

# Unidad Constructiva Verde 2.0. Sistema constructivo de fitorremediación para zonas industriales y comerciales en Colombia

## Green Building Unit 2.0. Construction system of phytoremediation for industrial and commercial zones in Colombia

DOI: 10.17981/mod.arq.cuc.28.1.2022.07

Artículo. Fecha de Recepción: 22/11/2021. Fecha de Aceptación: 11/02/2022.

**Néstor David Barrios Fernández**  
Universidad del Norte. Barranquilla (Colombia)  
nestorb@necatp.com

**Neytan Luis Salas Acuña**  
Universidad del Norte. Barranquilla (Colombia)  
neytanlluis@gmail.com

**Jheifer Manuel Paez Almentero**  
Macondo LAB. Barranquilla (Colombia)  
jheifer.paez@unisimonbolivar.edu.co

Para citar este artículo:

Barrios, N., Salas, N. y Paez, J. (2022). Unidad constructiva verde 2.0. Sistema constructivo de fitorremediación para zonas industriales y comerciales en Colombia. *MODULO ARQUITECTURA CUC*, 28, 225–254, 2022. <http://doi.org/10.17981/mod.arq.cuc.28.1.2022.07>

### Resumen

La contaminación atmosférica es uno de los principales problemas ambientales de las ciudades y zonas industriales, entre algunas de las fuentes se puede mencionar el uso de combustibles fósiles, las emisiones de las industrias y la explotación minera. En Colombia, las políticas de prevención y control de la contaminación del aire incluyen incentivos tributarios, a los que se puede acceder mediante el uso de construcciones sostenibles que demuestren un impacto positivo, impulsando la búsqueda de técnicas o métodos para controlar y medir la contaminación del aire. El presente proyecto promueve el desarrollo de nuevas técnicas de construcción sostenible, para el control de la contaminación del aire a través de la implementación de un sistema de fitorremediación, es decir a través de las plantas que permiten la purificación para generar ambientes o entornos agradables para las personas. Al mismo tiempo se aprovecha el residuo de la cascarilla de arroz para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de las unidades constructivas cumpliendo con las normas de construcción. El proceso de instalación de la unidad constructiva se hace a partir de un bloque de concreto el que parte de la arena se reemplaza con ceniza de cascarilla de arroz y mediante la modulación de los bloques conforma un jardín vertical. El sistema funciona al igual que los pulmones naturales del planeta, capaces de absorber, metabolizar o estabilizar los contaminantes presentes en el aire de los diferentes espacios habitables y comerciales. También tiene subsistemas ocultos de irrigación, posee cavidades para la siembra de las plantas y cuenta con un subsistema de monitoreo a través de sensores para el mantenimiento y visualización de los datos en la nube. La metodología consistió en 4 fases; inicialmente se seleccionaron un grupo de plantas locales capaces de purificar el aire, luego se hizo el desarrollo de un sistema de riego que se oculta en las cavidades de la Unidad Constructiva Verde, de manera posterior se diseña una mezcla para mejorar el bloque implementando la ceniza de la cascarilla de arroz, y finalmente se desarrolló un subsistema de monitoreo para el mantenimiento y supervisión del desempeño de cada muro en la ciudad. La nueva Unidad Constructiva Verde está instalada en los diferentes ambientes de la ciudad de Barranquilla (Colombia), un total 19.9 m<sup>2</sup> de UCV 2.0 funcionando y cumpliendo el objetivo principal de limpiar 13 134 toneladas de gases nocivos anuales. El sistema de monitoreo pudo ser instalado en el muro de la empresa y actualmente se encuentra transmitiendo los datos al servidor propio del aplicativo web que ya se encuentra desarrollado.

*Palabras clave:* Biofilia; construcción sostenible; diseño arquitectónico; fitorremediación; purificación

### Abstract

Air pollution is one of the main environmental problems in cities and industrial areas, among some of the sources we can mention the use of fossil fuels, emissions from industries and mining. In Colombia, air pollution prevention and control policies include tax incentives, which can be accessed through the use of sustainable buildings that demonstrate a positive impact, promoting the search for techniques or methods to control and measure air pollution. This project promotes the development of new sustainable construction techniques to control air pollution through the implementation of a phytoremediation system, that is, through plants that allow purification to generate pleasant environments or environments for people. At the same time, the residue of the rice husk is used to improve the physical and mechanical properties of the construction units, complying with the construction regulations. The installation process of the constructive unit is made from a concrete block which part of the sand is replaced with rice husk ash and by modulating the blocks it forms a vertical garden. The system works like the natural lungs of the planet, capable of absorbing, metabolizing or stabilizing the pollutants present in the air of the different living and commercial spaces. It also has hidden irrigation subsystems, it has cavities for planting the plants and it has with a monitoring subsystem through sensors for the maintenance and visualization of data in the cloud. The project methodology consisted of 4 phases; Initially, a group of local plants capable of purifying the air were selected, then an irrigation system was developed that is hidden in the cavities of the Green Construction Unit, later a mixture is designed to improve the block by implementing the ash of the rice husk, and finally a monitoring subsystem was developed for the maintenance and supervision of the performance of each wall in the city. The new Green Construction Unit is installed in the different environments of the city of Barranquilla (Colombia), a total of 19.9 m<sup>2</sup> of UCV 2.0 operating and fulfilling the main objective of cleaning 13 134 tons of harmful gases per year. The monitoring system could be installed on the company's wall and is currently transmitting the data to the server of the web application that is already developed.

*Keywords:* Phytoremediation; biophilia; sustainable construction; purification; architectural design

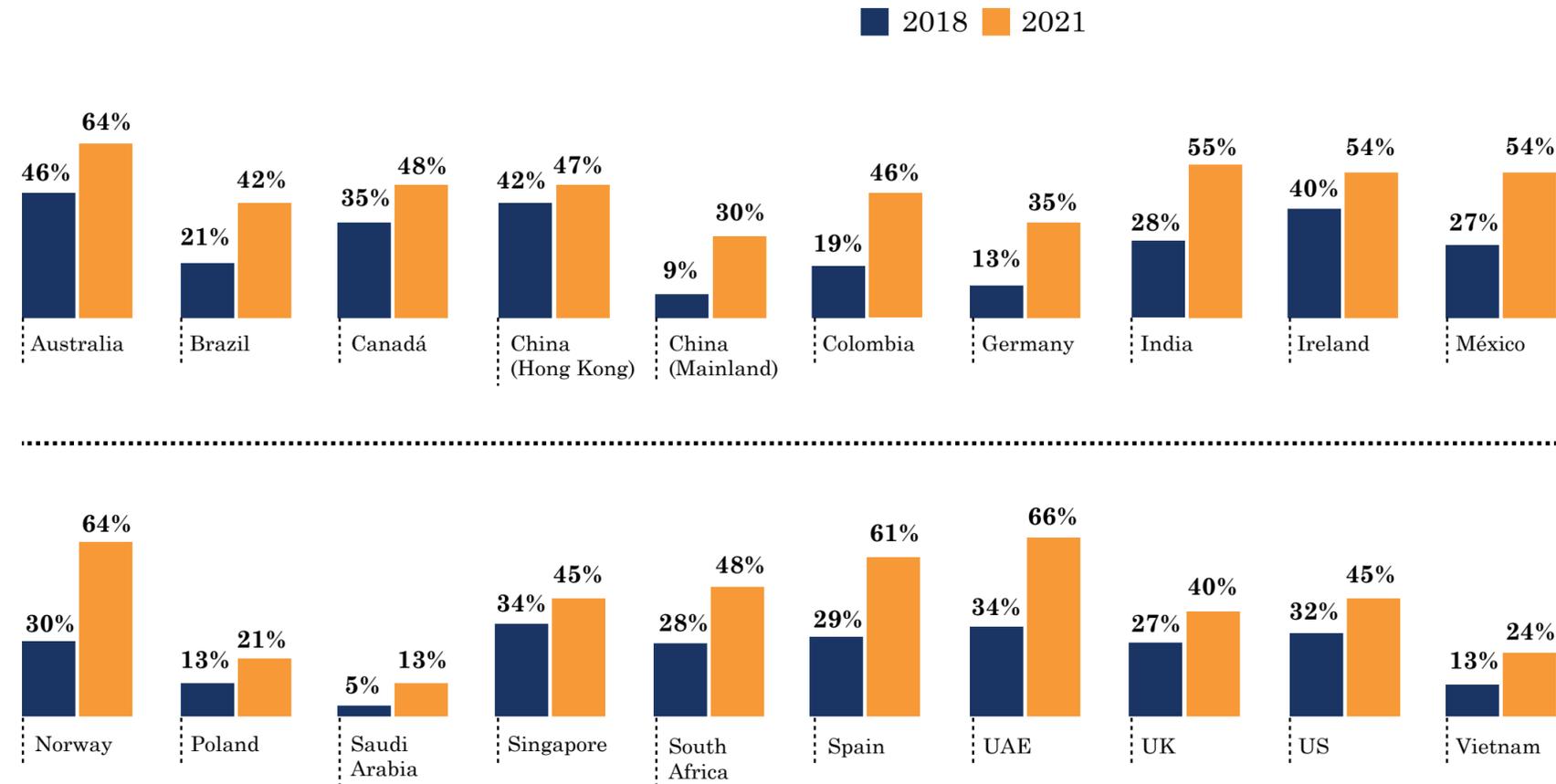
INTRODUCCIÓN

La construcción sostenible en los últimos años ha tomado gran importancia para mejorar los entornos en los que las personas habitan y así mismo disminuir el impacto ambiental. [Ramírez \(2020\)](#) afirmó lo siguiente:

La Construcción Sostenible se puede definir como aquella que, teniendo especial respeto y compromiso con el medio ambiente, implica el uso eficiente de la energía y del agua, los recursos y materiales no perjudiciales para el medioambiente, resulta más saludable y se dirige hacia una reducción de los impactos ambientales (p. 1).

La eficiencia de los recursos en las edificaciones, es el propósito central de las construcciones sostenibles, es por esto que diferentes organismos e instituciones desde hace varios años promueven la construcción de esta forma a través de incentivos tributarios ([Pedraza, 2015](#)), y en algunos casos siendo estándares para la construcción sostenible. Según el informe de Tendencias Globales de Construcción Sostenible, ha incrementado significativamente en los últimos 10 años (World Green Building Council-[WorldGBC, 2018](#)) y la demanda de edificaciones sostenibles presenta una tendencia de crecimiento para los próximos 3 años según el reporte publicado por [Dodge Data & Analytics \(2018\)](#).

**Percentage of Respondents Whose Firms Have Done More Than 60% Green Projects (2018 and Expected for 2021)**



**Figura 1.** Proyección global de construcción sostenible. Fuente: [Dodge Data & Analytics \(2018\)](#).

El informe de Tendencias Globales de Construcción Sostenible ([WorldGBC, 2018](#)) revela que, de los encuestados de la industria, esperan hacer la mayoría (más del 60%) de sus proyectos de forma sostenible: saltando del 27% en 2018 a casi el doble (47%) para 2021 ([Figura 1](#)).

En la actualidad la construcción sostenible es un pilar fundamental y se resalta su importancia al momento de desarrollar proyectos arquitectónicos, en este proyecto la construcción sostenible gira en torno a un sistema de fitorremediación basado en plantas, las cuales tienen la capacidad de absorber y procesar ciertas sustancias nocivas, a través de las hojas, raíces y humedad, reintroduciendo aire puro al ambiente, algunas de las sustancias que absorben son aerosoles y formaldehídos presentes en el humo del tabaco y monóxido de carbono ([Delgadillo-López, González-Ramírez, Prieto-García, Villagómez-Ibarra y Acevedo-Sandoval, 2011](#)).

La Unidad Constructiva Verde-UCV 2.0 es una versión actualizada de un bloque impermeable de concreto con un bolsillo que permite sembrar plantas. Con el se puede generar un jardín vertical a través de un bloque de concreto que tiene sistemas ocultos de irrigación, para la mezcla se usa ceniza de la cascarilla de arroz con el objetivo de disminuir el impacto ambiental. adicionalmente se instala acompañado de sensores de temperatura, humedad y flujo para el monitoreo del sistema. Todo esto hace que la UCV 2.0 sea una alternativa sostenible de construcción ([Figura 2](#)).



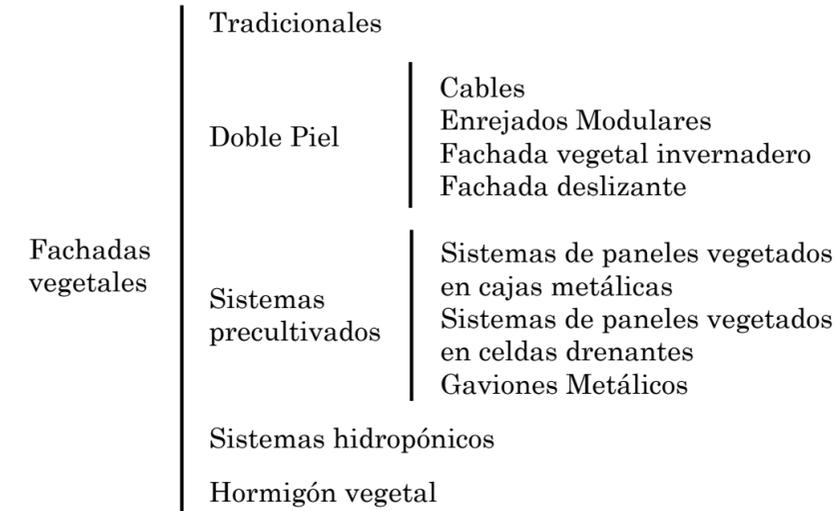
**Figura 2.** Muro - Neca Tiles and Panels SAS.  
Fuente: Elaboración propia.

Con los resultados de esta investigación se espera que el jardín vertical pueda aportar a las ciudades (Darlington/Yamada, citados por Solano, 2019):

- Reducción del efecto de isla de calor en los grandes núcleos urbanos (párr. 8).
- Un metro cuadrado de cobertura vegetal produce el oxígeno que necesita una persona durante un año (párr. 15).
- Un edificio de cuatro plantas (60 metros cuadrados) con una fachada cubierta por un jardín vertical filtra anualmente 40 toneladas de gases nocivos y puede atrapar y procesar 15 kilogramos de metales pesados al año (párr. 17).

### DESARROLLO

Las emisiones de partículas contaminantes han aumentado considerablemente en los últimos años. De Acuerdo a la 68a Asamblea Mundial de la Salud (Organización Mundial de la salud OMS, 2015), se mostró que una exposición a estas partículas contaminantes, contribuye a uno de los principales factores de riesgos de enfermedades respiratorias, dentro de las cuales se encuentran la isquemia, infarto de miocardio, los accidentes cerebrovasculares, asma y el cáncer. Esto genera una amenaza inminente para las actuales generaciones y futuras.



**Figura 3.** Tipología de las fachadas vegetales verticales.  
Fuente: Navarro (2013).

En el caso de Colombia, un análisis realizado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MinAmbiente, 2018), muestra que la contaminación atmosférica y del aire en el país es uno de los problemas ambientales que genera mayor preocupación en materia ambiental, al venir presentando impactos negativos tanto en la salud, como en el ambiente. Además, es el tercer factor generador de costos sociales seguido de la contaminación en las aguas y los desastres naturales, de esta forma conocer las causas y la raíz de los problemas asociados a la contaminación del aire se hace imprescindible para la creación de estrategias de mitigación del problema.

En este proyecto se usa una técnica de construcción que tiene como objetivo central aprovechar la capacidad fotosintética de las plantas, siendo capaces de degradar los contaminantes para aumentar el confort de los espacios.

Otros desarrollos, basados principalmente en el diseño y ornamentación de las construcciones, involucran el uso de plantas artificiales, sin embargo, estas no aportan los beneficios ambientales y de salud en comparación de los sistemas vegetales naturales, en el mercado se pueden encontrar diversas categorías y tipologías de jardines verticales que presentan problemas similares (Figura 3).

Si bien, los proyectos mencionados anteriormente están basados en sistemas verdes, requieren de inversiones adicionales y no otorgan soluciones integrales. Estos sistemas pertenecen a la categoría de fachadas vegetales tradicionales, siendo ineficientes por su mantenimiento activo, requiriendo de materiales externos durante toda su vida útil y sobre todo una demanda excesiva de agua.

La UCV 2.0 en un sistema de jardinería vertical eficiente debido a la integración de sistemas de monitoreo y de reducido mantenimiento permitiendo al producto ser competitivo por una estrategia de precios y de fácil comercialización, el proceso de instalación de 5 m<sup>2</sup> de la UCV no excede cinco días e incluye los sistemas de irrigación y de monitoreo.

Las principales plantas que se utilizaran en la Unidad constructiva verde son las indicadas en la Figura 4.

Las plantas de la [Figura 4](#) se encuentran disponibles en los diferentes muros ubicados en la ciudad de Barranquilla (Colombia) y hasta la fecha se han logrado mantener en buen estado.

*Diseño de mezcla para la UCV 2.0*

El diseño de la mezcla se desarrolló en base a sus componentes principales: cemento, arena, granzón, ceniza de cascarilla de arroz y agua, adicionalmente en otras muestras se agregaron aditivos para la mejora de la resistencia y fibras de vidrio para mayor estructura. Se desarrollaron diferentes grupos de muestras las cuales se exponen a continuación. La norma con la que se evaluará si el bloque cumple con los estándares de construcción es la [NTC 4076 \(1997\)](#), la cual establece que a los 28 días de curado el bloque debe encontrarse en una resistencia entre 5 y 6 MPa.

El desarrollo de los diferentes grupos de muestras tuvo como objetivo validar el desempeño de la ceniza en la mezcla, las primeras muestras consistieron en el reemplazo del cemento por la ceniza y las otras el reemplazo de la arena por la ceniza.

*Muestras 1*

*—Reemplazo de cemento por ceniza*

Como muestra inicial, se hicieron las mezclas con respecto a estudios existentes para validar su teoría y comprobar el desempeño de la ceniza, las muestras se hicieron con los siguientes porcentajes ([Tabla 1](#)).

**Miami negro**  
Planta de uso en interior y exterior.



**Monstera Balazo**  
Planta principalmente de sombra.



**Filoendro Limón**  
Planta de uso en interior y exterior.



**Canción de la India**  
Planta de interior y exterior.



**Lirio de Tasmania**  
Planta principal de uso en exterior.



**Chorritos**  
Planta solo de exterior.



**Figura 4.** Principales plantas.  
Fuente: Elaboración propia.

**TABLA 1.**  
*Diseño de mezclas iniciales.*

Diseño de mezcla patrón %		
Cemento	5 184	kg
Grava	10 278	kg
Arena	15 012	kg
Agua	2 799	Lt
Ceniza	0	
Diseño de mezcla con CCA 3%		
Cemento	5 0285	kg
Grava	10 278	kg
Arena	15 012	kg
Agua	2 799	Lt
Ceniza	0.1555	kg
Diseño de mezcla con CCA 5%		
Cemento	4 925	kg
Grava	10 278	kg
Arena	15 012	kg
Agua	2 799	Lt
Ceniza	0.2592	kg
Diseño de mezcla con CCA 10%		
Cemento	4 6656	kg
Grava	10 278	kg
Arena	15 012	kg
Agua	2 799	Lt
Ceniza	0.1555	kg

Fuente: [Páez \(2019\)](#).

En este grupo de muestras, los bloques no logran suficiente resistencia y se agrietan fácilmente, por lo cual se procedió a desarrollar el siguiente grupo de muestras.

*Muestras 2*

—*Reemplazo de cemento por ceniza*

Este grupo de muestra se desarrolló en base a la formulación estándar que se ha venido trabajando en la empresa, utilizando porcentajes similares de acuerdo a la literatura para evaluar nuevamente la efectividad de la ceniza.

**TABLA 2.**  
*Formulación estándar.*

	Insumos	kg	%
6 de arena por 1 cemento	Arena (25 kg lata)	150	78%
	Cemento	42.5	22%
	Total kg	192.5	100%

Fuente: Elaboración propia.

A partir del estándar que se manejaba en la empresa (Tabla 2) se desarrollaron las primeras muestras de laboratorio, para validar el comportamiento estructural y si las muestras que se han estado desarrollando en la empresa cumplían con las normas mínimas de construcción. El reemplazo del cemento se hizo en un 7%, 10% y 15% (Tabla 3).

Por cada muestra desarrollada se lograron hacer cuatro bloques por cada una (Figura 5),

**TABLA 3.**  
*Diseño de mezclas iniciales.*

	Sin ceniza		
	Insumos	kg	%
Prueba #0	Cemento	4 400	22%
	Ceniza	0.000	0%
	Grava o marmolina	4 600	23%
	Arena	11 000	55%
	Agua	0.000	0%
	Total	20.00	100%
	Ceniza al 7% - Cemento		
	Insumos	kg	%
Prueba #1	Cemento	4 092	20.46%
	Ceniza	0.308	1.54%
	Grava o marmolina	4 600	23.00%
	Arena	11 000	55.00%
	Agua	0.000	0.00%
	Total	20.00	100.00%
	Ceniza al 10% - Cemento		
	Insumos	kg	%
Prueba #2	Cemento	3 960	19.8%
	Ceniza	0.440	2.2%
	Grava o marmolina	4 600	23.0%
	Arena	11 000	55.0%
	Agua	0.000	0.0%
	Total	20.00	100.0%
	Ceniza al 15% - Cemento		
	Insumos	kg	%
Prueba #3	Cemento	3 740	18.7%
	Ceniza	0.660	3.3%
	Grava o marmolina	4 600	23.0%
	Arena	11 000	55.0%
	Agua	0.000	0.0%
	Total	20.00	100.0%

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 5.** Primer grupo de muestras.

Fuente: Elaboración propia.

dando en total 16 bloques, se esperaron 14 días y se enviaron al laboratorio Tecnicreto en la ciudad de Barranquilla (Colombia). Los resultados fueron los indicados en la siguiente **Tabla 4**.

En los resultados (**Tabla 4**, columna *Resistencia Lote*) el reemplazo del cemento por la ceniza disminuye la resistencia al bloque, esto quiere decir que la ceniza no tiene las características cementantes y/o aglutinantes que ofrece

el cemento, sin embargo entre la muestra de reemplazo del 7% y el 10% (**Tabla 4**, columna *Descripción*, bloque #1 y bloque #2), se puede observar mayor resistencia en el 10% es decir 3.9 MPa en comparación del 7% de 3.3 Mpa, se esperaría que en menos reemplazo del cemento mayor resistencia, pero los resultados demuestran que con un porcentaje del reemplazo del 10% se obtienen mejores resultados, pero aun así no cumplen con la norma.

**TABLA 4.**  
*Primer grupo de resultados.*

Descripción	Edad (días)	Resistencia Diseño (MPa)	No. especimen	Carga (KN)	Esfuerzo (MPa)	Rango MPa (max-min)	Resistencia Lote (MPa)
Bloque #0-1	14	6	1	148.2	6.3	0.88	5.9
Bloque #0-2			2	123.2	5.4		
			3				
			4				
Bloque #1-1	14	6	1	73.9	3.3	0.03	3.3
Bloque #1-2			2	71.6	3.2		
			3				
			4				
Bloque #2-1	14	6	1	90.2	4.0	0.22	3.9
Bloque #2-2			2	86.6	3.8		
			3				
			4				
Bloque #3-1	14	6	1	70.6	3.0	0.28	2.9
Bloque #3-2			2	61.6	2.7		
			3				
			4				

Fuente: Laboratorio Tecnicreto.

**Muestras 3**  
*—Reemplazo de arena por ceniza*

En el estudio anterior se pudo comprobar que la ceniza disminuye la resistencia, por lo que se procede a implementarla de forma diferente, esta vez su reemplazo se hizo en función de la arena.

Además, se implementaron dos aditivos; Plasto-crete para la resistencia, Accelguard 80 para acelerar el secado y fibra de vidrio para mejorar la compactación del bloque. Se elaboraron 4 grupos de muestras A, B, C y D, los resultados del laboratorio fueron enviados al laboratorio luego de 28 días, en total se aplicó el ensayo a 49 bloques (**Figura 6**).

FECHA DE ENSAYO		DESCRIPCIÓN	EDAD (días)	RESISTENCIA DISEÑO (MPa)	No. ESPECIMEN	ÁREA TOTAL Long x Ancho (cm <sup>2</sup> )	ÁREA DE PERFORACIONES Long x Ancho (cm <sup>2</sup> )	ÁREA NETA (cm <sup>2</sup> )	CARGA (KN)	ESFUERZO (MPa)	RANGO (MPa)	RESISTENCIA LOTE (MPa)	%	MASA (g)				ABSORCIÓN DE AGUA (%)	ABSORCIÓN DE AGUA (g)	DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> )	UNIDAD (kg/m <sup>3</sup> )	OBSERVACIONES				
(AAAA-MM-DD)	Muestra													SECA	SECA + AGUA	ABSORCIÓN DE AGUA (%)	ABSORCIÓN DE AGUA (g)									
2021-09-23	BLOQUE A-1	BLOQUE A-1	6	5	1	55340,0	31770,0	23550,0	28,2	1,2	4,32	3,3	55,1%	956	1622	1462	14%	12,3%	1,85	1,91	Bloque fisurado					
		2			53910,0	32620,0	21290,0	38,1	1,8	854				1578	1442	5,4%	1,99		Bloque fisurado							
		3			54670,5	31660,5	23000,0	127,0	5,5	1020				1950	1735	12,4%	1,87									
		4			54199,0	31268,0	22931,0	107,9	4,7	881				1625	1428	13,8%	1,92									
2021-09-23	BLOQUE A-2	BLOQUE A-2	6	6	1	57450,0	32871,0	24629,0	44,6	1,8	1,77	2,7	44,6%	680	1228	1180	6,7%	8,6%	2,06	2,02						
		2			55837,0	31795,0	24062,0	88,2	3,6	662				1202	1108	6,5%	2,05									
		3			55617,0	31423,0	24192,0	61,2	2,6	770				1430	1314	8,8%	1,99									
		4			55237,5	31040,0	24197,5	67,2	2,8	781				1460	1347	8,4%	1,98									
2021-09-23	BLOQUE A-3	BLOQUE A-3	6	6	1	55840,0	31309,0	24551,0	77,0	3,1	2,13	3,3	54,8%	880	1626	1488	9,3%	8,1%	1,99	2,01						
		2			56085,0	31275,0	24810,0	94,7	3,9	778				1420	1322	7,4%	2,04									
		3			56670,0	31290,0	25380,0	104,8	4,1	985				1789	1658	8,5%	2,05									
		4			55717,5	31650,0	24065,5	48,1	2,0	874				1694	1578	7,4%	1,92		Bloque fisurado							
2021-09-23	BLOQUE A-4	BLOQUE A-4	6	6	1	55455,0	31715,0	23740,0	79,1	3,3	1,27	2,6	44,0%	676	1260	1132	11,3%	10,9%	1,94	1,91	Bloque fisurado					
		2			55170,0	32250,0	22920,0	47,3	2,1	802				1512	1366	10,7%	1,92									
		3			56085,0	31988,0	24112,0	61,7	2,6	876				1701	1526	11,1%	1,88									
		4			55275,0	31458,0	23817,0	62,3	2,6	687				1308	1187	10,2%	1,91									
2021-09-23	BLOQUE B-1	BLOQUE B-1	6	6	1	55450,0	31344,0	24304,0	127,4	5,2	1,31	4,4	73,0%	704	1312	1170	12,1%	11,1%	1,92	1,90						
		2			55890,0	31912,0	23978,0	95,1	4,0	832				1538	1394	10,3%	1,97									
		3			55845,0	31835,0	24010,0	94,3	3,9	881				1754	1582	10,9%	1,81									
		4			55799,0	31275,0	24524,0	126,3	5,2	834				1560	1408	10,8%	1,94									
2021-09-23	BLOQUE B-2	BLOQUE B-2	6	6	1	55450,0	31344,0	24304,0	127,4	5,2	1,65	4,4	73,9%	704	1312	1170	12,1%	10,9%	1,92	1,94						
		2			55890,0	31912,0	23978,0	95,1	4,0	832				1538	1394	10,3%	1,97									
		3			55845,0	31835,0	24010,0	94,3	3,9	881				1754	1582	10,9%	1,81									
		4			55799,0	31275,0	24524,0	126,3	5,2	834				1560	1408	10,8%	1,94									
2021-09-23	BLOQUE B-3	BLOQUE B-3	6	6	1	54912,0	31491,0	23421,0	114,5	4,9	2,26	4,6	77,2%	730	1384	1222	13,4%	13,4%	1,84	1,86						
		2			55002,0	31574,0	23429,0	132,0	5,6	770				1476	1298	13,7%	1,84									
		3			55176,0	31291,0	23683,0	80,5	3,4	875				1645	1455	13,1%	1,89									
		4			55017,5	31315,0	23702,5	136,6	5,8	778				1480	1320	12,1%	1,88									
2021-09-23	BLOQUE B-4	BLOQUE B-4	6	6	1	55042,3	31789,0	23254,3	122,1	5,3	0,99	5,8	96,8%	528	1010	890	12,5%	12,7%	1,85	1,83						
		2			55130,8	31483,0	23449,8	147,5	6,2	784				1574	1399	12,3%	1,77									
		3																								
		4																								

**Figura 6a.** Ensayo de resistencia a la compresión y absorción de prefabricados de concreto no reforzados.  
Fuente: Laboratorio Tecnicreto.

Grupo A

El granzón tiene un mayor porcentaje que la arena, con el objetivo de evaluar la resistencia, se disminuyó el porcentaje de cemento

al 13.47% con respecto a la muestra 2, para analizar el comportamiento del bloque (Tabla 5).

Tabla 5. Formulación grupo A.

Insumos	Sin ceniza		Uso	Reemplazo de arena por ceniza al 15%		Uso	
	kg	%		Insumo	kg		%
Cemento	5388	13.47%		Cemento	5388	13.47%	
Agua	2156	5.39%		Agua	2156	5.39%	
Arena (agregado fino)	3152	7.88%		Arena (agregado fino)	2679	6.70%	
Granson (agregado grueso)	29148	72.87%		Granson (agregado grueso)	29148	72.87%	
CCa	0.000	0.00%		CCa	0.473	1.18%	15% de reemplazo fino
Aditivo resistencia ()	0.052	0.13%	1% cemento	Aditivo resistencia ()	0.052	0.13%	1% cemento
Fibra fina	0.024	0.06%	0.5% cemento	Fibra fina	0.024	0.06%	0.5% cemento
Aditivo acelerante	0.080	0.20%	1.5% cemento	Aditivo acelerante	0.080	0.20%	1.5% cemento
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100.00%</b>		<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100.00%</b>	

Insumo	Reemplazo de arena por ceniza al 20%		Uso	Reemplazo de arena por ceniza al 10%		Uso	
	kg	%		Insumo	kg		%
Cemento	5388	13.47%		Cemento	5388	13.47%	
Agua	2156	5.39%		Agua	2156	5.39%	
Arena (agregado fino)	2522	6.31%		Arena (agregado fino)	2837	7.09%	
Granson (agregado grueso)	29148	72.87%		Granson (agregado grueso)	29148	72.87%	
CCa	0.628	1.57%	20% de reemplazo fino	CCa	0.315	0.79%	10% de reemplazo fino
Aditivo resistencia ()	0.052	0.13%	1% cemento	Aditivo resistencia ()	0.052	0.13%	1% cemento
Fibra fina	0.024	0.06%	0.5% cemento	Fibra fina	0.024	0.06%	0.5% cemento
Aditivo acelerante	0.080	0.20%	1.5% cemento	Aditivo acelerante	0.080	0.20%	1.5% cemento
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100.00%</b>		<b>Total</b>	<b>20.00</b>	<b>100.0%</b>	

Fuente: Elaboración propia.

FECHA DE ENSAYO		No.	DESCRIPCIÓN	EDAD (Días)	RESISTENCIA (MPa)	No. ESPICIMEN	ÁREA TOTAL (cm²)	ÁREA DE PERFORACIONES (cm²)	ÁREA MEDIA (cm²)	CARGA (kN)	ESFUERZO (MPa)	RANGO (MPa)	RESISTENCIA (MPa)	%	MASA (g)			ABSORCIÓN DE AGUA (%)		DENSIDAD (kg/m³)	DENSIDAD (kg/m³)	OBSERVACIONES
AAAA-MM-DD	MM/DD														HUMEDA	SATURADA	SECA	AGUA	PROPORCIÓN			
2021-09-23	BLOQUE C-1	BLOQUE C-1	BLOQUE C-1	6	6	1	54722,5	31924,0	22798,5	130,5	5,7	1,63	4,8	79,8%	738	1420	1254	13,2%	1,84	1,82		
						2	55380,3	31250,0	24139,3	109,9	4,6	716	1390	1244	11,7%	1,85						
						3	56280,0	31878,0	24404,0	99,8	4,1	801	1587	1403	13,1%	1,78						
2021-09-23	BLOQUE C-2	BLOQUE C-2	BLOQUE C-2	6	6	1	55993,5	32340,0	23633,5	48,1	1,9	2,63	3,4	57,3%	760	1478	1292	14,2%	1,80	1,74	Bloque fisurado	
						2	55405,0	31440,0	24165,0	93,5	3,9	912	1845	1614	14,3%	1,73						
						3	55604,5	31852,0	23752,5	107,7	4,5	735	1528	1343	13,8%	1,69						
2021-09-23	BLOQUE C-3	BLOQUE C-3	BLOQUE C-3	6	6	1	55305,0	31370,0	23935,0	129,6	5,4	1,45	5,3	87,8%	750	1424	1210	13,0%	1,87	1,78		
						2	55740,0	31534,0	23204,0	108,2	4,5	719	1368	1185	15,4%	1,80						
						3	55590,0	31592,0	23998,0	142,1	5,9	689	1452	1277	13,7%	1,67						
2021-09-23	BLOQUE D-1	BLOQUE D-1	BLOQUE D-1	6	6	1	55545,0	31426,0	24119,0	213,1	8,8	4,17	6,7	111,6%	846	1576	1438	9,6%	1,97	1,93		
						2	55305,0	31515,0	23790,0	156,7	6,6	550	1026	926	10,8%	1,95						
						3	55110,0	31735,0	23375,0	109,8	4,7	874	1704	1552	9,8%	1,87						
2021-09-23	BLOQUE D-2	BLOQUE D-2	BLOQUE D-2	6	6	1	55500,0	31315,0	24185,0	131,0	5,4	0,28	5,2	87,4%	724	1378	1228	12,2%	1,88	1,79		
						2	55305,0	31350,0	23955,0	128,0	5,1	748	1432	1264	13,1%	1,85						
						3	55110,0	31792,0	23318,0	120,8	5,2	587	1280	1135	12,8%	1,64						
2021-09-23	BLOQUE D-3	BLOQUE D-3	BLOQUE D-3	6	6	1	55305,0	31315,0	23990,0	66,4	2,8	0,66	2,9	48,0%	480	948	808	17,3%	1,73	1,72		
						2	55110,0	31680,0	23430,0	61,0	2,6	612	1287	1114	15,5%	1,65						
						3	5545,0	31460,0	24140,0	78,9	3,3	782	1526	1332	14,6%	1,79						
2021-09-23	BLOQUE D-4	BLOQUE D-4	BLOQUE D-4	6	6	1	55110,0	31150,0	23940,0	40,8	1,7	0,60	1,4	23,0%	566	1248	1068	16,9%	1,87	1,65		
						2	55310,0	31370,0	23980,0	26,4	1,1	852	1723	1502	14,7%	1,72						
						3	55305,0	31460,0	23845,0	31,8	1,3	705	1463	1264	15,6%	1,67						

Figura 6b. Ensayo de resistencia a la compresión y absorción de prefabricados de concreto no reforzados. Fuente: Laboratorio Tecnireto.

Para facilidad de lectura de los resultados se redujo la tabla a los valores más importantes; el nombre de cada muestra y la columna de resis-

tencia, estos valores se van explicando en los diferentes grupos de muestra lo cual se expone a continuación.

Los acabados de los bloques fueron los ilustrados en la [Figura 7](#).

Debido a la presencia de mayor granzón que arena en la mezcla, el acabado de los bloques resultó rugoso, sin embargo, los bloques a los 4 días, se presentaron totalmente secos y al momento de su manipulación se mantuvieron rígidos, sin ningún problema de agrietamiento ([Figura 7](#)).

En el análisis del laboratorio los resultados fueron los registrados en la siguiente [Tabla 6](#).

Las muestras de este grupo no obtiene la resistencia mínima requerida por la norma [NTC 4076 \(1997\)](#), sin embargo se puede observar que el valor de la muestra A1 y A3 a pesar del reemplazo de la arena por la ceniza en un 15% no altera la resistencia.



**Figura 7.** Acabado del primer grupo de muestras (A).  
Fuente: Elaboración propia.

**TABLA 6.**  
*Análisis de resistencias muestra A.*

No. Muestra	Descripción	Resistencia Lote (MPa)
Bloque A-1	Bloque A-1	3.3
	Bloque A-1	
	Bloque A-1	
Bloque A-2	Bloque A-2	2.7
	Bloque A-2	
	Bloque A-2	
	Bloque A-2	
Bloque A-3	Bloque A-3	3.3
	Bloque A-3	
	Bloque A-3	
	Bloque A-3	
Bloque A-4	Bloque A-4	2.6
	Bloque A-4	
	Bloque A-4	
	Bloque A-4	

Fuente: Laboratorio Tecnicreto.

### Grupo B

El granzón y la arena tienen un porcentaje similar, con el objetivo de evaluar la resistencia, se aumentó el porcentaje de cemento al 20.73% con respecto al grupo A para analizar el comportamiento del bloque ([Tabla 7](#)).

**TABLA 7.**  
*Muestras grupo B.*

	Sin ceniza			Uso	Reemplazo de arena por ceniza al 15%			
	Insumos	kg	%		Insumo	kg	%	Uso
A1	Cemento	8292	20.73%	1% cemento	Cemento	8292	20.73%	1% cemento
	Agua	3.54	8.85%		Agua	3.54	8.85%	
	Arena (agregado fino)	12196	30.49%		Arena (agregado fino)	10368	25.92%	
	Granson (agregado grueso)	15736	39.34%		Granson (agregado grueso)	15736	39.34%	
	CCa	0	0.00%		CCa	1.828	4.57%	
	Aditivo resistencia ()	0.08	0.20%		Aditivo resistencia ()	0.08	0.20%	
	Fibra fina				Fibra fina	0.04	0.10%	
	Aditivo acelerante	0.116	0.29%		Aditivo acelerante	0.116	0.29%	
Total	40	99.90%	Total	40	100.00%			
A2	Reemplazo de arena por ceniza al 20%			1% cemento	Reemplazo de arena por ceniza al 10%			
	Insumo	kg	%		Insumo	kg	%	Uso
	Cemento	8292	20.73%		Cemento	8292	20.73%	1% cemento
	Agua	3.54	8.85%		Agua	3.54	8.85%	
	Arena (agregado fino)	9.76	24.40%		Arena (agregado fino)	10.96	27.40%	
	Granson (agregado grueso)	15736	39.34%		Granson (agregado grueso)	15736	39.34%	
	CCa	2436	6.09%		CCa	1.236	3.09%	
	Aditivo resistencia ()	0.008	0.20%		Aditivo resistencia ()	0.08	0.20%	
Fibra fina	0.004	0.10%	Fibra fina	0.04	0.10%			
Aditivo acelerante	0.116	0.29%	Aditivo acelerante	0.116	0.29%			
Total	40	100.00%	Total	40.00	100.0%			

Fuente: Elaboración propia.

La muestra B4 (Figura 8) tuvo una resistencia de 5.8 Mpa la cual se encuentra en el rango exigido por la norma y fue la más alta, en comparación a la muestra patrón y los otros porcentajes, esto quiere decir que reemplazar la arena por la ceniza en un 20% es en una alternativa viable (Tabla 8).



**Figura 8.** Acabado del segundo grupo de muestras (B).  
Fuente: Elaboración propia.

**TABLA 8.**  
Muestras grupo B.

No. Muestra	Descripción	Resistencia Lote (MPa)
Bloque B-1	Bloque B-1	4.4
	Bloque B-1	
	Bloque B-1	
Bloque B-2	Bloque B-2	4.4
	Bloque B-2	
	Bloque B-2	
Bloque B-3	Bloque B-3	4.6
	Bloque B-3	
	Bloque B-3	
Bloque B-4	Bloque B-4	5.8
	Bloque B-4	
	Bloque B-4	
	Bloque B-4	

Fuente: Laboratorio Tecnireto.

*Grupo C*

En este grupo de muestras (Figura 9), la arena se encuentra en una mayor proporción con respecto al granzón para darle un mejor acabado al bloque, se aumentó el porcentaje de cemento al 23.53% y se eliminó la fibra para mejorar el acabado con respecto al grupo A (Tabla 9).

**TABLA 9.**  
Muestras grupo C.

	Insumos	Sin ceniza		Uso	
		kg	%		
A1	Cemento	9412	23.53%		
	Agua	4424	11.06%		
	Arena (agregado fino)	18824	47.06%		
	Granson (agregado grueso)	7004	17.51%		
	CCa	0.000	0.00%		
	Aditivo resistencia ()	0.240	0.60%		2.5% cemento
	Aditivo acelerante	0.096	0.24%		1% cemento
	<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100.00%</b>		
Reemplazo de arena por ceniza al 10%					
	Insumo	kg	%	Uso	
A2	Cemento	9412	23.53%		
	Agua	4424	11.06%		
	Arena (agregado fino)	16942	42.35%		
	Granson (agregado grueso)	7004	17.51%		
	CCa	1882	4.71%		
	Aditivo resistencia ()	0.240	0.60%		2.5% cemento
	Aditivo acelerante	0.096	0.24%		1% cemento
	<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100.00%</b>		
Reemplazo de arena por ceniza al 10%					
	Insumo	kg	%	Uso	
A3	Cemento	9412	23.53%		
	Agua	4424	11.06%		
	Arena (agregado fino)	17883	44.71%		
	Granson (agregado grueso)	7004	17.51%		
	CCa	0.941	2.35%		
	Aditivo resistencia ()	0.240	0.60%		2.5% cemento
	Aditivo acelerante	0.096	0.24%		1% cemento
	<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100.00%</b>		

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 9.** Acabado tercer grupo de muestras (C).

Fuente: Laboratorio Tecnireto.

TABLA 10.  
Muestras grupo C.

No. Muestra	Descripción	Resistencia Lote (MPa)
Bloque C-1	Bloque C-1	4.8
	Bloque C-1	
	Bloque C-1	
Bloque C-2	Bloque C-2	3.4
	Bloque C-2	
	Bloque C-2	
Bloque C-3	Bloque C-3	5.3
	Bloque C-3	
	Bloque C-3	

Fuente: Elaboración propia.

La muestra C-3 obtuvo una resistencia de 5.3 Mpa la cual se encuentra en el rango exigido por la norma y fue la más alta, en comparación a la muestra patrón y los otros porcentajes, esto quiere decir que el reemplazo de la arena por ceniza es una alternativa viable para los bloques en un reemplazo de la arena por ceniza en un 5%.

#### Grupo D

Finalmente en este último grupo de muestras, se aumentó la cantidad de cemento, y únicamente en la muestra D4 se hizo una combinación reemplazando el 5% del cemento y el 10% de arena por ceniza, con el objetivo de finalmente evaluar la resistencia y la incidencia de la ceniza en el desempeño del bloque (Tabla 11).

TABLA 11.  
Cuarto grupo de muestras.

	Sin ceniza			5% ceniza			
	Insumos	kg	%	Insumo	kg	%	
A1	Cemento	8 536	21.34%	A3	Cemento	8 109	20.27%
	Ceniza	0.000	0.00%		Ceniza	0.427	1.07%
	Grava o marmolina	11 200	28.00%		Grava o marmolina	11 200	28.00%
	Arena	18 000	45.00%		Arena	18 000	45.00%
	Agua	2 000	5.00%		Agua	2 000	5.00%
	Aditivo resistencia ()	0.176	0.44%		Aditivo resistencia ()	0.176	0.44%
	Aditivo acelerante	0.088	0.22%		Aditivo acelerante	0.088	0.22%
	<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100.00%</b>		<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100.00%</b>
	3% ceniza			Reemplazo del cemento 5% por ceniza - Reemplazo de la arena 10% por ceniza			
	Insumo	kg	%	Insumo	kg	%	
A2	Cemento	8 280	20.70%	A4	Cemento	8 109	20.27%
	Ceniza	0.256	0.64%		Ceniza	2 227	5.57%
	Grava o marmolina	11 200	28.00%		Grava o marmolina	11 200	28.00%
	Arena	18 000	45.00%		Arena	16 200	40.50%
	Agua	2 000	5.00%		Agua	2 000	5.00%
	Aditivo resistencia ()	0.176	0.44%		Aditivo resistencia ()	0.176	0.44%
	Aditivo acelerante	0.088	0.22%		Aditivo acelerante	0.088	0.22%
	<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100.00%</b>		<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100.00%</b>

Fuente: Elaboración propia.

La mayor resistencia que se obtuvo es el bloque D1 porque tienen un porcentaje mayor de cemento que las demás, las muestras del bloque D2 aún se mantienen dentro del rango en 5.2 Mpa en un porcentaje de reemplazo de la arena por ceniza en un 3%. Sin embargo nuevamente vemos que el reemplazo del cemento por ceniza disminuye en gran medida la resistencia (Tabla 12).

TABLA 12.  
Cuarto grupo de muestras.

No. Muestra	Descripción	Resistencia Lote (MPa)
Bloque D-1	Bloque D-1	6.7
	Bloque D-1	
	Bloque D-1	
Bloque D-2	Bloque D-2	5.2
	Bloque D-2	
	Bloque D-2	
Bloque D-3	Bloque D-3	2.9
	Bloque D-3	
	Bloque D-3	
Bloque D-4	Bloque D-4	1.4
	Bloque D-4	
	Bloque D-4	
	Bloque D-4	

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión de las muestras A, B, C y D observamos que el uso de la ceniza en la mezcla para fabricar la UCV2 es viable. Cuando reemplazamos la arena por la ceniza en un porcentaje de:

- 10% en la muestra B4 obteniendo una resistencia de 5.8 Mpa a diferencia de la muestra patrón B1 de 4.4 Mpa.
- 5% de reemplazo en la muestra C3 obteniendo una resistencia de 5.3 Mpa a diferencia de la muestra patrón C1 de 4.8 Mpa.
- 3% en la muestra D2 obteniendo una resistencia de 5.2 Mpa a diferencia de la muestra patrón D1 de 6.7 Mpa.

A pesar de que los diferentes resultados en los grupos de muestras B, C y D son positivos y se mantienen dentro de la norma [NTC \(1997\)](#), la cual establece que a los 28 días de curado el bloque debe encontrarse en una resistencia entre 5 MPa y 6 MPa) en base a los objetivos del proyecto se promueve el desarrollo del bloque como alternativa ecológica y de construcción sostenible, por lo que se recomienda trabajar con la fórmula que implemente el mayor porcentaje de ceniza, es decir con la muestra B4 con un 10% de reemplazo de la arena por ceniza obteniendo una resistencia de 5.8 Mpa a diferencia de la muestra patrón B1 de 4.4 Mpa, en otras palabras la ceniza no solo funciona como alternativa ecológica sino que mejora el desempeño de las propiedades físicas del bloque, por otro lado esta formulación es la que

mejor optimiza el uso del cemento con un porcentaje de aplicación de 20.73% con respecto a las muestras C (23.53%) y D (21.34%) pero sin ser tan baja como es el caso de la muestra A de 13.47% ya que estas no lograron la resistencia requerida por la norma, por lo que finalmente la formulación de las muestras B4 es la más óptima con referencia al reemplazo de la ceniza y menos costosa por el porcentaje de cemento bajo que necesita, además, reemplazar la arena por la ceniza resulta una alternativa aún menos costosa puesto que la ceniza tiene un precio menor que la arena.

En la técnica de construcción que se propone, también integra un sistema de monitoreo en la nube a través de sensores y un aplicativo web:

#### *Desarrollo del dispositivo de monitoreo y aplicativo web*

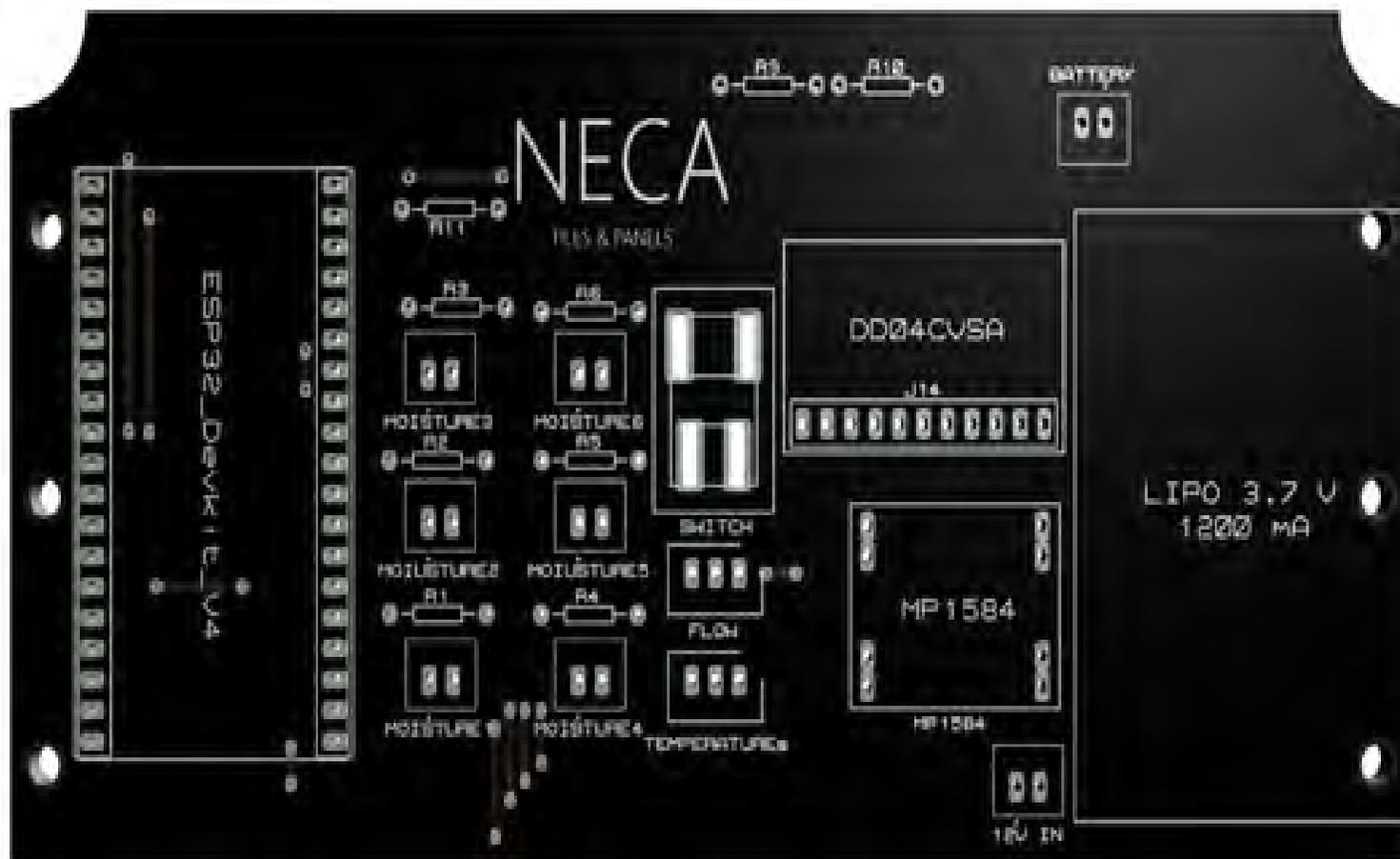
En esta sección se abordará inicialmente la metodología empleada para el diseño y construcción del sistema de monitoreo compuesto por hardware y un aplicativo montado en un servidor remoto que permite acceder a los datos desde cualquier lugar.

El desarrollo del componente electrónico y web del sistema siguió una metodología ágil basada en Scrum. De tal manera que fue un proceso iterativo, que se refinó en cada ciclo y en donde profesionales de diferentes áreas intervinieron, la metodología se adaptó de la siguiente manera:

Se partió de una lista de requerimientos priorizados según el valor que agregan al proyecto, estos requerimientos ordenados fueron:

Seguimiento al riego, bajo costo, operación ininterrumpida, mínimo mantenimiento y bajo consumo. Luego se definieron reuniones de planificación y ajustes con el fin de revisar el avance del equipo de trabajo, problemas y soluciones para permitir cumplir con los objetivos definidos por los requerimientos.

El dispositivo de monitoreo funciona como un concentrador de sensores de flujo de agua, humedad y temperatura, estos parámetros permiten saber si el sistema de riego está funcionando a partir de la medición de flujo y determinar si es necesario hacer algún ajuste por la época o etapa de crecimiento de las plantas, según las mediciones de humedad y temperaturas que a su vez están etiquetadas con una fecha y hora. Está basado en Arduino, para este dispositivo se diseñó la siguiente tarjeta PCB (Figura 10).



**Figura 10.** Tarjeta PCB.

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto al aplicativo web, se construyó una plataforma con una interface responsive que permite gestionar instalaciones, propietarios, técnicos, sensores, históricos por sensor y permisos. Para la captura de los datos de monitoreo, el administrador debe crear primero una instalación, la cual está enlazada con un cliente, luego en el lugar físico de la instalación, el técnico enciende el dispositivo de monitoreo, el cual después de conectarse a

un punto de acceso de internet, envía una señal al servidor que lo identifica y permite vincularlo a la instalación creada por el administrador. Una vez vinculado los sensores se añaden automáticamente en la medida que tomen mediciones.

#### *Comprobaciones*

Luego de la construcción del dispositivo, se procedió a implementarlo en la UCV de la empresa.

En la parte izquierda se observa la instalación del dispositivo y la parte derecha la ubicación de los sensores; Humedad, temperatura y flujo (**Figura 11**).

Luego de la instalación del dispositivo se hizo el enlace con un servidor en la nube (**Figura 12**), los resultados se observan a continuación:

De acuerdo a lo anterior, se desarrolló un aplicativo web que se conecta con la UCV enlazando los datos del dispositivo para visualizarlos en la nube. Para la empresa al momento de ingresar digita el usuario y la contraseña:

<http://54.151.71.25:8081/admin/login/?next=/admin/>



**Figura 11.** Instalación del dispositivo.

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 12.** Interfax web.

Fuente: Elaboración propia.

Se relacionan los datos de temperatura del suelo, humedad suelo, volumen de agua y Tensión de la batería de la electrónica, tomados por el sistema de monitoreo desde el 12 hasta el 31 de julio de 2021. La temperatura es tomada por medio de 3 sensores DS18B20. La humedad se deduce a partir de la medición de la resistencia

eléctrica entre 2 electrodos y con valor limitado entre 0 y 4095, entre mayor humedad, la resistencia cae hasta 0; el volumen se calcula a partir del sensor de flujo YFS-201 y el voltaje de la batería de respaldo se midió usando un divisor de tensión.

## METODOLOGÍA

La metodología se desarrollo a través de la observación, experimentos cuantitativos, investigación o consulta de la literatura, análisis y conclusiones.

### *Fase 1*

Desarrollo de un sistema eficiente y sostenible de purificación del aire implementando la utilización de especies de plantas locales, para que mejoren las condiciones ambientales de los espacios eliminando los efluentes contaminados por medio de un proceso bioquímico de fitorremediación a bajo costo que logre su incursión en el mercado nacional.

Se desarrolló una investigación de los agentes contaminantes presentes en la atmósfera, en los diferentes contextos locales, comerciales e industriales, luego se investigaron los fundamentos de la botánica, clasificación de especies vegetales fotosintéticas, y los requerimientos de vida a partir de las diferentes condiciones climáticas en la ciudad de Barranquilla (Colombia). Finalmente se elaboró un doc. de las especies vegetales que mejor se adaptaron en el bloque y las diferentes condiciones climáticas de Barranquilla.

- *Doc. 2.* de investigación de agentes contaminantes.
- *Doc. 3.* de investigación de tipologías de especies y sistemas de irrigación.
- *Doc. 4.* Metodologías de medición del aire.

- *Doc. 5.* Brief de diseño.

### *Fase 2*

Desarrollar un mortero ecológico implementando las cantidades adecuadas de la cascarilla de arroz como material ecológico y sostenible de construcción que permita minimizar el impacto ambiental que genera este residuo orgánico no procesado y reducir el uso de cemento en la mezcla de la fabricación de la unidad constructiva verde aligerando el sistema y cumpliendo con la normatividad técnica.

- *Doc.* Proceso de elaboración del bloque UCV 2.0.
- *Doc.* Diseño de mezclas UCV 2.0.

### *Fase 3*

Implementación de un sistema de monitoreo remoto de fácil acceso a través de apps, donde se pueda controlar y tener información en tiempo real de todos los aspectos necesarios para el cuidado y mantenimiento óptimo de las plantas, así como también de las condiciones del aire circundante del sistema.

- *Anexo 7.* Requerimientos del sistema de Riego y Monitoreo, estandarización de la App.
- *Anexo 8.* Protocolos de usabilidad de la App.
- *Anexo 9.* Sistemas de irrigación para implementar en la Unidad Constructiva Verde UCV.

## RESULTADOS-DISCUSIÓN

El desarrollo de la unidad constructiva verde consta principalmente del bloque con cavidad, el cual permite la ubicación de las plantas, al momento de instalación de los bloques, se genera una modulación creando un sistema de jardinería vertical dando paso a la técnica de construcción que Neca tiles and Panels propone de forma ecológica y sostenible.

El desarrollo del bloque utiliza cascarilla de arroz aumentando el desempeño del bloque mejorando la resistencia y disminuyendo los costos del producto.

En el grupo de muestras A, la resistencia del bloque en ningún caso de reemplazo alcanzó la resistencia mínima requerida por la norma entre 5 Mpa y 6 Mpa.

La mayor resistencia alcanzada utilizando la ceniza fue de 5.8 Mp, en la muestra B4 consistió en un 20% en reemplazo de la arena presentando mejor valor que la muestra patrón sin ceniza, siendo una forma eficiente y a bajo costo de mejorar el desempeño del bloque.

La muestra C3 logro una resistencia de 5,3 Mpa la cual se encuentra en el rango exigido por la norma y fue la más alta, en comparación a la muestra patrón y los otros porcentajes, esto quiere decir que el impacto de la ceniza mejora la resistencia, lo cual la convierte en una alternativa viable para los bloques en un reemplazo de la arena por ceniza en un 5%. al tener mayor porcentaje de arena mejora el acabado del bloque y disminuye el costo, la arena conforma el bloque en un 47% y el granzón en un 17.51%.

Para la muestra D, en la muestra patrón obtiene una resistencia por encima de 6 Mpa. Sin embargo, esto se obtiene al adicionar mayor porcentaje de cemento, lo que sería más costoso. la otra opción D2 aún se mantienen dentro del rango de la norma es decir en 5.3 Mpa con un porcentaje de reemplazo de la arena por ceniza en un 3% utilizando 45% arena y 28% granzón, mejorando el acabado del bloque y siendo también una alternativa económica.

La muestra que se recomienda es la B4 con un 10% de reemplazo de la arena por ceniza, obteniendo una resistencia de 5.8 Mpa, siendo la menos costosa y ecológica porque implementa el mayor porcentaje de ceniza.

La aplicación de la ceniza en la mezcla convierte a esta técnica de construcción en sostenible, porque utiliza un residuo que no se aprovecha adecuadamente en Colombia (Sierra, 2009) siendo los molineros los más afectados por los altos costos de acumulación que conlleva la cascarilla de arroz en los campos arroceros, también disminuye la cantidad de arena utilizada, un recurso no renovable, cuya extracción está produciendo impactos ambientales negativos porque en algunos lugares se realiza la extracción en ecosistemas frágiles (Organización de las Naciones Unidas-ONU, 2019). “La arena es utilizada por todos. No queremos detener el sector, sino trabajar en soluciones sostenibles con todos los actores interesados” (párr. 10), señala Pascal Peduzzi, director de GRID-Ginebra en ONU Medio Ambiente, quien desarrollo un informe del desafío de la extracción de arena en el 2014 titulado: *Sand, rarer than one thinks* (La arena, más especial de lo que uno piensa) (ONU, 2019).

Luego del desarrollo de la composición de la mezcla, se lograron construir tres muros; el primero ubicado en el restaurante: los Hijos de Sancho, jardín que cuenta con 6.7 m<sup>2</sup>, el segundo ubicado en la empresa, y cuenta con 5.6 m<sup>2</sup>. Y el último muro en lagos Cuajalal con 7.6 m<sup>2</sup>, es decir, en la ciudad se tienen instalado 19.9 m<sup>2</sup> de UCV 2.0 funcionando y cumpliendo el objetivo principal de limpiar 13 134 toneladas de gases nocivos anuales.

Finalmente, en la fase 3, El aplicativo web y el desarrollo del dispositivo está finalizado y las comprobaciones resultaron exitosas, los sensores transmiten la respectiva información acerca de flujo, temperatura y humedad. Las limitaciones estuvieron relacionadas al suministro de agua, el cual no fue continuo debido a que la presión no era constante o había ausencia de agua en la tubería principal, sin embargo, son fallas externas que se pueden solucionar con un depósito de agua o una bomba para la presurización, pero aun así la información fue registrada por lo que el sistema funciono de forma correcta. En otras palabras, el dispositivo se encuentra listo para su producción e implementación en las diferentes instalaciones de la UCV.

#### CONCLUSIONES

El sistema de UCV 2.0 ha funcionado en los diferentes ambientes de la ciudad de Barranquilla y las plantas se han mantenido en buen estado, el sistema de fitorremediación natural con referente a las plantas se encuentra definido. El desarrollo de la mezcla cumple con los estándares de construcción, las muestras B, C y de resultaron positivas porque se mantuvieron dentro de la norma **NTC 4076 (1997)**,

la cual establece que a los 28 días de curado el bloque debe encontrarse en una resistencia entre 5 y 6 MPa. El desarrollo del aplicativo y el dispositivo se encuentran totalmente definidos, las comprobaciones arrojaron resultados exitosos. Finalmente, al ser un proyecto que se alinea con la problemática de la descontaminación y purificación del aire, puede presentar alto grado de replicabilidad como solución en otros países o ciudades del mundo, ya que atiende a una problemática global y de relevancia que genera efectos perjudiciales para la salud y el desarrollo humano, representándose en potenciales demandas y ventas del producto.

#### REFERENCIAS

- Dodge Data & Analytics.** (2018). World Green Building Trends 2018. [*SmartMarket Report*]. Bedford: Carrier. Available: <https://www.worldgbc.org/sites/default/files/World%20Green%20Building%20Trends%202018%20SMR%20FINAL%2010-11.pdf>
- Delgadillo-López, A., González-Ramírez, C. Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. y Acevedo-Sandoval, O.** (2011). Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14, 597–612. Disponible en <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/814>
- ICONTEC.** (1997). Ingeniería civil y arquitectura. Unidades (bloques y ladrillos) de concreto, para mampostería no estructural interior y chapas de concreto. [*Norma NTC 4076*]. Recuperado de <https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/4017/Anexo%207%20NTC-4076.pdf?sequence=8&isAllowed=y>

- Navarro, J. (2013). Los jardines verticales en la edificación. [*Trabajo Máster*]. Universitat Politècnica de València, Valencia, España. Recuperado de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/33814/TFM%20JUAN%20NAVARRO.pdf>
- OMS. (26 de mayo de 2015). Salud y medio ambiente: impacto sanitario de la contaminación del aire. [68.<sup>a</sup> *Asamblea Mundial de la Salud*]. Recuperado de [https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf\\_files/WHA68/A68\\_R8-sp.pdf](https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA68/A68_R8-sp.pdf)
- ONU. (2019, Ene. 3). En busca de la extracción sostenible de arena. *UNEP*. Disponible en <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/en-busca-de-la-extraccion-sostenible-de-arena>
- Páez, C. (2018). Propiedades del hormigón hidráulico y diseño de mezclas. [*Unidad*]. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, D.C., Colombia. Disponible en [http://virtual.umng.edu.co/distancia/ecosistema/odin/odin\\_desktop.php?path=Li4vb3ZhcY9pbmdlmlcmhX2NpdmlsL3RlY25vbG9naWFfZGVsX2NvbmlmNyZXRvX3lfbGFib3JhdG9yaW8vdW5pZGFkXzlv](http://virtual.umng.edu.co/distancia/ecosistema/odin/odin_desktop.php?path=Li4vb3ZhcY9pbmdlmlcmhX2NpdmlsL3RlY25vbG9naWFfZGVsX2NvbmlmNyZXRvX3lfbGFib3JhdG9yaW8vdW5pZGFkXzlv)
- Pedraza, L. J. (2015). La biodepuración del aire con plantas purificantes y Ornamentales, como alternativa ambiental en el siglo XXI. [*Trabajo grado*]. Universidad Distrital Francisco José De Caldas, Bogotá, D.C., Colombia. Disponible en <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/3767>
- Ramírez A. (2020). La construcción sostenible. *Física y Sociedad*, (13), 30–33. Recuperado de [https://www.cofis.es/pdf/fys/fys13/fys13\\_30-33.pdf](https://www.cofis.es/pdf/fys/fys13/fys13_30-33.pdf)
- República de Colombia. MinAmbiente. (2018). *Informe del estado de la calidad del aire en Colombia 2018*. Bogotá, D.C.: IDEAM. Recuperado de <http://www.andi.com.co/Uploads/Informe%20estado%20calidad%20del%20aire%202018.pdf>
- Sierra, J. (2009). Alternativas de aprovechamiento de la cascarilla de arroz en Colombia. [*Mono-grafia*]. Universidad de Sucre, Sincelejo, Colombia. Recuperado de <https://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/handle/001/211/333.794S571.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Solano, I. (2019). Que es un Jardín vertical: Evolución y beneficios. [*Curso de jardinería vertical*]. Universidad de los Andes, Bogotá, D.C., Colombia. Disponible en <https://www.jardinesverticales.es/que-es-un-jardin-vertical/>
- WorldGBC. (2018). *Nuevo Informe de Tendencias. Globales Construcción Sostenible*. Chicago: Dodge data. Disponible en: <https://www.worldgbc.org/sites/default/files/Spanish%20News%20story%20World%20Green%20Building%20Trends%202018%20final%20.pdf>
- Néstor David Barrios Fernández.** Pregrado de Diseño Industrial en la Universidad del Norte (Colombia). Gerente General Neca Tiles and Panels SAS (Barranquilla, Colombia).
- Neytan Luis Salas Acuña.** Pregrado de Diseño Industrial en la Universidad del Norte (Colombia). Semillero de Investigación de la Universidad del Norte. Certificación en Diseño Mecánico Nivel de Asociado. SOLID WORKS. Dassault Systems.
- Jheifer Manuel Paez Almentero.** Coinvestigador en Macondo LAB. Grupo de Investigación Innovación Tecnológica y Salud escalafonado en Categoría A en Colciencias. Parte del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, participando de forma continua en las convocatorias de Medición de Colciencias.