

ANALISIS DE LA VARIABILIDAD DE LAS PROPIEDADES DINAMICAS DE UN MURO DE ALBAÑILERIA SIMPLE DEBIDO A FACTORES CLIMATICOS.

Gabriel Novoa Soto¹ Claudio Oyarzo Vera² Diego Caamaño Avendaño³

RESUMEN:

En este artículo se presenta un estudio que tiene por objetivo analizar las variaciones de las propiedades dinámicas de un muro de albañilería por efecto de variables ambientales. La estructura de prueba es un muro de albañilería simple de 1.8 m de alto, 2.4 m de largo y 0.14 m de espesor, el cual se encuentra ubicado a la intemperie. Para obtener las propiedades dinámicas de la estructura, se realizaron excitaciones mediante golpes con un martillo de goma, durante 10 ensayos, realizados en 10 diferentes días distribuidos en los meses de junio y julio. Se registró la respuesta vibratoria del muro con la ayuda de acelerómetros uniaxiales, para posteriormente mediante el software ARTeMIS, obtener las propiedades del muro por medio del método EFDD y SSI, lográndose identificar 5 modos de vibrar. Por otro lado, se recopilaron datos ambientales, de temperatura, precipitación y humedad, mediante una estación meteorológica ubicada en la UCSC. La respuesta modal de la estructura fue, correlacionada con los datos ambientales. Con esto, se llegó a concluir que existe una mejor correlación entre la temperatura máxima con la frecuencia modal de la estructura en sus modos C y D, al igual que las precipitaciones acumuladas por 4 y 6 días con las frecuencias modales A, B y C. Mientras que las temperaturas mínimas, temperaturas promedio, humedad y precipitaciones acumuladas en 1 y 2 días presentan bajos niveles de correlación.

PALABRAS CLAVES: Albañilería simple, Análisis modal operacional, Condiciones ambientales

ABSTRACT:

This paper presents a study aimed at analyzing the variations of the dynamic properties of a masonry wall due to the effect of environmental variables. The test structure is a simple masonry wall 1.8 m high, 2.4 m long and 0.14 m thick, which is located outdoors. In order to obtain the dynamic properties of the structure, excitations were performed by blows with a rubber hammer, during 10 tests, carried out on 10 different days distributed in the months of June and July. The vibratory response of the wall was recorded with the help of uniaxial accelerometers, to later obtain the wall properties by means of the EFDD and SSI methods using the ARTeMIS software, identifying 5 modes of vibration. On the other hand, environmental data on temperature, precipitation and humidity were collected through a weather station located at the UCSC. The modal response of the structure was correlated with the environmental data. With this, it was concluded that there is a better correlation between the maximum temperature with the modal frequency of the structure in its modes C and D, as well as the accumulated precipitation for 4 and 6 days with the modal frequencies A, B and C. While the minimum temperatures, average temperatures, humidity and precipitation accumulated in 1 and 2 days present low levels of correlation.

KEYWORDS: Unreinforced masonry, Operational modal analysis, Environmental conditions.

¹ Estudiante, Carrera de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, gnovoa@ing.ucsc.cl

² Profesor Guía, D. de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, coyarzo@ucsc.cl

³ Profesor Informante, D. de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, dcaamano@ucsc.cl

1. INTRODUCCIÓN

La albañilería es un método de construcción que consiste en la unión de materiales individuales como ladrillos cerámicos, bloques de hormigón o bloques de roca, mediante morteros o argamasas en base a cal, cemento, yeso o barro. En estas construcciones se diferencian 3 tipos de albañilería: (i) la albañilería simple, la cual solo utiliza mortero y ladrillos para su realización; (ii) la albañilería confinada la cual está conformada por paños de albañilería simple enmarcada en sus bordes con hormigón armado; y (iii) la albañilería reforzada la cual utiliza acero como refuerzo en el paño de albañilería del muro. Por otro lado, en la albañilería podemos elegir entre 2 distintos tipos de ladrillos de arcilla, siendo los ladrillos macizos los utilizados en albañilerías simples y albañilería confinadas, mientras que, los ladrillos perforados son más comúnmente utilizados en albañilería armada [1].

La albañilería, al conformar elemento estructural habitualmente expuesto al entorno natural, generalmente se ve afectada por los cambios de temperatura y humedad propios de cada estación del año. Estos cambios recurrentes a lo largo del tiempo pueden afectar el desempeño de la albañilería, directamente en los mecanismos físicos, químicos y biológicos que pueden provocar el deterioro de los materiales de construcción [2]. Estos agentes atmosféricos que inciden sobre la estructura causan deterioro físico en los materiales, como las lluvias, las cuales son las responsables de la humedad, por otro lado, el cambio de temperatura provoca expansión y reducciones en los materiales, los que suelen convertirse en fisuras y grietas. De igual forma las heladas por su parte pueden provocar el desprendimiento y las erosiones en los elementos. [3]

Las propiedades modales como la frecuencia, el amortiguamiento y las formas modales de una estructura también sufren variaciones con los cambios temporales. Por ejemplo, se han documentado estudios donde se destaca la correlación entre parámetros ambientales y frecuencias naturales, obteniendo aumentos en las propiedades modales con el incremento de la temperatura de los materiales de construcción. Esto debido al cierre de las micro fisuras internas en las capas de mortero provocadas por la dilatación térmica [4], lo que produce una compactación temporal, induciendo un aumento en la rigidez de la estructura.

De la misma manera, estudios recientes reportan los resultados registrados en 2 estructuras patrimoniales de Portugal: la torre del reloj de Mogadouro y la iglesia monasterio de los Jerónimos. En estas edificaciones, se realizaron mediciones de vibraciones, sensores de temperatura y humedad del aire durante un periodo de 2 meses en el año 2006, detectándose una tendencia de las temperaturas en influir sobre las frecuencias naturales de ambos monumentos. Por otra parte, el efecto de la humedad, debido al agua absorbida que fue registrado en el inicio de las temporadas de lluvias, también produjo un cambio en las frecuencias alrededor de un 4% [5]. De manera similar en el santuario de Vicoforte (Italia) se relacionaron datos ambientales con frecuencias naturales, obtenidos a través de 12 acelerómetros piezométricos. recopiladas durante más de 10 años, concluyendo en el aumento de las propiedades dinámicas debido al incremento de las temperaturas [6]. Algo similar se observó en el campanario de san Pietro, Italia donde los ciclos de temperaturas bajo 0° mantenidos por varios días causan aumentos notables en todas las frecuencias naturales de los elementos estructurales, posiblemente debido a la formación de cristales de hielo en la microporosidad de las juntas de mortero y que determinan un efecto general de rigidez [7].

Conocer las propiedades dinámicas de una estructura es fundamental en el estudio de monitoreo de salud estructural, el cual es un proceso de detección de daños, en donde se observa a la estructura a lo largo del tiempo utilizando mediciones de respuesta dinámica continua o temporalmente espaciadas. De esta manera se puede prever una falla estructural ante algún cambio inesperado. Además, para obtener las propiedades dinámicas de los elementos estructurales, si bien existen varias técnicas que permiten identificarlas, nos centraremos en 2 de estos métodos. El primer método identifica las propiedades modales mediante análisis en el dominio de la frecuencia y se denomina *Enhanced Frequency Domain Decomposition* (EFDD). El cual corresponde a una mejora del método *Peak Picking*, y se basa en detectar los picos asociados a frecuencias

resonantes en la función de respuesta en frecuencia. Para esto se utiliza, la función densidad espectral promediada y normalizada que se obtiene básicamente convirtiendo las medidas de aceleraciones al dominio de la frecuencia mediante la transformada de Fourier discreta [8]. El segundo método corresponde a *Stochastic Sub-space Identification (SSI)*, el cual es un análisis de los datos en el dominio del tiempo [9]. Este método emplea la factorización QR y la descomposición del valor singular para identificar las matrices del modelo dinámico de estado-espacio [10].

Las propiedades dinámicas de la estructura, como las formas modales pueden presentar similitudes. El indicador *Modal Assurance Criterion (MAC)*, se utiliza para correlacionar las distintas formas modales obtenidas con el método EFDD y SSI. Si se obtiene un valor MAC cercano al 0, esto quiere decir que no existe una relación entre las formas modales comparadas (son ortogonales), mientras que entre más cercano sea el MAC al valor 1 indicará una alta similitud entre las formas modales. [11].

Este estudio tiene por objetivo relacionar las variaciones climáticas como temperatura y humedad con las propiedades dinámicas de un muro de albañilería simple, mediante el análisis modal operacional, de esta manera poder conocer el comportamiento del amortiguamiento, formas modales y frecuencias naturales de la estructura, ante diferentes temperaturas y humedades.

2. METODOLOGIA

2.1 Descripción del muro a ensayar

El muro ensayado consiste en un muro de albañilería simple, con dimensiones de 240 (cm) de largo, 180 (cm) de alto y 14 (cm) de espesor. Este muro se encuentra apoyado sobre una base de hormigón armado, y una viga superior igualmente de hormigón armado (Figura 1). Para la construcción de este muro se utilizaron ladrillos macizos de 28 (cm) de largo, 14 (cm) de ancho y 5 (cm) de espesor. Se utilizó la disposición de aparejo en soga en su construcción. Además, la unión de los ladrillos fue realizada mediante mortero predosificado de la marca Topex. La relación de agua y mortero fue de 3.75 litros de agua, por cada 25 kg de mortero. Las propiedades de los materiales se determinaron mediante ensayos estandarizados y corresponden a 5.1 (MPa) de resistencia a compresión para el mortero, 0,2 (MPa) de resistencia a la adherencia, y 3.2 (MPa) de resistencia a compresión de los prismas de albañilería.

La disposición del muro de albañilería se encuentra a la intemperie a un costado del laboratorio de ingeniería San José Obrero. De esta forma el sujeto de prueba quedo expuesto a las precipitaciones y a las temperaturas ambientales que se registraron durante los meses de junio y julio de 2022.



Figura1. Muro de ensayos construido con albañilería simple. (Fuente: Elaboración Propia)

2.2 Instrumentación

Para realizar los ensayos se instrumentó el muro con 12 acelerómetros marca PCB Piezotronics dispuestos sobre una cara del muro de manera de captar de la mejor forma posible sus formas modales en dirección normal al plano (Figura 2.a). De estos acelerómetros 8 son modelo 352CO3 (Figura 2.b) y 4 son modelo 333B50(Figura 2.c).

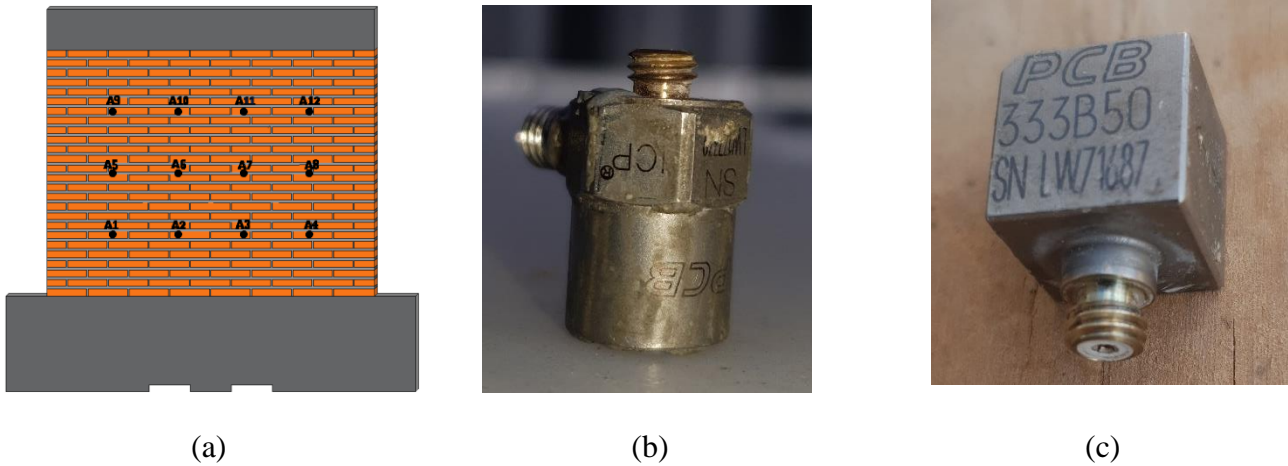


Figura 2. (a) Distribución de los acelerómetros en el muro, ordenados de izquierda a derecha y de abajo hacia arriba, (b) Acelerómetro PCB modelo 352CO3, (c) Acelerómetro PCB modelo 333B50. (Fuente: Elaboración propia)

Los acelerómetros fueron conectados mediante cables blindados (Figura 3.a) a módulos de adquisición de datos modelo NI-9234, con capacidad para 4 acelerómetros cada uno. Se utilizaron 3 módulos, los cuales a su vez fueron enlazados a un chasis modelo CDAQ-9178 (Figura 3.b) y, de ahí, se conectan a la computadora, la cual tiene implementado el software LabView, con el que se digitalizarán los datos obtenidos en los ensayos, mediante una rutina ya implementada.

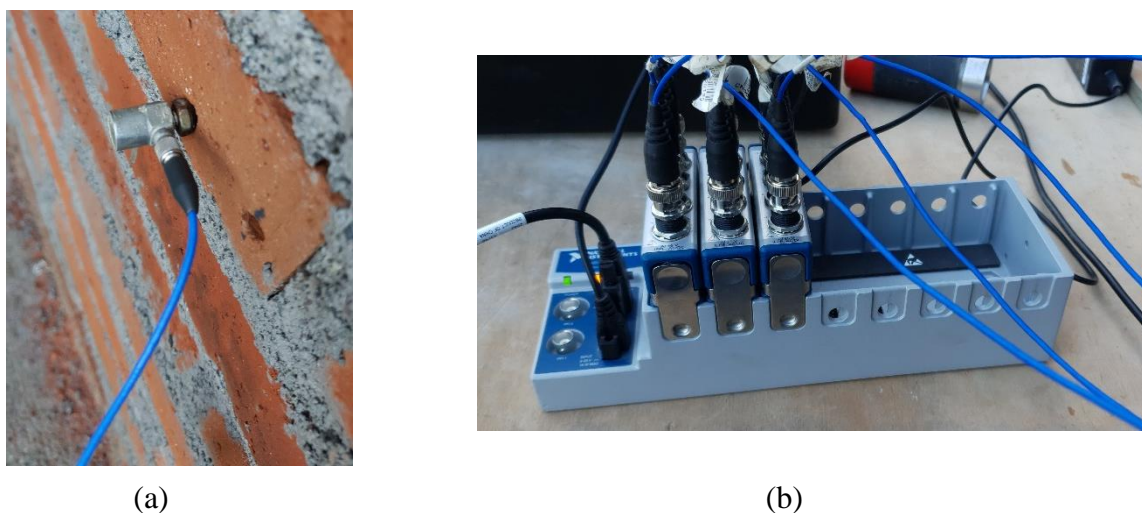


Figura 3: (a) Conexión de acelerómetro con cable blindado, (b) Módulo de adquisición NI-9234 conectado al chasis CDAQ-9178. (Fuente: Elaboración propia)

2.3 Procedimiento de ensayo

El muro de albañilería simple fue excitado mediante golpes realizados con un martillo de goma (Figura 4.a), se realizaron ensayos de 18 golpes en 6 puntos sobre una de las caras del muro (Figura 4.b), con una duración total de 360 segundos por ensayo.

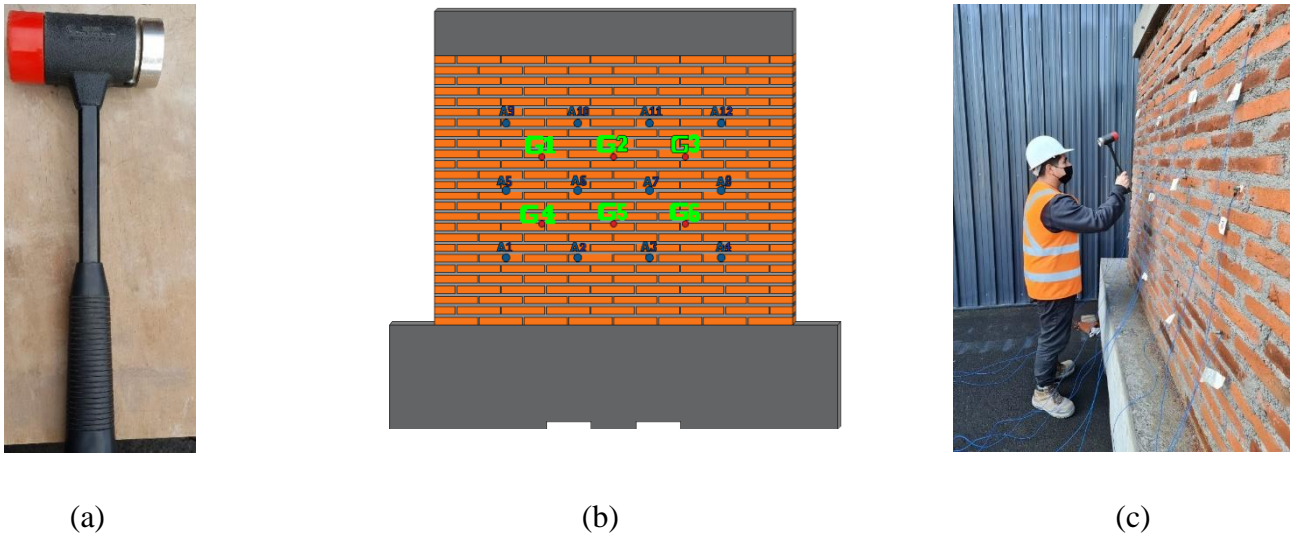


Figura 4. (a) Martillo de goma utilizado para excitar el muro por medio de impactos, (b) Disposición de los golpes en el muro, (c) Ejecución de ensayo. (Fuente: Elaboración propia).

Mediante el software LabVIEW V2.5.20 se llevó a cabo la recolección de los datos. La respuesta del muro ante la excitación proporcionada por el martillo de goma fue registrada mediante la variable aceleración, luego se configuró el rango de entrada de señal correspondiente a los modelos de acelerómetros utilizados, según sus respectivas sensibilidades. En cuanto a la tasa de muestreo con la cual fue medida la respuesta vibratoria del espécimen fue de 1652 datos por segundo.

Para el procesamiento de los datos adquiridos con el software LabVIEW, se utilizó la aplicación ARTEMIS Modal Pro versión 6.0.2.0, con la cual fue posible adquirir las distintas frecuencias naturales. Las formas modales y el amortiguamiento de éstas. Para obtener mejores resultados se realizó una decimación en el rango de las frecuencias de los datos, esta reducción fue definida al orden de los 40-45 HZ, ya que valores sobre estas frecuencias no representan las formas modales fundamentales de la estructura, dificultando la interpretación de forma modal asociada a una frecuencia de interés. Posteriormente, se utilizan las 2 técnicas mencionadas anteriormente para obtener el análisis modal del sistema, los cuales son EFDD en el dominio de la frecuencia y el SSI-UPC en el dominio del tiempo.

2.4. Frecuencia de ensayos.

Los ensayos fueron distribuidos durante los meses de junio y julio, 10 días en total y 4 ensayos diarios. El detalle de cada uno de estos se indican en la Tabla 1.

Tabla 1. Fecha de ensayos realizados, con sus respectivas denotaciones y cantidad de ensayos por día.
(Fuente: Elaboración propia)

Denotacion	D.1	D.2	D.3	D.4	D.5	D.6	D.7	D.8	D.9	D.10
Fecha	10-06-2022	13-06-2022	15-06-2022	17-06-2022	24-06-2022	30-06-2022	04-07-2022	07-07-2022	11-07-2022	15-07-2022
N° de ensayos	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5

3. DATOS CLIMATICOS

Los datos ambientales fueron recabados por la estación meteorológica de la Universidad Católica de la Santísima Concepción, ubicada en el Campus San Andrés, a 150 metros del emplazamiento del muro analizado. Esta estación registra temperatura, humedad ambiental, precipitaciones, velocidad del viento, entre otras variables meteorológicas. En este estudio, nos enfocaremos únicamente en los datos de temperatura y precipitaciones registradas durante el periodo junio y julio 2022.

3.1. Temperatura

Para los datos de temperatura se disponía de una base de datos con 288 datos por día, registrados cada 5 minutos. De estos datos se obtuvieron las temperaturas extremas de cada día, así como el valor promedio de esta variable, tal como se ilustra en la Figura 5. En dicha Figura, las barras rojas indican la fecha en que se realizaron los ensayos modales. Se puede observar que las temperaturas máximas durante los días de ensayo presentaron poca variación, con un valor máximo de 15.7 °C, un mínimo de 9.1 °C. La temperatura máxima promedio de todo el periodo fue de 12.3° C con una desviación estándar de 2.13.

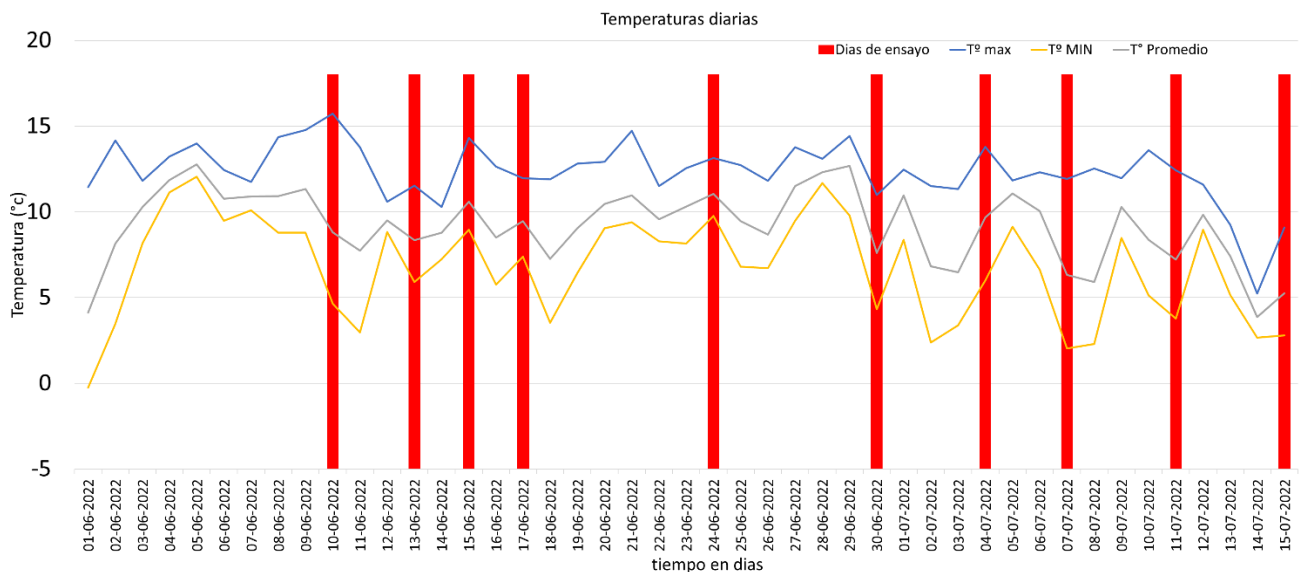


Figura 5. Grafica Temperatura (en grados °C) v/s Tiempo en Días. (Fuente: Elaboración propia)

3.2. Precipitaciones

Para los datos de lluvias se disponía de la misma base de datos mencionada anteriormente, con 288 datos por día, registrados cada 5 minutos. La Figura 6 muestra la precipitación acumulada cada día a través de las barras en azul, mientras que las líneas amarillas indican los días en que se realizaron los ensayos modales. Estos datos revelan, que los días anteriores al primer ensayo, presentan una mayor cantidad de mm de agua lluvia registrados, con un valor acumulado de 139 mm entre los días 03-06-2022 y 07-06-2022. Por otro lado, podemos notar que durante el periodo de los ensayos se presentaron precipitaciones de manera constante, ya que solamente hubo un total de 8 días en que no hubo lluvia. El periodo de estudio arroja un promedio de 9.7 mm de agua lluvia por día, lo que nos indicaría que probablemente la humedad del muro se mantuvo relativamente constante durante este periodo de estudio.

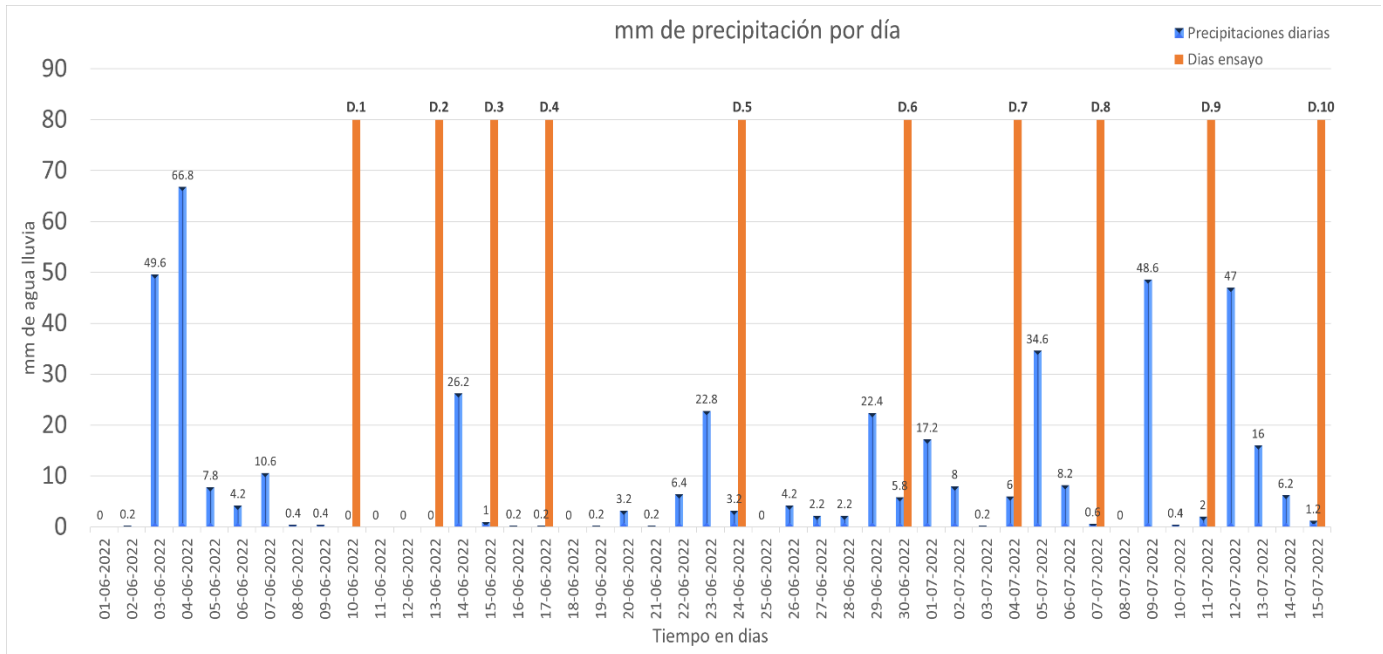


Figura 6. Grafica lluvia caída (en mm) v/s Tiempo en Días. (Fuente: Elaboración propia)

3.3 Humedad en muestras

Con el fin de conocer la humedad presente en el muro, se utilizaron 4 probetas (Figura 7), las cuales fueron expuestas al ambiente, en el mismo sitio que el muro de albañilería simple, con el fin de poder mantener un registro de su peso cada día de ensayo, en la Tabla 2 se presentan estos registros diarios, al igual que el peso seco de cada muestra y el porcentaje de agua absorbida por cada espécimen, calculado mediante la Ec. 1.

$$Humedad\ base\ humeda = \frac{peso\ agua}{peso\ total} \cdot 100 \quad (1)$$

Donde:

peso agua: corresponde al peso del agua absorbida por la muestra y

peso total corresponde al peso de la muestra, junto al agua absorbida

De las humedades obtenidas podemos rescatar que para el ladrillo 1 y el ladrillo 3, se registraron humedades muy cercanas, como es esperable, centrándose en un rango de 11,4 % a 17,3% de humedad en los días de ensayo. Por otro lado, la probeta rectangular mantuvo una humedad en el rango de 11,4 % a 16,8 %, y la probeta irregular arrojó datos de humedad entre 10,4 % y 14,2%. Siendo las mayores humedades las obtenidas los días de ensayo D3, D5, D8, D9 Y D10, correspondiendo a los días con mayor cantidad de precipitaciones previas como enseña la Figura 6.

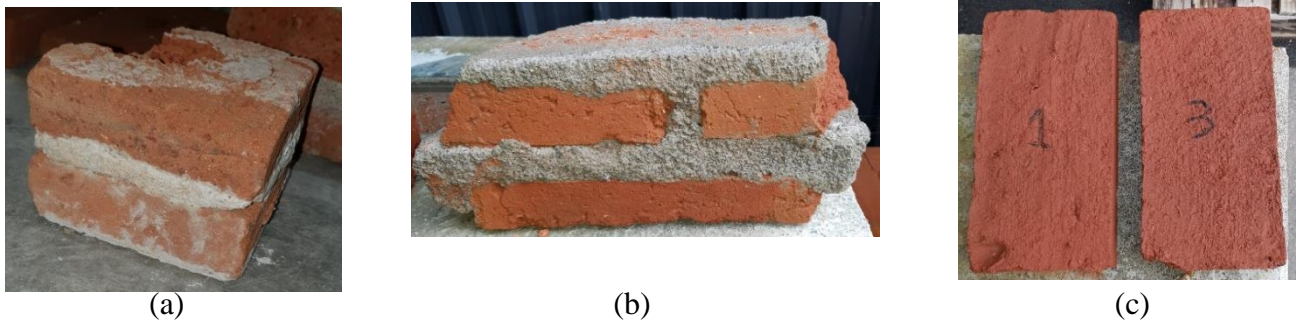


Figura 7. Muestras expuestas al ambiente, (a) Probeta rectangular, (b) Probeta irregular, (c) Ladrillos 1 y 3
(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 2. Peso registrado (por día de ensayo y seco de las muestras) junto a porcentaje de humedad.
(Fuente: Elaboración propia)

Fecha	Peso (kg)			
	LADRILLO 1	LADRILLO 3	PROVETA RECTANGULAR	PROVETA IRREGULAR
10-05-2022	3.805	3.501	3.712	11.282
13-05-2022	3.624	3.350	3.532	10.957
15-05-2022	3.848	3.570	3.752	11.395
17-05-2022	3.719	3.461	3.605	11.160
24-05-2022	3.868	3.585	3.760	11.416
30-06-2022	3.777	3.513	3.625	11.219
04-07-2022	3.856	3.583	3.762	11.412
07-07-2022	3.869	3.59	3.763	11.405
11-07-2022	3.82	3.56	3.72	11.35
15-07-2022	3.868	3.59	3.762	11.438
	Peso seco (kg)			
	3.209	2.968	3.127	9.813
	Humedad (%)			
10-05-2022	15.66	15.22	15.76	13.02
13-05-2022	11.45	11.40	11.47	10.44
15-05-2022	16.61	16.86	16.66	13.88
17-05-2022	13.71	14.24	13.26	12.07
24-05-2022	17.04	17.21	16.84	14.04
30-06-2022	15.04	15.51	13.74	12.53
04-07-2022	16.78	17.16	16.88	14.01
07-07-2022	17.06	17.33	16.90	13.96
11-07-2022	15.99	16.63	15.94	13.54
15-07-2022	17.04	17.33	16.88	14.21

**4. RESULTADOS Y DISCUSION****4.1 Resultados mediante métodos EFDD y SSI**

Los resultados obtenidos y analizados mediante el método denominado EFDD se presentan en la Tabla 3. De los resultados se obtuvieron una cantidad de 5 diferentes frecuencias, las cuales se repetían en los 10 días de prueba (D.1 al D.10). Realizando un promedio de los valores obtenidos durante los distintos ensayos (E.1 al E.5) por día, obtenemos que las frecuencias son del orden de 1.48 hz, 6.00 hz, 11.42 hz, 23.08 hz y 29.25 hz. Estas frecuencias presentan un amortiguamiento que no supera el 4.1 % en todos los resultados obtenidos. Por otro lado, los resultados obtenidos mediante el método SSI, entregaron resultados semejantes a los obtenidos mediante el método EFDD. Se registraron un total de 4 valores, los cuales se repetían en los distintos ensayos. Realizando un promedio entre los valores obtenidos por ensayo (E.1 al E.5) y por día (D.1 al D.10), obtenemos que estas frecuencias son de 5.84 hz, 11.14 hz, 22.86 hz y 29.43 hz, las cuales se presentan en la Tabla 4, estos valores obtenidos presentan un amortiguamiento máximo de 8,9%.

Tabla 3. Resultados obtenidos mediante método EFDD. (Fuente: Elaboración propia)

1.48	E.1	E.2	E.3	E.4	E.5	Promedio Diario
D1	1.58	1.57	1.52	1.56	1.53	1.55
D2	1.53	1.52	1.49	1.50	1.49	1.51
D3	1.51	1.49	1.49	1.49	1.49	1.50
D4	1.49	1.48	1.48	1.47		1.48
D5	1.48	1.47	1.47	1.50	1.46	1.47
D6	1.50	1.49	1.48	1.48	1.47	1.48
D7	1.49	1.49	1.49	1.48	1.50	1.49
D8	1.48	1.47	1.47	1.46	1.45	1.47
D9	1.44	1.45	1.44	1.44	1.45	1.45
D10	1.45	1.44	1.44	1.43	1.44	1.44
6.00	E.1	E.2	E.3	E.4	E.5	
D1	6.23	6.21	6.06	6.14	6.09	6.14
D2	6.17	6.14	6.04	6.07	6.00	6.08
D3	6.08	6.03	6.01	6.05	6.01	6.04
D4	6.08	6.04	6.04	5.98		6.03
D5	6.01	5.99	5.97	6.07	5.96	6.00
D6	6.09	6.05	6.03	6.02	6.01	6.04
D7	5.98	5.97	5.97	5.95	6.00	5.97
D8	5.98	5.96	5.93	5.92	5.90	5.94
D9	5.87	5.88	5.90	5.90	5.88	5.89
D10	5.90	5.85	5.84	5.84	5.83	5.85
11.43	E.1	E.2	E.3	E.4	E.5	
D1	12.13	12.03	11.67	11.90	11.77	11.90
D2	11.73	11.65	11.39	11.46	11.32	11.51
D3	11.56	11.49	11.48	11.49	11.48	11.50
D4	11.50	11.34	11.36	11.26		11.36
D5	11.36	11.30	11.28	11.45	11.26	11.33
D6	11.60	11.55	11.50	11.47	11.43	11.51
D7	11.46	11.43	11.44	11.41	11.47	11.44
D8	11.50	11.44	11.40	11.36	11.32	11.41
D9	11.23	11.28	11.35	11.35	11.35	11.31
D10	11.09	11.02	10.99	10.99	10.97	11.01
23.09	E.1	E.2	E.3	E.4	E.5	
D1	24.39	24.17	23.62	23.92	23.73	23.96
D2	23.43	23.30	22.77	23.00	22.67	23.04
D3	23.38	23.29	23.29	23.30	23.29	23.31
D4	23.10	22.75	22.77	22.61		22.81
D5	23.16	23.04	23.04	23.33	22.97	23.11
D6	23.28	23.20	23.08	23.05	23.01	23.12
D7	23.40	23.36	23.39	23.35	23.47	23.39
D8	23.08	22.99	22.93	22.87	22.81	22.93
D9	22.73	22.84	22.94	22.94	22.96	22.88
D10	22.63	22.37	22.28	22.31	22.23	22.37
29.25	E.1	E.2	E.3	E.4	E.5	
D1	30.49	30.35	29.42	30.13	29.73	30.02
D2	29.65	29.54	28.91	29.11	28.78	29.20
D3	29.36	29.27	29.30	29.24	29.26	29.29
D4	29.46	29.23	29.20	28.98		29.22
D5	29.12	28.99	28.96	29.26	28.95	29.06
D6	29.77	29.58	29.48	29.40	29.38	29.52
D7	29.37	29.34	29.33	29.26	29.44	29.35
D8	29.37	29.27	29.20	29.17	29.04	29.21
D9	28.99	29.14	29.23	29.26	29.25	29.17
D10	28.62	28.44	28.36	28.36	28.35	28.43

**Tabla 4.** Resultados obtenidos mediante método SSI. (Fuente Elaboración propia)

5.84	E.1	E.2	E.3	E.4	E.5	Promedio Diario
D.1	5.99	5.889	5.827	5.886	5.823	5.88
D.2	6.056	6.024	5.914	5.955	5.9	5.97
D.3	5.967	5.889	5.789	5.856	5.854	5.87
D.4	5.99	5.921	5.928	5.889		5.93
D.5	5.904	5.878	5.854	5.94	5.834	5.88
D.6	5.998	5.969	5.936	5.927	5.915	5.95
D.7	5.692	5.698	5.662	5.601	5.78	5.69
D.8	5.88	5.859	5.843	5.827	5.813	5.84
D.9	5.742	5.741	5.341	5.419	5.7	5.59
D.10	5.836	5.793	5.762	5.787	5.783	5.79
11.14	E.1	E.2	E.3	E.4	E.5	
D.1	11.79	11.712	11.322	11.562	11.43	11.56
D.2	11.443	11.401	11.115	11.196	11.057	11.24
D.3	11.308	11.202	11.15	11.216	11.202	11.22
D.4	11.22	11.102	11.117	10.984		11.11
D.5	11.089	11.033	11.002	11.196	10.99	11.06
D.6	11.289	11.244	11.209	11.176	11.188	11.22
D.7	11.11	11.094	11.082	11.05	11.146	11.10
D.8	11.185	11.139	11.091	11.053	11.016	11.10
D.9	10.989	10.992	11.024	11.036	11.027	11.01
D.10	10.873	10.786	10.74	10.747	10.725	10.77
22.86	E.1	E.2	E.3	E.4	E.5	
D.1	24.23	24.051	23.377	23.781	23.555	23.80
D.2	23.175	23.041	22.422	22.654	22.261	22.71
D.3	23.109	23.063	23.136	23.011	22.999	23.06
D.4	22.823	22.499	22.601	22.319		22.56
D.5	22.887	22.789	22.739	23.055	22.697	22.83
D.6	23.028	22.907	22.803	22.758	22.708	22.84
D.7	23.188	23.157	23.192	23.133	23.258	23.19
D.8	22.799	22.702	22.639	22.562	22.5	22.64
D.9	22.525	22.715	22.839	22.877	22.858	22.76
D.10	22.366	22.195	22.138	22.1	22.07	22.17
29.43	E.1	E.2	E.3	E.4	E.5	
D.1	30.85	30.629	29.741	30.312	29.987	30.30
D.2	29.847	29.704	28.943	29.207	28.785	29.30
D.3	29.536	29.492	29.512	29.465	29.485	29.50
D.4	29.758	29.348	29.42	29.092		29.40
D.5	29.242	29.147	29.131	29.463	29.066	29.21
D.6	30.032	29.887	29.738	29.656	29.59	29.78
D.7	29.644	29.591	29.599	29.524	29.718	29.62
D.8	29.6	29.459	29.381	29.288	29.203	29.39
D.9	29.184	29.331	29.484	29.552	29.494	29.41
D.10	28.656	28.422	28.356	28.346	28.318	28.42

4.2 Formas modales

Mediante los métodos de análisis modal realizados, se encontró un total de 5 formas modales entre ambos, siendo 1 de estos exclusivo del método EFDD, y los 4 restantes compartidos entre ambos métodos. De las 5 formas encontradas, 3 corresponden a una forma modal de flexión (modos A, C y E), mientras que los otros 2 modos (modo B y D) corresponden a una forma modal de torsión (figura 8).

De esta figura observamos que el modo A fue encontrado a través del método EFDD con una frecuencia de 1.48 hz, el método B fue registrado por ambos métodos, con frecuencias de 6.00 hz para el EFDD, y 5.84 hz para el SSI, de la misma manera ocurre en el C donde las frecuencias fueron 11.43 hz y 11.14 hz, para el método EFDD y SSI, respectivamente, las frecuencias para modo de vibrar D por método EFDD

y SSI, fue de 23.09 hz y 22.86 hz, correspondientemente. Finalmente, el modo E corresponde a las frecuencias 29.25 hz y 29.43hz, para el método EFDD y SSI, respectivamente.

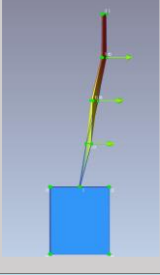
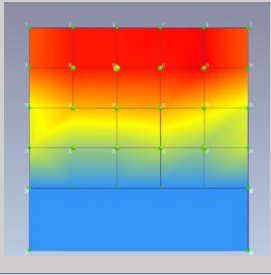
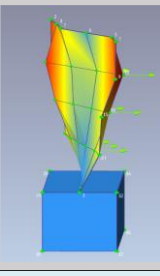
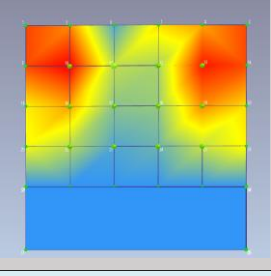
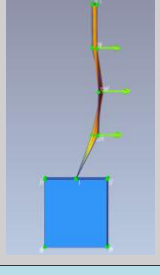
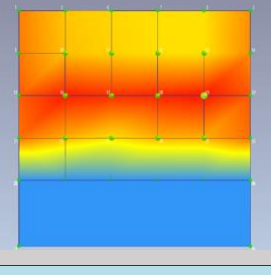
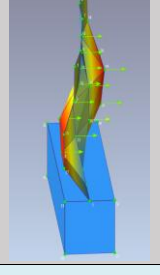
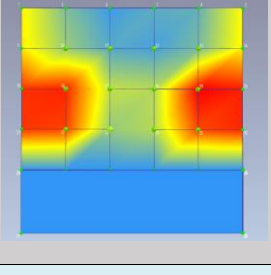
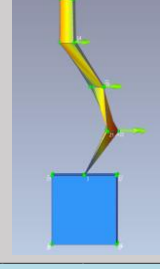
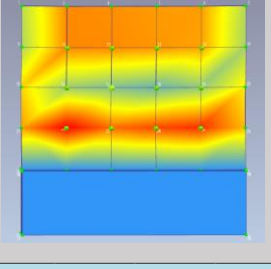
Modo	Método y Frecuencia	Formas modales	
A	EFDD 1.48 hz		
B	EFDD 6.00 hz SSI 5.84 hz		
C	EFDD 11.43 hz SSI 11.14		
D	EFDD 23.09 hz SSI 22.86 hz		
E	EFDD 29.25 hz SSI 29.43 hz		

Figura 8. Resultados de la identificación modal. (Fuente: Elaboración propia)



4.3 Relaciones MAC

Para conocer la similitud de los datos obtenidos utilizamos el criterio de aseguramiento modal (MAC). El cual es un indicador que cuantifica el grado de similitud entre dos vectores de forma modal, un valor bajo representa una baja correspondencia entre los vectores de forma modal comparados. [12]

En las siguientes tablas se presentan los valores obtenidos al equiparar 10 ensayos (D1 al D10), de los cuales cada uno corresponde a un día diferente de toma de datos, los cuales se compararon para una misma frecuencia, se contrastaron las frecuencias obtenidas por el método EFDD (Tabla 5) y por el método SSI-UPC (Tabla 6).

Tabla 5: valor MAC obtenido para las Frecuencias más usuales mediante el método EFDD.
(Fuente: Elaboración propia)

1.48	D.1	D.2	D.3	D.4	D.5	D.6	D.7	D.8	D.9	D.10
D.1	1	0.998	0.992	0.997	0.996	0.996	0.984	0.990	0.990	0.992
D.2	0.998	1	0.992	0.997	0.995	0.995	0.979	0.993	0.991	0.994
D.3	0.992	0.992	1	0.994	0.991	0.991	0.975	0.991	0.988	0.988
D.4	0.997	0.997	0.994	1	0.995	0.994	0.981	0.993	0.993	0.995
D.5	0.996	0.995	0.991	0.995	1	0.992	0.979	0.991	0.991	0.991
D.6	0.996	0.995	0.991	0.994	0.992	1	0.98	0.987	0.981	0.986
D.7	0.984	0.979	0.975	0.981	0.979	0.98	1	0.972	0.975	0.973
D.8	0.990	0.993	0.991	0.993	0.991	0.987	0.972	1	0.989	0.994
D.9	0.990	0.991	0.988	0.993	0.991	0.981	0.975	0.989	1	0.992
D.10	0.992	0.994	0.988	0.995	0.991	0.986	0.973	0.994	0.992	1
6.0	D.1	D.2	D.3	D.4	D.5	D.6	D.7	D.8	D.9	D.10
D.1	1	0.999	0.998	0.999	0.999	0.999	0.997	0.999	0.999	0.999
D.2	0.999	1	0.98	0.999	0.999	0.999	0.996	0.999	0.999	0.999
D.3	0.998	0.98	1	0.998	0.998	0.997	0.994	0.998	0.996	0.997
D.4	0.999	0.999	0.998	1	0.999	0.999	0.997	0.999	0.999	0.999
D.5	0.999	0.999	0.998	0.999	1	0.999	0.996	0.998	0.998	0.998
D.6	0.999	0.999	0.997	0.999	0.999	1	0.995	0.999	0.999	0.999
D.7	0.997	0.996	0.994	0.997	0.996	0.995	1	0.996	0.997	0.997
D.8	0.999	0.999	0.998	0.999	0.998	0.999	0.996	1	0.999	0.999
D.9	0.999	0.999	0.996	0.999	0.998	0.999	0.997	0.999	1	0.999
D.10	0.999	0.999	0.997	0.999	0.998	0.999	0.997	0.999	0.999	1
11.42	D.1	D.2	D.3	D.4	D.5	D.6	D.7	D.8	D.9	D.10
D.1	1	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.998	0.998	0.999	0.999
D.2	0.999	1	0.999	0.999	0.999	0.999	0.998	0.998	0.999	0.999
D.3	0.999	0.999	1	0.999	0.999	0.999	0.998	0.999	0.999	0.999
D.4	0.999	0.999	0.999	1	0.999	0.999	0.998	0.999	0.999	0.999
D.5	0.999	0.999	0.999	0.999	1	0.999	0.998	0.999	0.999	0.999
D.6	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	1	0.998	0.999	0.999	0.999
D.7	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	1	0.998	0.998	0.998
D.8	0.998	0.998	0.999	0.999	0.999	0.999	0.998	1	0.999	0.999
D.9	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.998	0.999	1	0.999
D.10	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.998	0.999	0.999	1
23.08	D.1	D.2	D.3	D.4	D.5	D.6	D.7	D.8	D.9	D.10
D.1	1	0.997	0.996	0.996	0.997	0.996	0.997	0.998	0.998	0.998
D.2	0.997	1	0.998	0.999	0.999	0.999	0.998	0.998	0.998	0.998
D.3	0.996	0.998	1	0.998	0.998	0.997	0.998	0.998	0.998	0.998
D.4	0.996	0.999	0.998	1	0.998	0.999	0.998	0.997	0.997	0.997
D.5	0.997	0.999	0.998	0.998	1	0.998	0.998	0.998	0.998	0.997
D.6	0.996	0.999	0.997	0.999	0.998	1	0.998	0.997	0.997	0.997
D.7	0.997	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	1	0.999	0.999	0.998
D.8	0.998	0.998	0.998	0.997	0.998	0.997	0.999	1	0.999	0.998
D.9	0.998	0.998	0.998	0.997	0.998	0.997	0.999	0.999	1	0.999
D.10	0.998	0.998	0.998	0.997	0.997	0.997	0.998	0.998	0.999	1
29.25	D.1	D.2	D.3	D.4	D.5	D.6	D.7	D.8	D.9	D.10
D.1	1	0.999	0.998	0.998	0.998	0.998	0.997	0.998	0.998	0.998
D.2	0.999	1	0.999	0.999	0.999	0.999	0.998	0.998	0.997	0.999
D.3	0.998	0.999	1	0.998	0.998	0.998	0.998	0.997	0.996	0.998
D.4	0.998	0.999	0.998	1	0.999	0.999	0.998	0.999	0.998	0.999
D.5	0.998	0.999	0.999	0.999	1	0.999	0.998	0.998	0.996	0.998
D.6	0.998	0.999	0.998	0.999	0.999	1	0.998	0.998	0.996	0.998
D.7	0.997	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	1	0.997	0.995	0.998
D.8	0.998	0.998	0.997	0.999	0.998	0.998	0.997	1	0.998	0.998
D.9	0.998	0.997	0.996	0.998	0.996	0.996	0.995	0.998	1	0.998
D.10	0.998	0.999	0.998	0.999	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	1



Tabla 6: valor MAC obtenido para las Frecuencias más usuales mediante el método SSI-UPC.
(Fuente: Elaboración propia)

5.84	D.1	D.2	D.3	D.4	D.5	D.6	D.7	D.8	D.9	D.10
D.1	1	0.998	0.993	0.998	0.997	0.998	0.997	0.998	0.994	0.997
D.2	0.998	1	0.996	0.998	0.998	0.999	0.994	0.998	0.992	0.998
D.3	0.993	0.996	1	0.995	0.995	0.995	0.992	0.995	0.993	0.995
D.4	0.998	0.998	0.995	1	0.995	0.998	0.996	0.999	0.992	0.98
D.5	0.997	0.998	0.995	0.995	1	0.999	0.994	0.998	0.991	0.998
D.6	0.998	0.999	0.995	0.998	0.999	1	0.994	0.999	0.992	0.999
D.7	0.997	0.994	0.992	0.996	0.994	0.994	1	0.995	0.995	0.995
D.8	0.998	0.998	0.995	0.999	0.998	0.999	0.995	1	0.992	0.999
D.9	0.994	0.992	0.993	0.992	0.991	0.992	0.995	0.992	1	0.992
D.10	0.997	0.998	0.995	0.98	0.998	0.999	0.995	0.999	0.992	1
11.14	D.1	D.2	D.3	D.4	D.5	D.6	D.7	D.8	D.9	D.10
D.1	1	0.999	0.999	0.998	0.999	0.999	0.999	0.999	0.998	0.999
D.2	0.999	1	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.998	0.999
D.3	0.999	0.999	1	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999
D.4	0.998	0.999	0.999	1	0.999	0.999	0.999	0.999	0.998	0.999
D.5	0.999	0.999	0.999	0.999	1	0.999	0.999	0.999	0.998	0.999
D.6	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	1	0.999	0.999	0.999	0.999
D.7	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	1	0.999	0.999	0.999
D.8	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	1	0.999	0.999
D.9	0.998	0.998	0.999	0.998	0.998	0.999	0.999	0.999	1	0.998
D.10	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.998	1
22.86	D.1	D.2	D.3	D.4	D.5	D.6	D.7	D.8	D.9	D.10
D.1	1	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.999	0.999	0.998
D.2	0.998	1	0.999	0.999	0.998	0.999	0.998	0.998	0.998	0.998
D.3	0.998	0.999	1	0.999	0.999	0.999	0.999	0.998	0.998	0.998
D.4	0.998	0.999	0.999	1	0.999	0.999	0.998	0.998	0.998	0.998
D.5	0.998	0.998	0.999	0.999	1	0.999	0.998	0.998	0.998	0.998
D.6	0.998	0.999	0.999	0.999	0.999	1	0.998	0.998	0.998	0.998
D.7	0.998	0.998	0.999	0.998	0.998	0.998	1	0.999	0.999	0.998
D.8	0.999	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.999	1	0.999	0.999
D.9	0.999	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.999	0.999	1	0.998
D.10	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.999	0.998	1
29.43	D.1	D.2	D.3	D.4	D.5	D.6	D.7	D.8	D.9	D.10
D.1	1	0.997	0.998	0.997	0.997	0.997	0.998	0.997	0.997	0.997
D.2	0.997	1	0.998	0.999	0.998	0.999	0.997	0.999	0.994	0.999
D.3	0.998	0.998	1	0.997	0.998	0.998	0.997	0.997	0.995	0.997
D.4	0.997	0.999	0.997	1	0.999	0.999	0.997	0.999	0.993	0.999
D.5	0.997	0.998	0.998	0.999	1	0.998	0.997	0.998	0.993	0.998
D.6	0.997	0.999	0.998	0.999	0.998	1	0.998	0.999	0.995	0.999
D.7	0.998	0.997	0.997	0.997	0.997	0.998	1	0.998	0.997	0.998
D.8	0.997	0.999	0.997	0.999	0.998	0.999	0.998	1	0.995	0.999
D.9	0.997	0.994	0.995	0.993	0.993	0.995	0.997	0.995	1	0.995
D.10	0.997	0.999	0.997	0.999	0.998	0.999	0.998	0.999	0.995	1

Los valores obtenidos en la Tabla 5 y la Tabla 6, nos indica que para una misma frecuencia obtenida por el método EFDD o el método SSI-UPC, los valores son todos cercanos a 1, por lo que tenemos una correlación muy buena, lo que nos indicaría que las formas modales no sufrieron una variación en el transcurso de los ensayos realizados en los meses de junio y julio.

De la misma forma, se extrajeron los resultados del análisis MAC de 2 ensayos, uno correspondiente al ensayo del día 1 (D1) y uno correspondiente al día 10 (D10), ambos procesados mediante el método EFDD (Tabla 7) y el método SSI-UPC (Tabla 8), para así comparar su variabilidad en el día inicial y el día final de los ensayos.

La Tabla 7 nos da a conocer que hay algunas formas modales que presentan ciertos grados de similitud pese a que debieran ser ortogonales, estas son las frecuencias de 1.552 hz con la de 11.67 hz del D1, y las de 10.99 hz con la de 1.435 hz del D10, las cuales tienen una relación MAC de aproximadamente 0.77. Estos modos se asocian a deformaciones flexurales muy semejantes entre sí. Por otro lado, tenemos las frecuencias de 23.62 hz y la de 6.057 hz del D1, junto a las de 22.28 hz con la de 5.839 hz las cuales comparten una relación MAC de aproximadamente 0.5. Estos modos tienen formas modales torsionales solo con diferencia en la posición de su máxima deformación.

De esta misma forma de la Tabla 8 nos damos cuenta de que existe una relación MAC de aproximadamente de 0.5 entre las frecuencias de 23.38 hz y la 5.827 hz del D1, mientras que para el D10 se presenta casi la misma relación MAC para las frecuencias de 22.14 hz y 5.762 hz, que se explican por las mismas razones antes señaladas.

Tabla 7. confrontación método EFDD D1 y D10. (Fuente: Elaboración propia)

D1-EFDD	1.522 Hz	6.057 Hz	11.67 Hz	23.62 Hz	29.42 Hz
1.522 Hz	1	0.00003	0.7879	0.0004307	0.05307
6.057 Hz	0.00003	1	0.0001689	0.512	0.003187
11.67 Hz	0.7879	0.0001689	1	0.0001833	0.04327
23.62 Hz	0.0004307	0.512	0.0001833	1	0.004242
29.42 Hz	0.05307	0.003187	0.04327	0.004242	1
D10-EFDD	1.435 Hz	5.839 Hz	10.99 Hz	22.28 Hz	28.36 Hz
1.435 Hz	1	0.0002681	0.7685	0.0001759	0.07111
5.839 Hz	0.0002681	1	5.185E-05	0.4987	0.0015
10.99 Hz	0.7685	0.00005185	1	0.0009577	0.04313
22.28 Hz	0.0001759	0.4987	0.0009577	1	0.0006406
28.36 Hz	0.07111	0.0015	0.04313	0.0006406	1

Tabla 8. confrontación método SSI-UPC D1 y D10. (fuente: Elaboración propia)

D1-SSI-UPC	5.827 Hz	11.32 Hz	23.38 Hz	29.74 Hz
5.827 Hz	1	0.00005253	0.5667	0.003055
11.32 Hz	0.00005253	1	0.0001832	0.02445
23.38 Hz	0.5667	0.0001832	1	0.0003207
29.74 Hz	0.003055	0.02445	0.0003207	1
D10-SSI-UPC	5.762 Hz	10.74 Hz	22.14 Hz	28.36 Hz
5.762 Hz	1	0.00007706	0.5194	0.002019
10.74 Hz	0.00007706	1	8.909E-05	0.03325
22.14 Hz	0.5194	0.00008909	1	0.0005418
28.36 Hz	0.002019	0.03325	0.0005418	1

4.4 Correlación entre frecuencias modales y datos ambientales.

Para conocer la correlación de los datos, se utilizó el coeficiente de correlación múltiple R cuadrado (R^2), la cual es una herramienta estadística que permite conocer el porcentaje de variación de la variable de respuesta, que explica la relación entre 1 o más variables, un valor cercano a 1 indica una mayor relación de las variables, mientras que entre más cercana a 0, indica una baja relación.

Para correlacionar las diferentes variables, se promediaron las frecuencias obtenidas por los métodos EFDD y SSI, correspondientes a las mismas formas modales.

4.4.1. Correlación entre las frecuencias modales y Temperaturas máximas, mínimas y promedios.

Las correlaciones realizadas entre las frecuencias y las Temperaturas Máximas, se presentan en la Figura 9. en donde podemos observar que el modo de vibrar B, arroja una baja correlación con respecto a esta variable, mientras que el modo A y E, presentan una correlación intermedia con un valor R^2 de 0,57 y 0,59, respectivamente. De la misma forma, el modo C indica una mayor correlación que las anteriores, con un valor de R^2 de 0.60, y el modo D es quien presenta una mejor correlación entre estas variables, con un coeficiente de 084.

Con respecto a la relación obtenidas con las Temperaturas Mínimas, las cuales se observan en la Figura 10, estas demuestran una baja correlación, no superando el valor 0.13 en el coeficiente R^2 . De igual forma ocurre con las correlaciones de las temperaturas promedios, ya que, si bien no son de la misma magnitud, estas tampoco superan los 0,30 de valor en el coeficiente R^2 (Figura 11).

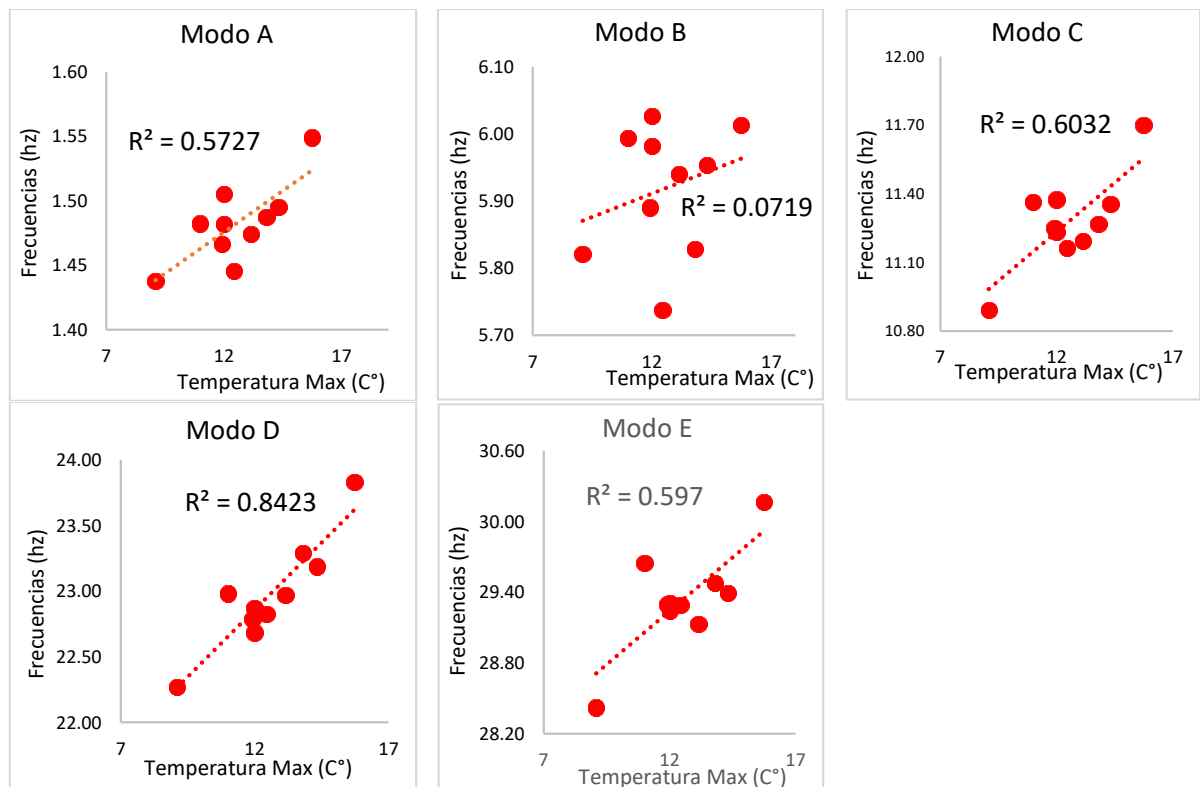


Figura 9. Coeficiente de correlación entre temperaturas máximas y frecuencias modales (fuente: elaboración propia)

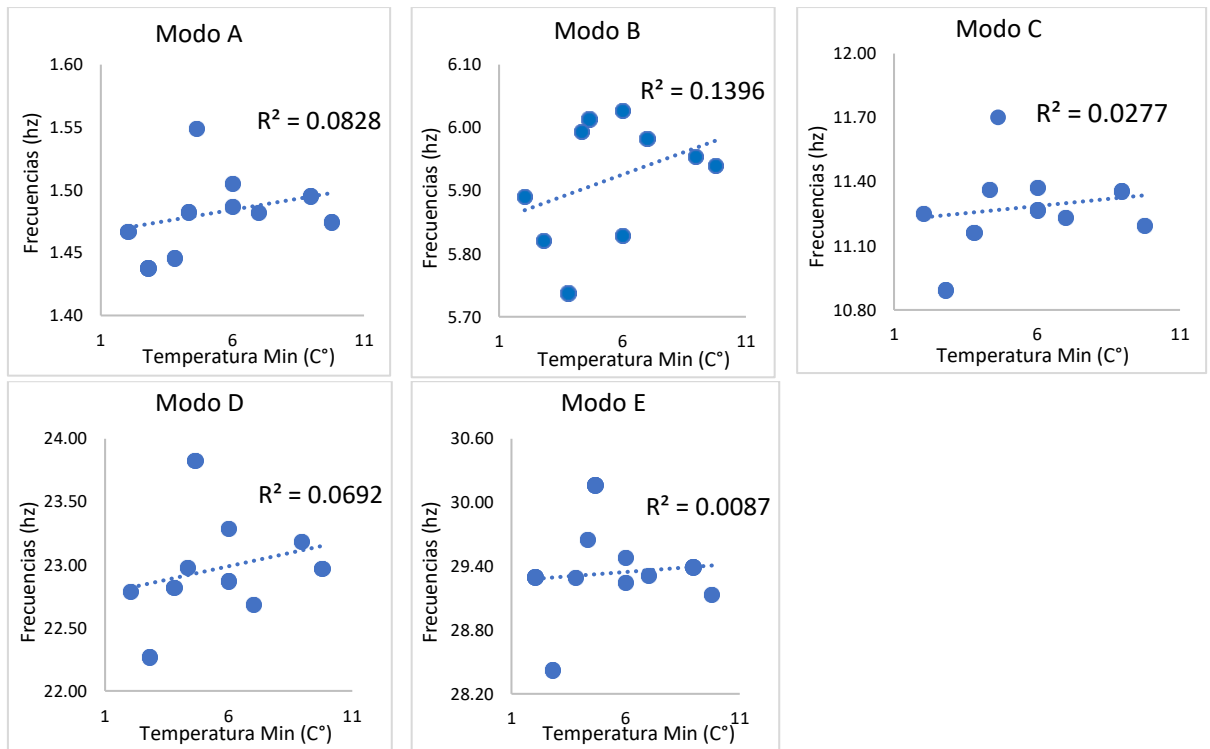


Figura 10. Coeficiente de correlación entre temperaturas mínimas y frecuencias modales (fuente: elaboración propia)

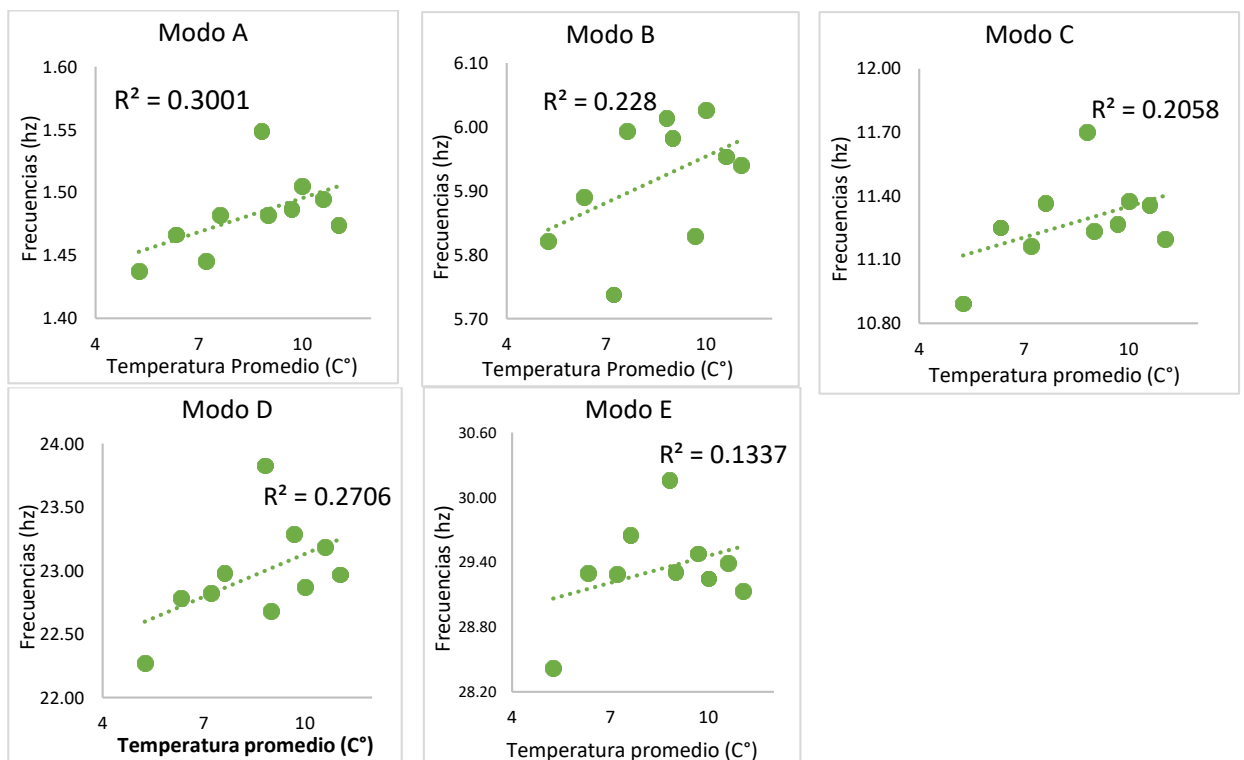


Figura 11. Coeficiente de correlación entre temperaturas promedio y frecuencias modales (fuente: elaboración propia)

4.4.2. Correlación entre frecuencias modales y Humedad.

Para el caso de la humedad, ya que se contaba con 4 muestras y sus humedades, se realizó un promedio entre estas, de esta forma obtener un valor que será representativo de la humedad diaria, luego se realizó la correspondiente correlación R^2 , para estas humedades y las frecuencias modales, los que se enseñan en la Figura 12. Podemos observar que las correlaciones son bajas, lo que indicaría una relación muy débil entre estas variables.

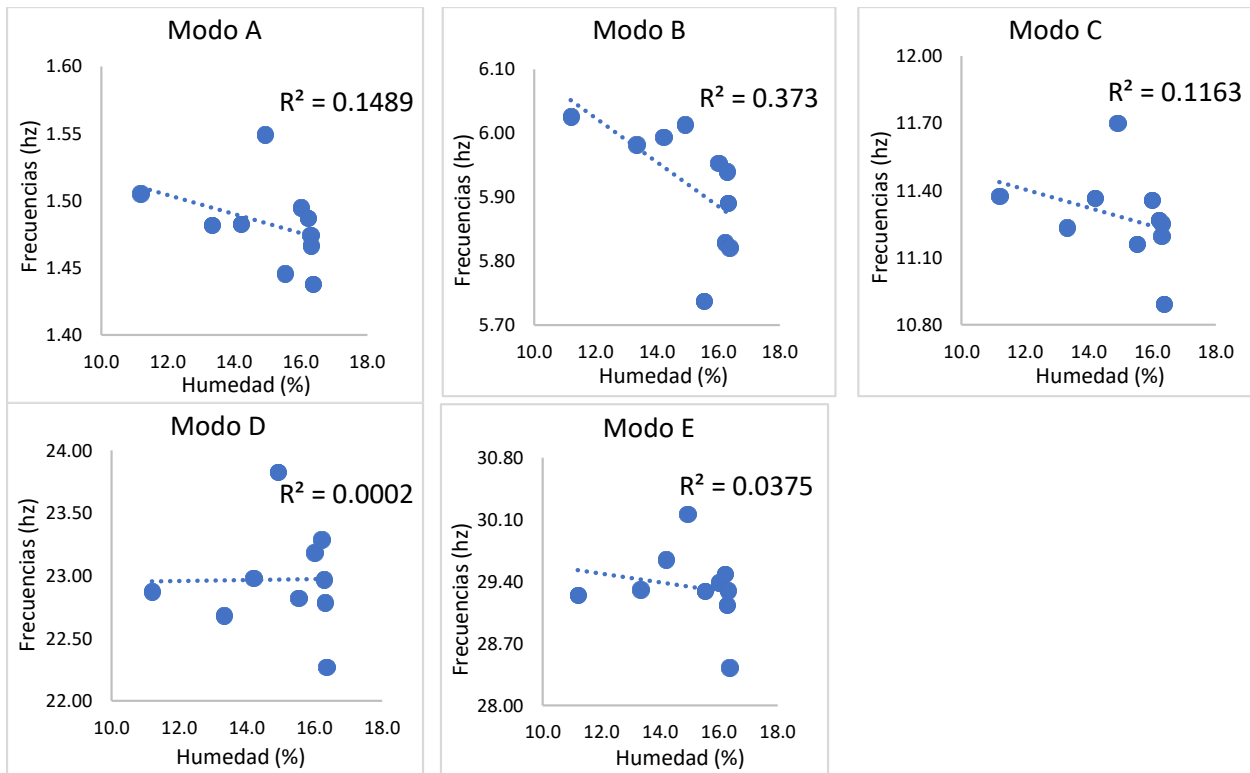


Figura 12. Coeficiente de correlación entre humedad y frecuencias modales (fuente: elaboración propia)

4.4.3. Correlación entre frecuencias modales y Precipitaciones.

Para el caso de las precipitaciones se realizaron 4 distintas relaciones de variables. Inicialmente se relacionaron las frecuencias modales con las precipitaciones diarias, luego las frecuencias modales con las precipitaciones acumuladas durante el día del ensayo y un día anterior, de igual manera con las precipitaciones acumuladas durante el día del ensayo más 3 días anteriores a este, y finalmente con las precipitaciones acumuladas durante el día del ensayo más 5 días anteriores. Todas estas relaciones se enseñan en la Figura 13, donde podemos observar que las precipitaciones que se presentan en el día del ensayo tienen relaciones muy bajas, de no más de 0.03 en el valor de R^2 , de la misma manera ocurre con la relación entre las frecuencias modales y las precipitaciones acumuladas durante 2 días, las cuales se mantienen en un orden muy bajo. Por el contrario, las correlaciones aumentan para los registros de 4 y 6 días de precipitaciones acumuladas, con 4 días acumulados, se obtuvieron valores para R^2 de mínimo 0,40 y 0.42, en el caso del modo D y E, y máximos de 0.74 y 0.64 en el modo A y C, respectivamente. De manera similar ocurre para los 6 días acumulados, ya que, aunque se presentan mínimos de 0.16 y 0.21 para el modo D y E, respetivamente, igual existen máximos de 0.53 y 0.74 para el modo B y A, lo que nos indicaría que para 4 y 6 días de precipitaciones acumuladas, si se presenta una relación entre las variables.

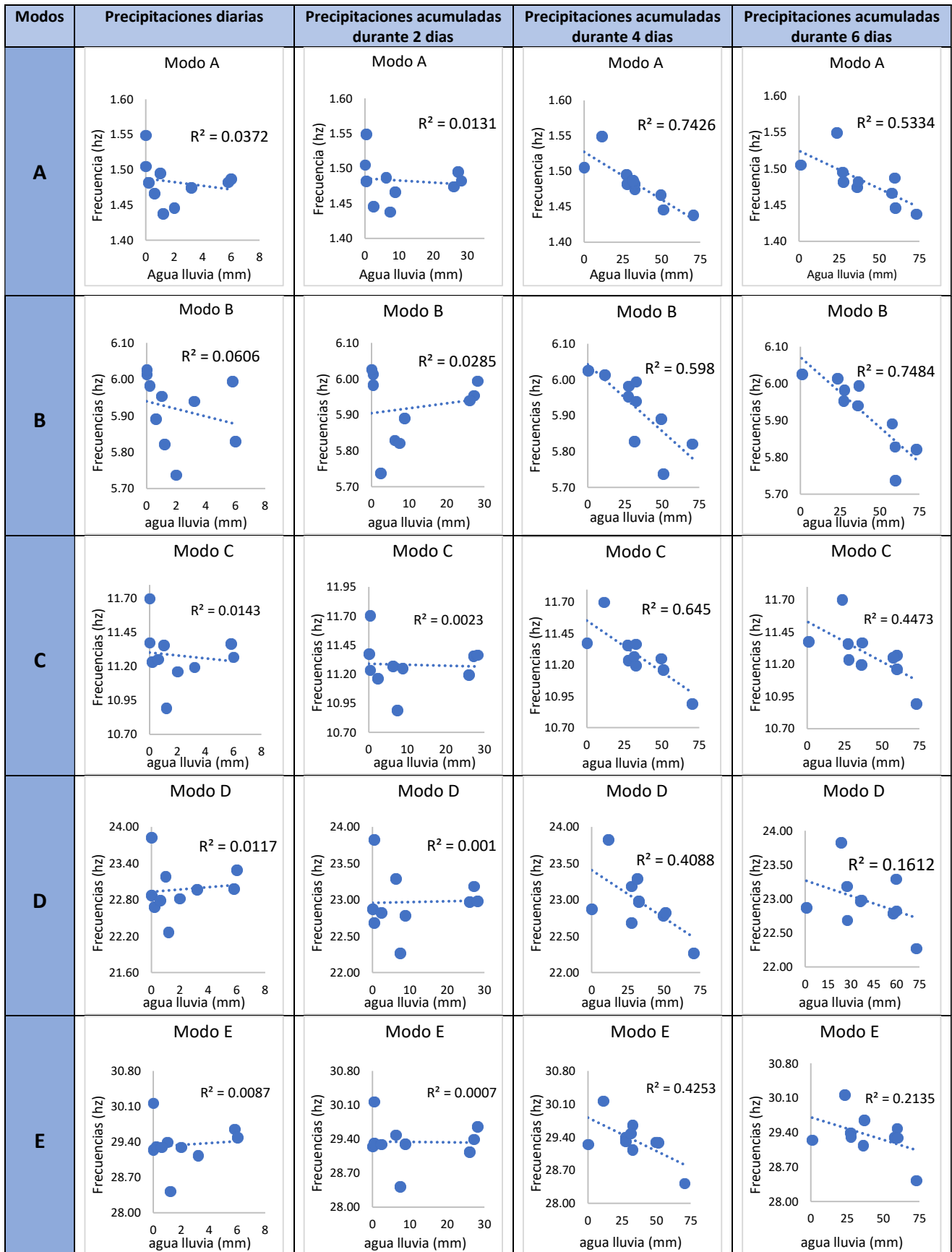


Figura 13. coeficiente de correlación entre precipitaciones y frecuencias modales
(Fuente: Elaboración propia)

5 Conclusiones

Mediante los estudios realizados en este proyecto, se lograron reconocer las formas modales correspondientes al muro de albañilería simple, a partir de las técnicas EFDD y SSI. Donde se rescataron 5 modos de vibración junto a sus frecuencias, estas se mantuvieron en un orden de aproximadamente 1.5 hz, 6 hz, 11 hz, 22 hz y 29 hz, correspondiente a los modos de vibrar A, B, C, D y E, respectivamente. Los valores MAC entre frecuencias de igual magnitud, pero en ensayos realizados en días diferentes, indican que todos los datos están sobre el 0.9, lo que significa una coincidencia buena a excelente. Mientras que, para las distintas frecuencias obtenidas en un mismo día, se obtuvieron resultados cercanos a 0,7 en el valor MAC, esto para el modo de vibrar A y C, ambos de flexión, y valores de 0,5 para el modo B y D, ambos modos de tipo torsión, finalmente entre las frecuencias restantes se obtuvieron valores menores a 0.1, lo que indica una diferencia absoluta (ortogonalidad) de los modos de vibración.

Las correlaciones R^2 realizadas entre las frecuencias naturales y las variables de temperatura mínimas y temperaturas promedio de la zona, entregaron una correlación baja. Por el contrario, la correlación R^2 obtenida para las temperaturas máximas y las frecuencias naturales es más alta. Cabe destacar que, si bien no existió una relación entre las temperaturas promedio y mínimas con respecto a las frecuencias modales, no podemos asegurar siempre este comportamiento, ya que el periodo en el cual se realizaron los diferentes ensayos, las temperaturas no variaron lo suficiente, para tener seguridad en estos resultados.

Con respecto a la relación existente entre los resultados del análisis modal con las precipitaciones registradas, se obtuvo que las precipitaciones obtenidas el mismo día del ensayo, no causan efecto en los resultados, al igual que las precipitaciones causadas por un día anterior. De forma opuesta, si se encontró una mejor correlación entre las precipitaciones acumuladas durante 4 o 6 días. Esta correlación denota la disminución en las frecuencias en función del aumento de las precipitaciones acumuladas, lo cual se corresponde con lo esperado, ya que estas precipitaciones aumentan la masa del sujeto de prueba, causando una disminución en sus frecuencias. Por lo que se recomienda que en estudios posteriores, se pueda identificar la capacidad de absorción del muro, de esta manera poder identificar la intensidad y duración necesaria de las precipitaciones, que provocarán un aumento significativo en la masa del muro, causando efectos en las frecuencias modales.

Con relación al efecto de la humedad sobre los resultados obtenidos mediante el análisis modal, estos fueron comparados a través de 4 probetas, expuestas a las precipitaciones que se presentaron en el periodo de estudio, al igual que el muro de albañilería analizado, de las cuales se promediaron, para obtener una humedad diaria. Las correlaciones R^2 obtenidas entre esta variable y las frecuencias modales arrojó poca relación, lo cual podría deberse al periodo de tiempo del estudio, ya que en los meses de junio y julio donde se lleva el estudio a cabo, las precipitaciones se mantuvieron constantes y la temperatura no presento gran variación, por lo que el sujeto de prueba nunca alcanzo a perder una cantidad de humedad considerable. Por estos motivos se sugiere realizar una comparativa con datos obtenidos en periodo de temperaturas más altas, y menos precipitaciones, ya que de esta forma se esperaría obtener una mayor discrepancia entre los resultados, lo que significaría una mejor conclusión en base a estas variables.

6 Agradecimientos

Esta investigación fue financiada por el Programa de Gestión de Riesgos y Resiliencia del Núcleo Científico Tecnológico para el Desarrollo Costero Sustentable en el marco del proyecto MECESUP USC2095.

7 REFERENCIAS

[1] **Instituto Nacional de Normalización. (2003).** “Albañilería confinada - Requisitos de diseño y cálculo”. Norma Chilena Oficial. Nch 2123 of 2003.



- [2] **Corradi, M.; Giaccone, D. & Santamaria, U. (2020).** “An Experimental Study on the Effect of Water on Historic Brickwork Masonry” *Heritage* 3, no. 1: 29-46. <https://doi.org/10.3390/heritage3010003>.
- [3] **Torrez, K. (2017).** “Análisis de las fallas encontradas en los acabados de los muros en las edificaciones con ladrillo de arcilla y planteamiento de las posibles soluciones”. Universidad Alas peruanas. Perú.
- [4] **Cavalagli, N.; Kita, A. & Ubertini, F. (2018).** “Temperatura effects on static and Dynamic behavior of Consoli Palace in Gubbio Italy”, *Mechanical Systems and Signal Processing*. Volume 120, Pages 180-202, ISSN 0888-3270, <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2018.10.021>.
- [5] **Campos-Costa, A.; De Roeck, G.; Lourenco, P.; Marqués, L.; Ramos, L. & Roque, J. (2010).** “Monitoring historical masonry structures with operational modal analysis: Two case studies” *Mechanical Systems and Signal Processing*, Volume 24, Issue 5, 2010, Pages 1291-1305, ISSN 0888-3270, <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2010.01.011>.
- [6] **Ceravolo, R.; Coletta, G.; Miraglia, G. & Palma, F. (2020).** “Statistical correlation between environmental time series and data from long-term monitoring of Buildings” *Mechanical Systems and Signal Processing*, Volume 152, 2021, 107460, ISSN 0888-3270 <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2020.107460>.
- [7] **Cavalagli, N.; Comanducci, G.; Cotana, F.; Pisello, A, N.; Materazzi, A. L. & Ubertini, F. (2017).** “Environmental effects on natural frequencies of the San Pietro bell tower in Perugia, Italy, and their removal for structural performance assessment, *Mechanical Systems and Signal Processing*. Volume 82, 2017, Pages 307-322, ISSN 0888-3270, <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2016.05.025>.
- [8] **Freire, C. (2011)** “Implementación y validación del método mejorado de descomposición en el dominio de la frecuencia (EFDD) para la identificación de los parámetros modales de estructuras genéricas utilizando ruido ambiente. Estudio del rango de aplicabilidad en función del modelo estructural y las condiciones de uso”. Universidad de las Palmas de Gran Canaria.
- [9] **Akhlaq, H.; Butt, F.; Alwetaishi, M.; Riaz, M.; Benjeddou, O. & Hussein, E.E. (2022)** “Structural Identification of a 90 m High Minaret of a Landmark Structure under Ambient Vibrations”. <https://doi.org/10.3390/buildings12020252>.
- [10] **Zamora, L.; Maureira, N. & Oyarzo, C. (2017).**” Identificación experimental de las propiedades Dinámicas de un modelo estructural mixto sometido a vibraciones ambientales”. Universidad Católica de la Santísima Concepción.
- [11] **Correa, L. & Quijano, S. (2018).** “análisis estadístico de modos de vibración en columnas de concreto reforzado” Universidad Pontificia Bolivariana.
- [12] **Oyarzo, C. & Chouw, N. (2017).**” "Damage Identification of Unreinforced Masonry Panels Using Vibration-Based Techniques", *Shock and Vibration*, vol. 2017, Article ID 9161025, 14 pages, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/9161025>.