La parte central donde se propagan las olas y donde se va a colocar el dispositivo generador de energía.

- Un dissipador de olas formado por virutas de PVC (Fig.8, izquierda); cuyo objetivo es eliminar, en la medida de lo posible, la reflexión de las olas contra la pared del fondo del tanque.



Figura 8. Disipador de olas (izquierda) y pistón para generar el tren de olas (derecha).

## 2.2. Fundamento Físico

Durante mucho tiempo se creyó que el principio de reciprocidad, presente en muchos campos de la física, no se cumplía en la relación eléctrico-magnética; pues una corriente eléctrica producía un campo magnético pero la simple presencia de un campo magnético no generaba corriente alguna.

No fue hasta 1831 que Michael Faraday llevó a cabo importantes descubrimientos que probaron definitivamente que se podía inducir una corriente eléctrica siempre y cuando existiese una variación en el tiempo del flujo magnético.

El funcionamiento de este dispositivo está basado en la aplicación práctica de la Ley de Faraday mediante un modelo físico constituido por una serie de imanes que se mueven verticalmente dentro de una bobina, generando así una corriente eléctrica siguiendo la expresión:

$$V = N \frac{d\phi}{dt}$$

donde  $V$  es el voltaje inducido,  $N$  es el número de espiras y la derivada representa la variación temporal del flujo magnético para una espira.

## 2.3. Montaje Experimental

Para la producción de la energía necesaria para la realización del proyecto se utilizó el montaje experimental que se muestra en la Figura 9.

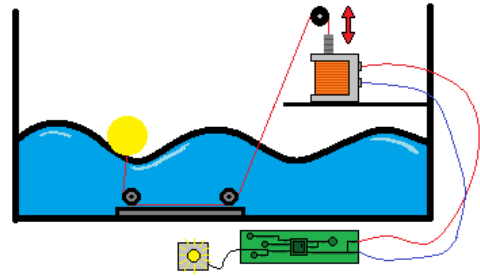


Figura 9. Esquema del montaje experimental

El montaje experimental consta de:

- Una boya (Fig. 10), realizada con una impresora 3D cuyas características se describen en la Tabla 2.

Características (unidades)	
Radio externo (cm)	3,1
Radio interno (cm)	2,6
Masa (kg)	0,065
Densidad del material (kg m <sup>-3</sup> )	1270
Densidad de la boya (kg m <sup>-3</sup> )	520,73

Tabla 2. Propiedades de la boya

La boya es una parte crucial debido a que su desplazamiento, producido por el paso del tren de olas, genera, mediante un sistema de poleas, el movimiento vertical de los imanes dentro de la bobina.



Figura 10. Boya a la que se transmite la energía del tren de olas.

- Un armazón con un sistema de poleas cuyas medidas aparecen descritas en la Figura 11. Las poleas, que sirven para transmitir la fuerza minimizando el rozamiento, constan de una rueda que gira sobre un eje fijado a una placa de pvc. Para lastrar la placa de pvc se ancló a unas barras de acero inoxidable

reellenas de piedras. Este armazón permite la conexión entre la boya y los imanes mediante un hilo de nylon transparente que pasa por el canal de ambas ruedas.

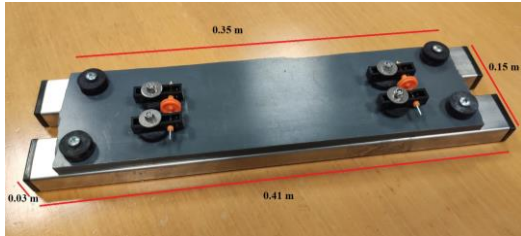


Figura 11. Armazón y sistema de poleas.

- 13 imanes de neodimio de 1 cm de diámetro y 2 mm de espesor (Fig 12). Tal como se comentó anteriormente, la Ley de inducción de Faraday establece que se puede obtener un voltaje mediante el movimiento de un imán en presencia de un conductor.



Figura 12. Imanes de neodimio.

- Una bobina de 12000 espiras (Fig.13) con la que se va a inducir el campo eléctrico a partir del movimiento de los imanes. La bobina, que se muestra en la Fig. 13, permite tanto una configuración con 6000 espiras como una con 12000. Se optó por la segunda configuración para lograr el mayor voltaje posible.



Figura 13. Bobina de 12000 espiras.

- Un circuito eléctrico que sirve para rectificar el voltaje inducido por el

movimiento de los imanes dentro de la bobina y generar una intensidad de corriente suficiente como para encender un led (Fig. 14).

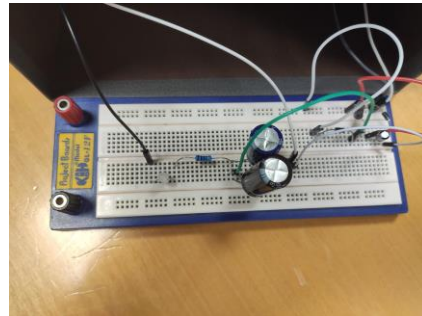


Figura 14. Circuito utilizado para rectificar el voltaje y generar la corriente necesaria para encender un led.

El circuito (cuyo esquema se muestra en la Fig. 15) consta de cuatro partes: un generador, un duplicador de tensión, una parte de almacenamiento y un consumidor.

La primera parte es, en este caso, el conjunto de la bobina y los imanes que, como ya fue explicado en apartados anteriores, produce la inducción de un voltaje eléctrico a partir de un campo magnético variable en el tiempo.

Después hay un duplicador de tensión, que está formado por dos diodos y dos condensadores. Dependiendo del sentido en el que se mueva el imán, verticalmente hacia arriba o hacia abajo, se producirá un semiciclo positivo o uno negativo. En cada semiciclo cada uno de los diodos permite que se cargue uno de los condensadores, obteniendo de este modo la suma de los dos voltajes, es decir, el doble.

La parte de almacenamiento está formada por dos condensadores en serie, en los cuales se almacena el voltaje obtenido para su posterior utilización.

Finalmente, el consumidor es lo que permite hacer pasar la corriente por el led y, de esta forma, encenderlo una vez los condensadores se encuentren cargados. De forma opcional se puede colocar una resistencia en serie con el led, la cual

cumple una doble función. Por un lado, lo protege frente a voltajes elevados y, por otro, limita la corriente que pasa por led. El valor de la resistencia condiciona el tiempo de encendido del led.

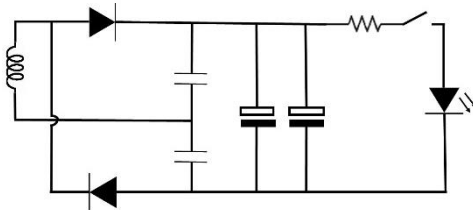


Figura 15. Esquema del circuito utilizado para rectificar el voltaje.

En el montaje particular que se consideró en el proyecto, los dos primeros condensadores tienen una capacidad de 100  $\mu\text{F}$ , los dos siguientes una capacidad de 4700  $\mu\text{F}$  y la resistencia era de 1k $\Omega$ .

### 3. Resultados

Se ha obtenido la intensidad de corriente necesaria para encender un led utilizando el principio de inducción de Faraday a partir del movimiento de un tren de olas generado en el tanque Eólico.

Primero, se caracteriza el tren de olas generado a partir del movimiento del pistón. En el proyecto se escogió un oleaje de período  $T = 1.6 \text{ s}$  y amplitud  $A=10 \text{ cm}$ , tal y como se puede ver en la Figura 16 dónde se muestra el desplazamiento del pistón.

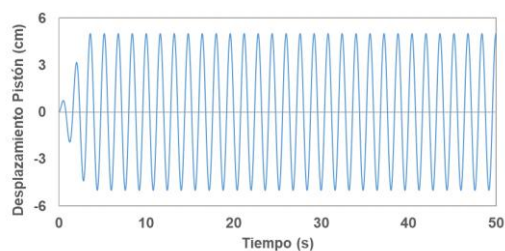


Figura 16. Desplazamiento del pistón del tanque que produce un tren de olas de período  $T=1.6 \text{ s}$  y de amplitud  $A=10 \text{ cm}$ .

Una vez que se ha generado el tren de olas se mide la elevación del agua del tanque en un punto distante del pistón (dónde se colocará la boya) para ver

cómo es la señal de propagación del oleaje en ese punto (Fig. 17).

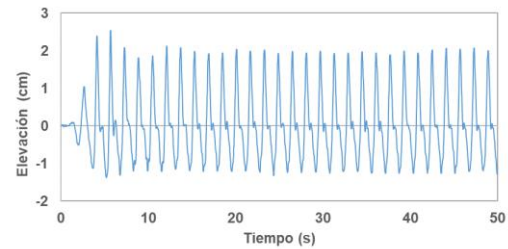


Figura 17. Elevación del agua (cm) en un punto distante del pistón dónde se colocará la boya.

A continuación, y siguiendo el montaje experimental del apartado 2.3, lo primero que se hace es colocar la boya conectada al armazón y al sistema imanes-bobina. Posteriormente, se conecta la salida del voltaje de la bobina al circuito eléctrico. Una vez hecho esto, se procede a mandar las instrucciones necesarias al pistón, a través del ordenador de control, para generar el tren de olas (Fig. 16).

Se inicia así el movimiento de la boya debido al oleaje y, por lo tanto, el movimiento de los imanes dentro y fuera de la bobina, lo que se traduce en una señal del voltaje alterna que se ha de rectificar mediante el circuito eléctrico descrito en las Figuras 14 y 15.

Debido al reducido tamaño del tanque y por lo tanto de las olas que se pueden generar, el voltaje obtenido a partir de la ley de inducción de Faraday es pequeño, por lo que es necesario dejar funcionando el sistema un cierto tiempo hasta cargar los condensadores del circuito (Figura 15), manteniendo desconectado el led a través de un interruptor. Una vez cargados completamente los condensadores se enciende el interruptor permitiendo la descarga de la corriente a través de led, que se ilumina tal y como puede verse en la Figura 18.



Figura 18. Iluminación de una casa a partir de la energía suministrada por las olas.

Lo observado a pequeña escala de experimentos de laboratorio constituye el mecanismo de generación de energía en el océano. Debe tenerse en cuenta que el prototipo es poco eficiente, ya que es necesario más de 20 minutos de oleaje para que el led se ilumine durante aproximadamente un minuto. Sin embargo, este sencillo dispositivo experimental ilustra la capacidad de obtención de energía a partir de un recurso prácticamente infinito como el oleaje. Tal como se comentó anteriormente, la costa atlántica europea en general y la costa de Galicia en particular, son zonas con un abundante recurso undimotriz, siendo por lo tanto emplazamientos idóneos para la colocación de dispositivos de captación de energía.

Durante el proceso se plantearon diferentes retos experimentales. El primero de ellos fue lograr una estructura que, sin estar anclada al fondo, no se moviese debido al oleaje. Esto se logró combinado una placa de pvc con tubos rectangulares de acero inoxidable, los cuales fueron lastrados colocando en su interior piedras de jardinería. Todos los materiales utilizados permitían su inmersión en agua durante largos periodos sin problemas de corrosión.

El segundo desafío experimental se debió al escaso voltaje obtenido a partir del movimiento de los imanes. El generador de olas permitía solo pequeñas amplitudes, las cuales estaban asociados

a frecuencias no demasiado altas (periodos alrededor del segundo). Para paliar este efecto se utilizó una bobina con un gran número de espiras ( $N=12000$ ). Montajes iniciales con bobinas del orden de los 1000-2000 apenas generaban voltaje. Otra solución hubiese sido utilizar imanes de mayor potencia, pero no fue posible encontrar imanes comerciales con unas dimensiones similares y más potentes. Incluso considerando una bobina con muchas espiras, el voltaje resultante fue sólo del orden de un voltio, por lo que hubo que rectificarlo y almacenarlo mediante el circuito descrito anteriormente.

#### 4. Conclusiones

Se ha conseguido utilizar la energía mecánica del oleaje para la obtención de energía eléctrica mediante la ley de inducción de Faraday. Esta energía, a su vez, se utilizó para iluminar una casita en miniatura mediante un led.

Como se mencionó anteriormente, el montaje sólo pretendía probar la posibilidad de convertir energía mecánica en energía eléctrica, no lograr un aparato eficiente, lo cual requeriría un montaje mucho más sofisticado y, por lo tanto, más caro. En el presente proyecto se ha optado por un montaje experimental de bajo coste, a fin de que sea fácilmente reproducible en otros laboratorios que dispongan de pequeños generadores de olas.

#### Agradecimientos

Agradecemos a la Facultad de Ciencias de Ourense y en especial a Manuel Arias, técnico de laboratorio de Física, por el material facilitado para la realización del montaje experimental. Este trabajo fue parcialmente financiado por la Xunta de Galicia bajo el proyecto ED431C



2021/44 (Grupos de Referencia Competitiva), el Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España bajo el proyecto SURVIWEC PID2020-113245RB-I00 y la acción WECANet COST CA17105. Una red paneuropea de energías renovables marinas centrada en la energía de las olas.

## Referencias

- Aderinto, T., Li, H. (2019). Review on Power Performance and Efficiency of Wave Energy Converters. *Energies*, 12, doi:10.3390/en12224329.
- Bento, A.R.; Martinho, P.; Soares, C.G. Wave Energy Assesment for Northern Spain from a 33-Year Hindcast. *Renewable Energy* 2018, 127, 322–333.
- Bozzi, S.; Archetti, R.; Passoni, G. Wave Electricity Production in Italian Offshore: A Preliminary Investigation. *Renewable Energy* 2014, 62, 407–416, doi:10.1016/j.renene.2013.07.030.
- General Assembly. Resolution Adopted by the General Assembly on 6 July 2017.; A/RES/71/313, 2017.
- Iglesias, G.; López, M.; Carballo, R.; Castro, A.; Fraguera, J.A.; Frigaard, P. (2009). Wave Energy Potential in Galicia (NW Spain). *Renewable Energy*, 34, 2323–2333, doi:10.1016/j.renene.2009.03.030.
- IRENA. Offshore Renewables: An Action Agenda for Deployment.; 2021; ISBN 978-92-9260-349-6.
- Mota, P.; Pinto, J. (2014). Wave Energy Potential along the Western Portuguese Coast. *Renewable Energy*, 71, 8–17, doi:10.1016/j.renene.2014.02.039
- Olmo, B. Explotación Del Potencial de Energía Del Oleaje En Función Del Rango de Trabajo de Prototipos Captadores., Universitat Politècnica de Catalunya, 2009.
- Pecher, A.; Kofoed, J.P. Handbook of Ocean Wave Energy; Springer Nature, 2017;
- Ribeiro, A.S., deCastro, M., Rusu, L., Bernardino, M., Dias, J.M., Gomez-Gesteira, M. (2020). Evaluating the Future Efficiency of Wave Energy Converters along the NW Coast of the Iberian Peninsula. *Energies*, 13, doi:10.3390/en13143563.
- Rusu, L.; Onea, F. The Performance of Some State-of-the-Art Wave Energy Converters in Locations with the Worldwide Highest Wave Power. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2017, 75, 1348–1362, doi:10.1016/j.rser.2016.11.123.
- Silva, D.; Rusu, E.; Soares, C.G. (2013). Evaluation of Various Technologies for Wave Energy Conversion in the Portuguese Nearshore. *Energies*, 6, doi:10.3390/en6031344.
- Silva, D.; Bento, A.R.; Martinho, P.; Guedes Soares, C. (2015). High Resolution Local Wave Energy Modelling in the Iberian Peninsula. *Energy*, 91, 1099–1112, doi:10.1016/j.energy.2015.08.067.