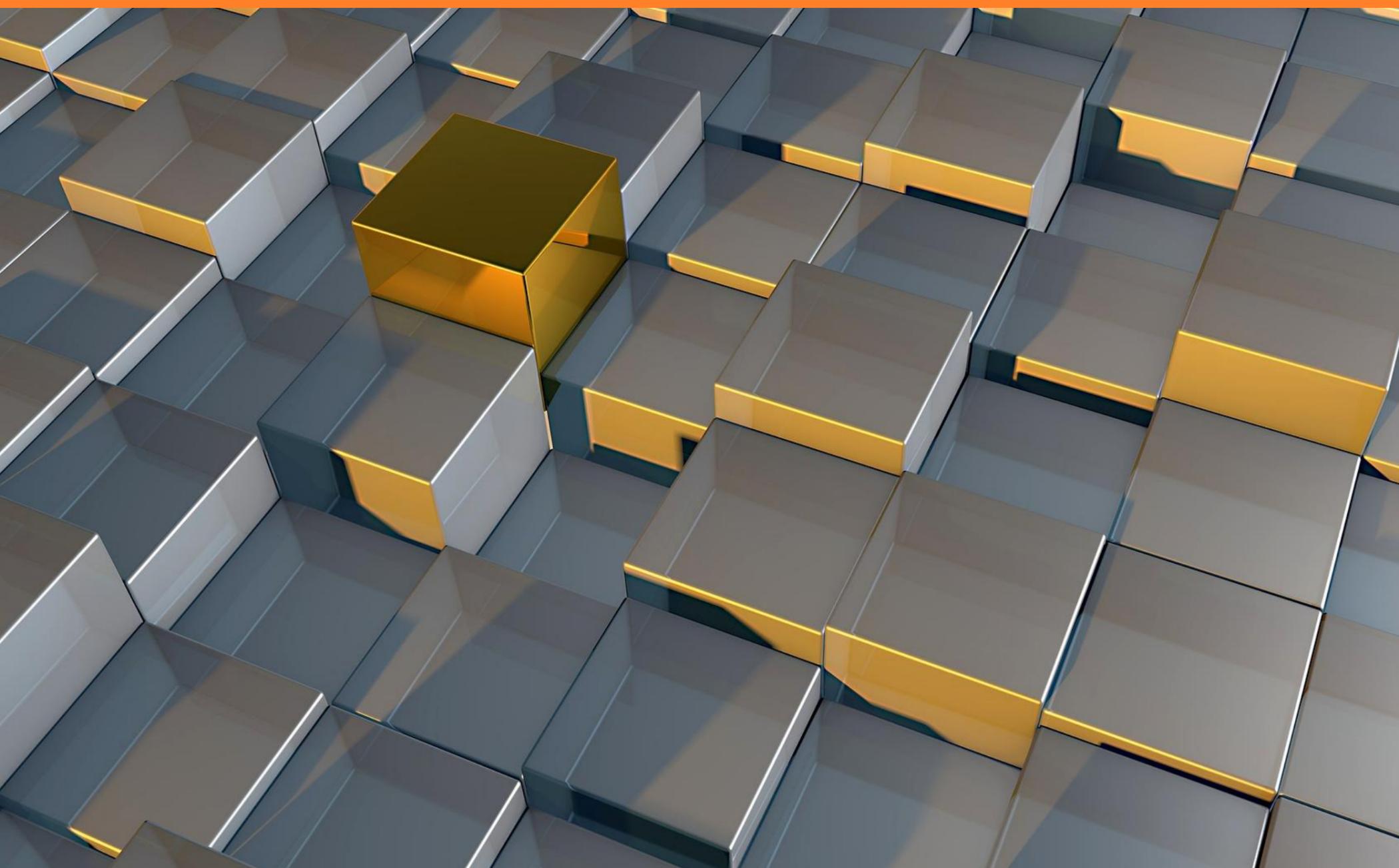


III JORNADA DE DOCTORADO

TECNOLOGÍA DE LA ARQUITECTURA,
DE LA EDIFICACIÓN Y DEL URBANISMO

Presentación de tesis en curso



26 DE NOVIEMBRE DE 2020

LIBRO DE ACTAS



Este libro recoge las actas de la III Jornada de Doctorado del Programa de Tecnología de la Arquitectura, de la Edificación y del Urbanismo (TAEU) de la Universitat Politècnica de Catalunya, celebrada el 26 de noviembre de 2020.

Debido a la situación de pandemia, la Jornada se celebró en esta ocasión en forma de videoconferencia. Este nuevo formato facilitó la asistencia de un mayor número de asistentes, en particular de algunos egresados del programa que actualmente se encuentran en sus países de origen. Fue una gran oportunidad para la cooperación y la discusión de ideas en los ámbitos temáticos en los que se están desarrollando actualmente algunas de las tesis doctorales del programa.

Información de jornadas previas: <https://taeu.phd.upc.edu/es/jornadas>

Comisión Académica de Programa de Doctorado

Josep Claramunt

David García

Jose Maria González

Ana María Lacasta

Adrià Muros

Joan Ramon Rosell

Joan Lluís Zamora

Edición: Ana María Lacasta

ISBN 978-84-9880-882-7



Esta obra está bajo una Licencia de Creative Commons Reconocimiento-No comercial-Sin obras derivadas 3.0.
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>

ÍNDICE

<u>Albert Crispi</u> , Joan Lluís Zamora La innovació tecnològica en l'arquitectura per a la indústria durant els anys 40, 50 i 60 del segle XX a l'àrea de Barcelona	4
<u>Fanny Berigüete</u> , Torsten Masseck, Mariana Palumbo, Berta García Iniciativas ciudadanas y su contribución a la sostenibilidad en las ciudades: una propuesta de modelo de evaluación integral	11
<u>Jani Fernanda Velazquez</u> , Eloi Coloma, S. M. Amin Hosseini Low-income housing in flood areas: Studied cases in Nacajuca, Tabasco, México	16
<u>Ignacio Alejandro Guzmán</u> , Fidel Franco, Joan Lluís Zamora Estrategias de diseño para deshumidificación de viviendas en clima cálido-húmedo	21
<u>Roberto Aguilar</u> , Laia Haurie, Ana Maria Lacasta Uniones versátiles aplicadas en la construcción con bambú.	27
<u>Belén González-Sánchez</u> , Antonia Navarro, Joan Ramon Rosell ¿Qué es el yeso tradicional? El estudio del yeso de Ribera d'Ondara a partir de la monitorización de un horno tradicional	30

La innovació tecnològica en l'arquitectura per a la indústria durant els anys 40, 50 i 60 del segle XX a l'àrea de Barcelona

Albert Crispi Brillas ^a, Joan-Lluís Zamora i Mestre ^b

^a Arquitecte i doctorant del programa Tecnologia de l'arquitectura, edificació i urbanisme. UPC - Barcelona

^b Laboratori d' Innovació i Tecnologia a l'Arquitectura (LITA) UPC
albertcrispi@coac.net

La construcció de l'arquitectura per a la indústria entre els anys 1939 i 1969 a l'àrea de Barcelona va suposar un repte per a tots els que hi van intervenir, doncs en un entorn de postguerra amb greus limitacions econòmiques, tècniques i culturals, va sorgir la necessitat de construir nous edificis industrials, amb nous programes com ara la química, l'alimentació, l'electrònica o el motor i amb noves necessitats d'espais de grans dimensions, diàfans, lluminosos i ben ventilats.

Es presenta a continuació una primera recerca sobre les aportacions tècniques rellevants en la construcció d'aquests edificis, que van ser motor d'innovació en tots els nivells i que es van desenvolupar en una situació excepcional, de la que es pretén analitzar els protagonistes, les circumstàncies, els motors de la innovació, el context material i les limitacions normatives.

Paraules clau: Arquitectura industrial, innovació, postguerra, Barcelona.

1. Introducció.

Els principals **objectius** de la recerca són:

Comprendre el procés d'innovació que porta a resoldre els nous problemes constructius i programàtics sorgits en el context d'autarquia dels anys de postguerra a Barcelona.

Analitzar el paper de motor de la innovació que té la **indústria** i dels seus participants, així com les influències determinants en la direcció que va prendre la construcció dels nous edificis industrials.

Analitzar els processos de la **transferència del coneixement** de l'arquitectura i els sistemes constructius o materials que la formen durant els anys de postguerra i autarquia.

Reconèixer el rol del **agents participants:** arquitectes, constructors, promotors i empreses de productes de construcció.

Partim de varies **hipòtesis:**

La **innovació tècnica** és consubstancial a la **arquitectura**, especialment quan no existeixen solucions convencionals a models canònics (problemes nous que demanen solucions noves).

L'**autarquia** genera un model específic d'innovació d'abast limitat i constret per limitacions materials, legals i culturals.

La **innovació** té diferents vectors de projecció: material, de procés, de sistema o d'interrelació, i totes

elles es veuen afectades per les situacions d'autarquia presents en el temps i espai objecte d'estudi.

2. Estructura de la recerca.

S'ha dut a terme un **anàlisi quantitatiu** previ de casos amb un criteri extensiu, que inclou un llistat de 56 edificis per a la indústria construïts durant els anys de la mostra. De cada edifici s'ha redactat una fitxa resum amb les principals característiques constructives d'aquest, que situades cronològicament en el marc temporal de la mostra, permet observar l'evolució dels diferents sistemes constructius al llarg dels anys.

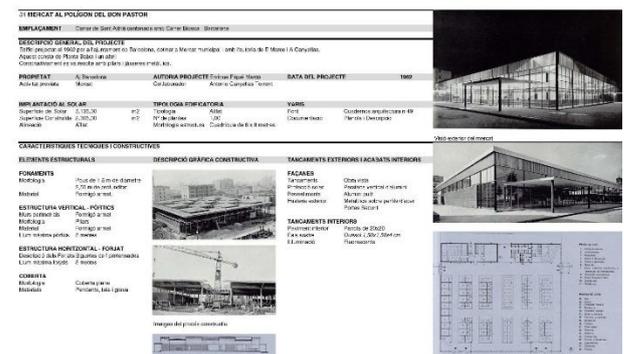


Figura 1. Exemple d'una de les fitxes tècniques de la mostra. En aquest cas del Mercat del Bon Pastor de Barcelona. 1962.

A partir dels resultats obtinguts es va confeccionar una gràfica (Figura 2) resum que permet la visualització de forma clara de l'evolució canviant de les tecnologies que es van anar implantant progressivament..

Codi	Anys	Projecte	Tipus	Nº Plantas	Plm.	Nº Vertical	Nº Horizontal	Llum	Llum	Societat	Cobertes	Acabats	Acabats	Acabats	Ud
26	1953	Recinte	SAI	PS	LLFA	PM	JCMSEAWFBM	12	9	-	CI/F	Durensif	-	-	-
27	1954	Arca	SAI	SPB1	LLFA	PPA	JCF	9,5	8,5	-	CP	AFAY	-	-	-
28	1954	Frontó Mag.	SAI	PS	SC	MPA/PFA	JCF/LLFN	12,5	3,5	-	CP	AFAY	-	-	-
29	1955	Frontó Df.	SAI	PS	SC	MPA/PFA	JCF/LLFN	9,5	4,5	-	CP	AFAY	-	-	-
30	1955	Immer	EMU	PS1	SC	PPA	JCF/IFBC	8,5	4	VC	CP	PIVDV	M	ISGR	PSF
40	1955	JAL	EMU	PS1	SC	PPA	JCF/LLFN	8,5	4,5	LLFA	CP	PIVDV	AL	ISGR	PSF
41	1954	Llanera	EMU	PS1	SC	PPA	JCF	11	4	LLFA	CP	AFAY/LLFA	MAL	T	SPRS
42	1955	Vitor Zi	EMU	PS1	SC	PPA	JCF	10	5	-	CP	AFAY	-	-	-
43	1955	Llanera	EMU	PS2	SC	PPA	LLFN	8,5	8,5	-	CP	AFAY/PSF	MAL	T	PSF
44	1955	Carxanes	EMU	SPB1	P	PPA	JCF	8,5	8,5	LLFA	CP	AFAY	M	M	SPF
45	1955	La Pedrera	EMU	SPB1	P	PPA	JCF/IFBC	5	4,5	LLFA	-	SPRN	M	-	SPF
46	1955	Frontó de Salom	EMU	PS1	P	PPA	JCF/IFBC	7,5	4,5	-	CP	AFAY	M	M	SPF
47	1955	Frontó	SAI	PS1	SC	PPA	JCF	20	5	-	CI/F	SPRN	AL	MH	SPF
48	1955	La Pedrera	EMU	SPB1	P	PPA	JCF	7,5	5	LLFA	CP	AFAY	AL	-	SPF
49	1955	Frontó	SAI	PS1	SC	PPA	JCF	20	5	-	CI/F	SPRN	AL	MH	SPF
50	1955	La Pedrera	EMU	SPB1	P	PPA	JCF	7,5	5	LLFA	CP	AFAY	AL	-	SPF
51	1970	Instal. Ampel.	EMU	SPB1	SC	PPA	JCF/IFBC	15,75	4	LLFA	CP	AFAY	FA	MH	SPF
52	1970	Instal. Ampel.	EMU	SPB1	SC	PPA	JCF/IFBC	15,75	4	LLFA	CP	AFAY	FA	MH	SPF
53	1972	Vinca Ampel.	EMU	PS1	SC	PPA	JCF/IFBC	6,5	3,45	-	CI/F	AFAY	M	T	SPRV
54	1972	Frontó	SAI	PS1	SC	PPA	JCF	8,5	8,5	-	CP	AFAY	M	-	SPRV
55	1974	Ed. Industrial	EMU	PS1	SC	PPA	JCF	8,5	8,5	-	CP	AFAY	M	-	SPRV
56	1975	Sonoma	EMU	PS1	SC	PPA	JCF/IFBC	15	4,85	-	CI/F	AFAY	M	-	SPRV



Figura 2. Fragment de la taula resum del primer anàlisi quantitatiu i gràfica amb els resultats.

Tot i això, vam considerar que les conclusions quantitatives d'aquesta primera part requerien una **anàlisi qualitativa** complementaria pel que fa a la relació entre l'arquitectura industrial de cada moment i el seu entorn econòmic, cultural i polític.

Així que s'ha desenvolupat un **sistema d'anàlisi matricial** que cerca trobar els punts de connexió entre el context històric i la materialitat constructiva. Aquest es formalitza en una trama de 5x5, que inclou 5 elements de recerca contextual i un anàlisi qualitatiu amb criteri selectiu de 5 conjunts arquitectònics significatius pel que fa a la seva rellevància en l'aplicació d'innovacions tecnològiques o la repercussió o influència que van tenir en els anys posteriors. Destacar que tots ells formen part de Guies d'Arquitectura de la ciutat i han estat preservats per altres usos un cop extingida la activitat industrial.

Elements contextuais:

- I** L'edifici com a motor d'innovació constructiva. Estat de l'art.
- II** Punt de vista del client. La nova indústria
- III** La formació continuada de l'arquitecte. Transferència de coneixement. Entrevistes
- IV** Publicitat de materials i sistemes constructius en revistes especialitzades
- V** Fotografies de la construcció. Arxius empreses

Llistat dels conjunts industrials de l'anàlisi qualitatiu:

- 1 Hispano-Olivetti (1942 -).
- 2 Menjadors per a la SEAT a la zona franca (1956).
- 3 ENMASA (1957).
- 4 La filial de SEAT a la plaça Cerdà (1957-1965).
- 5 Lámparas Z (1959).

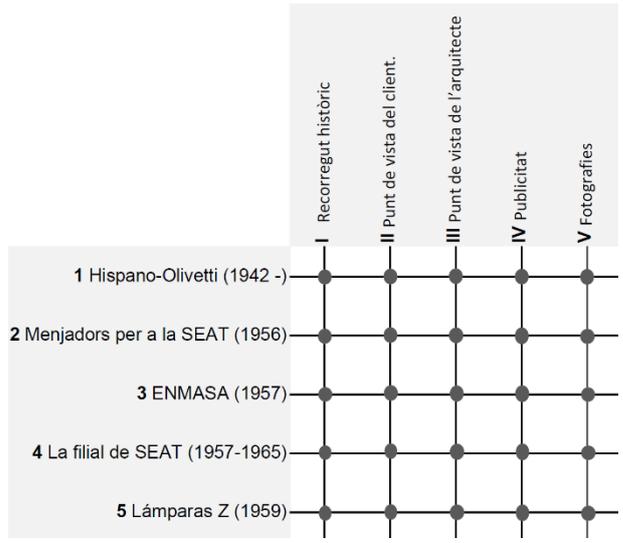


Figura 3. Matriu 5x5 utilitzada per la recerca.

3. Etapes del context de postguerra a Espanya.

L'**autarquia radical** dels primers anys 40 (1939-1955), es caracteritza per un aïllament econòmic i cultural, alta inflació, intervencionisme del Govern sobre la producció i distribució (INI), manca de matèries primeres (deficient indústria siderúrgica i del ciment), augment dels preus dels materials de construcció, limitacions en l'ús de l'acer, mà d'obra poc qualificada i de baix cost, manca d'inversió en recerca i deficient modernització de la indústria.

Posterior etapa de **lleugera recuperació** (1955-1961), que es caracteritza per una lenta obertura econòmica, social i cultural, millora progressiva de les relacions exteriors (EUA), primeres importacions, millora de la capacitat productiva, arribada d'empreses estrangeres, progressiva mecanització de les obres i millora de la transferència del coneixement arquitectònic.

Fi de l'autarquia a partir del **Pla d'estabilització i desenvolupament** (1961-), que va suposar expansió econòmica i obertura del país a l'exterior, polítiques inflacionistes, augment dels preus, liberalització de les restriccions sobre la construcció, millora lenta de la mecanització, mà d'obra encara poc qualificada i desenvolupament de la prefabricació.

4. Resum dels 5 elements contextuais.

I L'edifici com a motor d'innovació. Estat de l'art.

Aquest apartat tracta d'un recorregut històric a través de l'evolució dels sistemes constructius dels edificis per a la indústria a través de les innovacions tècniques.

Les construccions industrials posseeixen una sèrie de valors tecnològics, arquitectònics, sociològics i paisatgístics que fan d'elles un testimoni de primera magnitud per conèixer la història de l'evolució i la implantació de les innovacions arquitectòniques tant en els àmbits tècnics com estilitics. Els processos d'innovació s'han anat desenvolupant en cada cas relacionats amb el moment específic en el que es situen els seus participants. La fàbrica com a model social, organitzatiu i arquitectònic.

A partir del segle XVIII els edificis industrials han estat uns llocs on s'han desenvolupat i intercanviat noves tecnologies i on s'han aplicat innovacions en tots els àmbits, i per tant, la construcció i la organització de les pròpies fàbriques han estat bons indicadors de la revolució tecnològica de cada moment. Així, les fàbriques són essencialment contemporànies, doncs reflecteixen amb precisió les circumstàncies exactes del moment i el lloc on es situen.



Figura 4. Molí de la Vila, situat al centre de Capellades (actualment el Museu Molí Paperer del MNACTEC) i postal antiga dels Molins de paper de Capellades.. 1735.

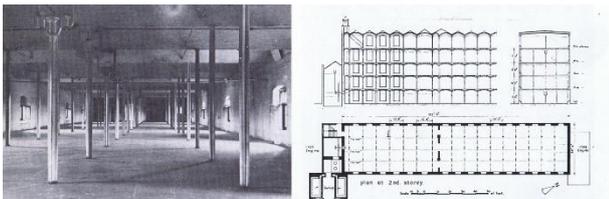


Figura 5. Imatge interior i plànols de la fàbrica de Charles Bage a Shrewsbury, Anglaterra. 1797.

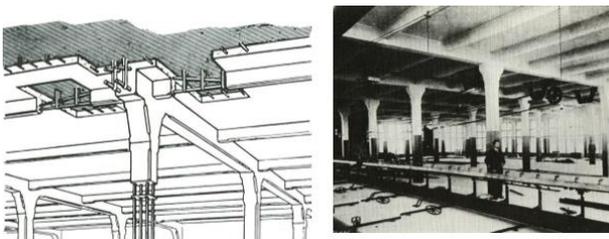


Figura 6. Secció tipus de la patent de formigó armat Monchel-Hennebique (1892) i aplicació a la filatura Charles VI.

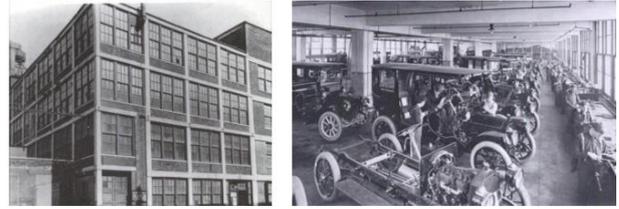


Figura 7. Imatge exterior i interior de l'edifici 10 de la Fàbrica de Packard. Albert i Julius Kahn. 1905.



Figura 8. Centre tècnic de General Motors a Warren, Michigan. Construït per Eiel i Eero Saarinen entre el 1948 i el 1956.

Les fonts d'energia predominants a la producció fabril han anat influïnt a l'arquitectura dels espais de treball. Des de les manufactures, els ginys moguts per cavalls o mules, les rodes hidràuliques, l'ús estructural del ferro, la màquina de vapor, el formigó armat o l'ús de l'electricitat, aquetes han adaptat la seva ubicació, tipologia i sistemes constructius per aprofitar de la forma més eficient possible les innovacions del moment, que alhora eren motor de les pròpies indústries.

II Punt de vista del client. La nova indústria

L'anàlisi del punt de vista dels clients d'aquests nous espais ens permet ubicar l'origen del capital (nacional, estranger, privat, públic, mixt etc.), els tipus de programes industrials, els motius de l'emplaçament dels conjunts industrials en relació amb la ciutat i les seves connexions logístiques, l'origen de la transferència dels coneixements aplicats en el disseny o la construcció o la consideració de la fàbrica com a marca, més enllà d'un espai de treball.

III Punt de vista de l'arquitecte. Transferència de coneixement. Entrevistes.

En aquest apartat, i a partir de recerca documental i les entrevistes personals a alguns dels protagonistes (César Ortiz-Echagüe, Francesc Bassó i Oriol Bohigas), repassem les diferents fonts d'informació que van permetre la limitada transferència de coneixement arquitectònic durant aquells anys. Així, s'ha analitzat l'ensenyament a les escoles d'arquitectura (ETSAB i ETSAM), les publicacions que arribaven a les biblioteques dels col·legis

d'arquitectes (COAC i COAM) o les pròpies escoles, algunes de les exposicions de l'època, les trobades de debat arquitectònic o els viatges que van realitzar els arquitectes.

IV Publicitat de materials i sistemes constructius en revistes especialitzades.

L'objectiu d'aquet apartat és aportar una visió general de l'evolució dels sistemes constructius i els materials disponibles per a la construcció, a partir d'una mostra cronològica de la publicitat i la publicació d'articles tècnics a les revistes especialitzades així com en publicacions generalistes entre els anys 1939-1965.



Figura 9. Publicitat de la revista *Informes de la Construcción*. 1953

L'anàlisi cronològic inclou imatges de les revistes originals, permetent visualitzar l'evolució dels materials i sistemes constructius que van anar apareixent i evolucionant. La mostra inclou les revistes Cuadernos de Arquitectura (1944 -) i la Revista Nacional de Arquitectura (1941 -).

V Fotografies de la construcció. Arxius empreses.

La recerca d'imatges de l'interior i l'exterior dels edificis de la mostra durant la seva construcció, ens permet observar elements de la organització interna de les obres, l'anàlisi dels sistemes constructius més enllà del llistat de la fitxa de característiques i aporta una visió de la realitat constructiva de cada moment.



Figura 10. Construcció d'un forjat de la Hispano-Olivetti de Barcelona el 24 de setembre de 1941. Fons Hispano-Olivetti.

La recerca ha portat als arxius personals dels arquitectes, de les empreses (Fons SELEZ, OLIVETTI o SEAT) i d'organitzacions d'antics treballadors, arxius d'universitats (UNAV i ETSAB), els col·legis d'arquitectes (COAC i COAM), els arxius municipals, publicacions especialitzades etc...

5. Relació dels 5 conjunts industrials.



Figura 11. Ubicació dels 5 conjunts a Barcelona. Mapa 1953.

1 Hispano-Olivetti (1942 - 1954)

Conjunt industrial situat a la trobada entre l'actual avinguda Diagonal i la Gran Via de les Corts Catalanes de Barcelona. La primera fàbrica del conjunt es va executar durant l'any 1942 i les successives ampliacions els anys posteriors 1944, 1947 i 1954.

El client va ser Olivetti, que ja disposava d'un important conjunt industrial a Ivrea, Itàlia i que pretenia l'exportació del seu ideari social i la transmissió formal i tècnica de les fàbriques construïdes recentment a Itàlia. Aquesta transmissió es va realitzar a través de l'arquitecte Italo Lauro, que va firmar el projecte juntament amb l'arquitecte català Josep Soteras i Mauri. La constructora va ser Material y Obras S.A.



Figura 12. Vista exterior de la primera fàbrica. 1942. Fons Hispano-Olivetti.



Figura 13. Fotografia de l'obra. Setembre 194. Fons HO



Figura 14. Vista del conjunt arquitectònic. Fons Hispano-Olivetti.

Resum dels elements més destacats del projecte:

- 1 La **transferència de coneixements** formals i tècnics entre de la central d'Olivetti d'Ivrea (Itàlia) i Hispano-Olivetti S.A. El rol de la inversió estrangera en capital i coneixement cara la innovació local.
- 2 El treball **col·laboració** entre tècnics estrangers i tècnics locals.
- 3 La concepció i execució de l'estructura de **formigó armat**. L'actualització i posada al dia d'una tècnica constructiva que a Barcelona està congelada.
- 4 La implantació de **solucions innovadores** pel que fa a l'ús dels materials per a les façanes, les cobertes i la organització del procés d'execució general.

2 Menjadors per a la SEAT a la zona franca (1956)

El 1953, el llavors director de SEAT, José Ortiz-Echagüe (1880-1980), va encarregar al seu fill César Ortiz-Echagüe (1927 -) el projecte per a la construcció dels menjadors de la recentment inaugurada planta de producció de SEAT a la zona Franca de Barcelona.

Va ser el pare de l'arquitecte el que va suggerir l'ús de l'alumini per l'estructura de l'edifici, doncs havia estat president de Construcciones Aeronáuticas S.A., i tenia un bon coneixement del material. La col·laboració amb els enginyers de CASA va permetre que finalment el 1956 es va inaugurar un edifici completament modular format per pavellons connectats lateralment i resolts amb estructura i cobertes d'alumini, que alhora va incorporar innovacions tècniques pròpies del sector aeronàutic.



Figura 15. Vista aèria dels menjadors.



Figura 16. Imatges de l'execució de les obres de muntatge de l'estructura d'alumini. IC n° 79



Figura 17. Imatge interior d'un dels menjadors.

Resum dels elements més destacats del projecte:

- 1 Ús de l'**alumini** com a materials per a l'estructura. Prefabricació i muntatge.
- 2 **Col·laboració** entre arquitectes i una empresa d'un altre sector (aeronàutica CASA).
- 3 **Instal·lacions**. Climatització completa del conjunt d'edificis.
- 4 L'arquitectura com a imatge de **marca**.

3 ENMASA (1957)

L'empresa de PINI ENMASA, procedent de motors Elizalde, que estava especialitzada en l'elaboració de motors d'aviació va encarregar el passat 1951 a l'arquitecte racionalista Robert Terrades i Via la nova fàbrica, que es situaria a un solar de 8 ha al carrer de Sant Adrià, 49 al Bon Pastor de Barcelona, disposaria de 16.663 m2 construïts i estaria formada per una gran nau taller construïda amb estructura d'acer i les oficines i menjadors a base de formigó armat. La construcció es va dur a terme entre els anys 1956 i 1957.

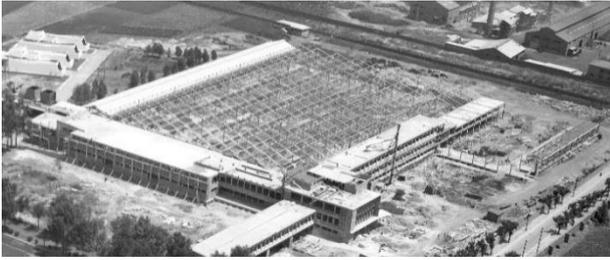


Figura 18. Vista del conjunt arquitectònic. Fons TAF



Figura 19. Fotografia de l'execució d'un dels forjats. DOCOMO.

Resum dels elements més destacats del projecte:

- 1 Estructura **metà·lica** de grans dimensions.
- 2 Estructura de **formigó** per a càrregues de gran tonatge. Primers forjats per a 2 T/m².
- 3 Detalls constructius dels **tancaments** i implantació de **materials inèdits** com el poliestirè expandit o les armadures d'acer A52.
- 4 Filial de SEAT a la plaça Cerdà (1957-1965)

El president de SEAT tenia la intenció de projectar una imatge tecnològicament avançada de la marca a través de l'arquitectura moderna, i per això, a només un any de la finalització dels menjadors de la Zona Franca, va encarregar al propi César Ortiz-Echagüe i el seu soci Rafael Echaide el disseny de la nova filial de la marca a Barcelona.



Figura 20. Plànols i imatges de l'execució de la torre. UNAV.

Així, els arquitectes van plantejar un projecte ambiciós a nivell tècnic i formal. La situació estratègica del solar a l'entrada de Barcelona (encreuament entre l'actual Gran Via i el passeig de la Zona Franca) va permetre plantejar l'edifici com un

gran aparador resolt a partir d'un conjunt de quatre edificis que es van projectar i construir en dues fases : la primera (1957-1959) va incloure els tallers (edifici A) i el gran magatzem de cotxes (edifici B), mentre que la segona (1959-1964) va incloure la torre d'administració (edifici C) i l'espai d'exposició i venda (edifici D).

Resum dels elements més destacats del projecte:

- 1 Estructura vista **d'acer** de 15 plantes de grans dimensions. Col·laboració amb tècnics dels Altos Hornos (Sagunto).
- 2 Primeres **fusteries d'alumini** d'Espanya i introducció de nous sistemes sobre catàleg.
- 3 Instal·lacions. Sistema d'aire acondicionat amb convectors (fred i calor) a gran escala.
- 4 L'arquitectura com a **imatge** de marca
- 5 Transferència de **coneixement**. Influència de l'arquitectura americana de Mies van der Rohe.



Figura 21. Imatge del conjunt dels edificis que formen la filial de SEAT a Barcelona. 1965. Autor Francesc Català Roca.

- 5 Lámparas Z (1954 - 1959)

Conjunt fabril construït en dues fases. La primera per l'enginyer industrial Antoni Grau l'any 1954, que va incloure un gran forn de vidre i un taller, resolt amb una estructura mixta de formigó armat i acer.

Posteriorment, en una segona fase, l'empresa va encarregar a l'arquitecte José Soteras Mauri la construcció d'un conjunt de 5 edificis que inclourien la nau de fabricació, les oficines generals, un edifici per al personal, vestuaris i la cantina, iniciant-se el 1957 i finalitzant a mitjans del 1959.

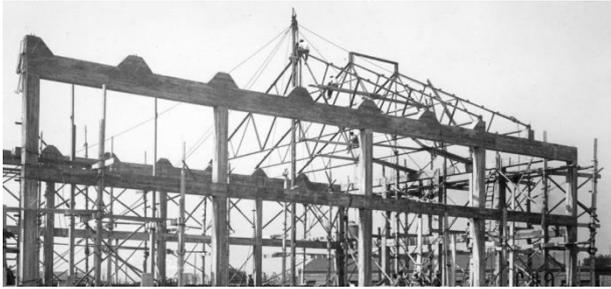


Figura 22. Execució del form de vidre. 1a fase 1954.



Figura 23. Execució de la 2ª fase. Fons SELEZ.

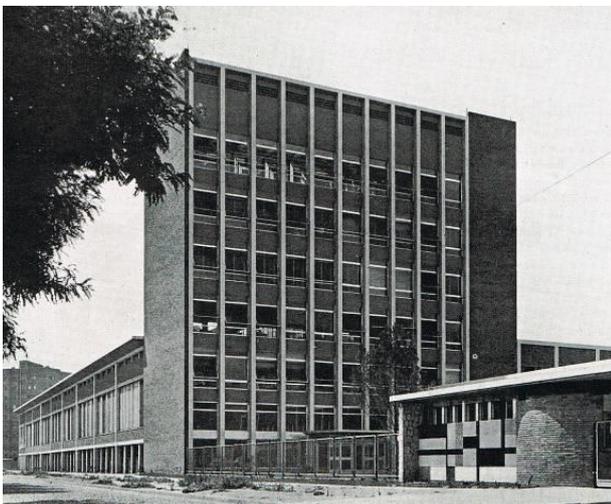


Figura 24. Conjunt fabril. 2a fase 1959.

Resum dels elements més destacats del projecte:

- 1 Incorporació d'elements estructurals **prefabricats**.
- 2 El treball **col·laboració** entre tècnics i empresa constructora.
- 3 La implantació de solucions innovadores pel que fa a l'ús dels materials per a les **façanes**, les cobertes i la organització del procés d'execució general.

6. Conclusions

La innovació generada durant l'etapa de postguerra es va desenvolupar de forma interrelacionada i amb la concurrència de múltiples factors.

El mètode d'anàlisi s'ha resumit visualment en una en una gràfica d'estructura circular que mostra i interrelaciona l'entorn constructiu, econòmic i polític

de la recerca, sent més ampli i extens del previst, pot tenir una projecció més enllà d'aquesta recerca.

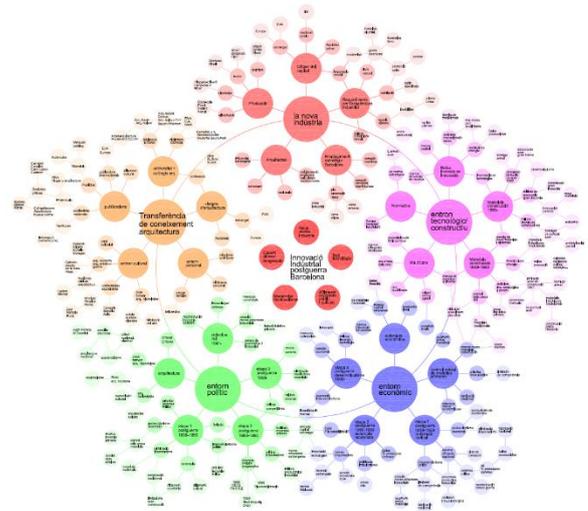


Figura 25. Resum visual dels 5 apartats contextuals de la recerca.

El context va requerir de l'adopció de solucions derivades d'experiències anteriors, de solucions aportades de l'exterior pels promotors, d'experimentacions de risc i de visions de futur, arribant, fins i tot, a convertir l'obra en una indústria de prefabricació.

Moltes de les innovacions observades han esdevingut posteriorment tecnologies d'ús convencional i han transcendit més enllà dels anys de la mostra. Els 5 edificis de la selecció qualitativa mantenen els seus trets essencials tot i el canvi dels seus usos i d'altres innovacions han restat com a testimonis de singularitats.

Les innovacions observades arriben a varis nivells d'actuació: el material, de procés, de sistema o d'interrelació, i tots ells es veuen afectades pel context.

En aquesta època es va gestar la il·luminació moderna, la ventilació industrial, les grans llums, els tancaments d'obra de fàbrica o les finestres de perfilaria lleugera.

Iniciativas ciudadanas y su contribución a la sostenibilidad en las ciudades: una propuesta de modelo de evaluación integral

Berigüete, Fanny E.^a, Masseck, Torsten^b, Palumbo, Mariana^b, García, Berta^b

^a Departamento de Física, Universitat Politècnica de Catalunya UPC, Campus Sud, Barcelona, Spain;

^b Departamento de Tecnología de la Arquitectura, Universitat Politècnica de Catalunya UPC, Campus Sud, Barcelona, Spain; fanny.esther.beriguete@upc.edu

Las ciudades sostenibles y resilientes que ofrecen opciones de estilo de vida sostenibles para sus ciudadanos son clave para enfrentar los desafíos actuales de insostenibilidad y cambio climático. Han cobrado cada vez más importancia iniciativas ciudadanas como la jardinería comunitaria, la movilidad compartida, las cooperativas de energías renovables o iniciativas similares para fomentar la participación e inclusión social de los ciudadanos y contribuir a un metabolismo más sostenible de los barrios.

Existen modelos de evaluación en materia de sostenibilidad a nivel de barrio y ciudad, pero ¿cómo se pueden describir y evaluar las contribuciones de diversas iniciativas ciudadanas de manera holística?

Sobre la base de la revisión de la literatura y las propuestas existentes sobre el tema, se ha desarrollado un modelo de evaluación integral basado en tres pilares principales: la contribución de las iniciativas a la cohesión social, la contribución a la eficiencia metabólica global de un barrio y el potencial de transformación de las iniciativas en las prácticas sociales y en el desarrollo sostenible. El sistema de calificación correspondiente consta de 33 indicadores que se evalúan a través de un total de 119 preguntas (79 básicas y 40 complementarias) y permiten calificaciones entre 0 y 100 puntos (básicas) y de 0-50 (complementarias).

En un primer acercamiento a la evaluación de iniciativas ciudadanas con este modelo se ha constatado el papel que éstas desempeñan hacia el camino a la sostenibilidad, incidiendo en menor o mayor escala de acuerdo a la versatilidad de éstas y su visión holística de la sostenibilidad.

Palabras clave: Iniciativas ciudadanas; modelo de evaluación; estilos de vida sostenibles; sistema de calificación; barrios sostenibles.

1. Introducción

Las iniciativas ciudadanas son definidas como “procesos informales de práctica ciudadana que modifican de forma resiliente y adaptativa el entorno urbano. Son prácticas auto-organizadas, colectivas que trabajan por el empoderamiento urbano de la ciudadanía y desarrollan procesos críticos sobre la ciudad actual” [1].

El presente artículo recoge el trabajo realizado en base al acuerdo de colaboración entre InnoEnergy SE y Renault España “*Development and Piloting of Assessment Model and Certification Scheme for Sustainable City Neighborhoods and Citizen Initiatives*”. En el marco de este proyecto se ha contactado a la Agencia de Ecología Urbana de Barcelona (BCNecología) y la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) para la elaboración de un sistema de evaluación para barrios e iniciativas ciudadanas; el equipo UPC se ha encargado del desarrollo de un sistema de evaluación de iniciativas ciudadanas, en referencia a su grado y contribución al nivel de sostenibilidad del barrio en el que se desarrollan.

El objetivo principal del proyecto, respecto a la evaluación de iniciativas ciudadanas es “... evaluar el nivel de sostenibilidad de diferentes iniciativas ciudadanas que

serán subidas por individuos u organizaciones ciudadanas a sitios web/plataformas de terceros. El objetivo inicial es producir una herramienta/proceso de evaluación semiautomático de las iniciativas. Progresivamente, el nivel de automatización debe aumentar, de modo que en una situación de estado estable (final del proyecto), más del 95% de las iniciativas se evalúan automáticamente en pocos segundos” [2].

2. Estado del arte

Analizada la literatura existente se han identificado tres sistemas de evaluación de iniciativas ciudadanas, también denominadas iniciativas comunitarias, cuyo objetivo es medir el nivel de empoderamiento de los ciudadanos para modificar y mejorar su entorno.

Celata & Sanna crean un sistema de evaluación que permite conocer el impacto de las iniciativas en su entorno (medioambiental, social, económico y de desarrollo comunitario), evaluando 37 iniciativas clasificadas de acuerdo a su tipología (cooperativas de alimentos, colectivos de compras solidarias, jardines comunitarios e iniciativas comunitarias de energía, reciclaje y movilidad)[3].

Por otro lado, en el 2013 surge el proyecto europeo de investigación TESS (Hacia la sostenibilidad social

Europea) donde se analizó el papel de las iniciativas comunitarias en el camino hacia la sostenibilidad de las ciudades, a través de la creación de un sistema de evaluación y posterior análisis de 63 casos de estudio, que permitiese monitorear y reportar los impactos sociales, políticos, económicos, tecnológicos y ambientales de las iniciativas comunitarias, así como sus ahorros en emisiones de carbono[4].

Por último, el proyecto *Kriterien zur Bewertung des Transformationspotenzials von Nachhaltigkeitsinitiativen*

(Criterios para evaluar el potencial de transformación de las iniciativas de sostenibilidad) elabora un sistema para evaluar el potencial de sostenibilidad y transformación de las iniciativas de cara a revelar su valor y facilitar el reconocimiento y soporte de las administraciones públicas[5].

Estos sistemas de evaluación antes mencionados siguen unas fases comunes para la elaboración del sistema y su aplicación a iniciativas (Fig.1). Siguiendo estas dinámicas se ha realizado el proyecto.



Figura 1. Fases de los sistemas de evaluación de iniciativas ciudadanas

Fuente: Elaboración propia

3. Metodología

Se han analizado las publicaciones y propuestas de modelos de evaluación de iniciativas ciudadanas existentes a nivel internacional. Una vez realizado este análisis, se han identificado los criterios más relevantes de evaluación entre todas las propuestas revisadas, tanto teóricas como aplicadas, identificando tres bloques básicos de evaluación (Fig.2): la **Cohesión Social**, estrechamente vinculado a la Economía Social Solidaria (ESS) y al nivel de integración del barrio, la **Eficiencia Metabólica**, relacionado con la gestión de recursos y la calidad medioambiental y el **Potencial de Transformación**, vinculado a la capacidad de éstas en incidir en nuevos modelos, prácticas y hábitos sostenibles.

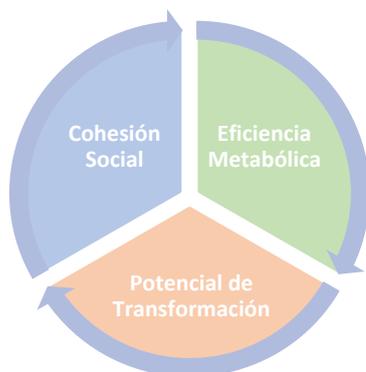


Figura 2. Bloques principales del sistema de evaluación

Fuente: Equipo UPC

Se ha diseñado y detallado una propuesta de 33 indicadores, aplicable a todo tipo de iniciativas ciudadanas, creando un catálogo de preguntas específicas que permiten evaluar cada uno de los

indicadores. Para ello, se ha desarrollado un sistema de ponderación de los indicadores y definido una propuesta para el sistema de puntuación y clasificación de las iniciativas.

Para validar el modelo de evaluación elaborado se han seleccionado 5 iniciativas concretas, tomando como referencia las iniciativas existentes en el sitio web “Feliziudad”, con el fin de comprobar su aplicabilidad y detectar incongruencias o dificultades en su aplicación, lo que ha resultado en la optimización del sistema. Además, se ha elaborado a su vez, un glosario de definiciones y referencias, que sirven de base para que los posibles evaluadores puedan comprender los conceptos expuestos.

Para una aproximación inicial y filtro, se han incorporado unos criterios mínimos que las iniciativas deberán cumplir para poder ser calificadas como sostenibles por el sistema de evaluación propuesto (criterios de exclusión).

4. Herramienta de evaluación

La herramienta de evaluación propuesta consta de 4 secciones. La primera sección define los criterios mínimos que debe cumplir una iniciativa para ser considerada para evaluación, con un total de 5 indicadores, mientras que las siguientes 3 secciones contienen 33 indicadores específicos para ser evaluados y calificados a través de 119 preguntas y sus respuestas predefinidas.

Las preguntas requieren respuesta de tipo selección única o múltiple, lo que facilita una automatización del sistema en formato online. Las pocas preguntas adicionales que permiten respuestas abiertas no puntúan en el sistema de evaluación, pero permiten obtener información cualitativa relevante para la clasificación de las iniciativas.

4.1 Bloques de evaluación

El sistema de evaluación de la sostenibilidad de las iniciativas se organiza en tres bloques de análisis, identificados a partir de la revisión de sistemas de evaluación existentes. Cada uno de los bloques abarca un ámbito de incidencia que debería ser cubierto por las iniciativas ciudadanas sostenibles. Además, se incluye un cuarto bloque (Bloque A) que no puntúa pero que sirve para filtrar aquellas iniciativas candidatas a realizar la evaluación que cumplen con los criterios mínimos para hacerlo (Tabla 1).

Tabla 1. Bloques sistema de evaluación de iniciativas ciudadanas

Bloques	
Acceso al sistema de evaluación	Bloque A. Criterios mínimos
Sistema de Evaluación	Bloque B. Cohesión social
	Bloque C. Eficiencia metabólica
	Bloque D. Potencial de Transformación

Fuente: Equipo UPC

Bloque A. Criterios mínimos

El primer bloque del sistema de evaluación, incorpora los criterios mínimos que deben cumplir las iniciativas para poder ser evaluadas, tanto en relación al tipo de organización como a las actividades que realizan. Así, para poder ser evaluadas en el sistema “Feliziudad” las iniciativas deben tener, como objetivo principal, el fomento de la sostenibilidad del barrio y/o la comunidad en la que actúan; ser una organización (formal o informal) sin ánimo de lucro y formada por, como mínimo, 2 personas (no se incluyen iniciativas unipersonales) y haber llevado a cabo actividades con resultados tangibles previamente al proceso de evaluación. Los resultados en este bloque no sumarán puntos a la evaluación global de la iniciativa, sino que servirán de filtro para su participación o exclusión en la evaluación.

Bloque B. Cohesión Social

La dimensión social es a menudo, el impacto más relevante de las iniciativas ciudadanas. Muchas veces éstas están basadas en acciones que generan redes de colaboración entre personas con realidades diversas y con objetivos o visiones comunes. El factor humano

es el principal recurso de las iniciativas y, por ello, las iniciativas prestan generalmente una atención especial a la inclusión de colectivos desfavorecidos y a la creación y cuidado de la comunidad, independientemente del objetivo concreto que persigan.

El bloque de Cohesión Social incluye 10 indicadores con 44 preguntas que evalúan la incidencia de la iniciativa en el fortalecimiento y cuidado de la comunidad y del entorno físico en la que se desarrolla.

Bloque C. Eficiencia Metabólica

El segundo bloque se refiere a la contribución de iniciativas a la mejora de la eficiencia metabólica del barrio, tanto a nivel doméstico como a nivel del metabolismo urbano. Este bloque analiza la capacidad de las iniciativas para incidir en aspectos como la economía circular, la reducción de residuos, el consumo de energía, la autosuficiencia energética, etc., del barrio.

El bloque de Eficiencia Metabólica incluye 11 indicadores con 31 preguntas que evalúan la incidencia de la iniciativa en la gestión eficiente de los recursos y la reducción de residuos y emisiones.

Bloque D. Potencial de Transformación

El potencial de transformación que generan las iniciativas es una de las aportaciones más valiosas de este tipo de organizaciones ciudadanas en los procesos holísticos de transformación de nuestra sociedad y nuestras ciudades hacia modelos más sostenibles [5]. El potencial de transformación se define como la capacidad de una iniciativa de crear impacto sostenido en el tiempo en la comunidad en la que participa, ya sea a través de la incidencia en los hábitos cotidianos de las personas, en la generación de espacios de debate o en el activismo dirigido a la transformación de las políticas y regulaciones existentes en materia de derechos sociales y de protección del medio ambiente.

El bloque de Potencial de Transformación está compuesto de 12 indicadores con 44 preguntas que evalúan la incidencia de éstas en cambio de hábitos y políticas, redes de colaboración, dinamismo del espacio público, creación de nuevos equipamientos, etc.

Esta distribución en bloques permite organizar tanto los temas tratados como los indicadores, de modo que se puede elegir el grado de agregación en el que se presentan los resultados de evaluación: puntuación global (un solo valor), puntuación por bloques (3

valores), puntuación por temas (13 valores) o puntuación por indicador (33 valores).

4.2 Indicadores

Un indicador es definido como una herramienta de medida que nos permite evaluar de manera sencilla y fiable el cumplimiento de los objetivos definidos y los logros o el desarrollo de una iniciativa o propuesta de intervención [6].

Para la evaluación del nivel de sostenibilidad de las iniciativas ciudadanas se han definido 33 indicadores. Se han seleccionado estos indicadores por ser esenciales en el estudio de los bloques de evaluación propuestos (Cohesión Social, Eficiencia Metabólica y Potencial de Transformación). Los indicadores se distribuyen de manera equitativa en los 3 bloques, permitiendo una evaluación equilibrada entre ellos. Además, los bloques se organizan en temas, de modo que cada tema tiene asociado uno o varios indicadores. Esta organización por bloques, temas e indicadores se muestra en la tabla de abajo (Tabla 2).

Los indicadores, por su lado, están definidos por un conjunto de dimensiones que sirven de base para las preguntas elaboradas en el cuestionario.

Tabla 2. Bloques e indicadores sistema de evaluación

Temas	Indicadores
BLOQUE A. CRITERIOS MÍNIMOS	
AA1 Organización	AA1.1 Tipo de organización
	AA1.2 Personas
	AA1.3 Trayectoria
AA2 Actividad	AA2.1 Actividades
	AA2.2 Impacto
BLOQUE B. COHESIÓN SOCIAL	
BB1 Convivencia y participación social	BB1.1 Índice de inclusión social
	BB1.2 Paridad de género
	BB1.3 Accesibilidad y cambio de modelo de movilidad
BB2 Empoderamiento	BB2.1 Nivel de autogestión
	BB2.2 Nivel de transparencia
BB3 Relación con el entorno	BB3.1 Nivel de participación en el tejido social del barrio
	BB3.2 Revalorización del espacio público
	BB3.3 Protección del tejido socio-cultural existente
BB4 Ocupación y economía social	BB4.1 Participación en la ESS
	BB4.2 Creación de ocupación de calidad
BLOQUE C. EFICIENCIA METABÓLICA	
BC1 Materiales	BC1.1 Reducción del consumo de materiales
	BC1.2 Circularidad de materiales
	BC1.3 Bajo impacto material
BC2 Energía	BC2.1 Esfuerzo de eficiencia energética
	BC2.2 Nivel de autosuficiencia energética mediante energías renovables
BC3 Agua	BC3.1 Reducción del consumo de agua
	BC3.2 Circularidad del agua
BC4 Calidad del aire	BC4.1 Reducción de la huella de carbono por movilidad

	BC4.2 Creación de áreas verdes urbanas
BC5 Residuos	BC5.1 Reducción de residuos
	BC5.2 Gestión de residuos
BLOQUE D. POTENCIAL DE TRANSFORMACIÓN	
BD1 Innovación social	BD1.1 Fomento de cambio de hábitos
	BD1.2 Fomento de nuevas políticas
	BD1.3 Visión holística de sostenibilidad
BD2 Creación de debate en la sociedad	BD2.1 Aprendizaje transformador
	BD2.2 Divulgación y replicabilidad
	BD2.3 Creación de redes colaborativas
BD3 Robustez de la iniciativa	BD3.1 Objetivos y resultados coherentes
	BD3.2 Red de soporte
	BD3.3 Sostenibilidad financiera
	BD3.4 Continuidad de la iniciativa
BD4 Activación del espacio público	BD4.1 Dinamismo del espacio público
	BD4.2 Creación de nuevos equipamientos

Fuente: Equipo UPC

4.3 Sistema de valoración

Se ha establecido un catálogo de 119 preguntas (79 básicas y 40 complementarias) para la elevación de las puntuaciones en las tres secciones B, C y D, permitiendo valoraciones entre 0 y 100 puntos (básicas) y entre 0-50 puntos (complementarias). Las preguntas se dividen en preguntas básicas y preguntas complementarias con diferentes calificaciones y sistemas de ponderación.

Las preguntas básicas se distinguen por la objetividad con la que sus respuestas pueden ser interpretadas y valoradas en términos de contribución a un mayor grado de sostenibilidad del barrio y su tejido social.

Las preguntas complementarias se consideran de gran interés para la evaluación de iniciativas, pero la objetividad con la que pueden evaluarse está condicionada por el tipo de iniciativa. Por lo tanto, para la puntuación final se propone una ponderación de dicha puntuación (0-50 puntos) con un factor x, lo que permite alcanzar una puntuación adicional de 20 puntos en el cómputo final, sumando un total de, como máximo 120 puntos (100 puntos preguntas básicas y 20 puntos preguntas complementarias).

5. Discusión y Resultados

Después de haber aplicado el sistema de evaluación a 5 iniciativas seleccionadas, se han obtenido los siguientes resultados:

Las iniciativas ciudadanas más pequeñas y centradas en ejes temáticos específicos (energía renovable, recogida de aceite, etc.), en general, su contribución se centra en un bloque específico, por lo que a nivel global su contribución no es muy alta.

Las iniciativas ciudadanas más grandes y diversas (huertos comunitarios, proyectos de transición de vecindarios, etc.) generalmente tienen una calificación

más alta, ya que el impacto positivo normalmente se distribuye en las 3 secciones de la herramienta de evaluación.

En cuanto al diseño de la herramienta, este modelo multicriterio que se distribuye en 3 bloques permite identificar si una iniciativa es más fuerte en uno de ellos o si mantiene un equilibrio en todos los bloques. Esto podría permitir impulsar iniciativas de cierto tipo para el fortalecimiento de un barrio cuando se han identificado debilidades específicas.

Herramienta de evaluación versus herramienta para la mejora continua

El modelo de evaluación propuesto para las iniciativas ciudadanas puede entenderse como una herramienta de evaluación y, de la misma forma, como una herramienta de aprendizaje y mejora para los promotores de iniciativas. Los aspectos que se evalúan a través de un cuestionario online pueden servir de inspiración para la mejora continua de iniciativas en materia de sostenibilidad social, medioambiental y energética, tanto a nivel de organización de las iniciativas como a nivel de sus actividades. Dado que la calificación debe renovarse anualmente, se pueden declarar mejoras e incluso servir como incentivo o condición para el apoyo de la administración u otras partes interesadas, así como para comercializar la iniciativa entre los ciudadanos.

6. Conclusiones

Muchas iniciativas ciudadanas permiten a los ciudadanos adoptar estilos de vida más sostenibles. Los modelos de evaluación simples pero creíbles para las iniciativas ciudadanas permiten comprender mejor su contribución integral a los estilos de vida bajos en carbono en un vecindario, posibilitan la evaluación comparativa entre diversas iniciativas y fomentan su mejora continua.

La propuesta presentada de herramienta de evaluación integrada es aplicable a todo tipo de iniciativas ciudadanas y permite cuantificar la contribución agregada de las mismas a la sostenibilidad global de un barrio. Esto permite considerarlos como un indicador con un peso específico en las evaluaciones de sostenibilidad de los barrios.

Actualmente se está analizando el modelo de evaluación propuesto y los mecanismos de ponderación y calificación se optimizarán aún más de acuerdo con los resultados.

Agradecimientos

Este trabajo de investigación es fruto del convenio de colaboración entre Renault España e Innoenergy SE. Agradecer a todo el equipo UPC e Innoenergy por la colaboración y sinergias para llevar a cabo este proyecto.

Referencias

- [1] Vivero de Iniciativas Ciudadanas, “pero ¿Qué es una iniciativa ciudadana?,” *VIC: Vivero de Iniciativas Ciudadanas*, 2012. <http://viveroiniciativasciudadanas.net/2012/11/21/pero-que-es-una-iniciativa-ciudadana/> (accessed Jan. 12, 2020).
- [2] InnoEnergy, “Desarrollo y pilotaje del modelo de evaluación y esquema de certificación para vecindarios de la ciudad sostenible e iniciativas ciudadanas,” Barcelona, 2019.
- [3] F. Celata and V. S. Sanna, “A multi-dimensional assessment of the environmental and socioeconomic performance of community-based sustainability initiatives in Europe,” *Rev. Reg. Environ. Chang.*, vol. 19, no. 4, pp. 939–952, 2019, doi: <http://hdl.handle.net/11573/1257468>.
- [4] J. P. Kropp, E. Dinnie, I. Anguelovski, and J. Tikkanen, “Towards European Sustainable Societies (TESS): Final publishable summary report of the European FP7 project,” no. April 2018, p. 33, 2016, doi: [10.13140/RG.2.2.17717.99041](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17717.99041).
- [5] S. Wunder, S. Albrecht, L. Porsch, and L. Öhler, *Kriterien zur Bewertung des Transformationspotentials von Nachhaltigkeitsinitiativen*. Alemania: Agencia Federal de Medio Ambiente, 2019.
- [6] COPRET, “Guía sobre indicadores de transparencia Comisión Presidencial de Transparencia,” Guatemala, 2014. [Online]. Available: http://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_gtm_guia.pdf.

Esta actividad ha recibido financiación del Instituto Europeo de Innovación y Tecnología (EIT). Este organismo de la Unión Europea recibe el apoyo del programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea.



Horizon 2020
European Union Funding
for Research & Innovation

Low-income housing in flood areas: Studied cases in Nacajuca, Tabasco, México.

Jani Fernanda Velazquez Robles^a, Eloi Coloma Picó^a, S. M. Amin Hosseini^b

^aETSAB, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), Barcelona, Spain.

^bResilience and Sustainability in Metropolitans TECH (RESUME TECH), America St., Barcelona, Spain.
jani.fernanda.velazquez@upc.edu

One of the main architectural goals these days is to produce constructions with less negative impacts (economic, social and environmental) and urban resilience to the effects of climate change. According to the United Nations, natural phenomenon's and rapid urbanization are not separate concepts. It is estimated that nearly 40 percent of the world's urban expansion may be in slums, exacerbating economic disparities and unsanitary conditions, and a large portion of this people will be at risk from sea-level rise, heat waves, storms and floods whose frequency and intensity climate change is likely to increase. As a response to this urban sprawl, decision-makers and architects have developed and implemented different housing solutions for one of the most affected group: low-income users. In México, Tabasco is one of the most affected States for flooding every year with significant negative impact in low-income housing infrastructure.

In this paper, Pepe del Rivero housing development located in Nacajuca Tabasco was analyzed as a case study. The project was built by the Tabasco government in 2016 as a response for the necessity of low-income housing of Nacajuca and designed to resist annual floods. The methodology used in this paper to analyze the architectural quality was done by 31 surveys to people living in Pepe del Rivero housing development. Not all the users were interviewed because some of them were not at home and others didn't want to answer any questionnaire for personal reasons.

The results showed that the house design could be improved in the future taking into account aspects such as: Access to public transportation in the zone, daily availability of water and electricity in case of floods, more flexibility in the house layout to expand their houses for future family members and the necessity of more storage space. This paper showed that there is a big potential doing Post Occupancy Evaluations to improve the future performance of the low-income housing according to the user's needs.

Key words: Building performance; User satisfaction; México; Low-income housing; Floods.

1. Introduction

Cities are either helpful or unhelpful in achieving sustainable development against the climate change, as the World Urban Campaign (WUC) partners declared in the 2012 Manifesto for Cities: "the battle for a more sustainable future will be won or lost in cities." How we plan, build, and manage our cities now will determine the outcome of our efforts to achieve a sustainable and harmonious future. Better planned cities allow residents the opportunity to lead safe, healthy, and productive lives. Well-designed cities present nations with major opportunities to promote social inclusion, resilience, and prosperity.

Nowadays, rapid and unplanned urbanization, in combination with poorly constructed settlements and degraded ecosystems, puts more people and more assets in harm's way. The risks of natural phenomena and climate change are highly uncertain. While long term trends in losses have not yet been attributed to

natural or anthropogenic climate change, it does add a layer of additional risk and uncertainty [1].

Climate change can have a compounding effect on, for example, the risk of floods from sea level rises, changing rainfall patterns, and more storm surges.

So, putting together the rapid urbanization, the effects of climate change and the increased demand of housing for low-income users, becomes a main issue connected to social housing reform.

The objective of this research was to identify actual urban, architectural and social advantages and disadvantages of a built low-income housing development in Mexico designed to resist floods. The case study was Pepe del Rivero Development located in Nacajuca, Tabasco, México.

The article is divided into four sections; the first one is the literature review where the actual situation of floods in México is explained. In the second part, the methodology is explained and applied in the case

study. Finally, the results and conclusions are showed analyzing user's satisfaction of the housing design quality.

2 Literature Review

2.1 Floods in México

Floods are probably the type of natural phenomena with the highest social, economic and environmental costs [2,3]. In Mexico, the number of floods is increasing [4]; these currently make up more than 50% of all-natural phenomena in the country [5].

Mexico covers an area of 1.964 million km², and its annual average rainfall from 1981 to 2010 is 740 mm, equivalent to 1449 km³, which are distributed in the hydrological cycle as follows: 72% evapotranspiration, 21% becomes runoff and 6% as aquifer recharge [6].

It has been estimated for the Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), that 162,000 km² of the Mexican territory are susceptible to flooding. Although this accounted for only 8% of its territory, the socio-economic impact may be equivalent up to billions of euros, according to the affected urban zones, their population density, economic activities, existing infrastructure and, above all, their vulnerability and resilience.

In terms of vulnerable risk to zones of flooding, CENAPRED data shows that 35.5% of the Mexican population is in danger. In **Tabasco (100%)**, Colima (92.1%) and Campeche (85.9%) all people are, practically, in municipalities with a danger of flooding [7].

2.2 Nacajuca, Tabasco, México

Tabasco is located in south-eastern Mexico on the Isthmus of Tehuantepec. The state is bounded by the states Campeche in the east, Chiapas in the south, and Veracruz in the west, and by the 184 km-long coastlines along the Gulf of Mexico in the north.

Tabasco is already suffering impacts resulting from modifications in rainfall distribution due to changes in the variability of precipitation that would probably increase because of the effects of climate change. Monitoring stations, studies relating to vulnerability as well as adaptation strategies are required to be able to minimize population risk in the future. The last decades' floods had increase in magnitude, extension

and intensity. Yearly floods of about half a meter, nowadays could be as high as four meters. See Tabasco's location in figure 1.



Figure 1. Tabasco location (source: self-elaborated, 2020)

Nacajuca, is part of the Chontalapa region in the north center of the state and a major center of Tabasco's Chontal Maya population. Although the local economy is still based on agriculture and livestock, oil production, handcrafts and some tourism are important aspects as well. The environment of the area is low-lying flat land making it very susceptible to flooding including being hard hit by the 2007 flooding and more recent flooding in 2011 and 2020.

In 2017, Centro Nacional de Prevención de Desastres showed in the annual declaratory that one of the most negative impacted infrastructure is low-income housing when a flood occurs. In this paper, the case study located in Nacajuca showed the advantages and disadvantages of actual housing design in flood zones.

3 Methodology

3.1 Surveys

To analyze the design quality of the housing development in Nacajuca, surveys were done to 31 users of different age, sex and job. Surveys or interviews can be defined as a qualitative research technique which involves "conducting intensive individual interviews with a small number of respondents to explore their perspectives on a particular idea, program or situation." [8].

There are three different formats of interviews: structured, semi-structured and unstructured. In this research, a structured interview is used. The structured interview consists of a series of pre-determined questions that all interviewees answer in

the same order. The data analysis usually tends to be more straightforward because the information can be compared and contrasted from all the different answers given to the same questions.

An effective design and superior performance in meeting a market's unique requirements may lead to a significant competitive advantage [9].

The questions conducted in person using multiple choice and Likert scale in the format of the questions (Quality: Very poor, Poor, Neutral, Good, Excellent).

The interviews were done in one day, and the data was recorded by note-taking and audiovisual recordings. See figure 2. The face of the interviewees is not shown for privacy reasons.

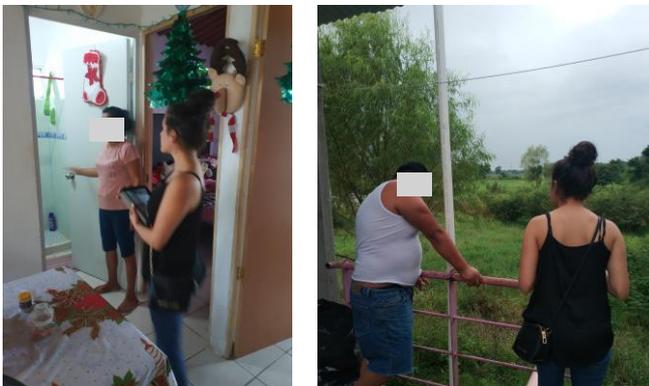


Figure 2. Pepe del Rivero interviews. (Source: self-elaborated, 2019)

3.2 Case study

3.2.1 Pepe del Rivero

The housing development “Pepe del Rivero” is located in Nacajuca, Tabasco. The 120-housing development were built by governmental instances in 2016, expending around 40 million Mexican pesos.

The design includes a 42 m² house distributed in two bedrooms, bathroom, kitchen and dining room. The elevated structure of concrete allows the habitants to expand their houses vertically with 42 m² behind the

core house. The in-situ construction system is mainly reinforced concrete pillars, common concrete brick walls and lightweight fibre-cement roof. See figure 3.



Figure 3. Pepe del Rivero Development. (Source: <https://tabasco.gob.mx/invitab>)

4. Results and discussion

The results of the surveys showed that in terms of urban design and resilience strategies, the performance of the development does not meet the user's needs. For example, there are not waste deposits in public areas, schools and hospitals are more than 5 km away from the development and there is no public transportation.

In terms of indoor quality, the houses have a poor performance in terms of interior natural light and ventilation and not enough storage space.

In terms of security, the surveys showed that the users don't feel secure at night because the absence of public outdoor lighting, the users added steel protections to the original design in all the windows and the principal access as a strategy to avoid robberies (see figure 4).

In terms of basic services, potable water and electricity were deficient. It is important to say that the location didn't have any access to the internet. Therefore, the families had to travel by motorcycle or bicycle to the city centre to have access to this service (see figure 5).

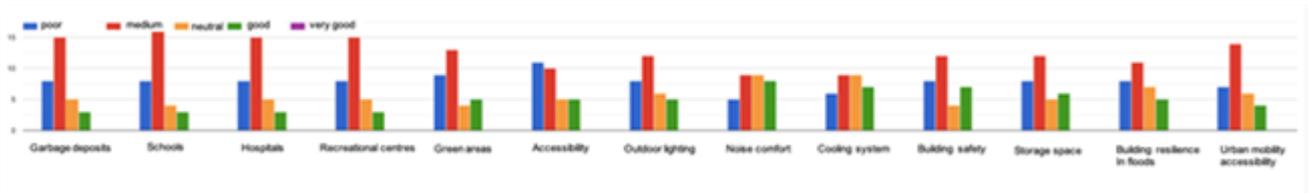


Figure 4. Construction quality. (source: self-elaborated, 2020).

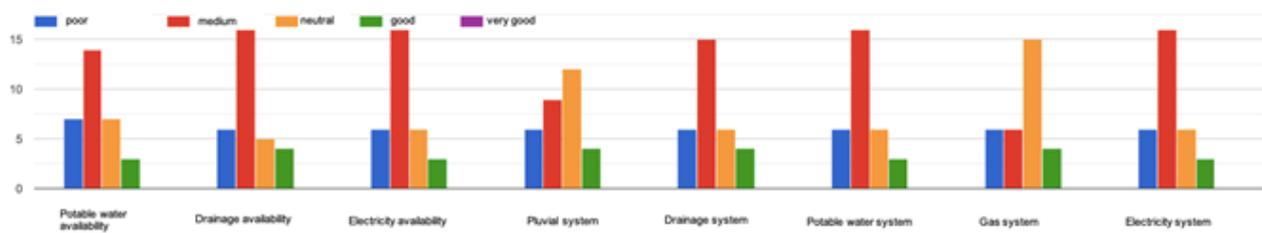


Figure 5. Basic services quality. (source: self-elaborated, 2020)

The users were satisfied with the room’s dimensions (10 m²/each), the kitchen is a very important space because it is an area where the users spent more of their time cooking and sharing with their families, in this case, the dimension of the kitchen was very small to develop familiar activities and to cook (5 m²), the users had a neutral opinion about the dimensions of the living room (7 m²) and dining room (8 m²). See figure 6.



Figure 6. Architectonic layout dimensions. (source: self-elaborated, 2020).

The flexibility of the layout is a disadvantage, the layout of the design didn’t give the users an opportunity to have an alternative use for the different spaces. As an advantage, it was very easy to find the original construction materials on the market for maintenance or extensions. See figure 7.

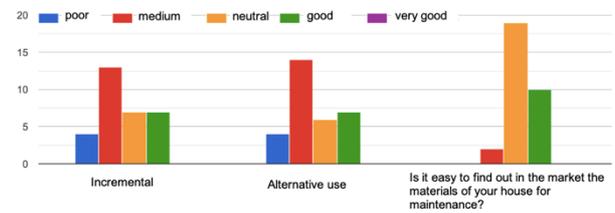


Figure 7. Architectonic layout flexibility. (source: self-elaborated, 2020)

The average of habitants per house was between 4-3 members. Therefore, the houses were not overcrowded in accordance with the house dimensions. See figure 8.

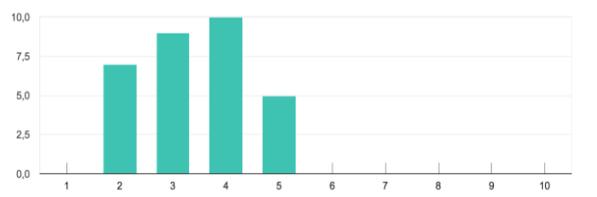


Figure 8. Number of inhabitants in the house. (source: self-elaborated, 2020).

Nowadays, the Tabasco's government is improving their low-income housing design, taking into account good quality construction materials, climate change effects (floods and heating) and social cohesion with new and different low-income housing programs such as Vivienda Social Rural.

5.- Conclusions

Buildings are established to meet the user's needs. The purpose of a building is defeated if its users are not satisfied by the overall building performance. Assessment using users as a benchmark shows that the potential for improving the performance of a building is tremendous.

Results showed that 40% of building performance attributes is correlated with users' satisfaction.

The most important conclusions of this study can be summarized as follows:

- 1) Post-Occupancy Evaluation (POE) offers a valuable methodology for analyzing the performance of buildings in general. The analysis of the findings confirms that the application of POE is effective in determining the user's satisfaction level and providing recommendations to improve building performance.
- 2) The design of future low-income housing should consider parameters that will determine the efficient performance of the buildings and user's satisfaction such as enough storage space according to the number of users per house, the possibility for future extensions and flexibility to adapt the house layout.
- 3) The results showed that a more than the 80% percent of the interviewees had expressed their dissatisfaction with the safety performance of the housing development, the lack of basic services when a flood occurs (electricity and water) and as consequence unhealthy spaces, poor outdoor lighting, the lack of protection in windows and doors and insecurity in the public areas were the most mentioned aspects.

However, it is clear that a proper design drive to a high and satisfactory performance of buildings. In this paper, it was demonstrated the importance of POE in a low-income housing design, to improve the performance of the construction if it is necessary and to develop better practices in order to minimize future costs and environmental impact while maximizing the social acceptability in low-income housing projects.

References

- [1] Lavell, A., M. Oppenheimer, C. Diop, J. Hess, R. Lempert, J. Li, R. Muir-Wood, and S. Myeong, 2012: Climate change: new dimensions in disaster risk, exposure, vulnerability, and resilience. In: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 25-64.
- [2] Istomina, M. N., Kocharyan, A. G., & Lebedeva, I. P. (2005). Floods: Genesis, Socioeconomic and Environmental Impacts. *Water Resources*, 32(4), 349-358. <https://doi.org/10.1007/s11268-005-0045-9>.
- [3] Messner, F., and Meyer, V. (2006). Flood damage, vulnerability and risk perception—challenges for flood damage research. *Flood risk management: hazards, vulnerability and mitigation measures*, 149-167. DOI: 10.1007/978-1-4020-4598-1_13.
- [4] Undrr, R. L. A.-. (2013). DesInventar - Perfil. UNDRRDesInventar Sendai. https://www.desinventar.net/DesInventar/profileta_b.jsp?countrycode=sle&lang=ES.
- [5] CENAPRED. (2014). Impacto Socioeconómico de los Principales Desastres Ocurredos en la República Mexicana 1998-2013. Serie Impacto Socioeconómico de los Desastres en México, 1 al 15. México: Secretaría de Gobernación.
- [6] Resumen. Tabasco. (2019). INEGI. <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/tab/>
- [7] Programa Nacional de Protección Civil. 2014-2018. DOF: 30/04/2014. Diario Oficial de la Federación. Secretaria de Gobernación. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5343076&fecha=30/04/2014.
- [8] Boyce, C. & Neale, P. (2006) "Conducting in-depth Interviews: A Guide for Designing and Conducting In-Depth Interviews", Pathfinder International Tool Series.
- [9] A.H. Al-Momani. Housing quality: implications for design and management. *J. Urban Plan. Des.*, 129 (4) (2003), pp. 177-194. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9488\(2003\)129:4\(177\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9488(2003)129:4(177))

Estrategias de diseño para deshumidificación de viviendas en clima cálido-húmedo.

Ignacio Alejandro Guzmán Hernández^{a,c}, Fidel Franco González^{b,c,d}, Joan Lluís Zamora i Mestre^{c,d}

^aDepartamento de Tecnología de la Arquitectura UPC; ^bDepartamento de Física UPC ^cEscola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona (ETSAB) UPC ^dLaboratorio de Innovación y Tecnología en la Arquitectura (LiTA) UPC
ignacio.alejandro.guzman@upc.edu

La presente investigación se centra en el tema del confort térmico, que encuentra una mayor complejidad en los climas cálido-húmedos, por sus altas temperaturas y niveles de humedad relativa durante la mayor parte del año. Se utiliza como escenario de simulación una vivienda popular "tipo" construida en la ciudad de Villahermosa, Tabasco en el sureste de México. Se realizan una serie de simulaciones y cálculos matemáticos por separado de diversas estrategias de climatización pasiva, sugeridas por la bibliografía analizada. Posteriormente sobre un modelo mejorado, se analizan técnicas de deshumidificación semi-pasivas y activas para disminuir niveles de humedad relativa al interior de las viviendas. Se obtienen resultados favorables para descender tanto temperatura como la humedad relativa dependiendo de las condiciones externas del clima sin embargo no se alcanzan niveles de confort térmico todo el año.

Palabras clave: Confort térmico, cálido-húmedo, vivienda popular, deshumidificación, geotermia y presurización

1. Introducción

Si bien el confort térmico es uno de los temas más estudiados en la arquitectura, existen grandes deficiencias cuando se trata el tema en los climas cálido-húmedos. La primera problemática en estos casos de estudio se debe a la combinación de altas temperaturas, alta humedad relativa y gran número de días con lluvia, lo que hace complicado la aplicación de muchos sistemas de climatización pasiva y en los espacios que no se encuentran en las costas, tienden a tener poco viento, y como consecuencia, teniendo estrés térmico durante los días [1].

El segundo problema se debe a la ubicación de los lugares con clima cálido-húmedo; la mayoría se encuentran en países en vías de desarrollo, esto hace que, por una parte, sea un tema de poco estudio en los países más desarrollados, que lideran la investigación en la mayoría de las ramas. Por otro lado, los pobladores de dichas regiones, suelen encontrarse en condiciones precarias económicamente y no pueden costear sistemas de aire acondicionado o deshumidificación para sus viviendas, por lo que es necesario buscar soluciones ecológicas, económicas y de poco involucramiento tecnológico para el usuario final [2].

El caso de estudio es una vivienda popular en Villahermosa, la capital del estado de Tabasco, en el sureste mexicano. Villahermosa tiene una temperatura promedio de 27.3°C, una humedad relativa del 80%, la velocidad del viento promedio es de 2.5 m/s y la precipitación anual es de 2500mm. Se pueden ver en la Fig. 1 los valores promedio por mes en el caso de

estudio, donde el 90% del tiempo hay niveles de desconfort.

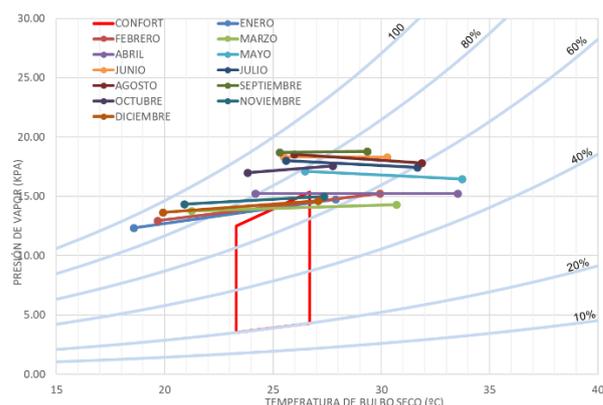


Figura 1. Gráfica de promedios climatológicos en diagrama psicrométrico. Elaboración propia.

2. Metodología

De la revisión bibliográfica se selecciona una serie de estrategias de climatización pasiva para climas tropicales, para simularlas por separado, modificando ligeras variables de cada una de ellas, buscando la mejor eficiencia para la vivienda del caso de estudio.

Las estrategias analizadas y las variables en la primera etapa (pasivas) se ven en la tabla 1. Se comparan los valores de confort térmico de cada estrategia contrastadas con el modelo base, que es la vivienda popular tal cual ha sido construida, sin ninguna modificación. Se simulan en el software DesignBuilder, donde se modela la vivienda a analizar, junto con las viviendas colindantes para obtener resultados más fiables y reales.

Tabla 1. Estrategias y variables analizadas en la primera etapa

Clave	Estrategia	Variables
EX01	Altura de cubiertas [3]	10-50cm c/10cm
EX02	Falso plafón [4]	30-50-70cm
EX03	Aislante térmico	Pb-pa-pb+pa
EX04	Protección solar	50-75-100cm
EX05	Proporción aperturas [5]	2:2-3:1-1:3
EX06	Temporalidad ventilación	24hr-0hr-diurna-nocturna
EX07	Ventilación cruzada [6]	Si-no

Posteriormente se seleccionan las variables de mejor eficiencia para crear un nuevo modelo base para simular las estrategias de la segunda etapa (semi-pasivas). Las estrategias seleccionadas en el grupo de deshumidificación son: Geotermia somera, paneles desecantes y presurización deshumidificante.

Las estrategias de la segunda etapa son simuladas en DesignBuilder y posteriormente re-calculadas con fórmulas físicas y matemáticas, ya que el software no puede simular las condiciones necesarias de este estudio.

3. Resultados

A continuación, se muestran los resultados por cada una de las estrategias:

EX01 – Altura de cubiertas

Se aumentan la altura de las cubiertas en segmentos de 10cm hasta llegar a los 50cm, se obtienen mejores resultados con 50cm de aumento en la altura, donde se logra descender la temperatura promedio un 1.59% y la humedad relativa promedio un 4.40% en comparación con el modelo base (MB), como se puede observar en la Fig. 2.

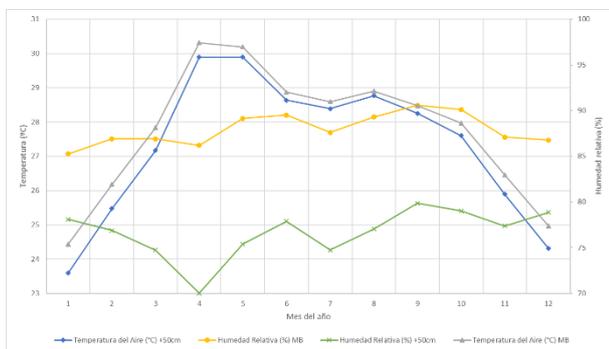


Figura 2. Gráfica de comparación de temperatura y humedad de serie de simulación EX01.

EX02 – Falso plafón

Se comparan 3 modelos con el MB, en donde se simulan diferentes dimensiones (30cm, 50cm y 70cm)

de colchones de aire, creados por un falso plafón al interior de las cubiertas. Se observan buenos resultados para reducir tanto temperatura como humedad desde 30cm de falso plafón, y un aumento ligero con los otros dos modelos. En la Fig. 3 se observa el descenso de la temperatura promedio del 4.83% y de la humedad relativa del 8.81%.

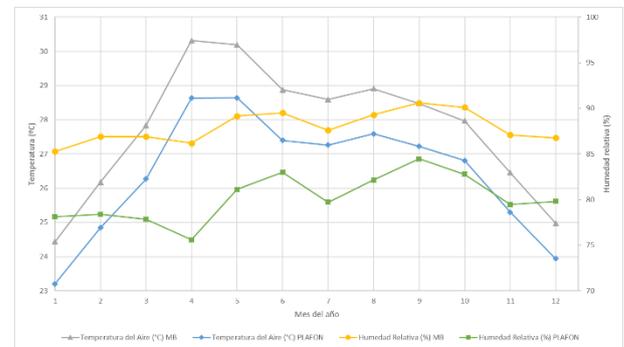


Figura 3. Gráfica de comparación de temperatura y humedad de serie de simulación EX02.

EX03 – Aislante térmico

En esta serie de simulaciones se crean 3 modelos que se comparan con el MB, colocando aislante térmico de poliestireno expandido (EPS) de una pulgada de espesor. Por separado se modifica su colocación por separado en planta baja, planta alta y uno último con aislante en ambas plantas. Los mejores resultados se observan en los modelos que involucran aislante térmico en planta alta, con poca diferencia entre el modelo que solo aísla planta alta y el que aísla ambos niveles. En la Fig. 4 se muestran los resultados mensuales del modelo de aislante térmico en planta alta.

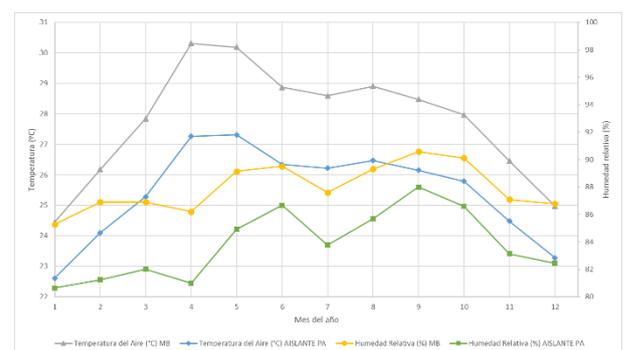


Figura 4. Gráfica de comparación de temperatura y humedad de serie de simulación EX03.

Se reduce en promedio 8.38% la temperatura promedio y 4.68% la humedad relativa.

EX04 – Protección solar

En esta serie de simulaciones se colocan alerones y voladizos en las ventanas de la fachada sur, que es la

de mayor incidencia solar en las ventanas, tratando de evitar ganancias térmicas al interior. Se generan 3 modelos, variando las dimensiones de los aleros y voladizos, de 50cm, 75cm y 100cm para evaluar su eficiencia. Se observan buenos resultados desde los 50cm, en la Fig. 5 se observa el descenso en humedad relativa promedio del 11.82% y la temperatura un 3.24%.

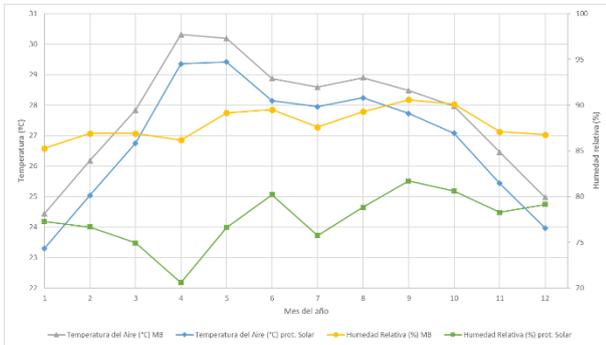


Figura 5. Gráfica de comparación de temperatura y humedad de serie de simulación EX04.

EX05 – Modulación ventilación

Las simulaciones de temporalidad se generan a través de cuatro modelos de vivienda, donde la variable que se modifica es el tiempo en el que funciona la ventilación natural en la vivienda, abriendo y cerrando las ventanas en determinados momentos del día, en el primero con ventilación constante 24 horas al día, el siguiente cerrado, sin ventilación natural, el tercero con ventilación diurna (de 6:00 a 20:00 horas) y el último con ventilación nocturna (20:00 a 6:00 horas). Los mejores resultados se observan cuando se crea ventilación constante o ventilación nocturna, donde se reduce la temperatura promedio un 1.45% y la humedad un 13.28%.

EX06 – Ventilación cruzada

Se realizaron modificaciones a los modelos de simulación, colocando aberturas sobre las puertas de las habitaciones de la planta alta, favoreciendo la ventilación cruzada, y se compara en la Fig. 6 donde se reduce la temperatura un 1.75% y la humedad un 13.44%.

También se combina con buen funcionamiento cuando se amplían las dimensiones de las ventanas ubicadas al norte, donde entran los vientos dominantes y disminuir las de salida de aire, al sur de la vivienda.

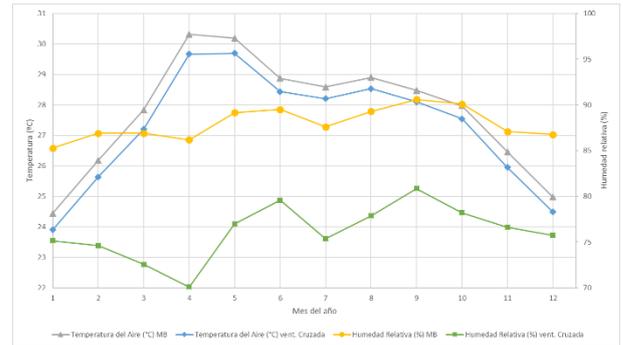


Figura 6. Gráfica de comparación de temperatura y humedad de serie de simulación EX06.

NMB - Modelo combinado

Tomando las mejores variables de cada estrategia expuesta, se crea un nuevo modelo que combina lo mejor de cada una, y se simula durante todo el año, esto sirve para nuevo modelo base para las estrategias de deshumidificación del siguiente apartado. En las Fig. 7 y 8 se observan diagramas psicrométricos donde se ve el descenso de temperatura y humedad absoluta, acercándose a niveles de confort térmico sin lograr mantener los promedios dentro de dicho confort en ninguna temporada del año.

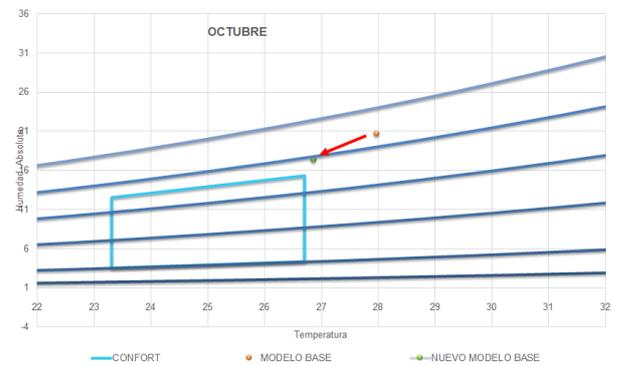
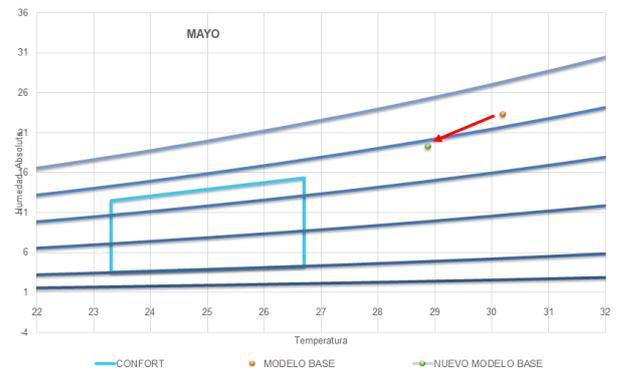


Figura 7 y 8. Gráficas psicrométricas comparativas del NMB.

A continuación, se muestran los resultados de las estrategias de deshumidificación:

Geotermia somera

La geotermia somera suele utilizarse como método semi-pasivo de climatización en lugares con mucha amplitud anual de temperatura, ya que sirve como refrigeración en meses calurosos y calefacción en meses fríos, sin embargo, no funciona de igual manera en lugares con clima cálido-húmedo, sin embargo, puede ser utilizado durante algunas temporadas del año para refrigerar y condensar el vapor de agua del aire.

Se analizan en este apartado los cálculos matemáticos y de simulación realizados, añadiendo al NMB un sistema de geotermia somera a 0.90m de profundidad. Dicha profundidad es elegida por tener un mejor comportamiento térmico en los 6 meses más calurosos del año en el caso de estudio. Debido a que no hay datos de la temperatura del subsuelo en el caso de estudio, se realiza el cálculo mediante la siguiente fórmula, creada por Givoni [7], modificando la original de Kusuda [8].

$$T_s = T + A_0 * \exp(-F * Z) * \sin(0.986 * N - 125 - L * Z) \quad (1)$$

Donde:

- T_s = Temperatura del suelo a profundidad Z (°C)
- T = Temperatura anual promedio (°C)
- F = Factor de amortiguación del rango.
- Z = Profundidad bajo tierra (m)
- L = Retraso de tiempo por metro de profundidad
- A_0 = Amplitud anual de la temperatura, mitad del rango anual (°C)
- N = Número del día (Enero 1°=1)

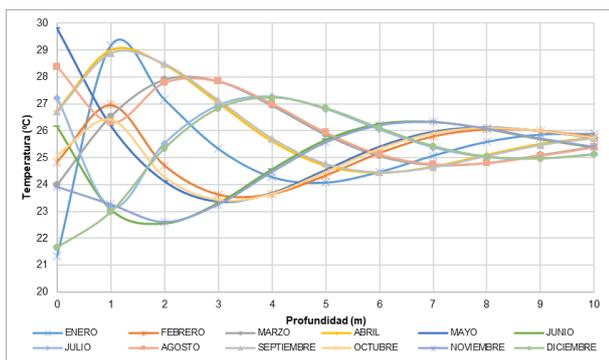


Figura 9. Cálculo de la temperatura del suelo a diversas profundidades en Villahermosa, Tabasco.

Se realiza una mezcla preponderada del modelo simulado en DesignBuilder y la temperatura y humedad del aire en el subsuelo calculadas por la fórmula 1, considerando una renovación de aire por hora y solo manteniendo ventilación natural nocturna.

Los resultados son muy buenos, reduciendo la temperatura mensual promedio entre un 3.5% y un 5.5% y la humedad relativa mensual promedio entre un 8.4% y un 13.4%, sin embargo, dicho sistema está condicionado por las condiciones climatológicas exteriores, ya que es necesario que se combinen altas temperaturas y humedades en la superficie. Como se puede observar en las Fig. 10 y 11 se pueden observar los resultados de dos meses.



Figura 10 y 11. Simulación geotermia somera abril y octubre

Por ejemplo, en el mes de abril se puede ver un buen funcionamiento del sistema la mayor parte del tiempo, sin embargo, cuando la humedad relativa desciende del 70%, la eficiencia del sistema se vuelve prácticamente nulo. De igual forma en el mes de octubre, a pesar que la humedad relativa es alta, la temperatura desciende, por lo cual no existe suficiente diferencia entre la superficie y el subsuelo para condensar el vapor de agua del aire, por lo que el sistema deja de funcionar.

Presurización deshumidificante

Al igual que en la geotermia somera, se intenta alcanzar el punto de rocío para condensar el vapor del agua en el aire antes de introducirla a la vivienda, sin embargo, en este caso mediante aumentar la presión por medios mecánicos.

Además de la simulación por software, se hace un recálculo con la ley de los gases ideales [9]:

$$P_v = n * R * T \quad (2)$$

En donde:

P_v = Presión del vapor

n = Número de moles

T = Temperatura en kelvin

R = Constante universal de los gases ideales = 0.082

Empleando un sistema en el cual se comprime un área inicial de 0.5 m³ a 0.45 m³, lo que significa una presión de 1.1 atmósferas y 550 joules por cada pulsación, para cada habitación que se desee deshumidificar. Se calculan 10 pulsaciones por hora y se evita la entrada de humedad del exterior de la vivienda. Este sistema tiene un porcentaje de reducción de la humedad relativa promedio de un 4.85%, que funciona solamente durante el día, al combinarse con ventilación nocturna, como se puede observar en la Fig. 12.

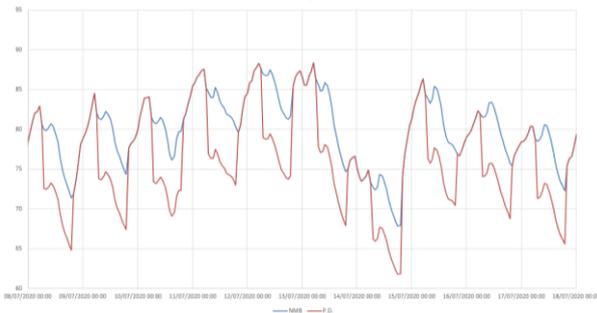


Figura 12. Gráfica de funcionamiento en julio de presurización.

Este sistema puede ser combinado con el sistema de geotermia somera y es importante mencionar que para funcionar necesita de muy poca energía, que puede ser generada por paneles solares, piezoeléctricos, motores de viento u otros medios ecológicos.

Paneles desecantes

Se emplean paneles de gel de sílice, que es uno de los materiales desecantes más utilizados en la actualidad, debido a que no es tóxico y tiene una alta capacidad de adsorción.

Aproximadamente para las condiciones climatológicas de Villahermosa, el gel de sílice tiene una capacidad de adsorción del 35.5% de su peso en agua, cuando la humedad relativa es del 100% y un 20.6% si ésta desciende al 50%. Dichos niveles de captación de agua solamente son alcanzados después de 6 horas, después de dicho tiempo se ha alcanzado la saturación total del material, por lo que deja de adsorber.

Se hace cálculos para cada habitación con diferentes cantidades de gel de sílice (1, 2 y 3 kg) y diferentes

tiempos de utilización del material (6, 12 y 24 horas) para cada habitación, se logra una reducción de la humedad promedio aproximada del 11% en cada habitación, sin embargo, se pueden lograr niveles de confort térmico durante franjas de utilización, como se ve en la Fig. 13.

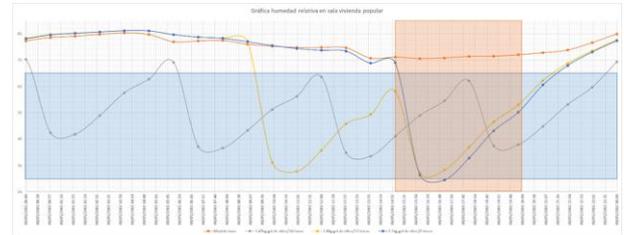


Figura 13. Gráfica de funcionamiento en julio de presurización.

4. Conclusiones

Se encuentran resultados favorables en todas las estrategias analizadas, encontrando las mejores variables para modificación geométrica cuando se aumenta la altura de las cubiertas 50cm, se crean falsos plafones de por lo menos 30cm, se coloca aislante térmico en la planta alta de la vivienda, se crean protecciones solares de 50cm en fachada sur. De igual forma las mejores variables de la ventilación son cuando se mantiene constante o de manera nocturna, las ventanas mantienen una proporción 2:2 o de 3:1 y se favorece la ventilación cruzada, tanto para reducir la temperatura como la humedad relativa del hogar.

En la geotermia somera se selecciona la profundidad de 0.90 m por su buen desempeño térmico en momentos de mayor desconfort en la vivienda, se logra reducir la humedad sustancialmente, tiene un funcionamiento óptimo en momento de alta temperatura y alta humedad, pero moderado o nulo con bajas temperaturas o niveles de humedad debajo del 70%.

La presurización deshumidificante tiene un desempeño óptimo con altas humedades y temperaturas de confort o bajas. Se puede combinar con el sistema de geotermia somera, alternando su funcionamiento. Para su funcionamiento es necesario cerrar la ventilación natural.

Los paneles desecantes tienen un buen desempeño con 1kg de gel de sílice por habitación, con un funcionamiento de 6-7 horas deshumidificando, también necesita cerrar el flujo del aire al interior de la ventilación natural para su mejor desempeño.

Referencias

- [1] Ahmad S. Kuala Lumpur: A hot humid climate. Bioclimatic housing: Innovative designs for warm climates. 2008:269-93.
- [2] Chen VF. The encyclopedia of Malaysia Vol 5: architecture: Archipelago Press; 2007.
- [3] Hyde R, Sunaga N, Soebarto V, Agostini M, Ribeiro FB, Junghars L, et al. Design, elements and strategies. Bioclimatic housing. 2008:297.
- [4] Butera F, Adhikari RS, Aste N. Sustainable building design for tropical climates. 2015.
- [5] Szokolay SV. Climate, comfort and energy: design of houses for Queensland Climates: Architectural Science Unit, the University of Queensland; 1991.
- [6] Haase M, Amato A. An investigation of the potential for natural ventilation and building orientation to achieve thermal comfort in warm and humid climates. Solar energy. 2009;83(3):389-99.
- [7] Givoni B. Passive low energy cooling of buildings: John Wiley & Sons; 1994.
- [8] Kusuda T. Earth temperatures beneath five different surfaces. National bureau of standards washington dc building research div; 1971.
- [9] Krönig AK. Grundzüge einer theorie der gase: éditeur inconnu; 1856.

Uniones versátiles aplicadas en la construcción con bambú

Roberto Aguilar Larrinaga^a, Laia Haurie Ibarra^a, Ana Maria Lacasta Palacio^a

^aGICITED, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona

roberto.aguilar@upc.edu

El interés de estudiar y aplicar el bambú como material en la construcción está creciendo de manera significativa en el sector de la arquitectura. Sus altas prestaciones físico-mecánicas, su rápido crecimiento (de 3 a 5 años) y su bajo coste son algunas de las características que se encuentran en el bambú y que atrae no solo a la construcción si no a diferentes sectores económicos. En la arquitectura, ya sea una construcción tradicional o contemporánea, se emplea un tipo de conexión que puede ser desde un amarre hasta conexiones desarrolladas con tecnología de punta. En este sentido, se puede encontrar una diversidad de conexiones desarrolladas con diferentes tecnologías, por lo cual, se plantea una clasificación de los conectores más empleados en la formación de estructuras ligeras con bambú, estos se pueden dividir en conexiones “Low Tech”, “Medium Tech” y “High Tech”.

Palabras clave: bambú, materiales, conexiones, arquitectura.

1. Introducción

El bambú es un material versátil, estético, económico y sostenible que puede ser desarrollado en productos básicos con poca o nada de industrialización. Es una planta con características tan especiales que lo convierten en un elemento estratégico en la solución concreta de problemas de gran actualidad[1]. Su rápido crecimiento la hace especialmente atractiva como cultivo para fines comerciales, ya que puede ser utilizada entre 3 y 6 años después de sembrada, época que adquiere su máxima resistencia[2].

En la arquitectura con bambú nos encontramos con tipologías tradicionales y contemporáneas donde se emplean una variedad de conexiones que van desde un amarre, utilizando cuerdas naturales o sintéticas, hasta aquellas que son diseñadas especialmente para una estructura en específico.

Para montar estructuras con bambú se necesitan unir dos o más cañas entre sí mediante un elemento conector, ese elemento es difícilmente encontrado en el mercado, la mayoría de las conexiones existentes se convierten en una adaptación o bien, se realizan de manera empírica y artesanal. Por lo que, una de las preocupaciones principales en la construcción con bambú es conseguir un ensamblaje efectivo, ya que el perfil circular del bambú crea problemas con las estructuras con geometría complicada. Su vacuidad y su superficie dura y lisa también puede ser complicadas para trabajar, y dado que todas las fibras están orientadas en la misma dirección, puede ser propenso a partirse [3].

2. Tecnología de las conexiones

Uno de los aspectos más importantes al construir con bambú es la formación de uniones que transfieran fuerzas de un elemento a otro. Dado a que la sección de las cañas de bambú son redondas y huecas, y las

partes entre sus nodos solo tienen fibras longitudinales, no se pueden unir de la misma manera que los elementos de madera [4]. Existen una variedad de tipologías de conexiones que van desde las tradicionales hasta las más desarrolladas con tecnología de punta, son creadas para una construcción en específico o bien se emplean las conexiones que se aprenden en el lugar para el desarrollo de una construcción vernácula. En este aspecto, las conexiones con bambú se pueden dividir en tres tipologías: “Low tech” “Medium Tech” y “High Tech”.

2.1 Conexiones “Low Tech”

Las conexiones “Low Tech” se refieren al conjunto de técnicas tradicionales para el desarrollo de uniones en estructuras ligeras con bambú (Fig. 1). Muchas veces estas técnicas son aprendidas de forma empírica y son transmitidas de una generación a otra. Los materiales que se utilizan para la unión, son materiales de proximidad que se pueden encontrar en la región o en el lugar donde se construye la estructura.

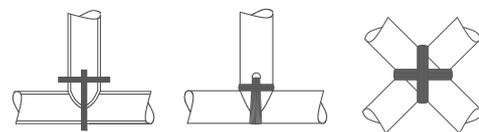


Figura 1. Dibujo de tipologías de conexiones “Low Tech”.

Los conectores difieren dependiendo del país, sin embargo, la conexión más empleada, se podría decir la más universal, y una de las más antiguas es la unión por fricción con cuerdas trenzadas o con hilos hechos de hierbas autóctonas como el yute, cáñamo, ratán y con la misma médula de bambú seca [5]. No se requiere de herramienta especializada, pero sí una

técnica de amarre precisa. Este tipo de conexiones se pueden encontrar tanto en la arquitectura vernácula como en la arquitectura contemporánea (Fig. 2).



Figura 2. Imagen de unión por amarre, bienal de Venecia, Italia. Foto: autor.

2.2 Conexiones “Medium Tech”

Se refiere a las conexiones que son aplicadas en la construcción regular, tienen un proceso de industrialización medio y algunas de ellas son encontradas en el mercado, las cuales no son específicas para el bambú pero pueden ser adaptadas para unir dos o más cañas. Este tipo de uniones se realizan con conectores como pernos, abrazaderas, placas metálicas o de madera y cintas (Fig. 3). En la mayoría de los casos el hueco del bambú es rellenado con un material como mortero de cemento (reforzado con una varilla roscada) o con una pieza de madera [6].

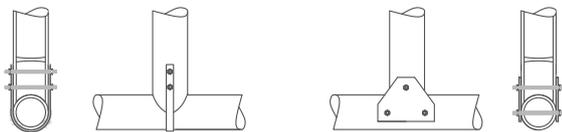


Figura 3. Dibujo de conexiones “Medium Tech”.

Las varillas roscadas es la conexión más utilizada (Fig. 4), tiene la característica de ser económica con buen rendimiento y alta eficiencia en la construcción por la forma en que transmite las fuerzas de manera simple y confiable [7]. El arquitecto Colombiano, Simón Vélez, en sus principios de construir con bambú, desarrolló una técnica para unir varias cañas, utilizando varillas roscadas embebidas en concreto donde se rellena el bambú[8].

Las uniones pernadas o varillas roscadas han sido las que más estudios tienen sobre el comportamiento mecánico entre dos o más cañas de bambú. Se encuentran fuerzas máximas a tracción donde se utilizan pernos de 10mm con los nudos rellenos con mortero de cemento que van desde los 9kN hasta los 18kN [9], muchas veces es el perno el que falla (se deforma) y no el bambú.



Figura 4. Imagen de unión mediante pernos. Foto: autor.

2.3 Conexiones “High Tech”

La mayoría de este tipo de conexiones son usadas para construcciones efímeras, son conexiones vanguardistas que pueden ser aplicadas en otro tipo de arquitectura, sin embargo, resultan complejas de realizarlas y por lo tanto costosas, cuando se emplean, muchas de ellas no son reutilizables, son realizadas de aleaciones metálicas, como aluminio, acero inoxidable y acero galvanizado, reforzadas con algún aglomerante para lograr mayor estabilización en la estructura. La tecnología aplicada para desarrollarlas es alta, se utilizan programas computacionales, maquinas de control numérico y corte laser (Fig. 5).

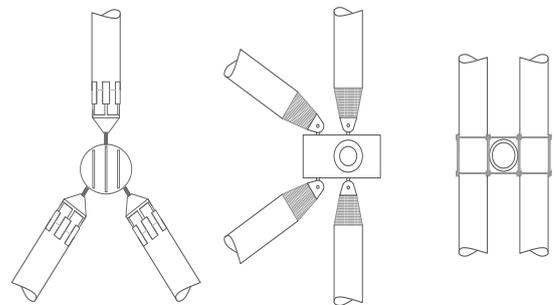


Figura 3. Dibujo de conexiones “High Tech”.

En la actualidad existen una infinidad de conexiones creadas por diferentes autores para montar pabellones y prototipos arquitectónicos de casas y/o edificios, sin embargo, muchas de ellas siguen sin estándares o normativas por lo cual no son encontradas en el mercado.

3. Conclusiones

Las conexiones es el elemento más importante para el la construcción de estructuras ligeras con bambú, sin el desarrollo de una conexión estandarizada y

normalizada difícilmente se podrá regular y construir con el bambú. Por lo que es necesario una conexión que se pueda ajustar y aplicar a los diferentes desafíos arquitectónicos.

Aparte de la clasificación propuesta anteriormente, se necesita saber los valores de resistencia a tracción y compresión que cada conexión tiene para poder utilizarlas de manera fiable y así conocer el potencial no solo del bambú, si no del conjunto que lo compone.

4. Bibliografía.

- [1] À. S. Vidiella, *Bamboe, néerlandais ; flamand*: Loft Publications, 2011.
- [2] M. Villegas, E. Arango Restrepo, J. E. Arango, and J. F. Machado, *Bambusa guadua*. Bogotá : Villegas Editores, 1996.
- [3] E. Broto, *Bambú : arquitectura y diseño*. Barcelona : Links, 2014.
- [4] G. Minke, *Building with bamboo*. Basel : Birkhäuser, 2012.
- [5] K. Disén and P. L. Clouston, “Building with bamboo: A review of culm connection technology,” *J. Green Build.*, vol. 8, no. 4, pp. 83–93, 2013.
- [6] J. J. A. Janssen, *Building with bamboo : a handbook*. London : Intermediate Technology Publications, 1995.
- [7] C. Hong *et al.*, “Review on connections for original bamboo structures,” *J. Renew. Mater.*, vol. 7, no. 8, pp. 714–730, 2019.
- [8] S. Vélez, *Grow your own house : Simón Vélez und die bambusarchitektur = Simón Vélez and bamboo architecture*. Weil am Rhein : Vitra Design Museum, 2000.
- [9] N. Elliot and J. Willard, “3023EXQ Research Dissertation Strength Parameters of Orthogonal Bamboo Connections for use in Construction Supervisor : David Trujillo,” no. April, 2018.

¿Qué es el yeso tradicional? El estudio del yeso de Ribera d'Ondara a partir de la monitorización de un horno tradicional

Belén González-Sánchez^a, Antonia Navarro Ezquerra^a, Joan Ramon Rosell^a
^aDepartamento de Tecnología de la Arquitectura, Universitat Politècnica de Catalunya.
belen.gonzalez.sanchez@upc.edu

El yeso tradicional es un conglomerante de gran versatilidad utilizado en la arquitectura vernácula en todo tipo de sistemas constructivos, desde elementos estructurales hasta elementos ornamentales y decorativos. El estudio de este material es todavía limitado y se fundamenta básicamente en la tradición oral y en el estudio del patrimonio construido. En este documento se contextualizan las características básicas del yeso tradicional en contraposición al yeso industrial, y se recoge la experiencia de monitorizar térmicamente un horno de yeso tradicional, construido durante la “II Jornada del yeso Tradicional” organizada por el Centre d’Estudis del Guix en noviembre de 2018, y se comparan los resultados obtenidos a través del análisis mineralógico por difracción de rayos X de las muestras recogidas.

Palabras clave: Arquitectura tradicional, yeso, proceso de calcinación, monitorización, territorio.

1. Introducción

Una de las características principales de la arquitectura tradicional es su vinculación con el empleo de materiales de construcción locales, por lo que es muy común encontrar un mismo material utilizado en diversos sistemas constructivos con prestaciones y características diferentes.

Existen ciertos materiales que tradicionalmente han sido asociados con la arquitectura tradicional, tal como expone el Dr. Arquitecto Ignacio Gárate [1]:

“La cal y el yeso acompañaron siempre a la Arquitectura desde su origen. Estos dos, junto a la tierra (adobe y tapial), cerámica, piedra y madera, fueron los seis únicos materiales constructivos de la Arquitectura planetaria hasta la modernidad reciente”.

El uso y combinación de estos seis materiales en la arquitectura tradicional le proporcionan al conjunto edificatorio características únicas, adaptadas al entorno, que lo dotan de carácter y entidad propia, poniéndolo en valor dentro de su territorio y contexto histórico [2].

Sin embargo, a pesar de que el yeso es uno de los materiales más abundantes en la corteza terrestre [3,4], es el material más humilde, junto con la tierra cruda, y menos conocido de los nombrados anteriormente.

2. ¿Qué es el yeso?

La palabra yeso es un término poco preciso y con múltiples significados, lo que en muchas ocasiones genera confusión entre sus distintas acepciones. A grandes rasgos, el yeso puede definirse como una roca sedimentaria, que encontramos de forma natural en el

entorno de un territorio yesífero y que se extrae de canteras para su futura transformación (fig. 1); también puede ser un conglomerante, en forma de polvo que se obtiene a partir de la transformación de la piedra de yeso; o un producto endurecido, como producto resultante del fraguado del conglomerante con agua, y en ocasiones también con aditivos (fig. 2).



Figura 1. Imagen de dos canteras de yeso diferentes. A la izquierda una cantera de Cervera y a la derecha una cantera de Albarracín.



Figura 2. Imagen de dos elementos constructivos de yeso diferentes. A la izquierda un pavimento y a la derecha una escalera.

Si bien, en la arquitectura tradicional existe una gran diversidad de elementos constructivos con yeso, actualmente la mayoría de sus usos en edificación se pueden sintetizar en elementos ornamentales, revestimientos, divisorias y aplacados interiores. La explicación del por qué se ha modificado claramente el uso del yeso a lo largo de la historia de la construcción hay que buscarla en su origen.

El yeso es una roca sedimentaria evaporítica, por lo que su formación tiene como origen la evaporación intensa de un lago o mar cerrado, con entradas ocasionales de agua. Esta evaporación genera como consecuencia la precipitación de diferentes minerales, a parte del yeso, como carbonatos, sales sódicas, sales potásicas o sales magnesianas (fig. 3). La proporción de todos estos elementos varía en función de la zona y las condiciones climáticas del entorno [5]. Es por este motivo que podemos encontrar una gran variabilidad de canteras de yesos, donde este mineral puede ir acompañado de calizas, arcillas, margas, óxidos de hierro, carbón mineral, cuarzos, etc. [6].

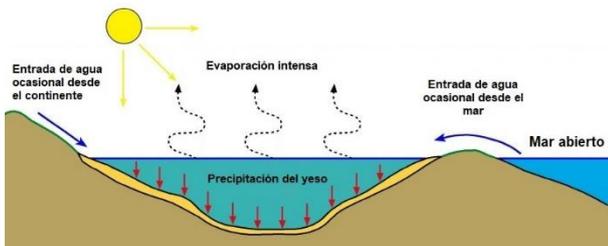


Figura 3. Esquema de la formación de yeso del Centre Geològic i Cartogràfic Ambiental de la Universitat de Girona

El proceso de transformación del yeso, de la piedra al conglomerante, se puede llevar a cabo mediante diferentes procesos de producción, desde los más tradicionales hasta los más industrializados [2,7]. Las diferencias principales entre ambos son la pureza de la materia prima, el triturado y el método de cocción.

En la producción del yeso industrial, aplicado al sector de la construcción, la pureza del yeso tiene que ser superior al 90%, por lo que se consideran impurezas todos los elementos minerales que puedan acompañarlo [5]. Se realiza un triturado homogéneo y de pequeño tamaño antes de realizar la cocción del mineral, y éste se realiza en hornos industriales, durante poco tiempo, a temperaturas alrededor de los 200°C.

Sin embargo, para la producción del yeso tradicional la proporción del yeso mineral es variable, por lo que el producto final obtenido tiene singularidades propias de la zona de extracción aportadas por los elementos minerales que lo acompañan, y en consecuencia estos

no se pueden considerar impurezas. El tamaño del mineral es heterogéneo y el método de cocción se realiza en horno tradicional. La distribución de las temperaturas en este tipo de hornos es muy variable, dando lugar a una cocción heterogénea, llegando a alcanzar temperaturas máximas puntuales superiores a los 1000°C [2,5,8].

Ciertamente, existen otros tipos de yeso con procesos de transformación diferentes a los explicados anteriormente, como pueden ser los yesos hemihidratos α y β o los yesos anhidrita. Los primeros están destinados al campo de la medicina, más concretamente a la reposición de piezas dentales, y a la fabricación de esculturas y elementos decorativos artísticos. Los segundos no se obtienen directamente de la transformación de la piedra de yeso, sino que se consideran un producto secundario y residual de la obtención del flúor. Su uso es variado, desde el relleno de terrenos y la estabilización de suelos contaminados hasta la incorporación como árido en algunos tipos de pavimentos continuos. En este trabajo sólo se tienen en cuenta los yesos destinados al sector de la construcción como conglomerante.

3. El caso particular de Ribera d'Ondara

Ribera d'Ondara, es un conjunto de pequeños municipios situado al Este de la ciudad de Cervera, comarca de la Segarra (Lleida). En esta comarca se conservan edificaciones populares en las que el yeso es el elemento principal de los diferentes sistemas constructivos que conforman el paisaje arquitectónico de la zona. Algunos ejemplos del tipo de construcciones de la zona son: muros portantes de tapia de yeso, forjados abovedados, arcos de crucería, pavimentos, revestimientos exteriores, etc. (fig. 4).

Si bien, en esta zona ya no se produce yeso tradicional, aún quedan vestigios de este oficio. Prueba de ello son los hornos que aún se conservan en los alrededores de la zona, alguno de los cuales, a día de hoy, siguen cargados.

Geológicamente la comarca de la Segarra se encuentra en terrenos de formación geológica datados entre 40 y 25 millones de años a.C. (Oligoceno), donde aflora la formación "Yesos de Talavera" intercalada entre grandes capas de margas. Son estas últimas rocas las que actualmente se están explotando por la empresa Cemento Natural Tigre, para obtener cales hidráulicas NHL o cementos naturales. Sin embargo, los niveles de yeso que afloran, intercalados entre las margas, no los explotan, y son considerados material de desecho, acopiándolos para posteriormente rellenar los frentes de cantera acabados.

Es por todo ello, que éste fue el lugar escogido para volver a construir y estudiar un horno de yeso tradicional.



Figura 4. Imagen de la arquitectura de la zona. A la izquierda una fachada revestida con yeso y a la derecha una bóveda de yeso.

4. Construcción y monitorización de un horno de yeso tradicional

A finales del mes de noviembre de 2018, se realizó la “II Jornada del yeso Tradicional”, organizada por el Centre d’Estudis del Guix (CEG), donde se reunieron profesionales, académicos, estudiantes y aficionados para compartir conocimiento y construir un horno de yeso tradicional (fig. 5).

La morfología del horno construido se caracterizó por ser de planta cuadrada, de sección cilíndrica, abierto, descubierto, de tamaño mediano, semienterrado, aislado, construido en un lateral del frente de cantera de Cemento Natural Tigre, rematado en tres de sus cuatro caras con un aparejo a tizón con ladrillo cerámico visto, y con dos entradas que conformaban una falsa bóveda [7]. El horno se monitorizó en 21 puntos diferentes para poder conocer la evolución de la temperatura en diferentes zonas a lo largo del tiempo. También se registró la temperatura ambiente durante la quema del horno (fig. 6).



Figura 5. Imagen del horno del yeso tradicional construido.



Figura 6. Imagen del equipo utilizado para realizar la monitorización del horno de yeso tradicional.

El encendido del horno se realizó con madera de pino, ya que actualmente en el entorno de la cantera queda muy poca vegetación autóctona, debido a la explotación de la propia cantera, al desarrollo urbanístico del entorno y al cambio climático acelerado de las últimas décadas. En la última fase de quema del horno sí se utilizó vegetación gipsícola de la zona. El apagado se realizó sellando las dos entradas del horno.

El horno fue descargado por etapas, y las piedras cocidas fueron clasificadas por niveles, para un estudio posterior de las diferentes zonas de cocción en relación a la temperatura alcanzada en cada zona. En la tabla 1 se recoge todo el proceso constructivo del horno de yeso tradicional.

Tabla 1. Time-lapse de la construcción del horno de yeso tradicional

Carga	Cocción	Descarga
		

5. Resultados

Por un lado se realizó un análisis mineralógico de las muestras recogidas durante la ejecución del horno, mediante difracción de rayos X. El difractómetro utilizado es un PANalytical X’Pert PRO MPD Alphas poder diffractometer in Bragg-Brentano $\theta/2\theta$ geometry of 240 millimetres of radius, nickel filtered Cu K α radiation and sample spinning at 2 revolutions per second.

En este caso se estudiaron dos tipos de muestras diferentes, unas recogidas antes de la ejecución del horno y otras tras la cocción y homogeneización del producto resultante.

El criterio de selección de las muestras de piedra de yeso no cocidas fue la heterogeneidad visual del material, cosa que queda patente en el resultado

obtenido. En ambos casos encontramos yeso hidratado, aunque su proporción es muy variable, comprendida en un abanico del 40% al 95%. El terreno estudiado es rico en calcita y dolomita, que se encuentra en ambas muestras con concentraciones variables, y la arcilla más predominante de la zona es la moscovita (fig. 7).

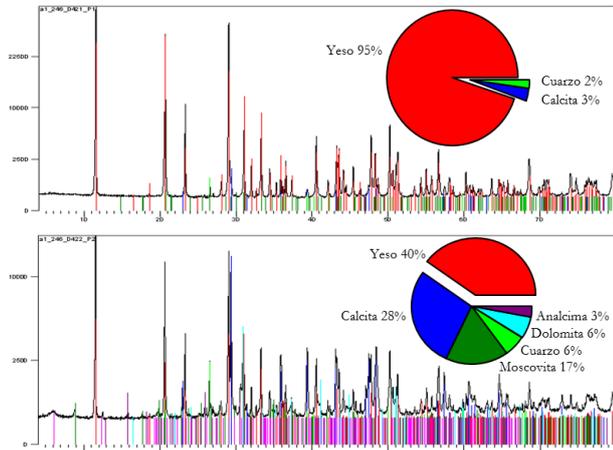


Figura 7. Gráficos de los resultados DRX de las muestras sin cocer.

El análisis de las muestras cocidas indica que además de yeso anhidro (77%), hemihidratado (9%) y dihidratado (2%), también se han detectado fases de silicatos cálcicos, propios de cales hidráulicas en una proporción de un 10% (fig. 8). La formación de silicato cálcico sólo se produce si hay presencia de arcillas durante la cocción del material resultante. Cuando esto sucede, se dice popularmente que tenemos un “yeso hidráulico”.

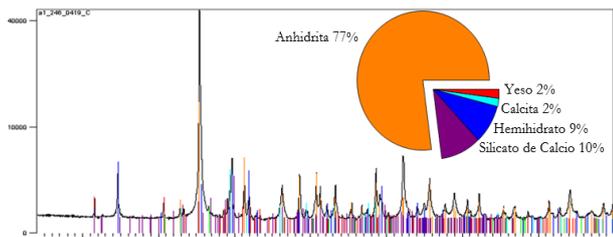


Figura 8. Gráficos de los resultados DRX de las muestras cocidas.

Por otro lado, se realizó el estudio térmico de los datos recogidos durante la monitorización de la cocción del horno de yeso tradicional. En las figuras 9 y 10 podemos ver, en planta y sección, la distribución de los sensores en el interior del horno. En este trabajo sólo se exponen los resultados de los datos obtenidos en la zona media del horno, entrada izquierda. La representación gráfica de la zona estudiada se destaca en colores, donde los lilas y azules representan la parte inferior y media del horno, el verde justo la zona central del horno, y los rojizos la parte superior.

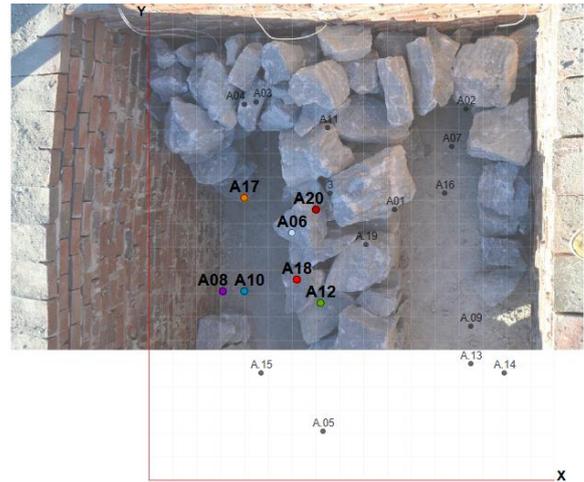


Figura 9. Fotografía en planta del horno durante la construcción con indicación de la situación de los sensores de temperatura.

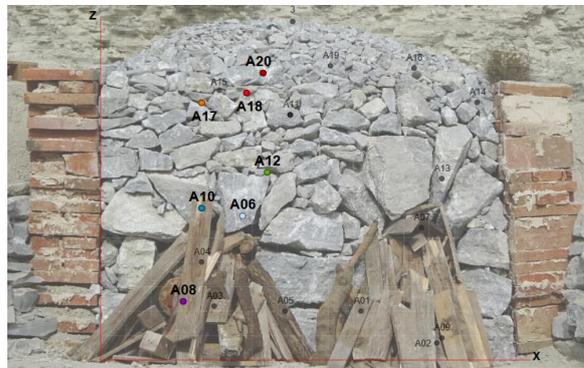


Figura 10. Fotografía en alzado del horno antes de la cocción con indicación de la situación de los sensores de temperatura.

Si analizamos la gráfica de la evolución de la temperatura del horno a lo largo de la cocción del yeso (fig. 11), podemos determinar que existen diferentes etapas dentro de esta.

En la primera etapa, la temperatura aumenta de forma gradual, en las partes más altas del horno. Este fenómeno es debido al inicio de la quema del combustible, en este caso madera de pino, y a la formación de llama. La excepción la encontramos en los puntos más elevados (A17 y A20) donde su temperatura está condicionada por la corriente que se genera entre la temperatura interior del horno y la temperatura ambiental exterior, produciéndose una pérdida de calor.

En la segunda etapa hay una acumulación de calor en la zona media-superior del horno, con una concentración mayor en la zona central (A12 y A06). También hay un incremento exponencial de la temperatura en la zona más baja del horno.

En la tercera etapa la temperatura en la parte superior del horno se homogeniza y aumenta progresivamente

hasta “estabilizarse” alrededor de los 500°C. La temperatura de la zona inferior aumenta rápidamente, adquiriendo valores superiores a los de la parte superior y con mucha oscilación (entre 550°C y 800°C). La aparición de brasas propicia la concentración de mucha temperatura en zonas más bajas.

En la cuarta etapa hay un claro descenso de temperatura, de unos 200°C, ya que durante este tiempo no se añadió combustible al horno. La excepción es la zona inferior donde, a pesar de la oscilación, se mantiene constante la temperatura alrededor de los 750°C. La mayor pérdida de temperatura se produce en la zona central del horno.

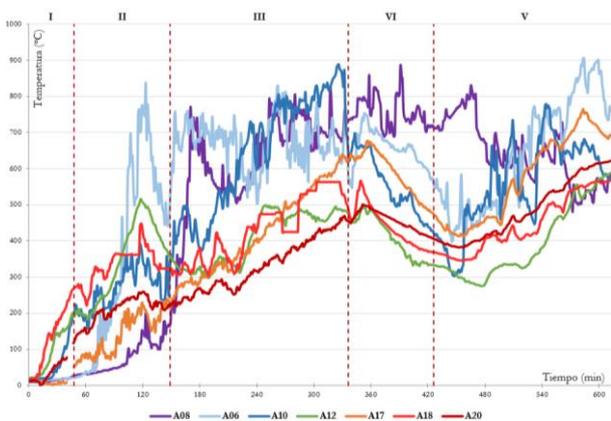


Figura 11. Gráfico de evolución de la temperatura del horno.

En la última etapa, existe un pequeño intervalo de tiempo desde que se vuelve a alimentar el horno, y vemos un nuevo incremento de temperatura. El mayor aumento se produce en la zona medio-baja del horno. En la zona superior la temperatura aumenta poco a poco y se estabiliza. Sin embargo, en la zona inferior disminuye su temperatura, a pesar de ser una de las zonas más cálidas del horno. Este cambio está relacionado con la retirada de brasas del interior de la entrada, y la incorporación de nuevo combustible. En este caso el combustible es vegetación gipsícola de la zona, que quema más rápidamente sin generar brasas.

Una vez sellado el horno se inicia el proceso de apagado (fig. 12). A pesar de ello todavía hay picos de subida de temperatura en la zona medio-baja del horno, debido a que el yeso también contiene nódulos de carbón, que tiene un proceso de ignición y pérdida de temperatura diferentes a la madera. En las zonas más elevadas la curva de bajada de temperatura es menos abrupta, ya que se genera una zona de calor residual que poco a poco se equilibra con la temperatura ambiental.

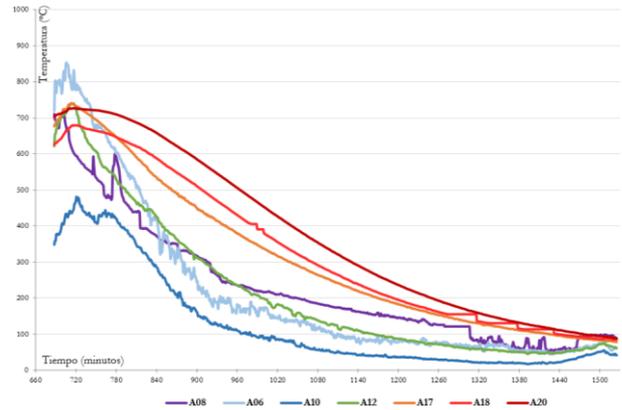


Figura 12. Gráfico de la evolución de la pérdida de temperatura del horno.

6. Conclusión

Existe amplia bibliografía que define tanto las diferentes fases que se producen durante la cocción industrial del yeso monomineral, como las temperaturas a las cuales se obtienen; pero todas ellas consideran que el yeso es el único mineral que interviene en todo este proceso.

Para la fabricación de los yesos tradicionales no se utiliza una piedra monomineral, sino que el yeso va asociado con otros minerales como son arcillas, calizas, carbón, cuarzos, etc. Debido a la cocción heterogénea que se consigue con un horno de yeso tradicional, y a las temperaturas máximas puntuales alcanzadas de hasta 900°C, los minerales asociados también se transforman en nuevos compuestos que se combinan, entre ellos y con el yeso, obteniendo formación de fases hidráulicas como el silicato de calcio, detectado mediante difracción de rayos X. Son estos compuestos los que permiten al yeso tradicional su gran versatilidad en sus usos, a diferencia del yeso industrial utilizado en construcción.

Agradecimientos

La realización de este estudio no habría sido posible sin la ayuda del Centre d'Estudi del Guix, organizador de las “II Jornada del yeso Tradicional”, de la empresa Cemento Natural Tigre, que facilitó sus instalaciones, maquinaria y materia prima para la construcción del horno de yeso tradicional; y de la EPSEB-UPC, por financiar parte del material necesario para la monitorización experimental.

Los autores de este estudio también quieren destacar la colaboración del Sr. Antonio Meda, productor de Yeso Artesano de Albarracín, y del Sr. Joan Santamaria, geólogo y conocedor de la ejecución de hornos tradicionales en el Pirineo Catalán, por su gran

labor durante todo el proceso de construcción del horno; así como al profesor Felipe Buill, por documentar todo el proceso experimental.

También es necesario destacar la colaboración desinteresada de todos los participantes y ponentes de las “II Jornada del yeso Tradicional”, y muy especialmente a Brian Rivas y Brenda Lévano.

Por último, también querrían agradecer a la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) la otorgación de la beca FPI-UPC 2018 para la contratación de personal investigador en formación para la realización de la tesis doctoral, gracias a la cual se financia a la alumna de doctorado autora de este estudio.

Referencias

- [1] Gárate Rojas, I. *Artes de los yesos: yesería y estucos*. Madrid: Editorial Munilla-Lería, 1999. ISBN 8489150257.
- [2] La Spina, V. *Estudio del yeso tradicional en España. Yacimientos, canteras, hornos y la arquitectura tradicional, su estado de conservación y propuestas de itinerarios visitables para su revalorización y difusión (Informe)*. Madrid: Instituto del Patrimonio Cultural de España, Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2016.
- [3] Villanueva Dominguez, L. *Manual del yeso*. Madrid: Dossat, 2001. ISBN 8495312468.
- [4] Escavy, J.I.; Herrero, M.J.; Arribas, M.E. Gypsum resources of Spain: Temporal and spatial distribution. *Ore Geology Reviews*. Diciembre 2012, vol. 49, p.72-84. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2012.09.001>
- [5] Navarro Ezquerra, A.; Julià, M. El guix tradicional. *L'Informatiu del Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes de Barcelona*. Mayo 2019, vol. 360, p.80-83.
- [6] Hero Hernández, A. *Trabajo del yeso y manual del pavimentador*. Barcelona: Editorial Ossó, 1954.
- [7] La Spina, V. Grau Giménez, C.J. La diversidad tipológica de los hornos tradicionales de calcinación de yeso en España. *Informes de la Construcción*. Enero-marzo 2020, vol. 72, 557, e334. ISSN-L: 0020-0883. <https://doi.org/10.3989/ic.71670>
- [8] Bel-Anzué, P.; Almagro, A.; Sáez Pérez, M.P.; Rodríguez-Navarro, C. Influence of the calcination process in traditional gypsum with structural behavior. *Ge-conservación*. Julio 2017, vol. 11, p.79-85. ISSN:1989-8568. <https://doi.org/10.37558/gec.v11i0>