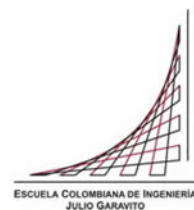


Maestría en Ingeniería Civil

Detección y caracterización del proceso de microfisuramiento y deslizamiento de barras de GFRP como refuerzo interno en muros de mampostería en concreto mediante la técnica de emisiones acústicas

John Sigifredo Alvarez Rodríguez

Bogotá, D.C., 28 de Mayo de 2021



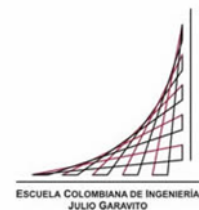
Detección y caracterización del proceso de microfisuramiento y deslizamiento de barras de GFRP como refuerzo interno en muros de mampostería en concreto mediante la técnica de emisiones acústicas

Tesis para optar al título de magíster en Ingeniería Civil, con énfasis en estructuras

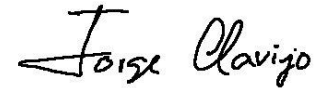
Fis. PhD. Jorge E. Clavijo R.

Director

Bogotá, D.C., 28 de Mayo de 2021



La tesis de maestría titulada “DETECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE MICROFISURAMIENTO Y DESLIZAMIENTO DE BARRAS DE GFRP COMO REFUERZO INTERNO EN MUROS DE MAMPOSTERÍA EN CONCRETO MEDIANTE LA TÉCNICA DE EMISIONES ACÚSTICAS”, presentada por John Sigifredo Alvarez Rodríguez, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Estructuras.



Director de la tesis

Jorge Enrique Clavijo Ramírez

Jurados:

Sandra Rocio Jerez Barbosa

Carlos Eugenio Palomino Arias

Bogotá, D.C., 28 de mayo de 2021

Dedico este trabajo a mi familia quienes siempre me apoyaron y me inculcaron los valores para convertirme en la persona que soy ahora.

Agradecimientos

A mi padre que desde el cielo me iluminó y me dio la fortaleza para poder realizar este trabajo. A mi madre quien a lo largo de mi vida ha contribuido con mi enseñanza, amor y apoyo en todas las circunstancias, ofreciéndome el ejemplo de trabajo y esfuerzo para cumplir con mis metas.

A los docentes del programa de maestría en ingeniería civil, quienes con integridad aportaron nuevos conocimientos en mi carrera profesional, inspirándome a realizar día a día con amor el desarrollo de la ingeniería.

Agradezco a mi director de tesis, Jorge Enrique Clavijo Ramírez, por la coordinación, confianza, paciencia, dedicación y por todo el apoyo entregado en la realización y culminación de este trabajo.

Resumen

De acuerdo a los avances que se han venido desarrollando en el área estructural, se encuentra la necesidad de incorporar nuevas tecnologías que evalúen el estado de los materiales; Teniendo en cuenta esto, la escuela colombiana de ingeniería Julio Garavito plantea un proyecto de investigación con el fin de identificar el proceso de micro-fisuramiento, el cual no es posible detectar visualmente y que compromete su integridad estructural. Para realizar esta inspección se utilizó una de las técnicas más interesantes de evaluación no destructiva como lo es el método de emisión acústica (EA).

En la actualidad esta técnica ha cobrado importancia debido a la capacidad de seguir en tiempo real el deterioro de las estructuras y además, por la posibilidad de asociar las formas de onda de la emisión con el tipo de evento que la genera. De este modo es posible distinguir entre microfisuras asociadas con procesos de tensión-compresión de las originadas por procesos tipo corte. Esta categorización brinda una herramienta muy importante en la predicción de anomalías en la estructura.

Con el fin de estudiar la técnica, en este trabajo se analizaron ocho (8) muros de mampostería en concreto reforzados con barras de GFRP (Glass fiber reinforced polymer, por sus siglas en inglés); Estos fueron sometidos a unas cargas cíclicas perpendiculares a su plano hasta el punto de desarrollar esfuerzos de flexión en ellos.

Las emisiones fueron detectadas por medio de un sensor piezoeléctrico ubicado en la superficie del muro, con esta información se caracterizó la generación de micro-fisuras por medio de un análisis paramétrico utilizando los valores de frecuencia promedio (FA) y ángulo de elevación (RA), para así de esta manera clasificar, a nivel cualitativo, las emisiones de acuerdo con el tipo de evento que la originó corte o tensión.

Palabras clave: Emisión Acústica, mampostería, microfisuramiento, GFRP, RA, FA.

Índice General

Introducción	15
1. CAPÍTULO I	18
MARCO TEÓRICO	18
1.1 EL MÉTODO DE EMISIÓN ACÚSTICA.....	18
1.1.1 Efecto Kaiser.....	19
1.1.2 Efecto Felicity	20
1.2 ANÁLISIS PARAMÉTRICO	21
1.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TÉCNICA DE EMISIONES ACÚSTICAS.....	23
1.3.1 Ventajas	23
1.3.2 Desventajas.....	24
1.4 EQUIPO PARA LA MONITORIZACIÓN DE EA.....	24
1.4.1 Sensores piezoeléctricos.....	24
1.4.2 Adquisición de la señal.....	25
1.4.2.1 Preamplificador y filtro de señal	25
1.4.2.2 Convertidor A/D.....	26
1.4.3 Procesamiento de la señal	26
1.5 FISURAMIENTO POR DESLIZAMIENTO	26
2. CAPÍTULO II	29
ESTADO DEL ARTE.....	29
2.1 INVESTIGACIONES REALIZADAS A NIVEL MUNDIAL CON EA.....	29
2.1.1 Moment Tensor Analysis of Acoustic Emission for Cracking Mechanisms in Concrete. (Ohtsu M. et al.1998)	29
2.1.2 Use of acoustic emission to identify damage modes in glass fibre reinforced polyester. (Huguet et al., 2002)	29
2.1.3 Acoustic emission monitoring of fatigue crack propagation. (Roberts & Talebzadeh, 2003)	30

2.1.4	Predicting the ultimate bending capacity of concrete beams from the “relaxation ratio” analysis of EA signals. (Colombo et al., 2005)	30
2.1.5	Classification of cracking mode in concrete by acoustic emission parameters. (Aggelis, 2011)	31
2.1.6	Acoustic emission monitoring of a reinforced concrete shear wall by b-value–based outlier análisis. (Farhidzadeh et al., 2013).....	31
2.1.7	Assessment of progressive damages in concrete with acoustic emission technique. (Shah et al., 2014)	32
2.1.8	Analysis of the Acoustic Emission in a Reinforced Concrete beam using a four points bending test. (Guzmán et al., 2015).....	32
2.1.9	Acoustic emission characteristics of reinforced concrete beams with varying percentage of tension steel reinforcement under flexural loading. (Vidya Sagar, 2017)	33
2.1.10	Acoustic emission monitoring of reinforced concrete beams subjected to four-point-bending. (Prem & Murthy, 2017)	33
2.1.11	Damage monitoring of three-point bending concrete specimens by acoustic emission and resonant frequency analysis. (Lacidogna et al., 2019)	34
2.2	INVESTIGACIONES REALIZADAS A NIVEL NACIONAL CON EA.....	35
2.2.1	Caracterización experimental de daño en vigas de concreto sometidas a carga cíclica usando emisión acústica. (Panesso, Samboni, Romero , Marulanda, & Thomson, 2016)....	35
2.3	CONCLUSIÓN A RAZÓN DE SU ESTADO DE ARTE	35
3.	CAPÍTULO III	36
	OBJETIVOS	36
3.1	OBJETIVO GENERAL.....	36
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	36
4.	CAPÍTULO III	37
	PROGRAMA EXPERIMENTAL	37
4.1	METODOLOGÍA.....	37
5.	CAPÍTULO V	44
	RESULTADOS Y ANÁLISIS	44
5.1	RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO	44

5.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS	53
6.	CAPÍTULO VI.....	59
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59

Índice de Tablas

Tabla 1: Identificación de muros experimental y características	38
---	----

Índice de Figuras

Figura 1.	Esquema representativo de la técnica de emisiones acústicas.	19
Figura 2.	Efectos Kaiser y Felicity (Ensayo realizado por el grupo GIMECI)	20
Figura 3.	Definición de los parámetros individuales para una emisión acústica.	21
Figura 4.	Actividad acústica (azul), parámetro AF (verde) y parámetro RA (rojo) generados por un muro bajo compresión diagonal que falla por corte.....	22
Figura 5.	Sensor Piezoeléctrico de medición de EA. (Valera et al., n.d.).....	25
Figura 6.	Etapas del proceso de fallo por extracción de la barra. (Gallego et al., 2016).....	27
Figura 7.	Características del Muro. (Ensayo realizado por el grupo GIMECI de la Escuela Colombiana de Ingeniería)	38
Figura 8.	Ubicación de las barras en las dovelas del muro	38
Figura 9.	Posicionamiento de las barras de GFRP dentro del Muro. (Arley & Gómez, 2020)	39
Figura 10.	Las puntas de los lápices se rompieron en diferentes ubicaciones xAE para detectar registros. (Ernst & Dual, 2014)	40
Figura 11.	Colocación del sensor de Emisión Acústica. (Ensayo realizado por el grupo GIMECI de la Escuela Colombiana de Ingeniería)	40
Figura 12.	Colocación del potenciómetro. (Ensayo realizado por el grupo GIMECI de la Escuela Colombiana de Ingeniería).....	41
Figura 13.	Muro sometido a esfuerzos de flexión debido a las cargas aplicadas. (Ensayo realizado por el grupo GIMECI de la Escuela Colombiana de Ingeniería).....	42
Figura 14.	Almacenamiento y registro de datos de EA.....	42
Figura 15.	Esquema experimental de un equipo de emisiones acústicas.....	43
Figura 16.	Grafica Frecuencia Promedio Vs Tiempo con relación a la carga - M1.	45
Figura 17.	Grafica RA Vs Tiempo con relación a la carga - M1.....	45

Figura 18.	Grafica Energía Vs Tiempo con relación a la carga - M1.....	46
Figura 19.	Grafica Frecuencia Promedio Vs Tiempo con relación a la carga – M3.....	46
Figura 20.	Grafica RA Vs Tiempo con relación a la carga – M3.	47
Figura 21.	Grafica Energía Vs Tiempo con relación a la carga – M3.....	47
Figura 22.	Grafica Frecuencia Promedio Vs Tiempo con relación a la carga – M5.....	47
Figura 23.	Grafica RA Vs Tiempo con relación a la carga – M5.	48
Figura 24.	Grafica Energía Vs Tiempo con relación a la carga – M5.....	48
Figura 25.	Grafica Frecuencia Promedio Vs Tiempo con relación a la carga – M9.....	48
Figura 26.	Grafica RA Vs Tiempo con relación a la carga – M9.	49
Figura 27.	Grafica Energía Vs Tiempo con relación a la carga – M9.....	49
Figura 28.	Grafica Frecuencia Promedio Vs Tiempo con relación a la carga - M13.	49
Figura 29.	Grafica RA Vs Tiempo con relación a la carga - M13.....	50
Figura 30.	Grafica Energía Vs Tiempo con relación a la carga - M13.....	50
Figura 31.	Grafica Frecuencia Promedio Vs Tiempo con relación a la carga - M14.	50
Figura 32.	Grafica RA Vs Tiempo con relación a la carga - M14.....	51
Figura 33.	Grafica Energía Vs Tiempo con relación a la carga - M14.....	51
Figura 34.	Grafica Frecuencia Promedio Vs Tiempo con relación a la carga - M18.	51
Figura 35.	Grafica RA Vs Tiempo con relación a la carga - M18.....	52
Figura 36.	Grafica Energía Vs Tiempo con relación a la carga - M18.....	52
Figura 37.	Grafica Frecuencia Promedio Vs Tiempo con relación a la carga – M20.....	52
Figura 38.	Grafica RA Vs Tiempo con relación a la carga – M20.	53
Figura 39.	Grafica Energía Vs Tiempo con relación a la carga – M20.....	53
Figura 40.	Grafica AF Vs RA – M1.....	55
Figura 41.	Grafica AF Vs RA – M3.....	55
Figura 42.	Grafica AF Vs RA – M5.....	56

Figura 43.	Grafica AF Vs RA – M9.....	56
Figura 44.	Grafica AF Vs RA – M13.....	57
Figura 45.	Grafica AF Vs RA – M14.....	57
Figura 46.	Grafica AF Vs RA – M18.....	58
Figura 47.	Grafica AF Vs RA – M20.....	58

Índice de Anexos

ANEXO A	64
---------------	----

Introducción

A lo largo de la vida útil de las estructuras los materiales como el concreto están expuestos a diversos factores externos que pueden limitar su rendimiento. Por ejemplo, diseños deficientes, malas técnicas de construcción, falta de mantenimiento, condiciones sísmicas o ambientales o el aumento de las cargas pueden desencadenar en el colapso de la estructura o requerir de su reparación inmediata.

Debido a esto, una evaluación no destructiva proporcionaría mucha información de la situación en la que se encuentra un elemento estructural en determinado momento, para poder identificar la procedencia de las fisuras, conocer su localización y su respectivo tamaño.

Como el concreto es un material frágil, debido a su baja resistencia a la tracción, la fisuración es una de sus manifestaciones de daño interno, resultado de los diferentes esfuerzos en el material producidos e inducidos por la aplicación de cargas externas o de fuentes internas tales como retracción o corrosión.

En consecuencia, la detección e inicio de defectos o daños en las estructuras de concreto ocurre en forma de micro-fisuramientos distribuidos que eventualmente se van agrandando hasta formar fisuras en la naturaleza heterogénea del material. Por esta razón se han implementado ensayos para poder parametrizar y caracterizar el modo de formación de las fisuras. Destacan los ensayos realizados con hormigón armado (Ohtsu y Tomoda de 2007), los de flexión de hormigón armado con barras de acero (Ohno y Ohtsu de 2010) o con fibras de acero (Soulioti et al., 2009), así como con fibras de vinilo (Aggelis et al., 2009).

Este problema ha tenido una gran relevancia en los últimos años alrededor del mundo, por tal motivo la monitorización estructural ha tenido un gran desarrollo. Esto se ha debido a la aceptación de sus ventajas en estudios estructurales y también por el desarrollo de nuevas tecnologías traducidas en mejores equipos y sistemas de información. Algunas técnicas actuales permiten identificar, diagnosticar y localizar el daño según los cambios estáticos y dinámicos que presente el elemento estructural. Es interesante observar que estas técnicas nacen de la unión de la respuesta empírica a un problema específico de Ingeniería, más precisamente del procesamiento de señales, con los conceptos preexistentes de la física,

por tal razón se optó por utilizar para este proyecto uno de los métodos que actualmente está tomando más auge, denominado como la técnica de emisión acústica (EA).

El método de EA puede ser aplicado prácticamente a cualquier estructura que se encuentre sujeta a esfuerzos, ya sean mecánicos o térmicos o una combinación de ambos. Sus principales aplicaciones están en las industrias química, petroquímica, papelera, aeronáutica, alimenticia, cerámica y construcción entre otras. Sus grandes beneficios han servido en los estudios de evaluación de integridad estructural, detección de fugas en tanques, recipientes a presión, tuberías, puentes, etc.

De especial interés son los elementos estructurales sometidos a flexión, esto debido a la necesidad de detectar fallas originadas por desplazamientos relativos entre sus barras de refuerzo cuando están confinadas dentro de un núcleo de concreto o mortero. El microfisuramiento originado por este fenómeno puede afectar la caracterización interna de la estructura y monitorear su evolución puede dar herramientas para la evaluación de su integridad.

Motivados por esta necesidad, en este trabajo se realiza un estudio de detección y caracterización de las emisiones acústicas producidas por la flexión de muros de mampostería reforzados con barras de GFRP. Los muros son sometidos a esfuerzos cíclicos perpendiculares fuera del plano y las emisiones acústicas son detectadas con un sensor piezoeléctrico mono-canal ubicado en la superficie del muro. El equipo de detección usado permite amplificar la señal, filtrar el ruido acústico ambiente y adquirir la señal a una tasa de 5.0 MHz, suficientemente alta para capturar los parámetros asociados con cada emisión. Como medida adicional se instala otro sistema de registro para detectar el eventual desplazamiento de la barra en la cara superior del muro. Esto se hace con un potenciómetro ubicado sobre la barra de refuerzo del muro con el extremo móvil del potenciómetro fijo a la barra y su cuerpo en contacto con el mortero de relleno, de esta manera también se pretende medir el desplazamiento entre estas cuando están traslapadas o cuando están en contacto directo con el material que las confina.

El estudio de las emisiones acústicas se realiza en el marco del análisis paramétrico. Este análisis está basado en características de las emisiones que pueden ser tomadas directamente de la forma de onda de la emisión. Aunque en la actualidad existen técnicas más sofisticadas, el análisis paramétrico permite, de manera directa, la clasificación de las

emisiones de acuerdo con el tipo de evento que la genera, es decir, tensión-compresión o corte.

La metodología usada en el presente proyecto de investigación se compone de dos partes: la primera explora la teoría general y los estudios reportados en la literatura científica y relevantes para esta investigación. La segunda describe el programa experimental y los resultados y conclusiones obtenidos.

El documento se compone de seis capítulos.

En el capítulo 1 se describen los fundamentos de la técnica de emisiones acústicas. Se muestran los fenómenos que generalmente exhiben los materiales bajo esfuerzos cíclicos.

En el capítulo 2 se presenta el estado de arte en Europa y Estados Unidos resaltando los diferentes ensayos que se han realizado usando el método de emisiones acústicas en elementos estructurales, conociendo su variedad metodológica y su análisis paramétrico.

En el capítulo 3 se plantea el objetivo general y los objetivos específicos de la investigación.

En el capítulo 4 se describe el programa experimental en el laboratorio, se representa como se realizan los ensayos para comprobar la existencia de señales de EA, frente a las fisuras y desplazamientos presentados por las barras de GFRP durante la prueba de carga. También se describe el proceso de instrumentación hasta el procesamiento de la señal.

En el capítulo 5 se muestran los resultados obtenidos con el respectivo análisis y se discuten los alcances del estudio realizado.

En el capítulo 6 presentan las conclusiones obtenidas en el desarrollo de la investigación y se plantean recomendaciones para futuras investigaciones relacionadas con el tema en estudio.

Por último, se presenta la bibliografía y el anexo con los datos registrados en los ensayos de laboratorio para un muro en especial.

1. Capítulo I

Marco Teórico

Se presenta a continuación la base teórica que contiene los conceptos utilizados durante el desarrollo del trabajo, la elaboración de los ensayos y la interpretación de resultados obtenidos. En el presente capítulo se presentan los conceptos fundamentales asociados con el método de emisión acústica. Se inicia describiendo cómo se desarrolló el método, sus fundamentos y las características para el procesamiento de la señal. Posteriormente se describen la interpretación de datos y su uso en la evaluación de estructuras.

1.1 El Método de Emisión Acústica

La técnica de emisiones acústicas está basada en la onda mecánica producida durante la generación y crecimiento de las fisuras. Esta onda surge como consecuencia de la liberación de parte de la energía elástica acumulada en el material durante el proceso de carga, por consiguiente, en esta técnica no se requiere de un estímulo externo y, más importante aún, permite el seguimiento en tiempo real del proceso de microfisuramiento. Esta es una ventaja sobre otras técnicas que permiten analizar el estado del material solo después de finalizado el ensayo.

Debido a la capacidad de las ondas mecánicas de viajar a lo largo del material, las emisiones acústicas pueden ser detectadas con sensores ubicados en la superficie de la estructura. Generalmente, el sensor consiste de un transductor piezoeléctrico que convierte la perturbación mecánica en una señal eléctrica. La señal debe ser amplificada, filtrada y adquirida a una tasa del orden de 1,0 MHz para capturar todas las características de la emisión cuya frecuencia va de 100 kHz a 300 kHz. Un esquema del montaje experimental típico asociado con la técnica se muestra en la Figura 2.

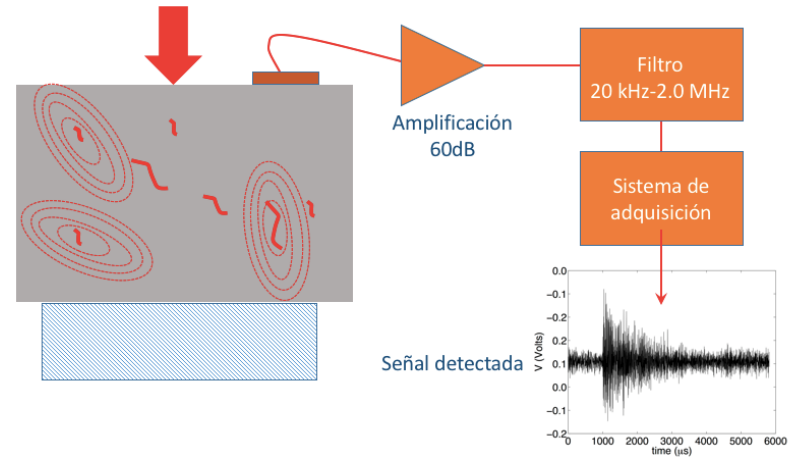


Figura 1. Esquema representativo de la técnica de emisiones acústicas.

Esta técnica se ha venido desarrollando desde 1960 y actualmente es ampliamente usada en la industria para detectar, caracterizar y realizar el seguimiento de la evolución de discontinuidades en diversos materiales.

1.1.1 Efecto Kaiser

Este efecto se observa en ensayos bajo esfuerzos cíclicos y consiste en que la actividad acústica, definida como el número de emisiones por unidad de tiempo, se incrementa a medida que el esfuerzo sobre el material aumenta. Sin embargo, este proceso es irreversible. Si el esfuerzo disminuye, la actividad acústica cesará (silencio acústico) y solo se reactivará cuando se supere el máximo esfuerzo del ciclo anterior. El efecto Kaiser fue denominado así por Joseh Kaiser quien fue el primero en analizar el ruido emitido durante la aplicación de una carga de compresión en el hormigón [1959], siendo uno de los primeros estudios en materiales de ingeniería. Este efecto se cumple en los estados iniciales del proceso de carga y en general se satisface si no se supera entre el 50% y el 75% del nivel de la esfuerzo que produce la falla.

En la Figura 1 se puede observar el efecto Kaiser para los primeros ciclos de carga en un ensayo realizado por el grupo GIMECI de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

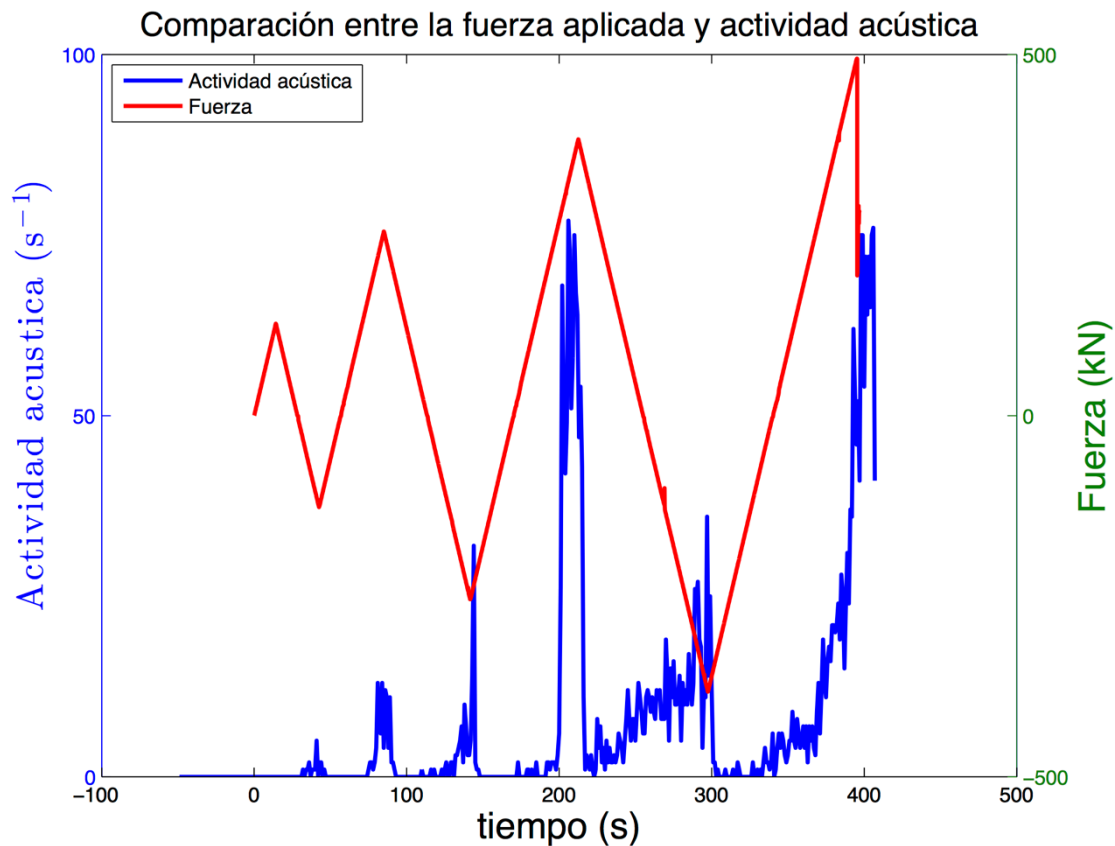


Figura 2. Efectos Kaiser y Felicity (Ensayo realizado por el grupo GIMECI)

El efecto Kaiser tiene aplicaciones prácticas interesantes. Por ejemplo, una estructura puede ser inspeccionada buscando actividad acústica bajo ciertas cargas de prueba, si a pesar de la aplicación del esfuerzo la estructura presenta silencio acústico, se puede inferir que esta ha soportado previamente cargas superiores a las de la inspección.

1.1.2 Efecto Felicity

En muchos materiales el Efecto Kaiser se cumple para esfuerzos bajos comparados con el de ruptura. Sin embargo, cuando el material ha alcanzado esfuerzos cercanos al de ruptura, la actividad acústica puede tomar valores significativos aun cuando el

esfuerzo disminuye a valores lejanos del crítico, esto es conocido como el efecto Felicity. En ensayos con cargas cíclicas esto indica que es posible tener emisiones en un ciclo dado sin necesidad de superar el máximo del ciclo anterior y es un indicativo del alto grado de fisuramiento del material. En la Figura 2 puede apreciarse este fenómeno en los últimos ciclos del proceso.

1.2 Análisis Paramétrico

Los efectos Kaiser y Felicity reflejan el comportamiento estadístico de la actividad acústica, pero no dan información acerca de las características de las señales individuales. Para tal fin es necesario analizar la forma de onda de las emisiones individuales. Aunque la forma de la señal acústica puede llegar a ser compleja, se pueden definir algunos parámetros generales que permiten parte de su caracterización. Estos parámetros son: Amplitud, tiempo de ascenso, duración y el número de veces que la señal corta un umbral de ruido previamente definido. La definición de estos parámetros se puede apreciar en la Figura 3.

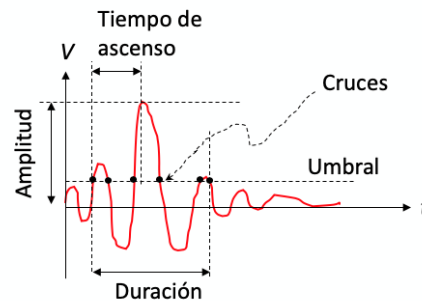


Figura 3. Definición de los parámetros individuales para una emisión acústica.

A partir de estos parámetros es posible realizar una diferenciación entre los eventos acústicos originados por microgrietas tipo corte de los originados por las de tipo tensión o compresión. Para las tipo corte la mayor parte su energía es emitida como ondas de cizalla, mientras que para las de tipo tensión o compresión la mayor parte de su energía se emite como ondas longitudinales. Debido a que las ondas longitudinales viajan más rápido que

las de tipo cizalla, los eventos acústicos originados por tensión o compresión mostrarán menor tiempo de ascenso y más cruces que los asociados con cortes.

Esta información se puede sintetizar en dos parámetros conocidos como el ángulo de elevación y la frecuencia promedio (RA y AF, respectivamente):

$$RA=(\text{tiempo de ascenso})/\text{Amplitud}$$

$$AF=(\text{número de cruces})/\text{Duración},$$

donde RA generalmente se expresa en ms/dB y AF en kHz. Así, los eventos tipo corte tendrán valores grandes de RA y valores pequeños de AF, mientras que los de tipo tensión o compresión mostrarán el comportamiento inverso. En la Figura 4 se muestra el comportamiento de los parámetros RA y AF en un ensayo realizado sobre un muro sometido a esfuerzos diagonales que llevaron a un fallo por corte. Puede apreciarse como antes del fallo el parámetro RA (rojo) incrementa drásticamente su valor. El parámetro AF no muestra el mismo comportamiento.

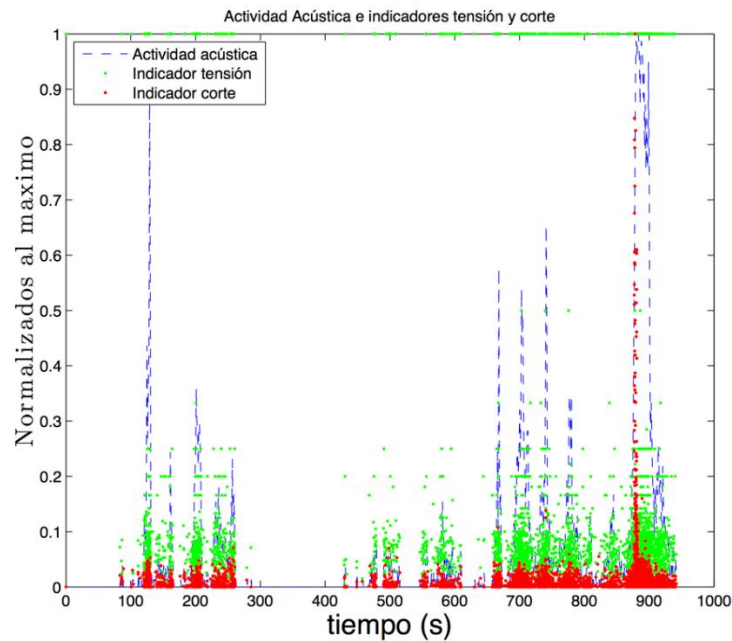


Figura 4. Actividad acústica (azul), parámetro AF (verde) y parámetro RA (rojo) generados por un muro bajo compresión diagonal que falla por corte.

1.3 Ventajas y Desventajas de la Técnica de Emisiones Acústicas

A continuación, se presentan las ventajas y desventajas más significativas del método de emisiones acústicas con respecto a otros métodos no destructivos (NDT):

1.3.1 Ventajas

- La señal detectada permite inferir de una manera rápida la presencia de defectos o micro-fisuras que se manifiestan dentro del material estructural y realizar una monitorización global de la misma. Esto puede hacerse inclusive con un solo sensor.
- Durante la realización de los ensayos el proceso de micro-fisuramiento se puede observar toda su historia de carga, sin ninguna perturbación de la muestra.
- Los sensores pueden ser fijados a la superficie del elemento durante todo el tiempo que dure el ensayo y no tienen que ser desplazados punto por punto para la explorar algún sitio de la estructura.
- La energía que se detecta se libera del interior del material que se está inspeccionando, a diferencia de otros en los cuales es necesario excitar el material con fuentes externas, como rayos X, ondas ultrasónicas o flujos de calor.
- Con un número suficiente de sensores es posible localizar el defecto o la falla a partir de la diferencia del tiempo de llegada de las emisiones.
- Una inspección general se puede realizar con pocos sensores debido a que cada uno abarca una gran área de registro. Esta característica es muy útil en estructuras extensas y donde las áreas de inspección son difíciles.
- La Emisión Acústica es muy utilizada bajo condiciones reales de carga, esto permite analizar las fallas o anomalías que están ocurriendo dentro del elemento estructural. Con otras técnicas, es posible identificar la presencia de una anomalía, pero es muy difícil determinar sus defectos cuando la estructura está en su estado de servicio.

- Esta técnica se puede emplear para pronosticar la cercanía a un fallo catastrófico.
- Al ser un ensayo no-direccional no tiene mucha importancia la posición relativa entre los sensores y las discontinuidades a detectar.
- Los equipos de medición son relativamente sencillos, de bajo costo y se pueden utilizar para monitorear la estructura en un solo ensayo.

1.3.2 Desventajas

- En algunos casos es difícil diferenciar entre señales características de EA con las señales producidas por el ruido exterior.
- Es necesario aplicar una carga o movimiento para producir una señal.
- A pesar de que se localizan las fallas y defectos, la relación con su tamaño no siempre es directa.

1.4 Equipo para la Monitorización de EA

En el proceso de monitorización se utilizan diferentes tipos de instrumentos los cuales se mencionan a continuación:

1.4.1 Sensores piezoeléctricos

El sensor de las emisiones es un transductor piezoeléctrico que se adhiere a la superficie de la estructura. En general se trabaja con transductores resonantes que operan entre los 150 kHz y los 300 kHz. En la Figura 5 se muestra un sensor típico y su curva de ganancia en frecuencia.

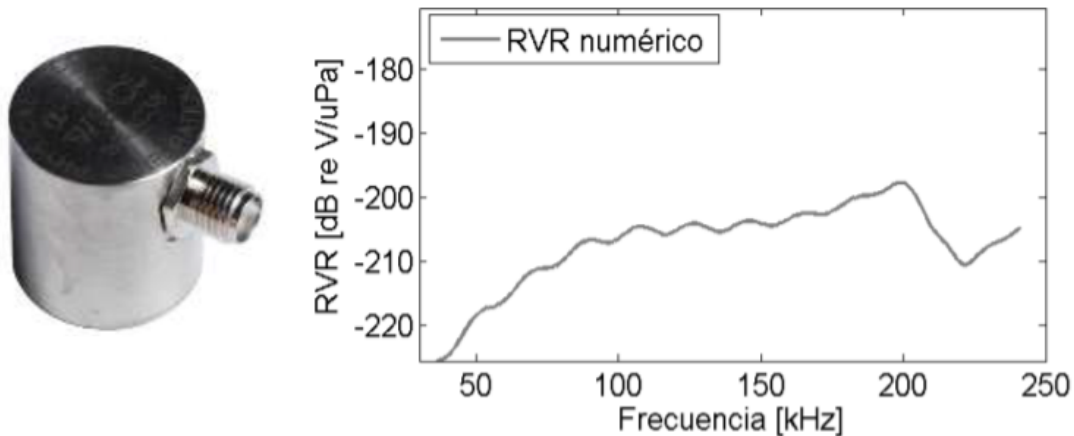


Figura 5. Sensor Piezoeléctrico de medición de EA. (Valera et al., n.d.)

Es necesario tener un contacto directo entre el sensor y la superficie del elemento a analizar, esto se logra mediante un medio de acoplamiento (líquido, capas finas de grasa o un adhesivo) que garantice que la energía acústica se transmita al sensor eficientemente. En la mayoría de situaciones prácticas un material adhesivo es suficiente para adquirir señales con amplitud superior a 26 dB.

1.4.2 Adquisición de la señal

La señal eléctrica generada por el transductor debe ser preamplificada, filtrada y digitalizada a una frecuencia lo suficientemente alta para capturar los parámetros de todas las emisiones.

1.4.2.1 Preamplificador y filtro de señal

Los preamplificadores son dispositivos activos cuya misión principal consiste en elevar el nivel de señal útil sin añadir ruido, también presenta una gran variedad dinámica para tratar amplitudes altas y soporta una gran variedad de temperaturas. Un amplificador típico para esta aplicación tiene una banda entre 100 Hz y 1 MHz, 40 dB de ganancia y un nivel de ruido del orden de 10 μ V.

1.4.2.2 Convertidor A/D

La digitalización de la señal se hace generalmente a una tasa de entre 1.0 MHz y 20.0 MHz. Frecuencias menores a 1.0 MHz no permiten capturar señales de corto periodo de duración.

1.4.3 Procesamiento de la señal

Se puede utilizar un osciloscopio con puerto USB, el cual permite capturar la señal proveniente del sensor piezoeléctrico de EA y llevarla a un ordenador para su respectivo análisis, sólo se requerirá de los datos de la señal, que se encontrarán en formato CSV (representación de los datos en forma de tabla), pudiendo ser leídos por Excel y exportados a Matlab. Estos datos estarán disponibles para hacer futuros análisis y pueden ser usados para futuras referencias y así ser comparados con datos de estructuras similares.

1.5 Fisuramiento por deslizamiento

De particular importancia es el micro-agrietamiento originado por procesos de deslizamiento de las barras de GRFP en estructuras de concreto reforzado y muros de mampostería reforzada. Bajo diversos tipos de esfuerzos, las barras de refuerzo pueden experimentar desplazamientos relativos con respecto a la matriz de concreto. La progresión de este movimiento puede llevar a una falla significativa en la estructura debido al fallo por extracción.

En la Figura 1 se muestra un esquema de cuatro etapas en el que se puede apreciar la presencia de micro-grietas precursoras del fallo. La determinación de la existencia y tipo de estas fisuras es de gran importancia para establecer la integridad de la estructura.

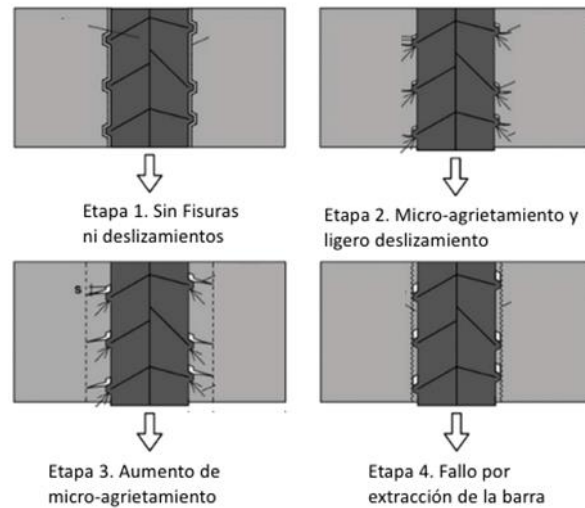


Figura 6. Etapas del proceso de fallo por extracción de la barra. (Gallego et al., 2016)

En la etapa 1, el elemento en concreto no está agrietado porque todavía no se ha producido el deslizamiento y su unión está asegurada principalmente por la adhesión química que ejerce el concreto a la barra (capilaridad y fuerzas moleculares desarrolladas en su interfaz). El final de la etapa 1 comienza con la ruptura de la adhesión química permitiendo que la barra se deslice. La etapa 2 comienza con las tracciones provenientes de los esfuerzos aplicados los cuales son superiores a las tensiones de adherencia. Esta etapa involucra dos mecanismos de transmisión, el primero es el acumulación o cuña que se presenta entre la matriz de concreto con las nervaduras de la barra, el segundo es la fricción que existe entre la superficie de la barra y la matriz de concreto circundante, la contribución del mecanismo de fricción a la tensión de unión se disminuye con el desgaste de la interfaz a lo largo de la superficie deslizante y esta etapa se caracteriza por la aparición de micro fisuras que se originan en las puntas de las nervaduras de la barra.

La etapa 3 comienza con tensiones superiores de 1 a 3 veces la resistencia de tracción del concreto, en esta etapa se alcanza la máxima tensión en la unión entre la barra y su matriz de concreto circundante, se caracteriza por la formación de macro fisuras longitudinales que se extienden radialmente por la acción de la cuña o acumulación del concreto, la división permanece limitada a un núcleo agrietado alrededor de la barra (anillo interior de la matriz de concreto), mientras que el anillo exterior de la matriz de concreto permanece intacto, en esta etapa, la tensión de unión y la rigidez se aseguran principalmente mediante

el trabe entre la barra de acero, los puntales de concreto se esparcen desde la barra pero no hay daños en el anillo exterior del concreto.

En la etapa final o Etapa 4, se presenta la extracción de la barra, en esta etapa, el mecanismo de transferencia de fuerza cambia, ya no hay un agarre por parte de la nervadura de la barra sino solo existe la fricción entre concreto y concreto a lo largo de la superficie donde se termina la resistencia al corte de las cuñas de concreto (es decir, el concreto que se encontraba entre las nervaduras de la barra). Bajo carga continua, esta superficie se afina, lo que conduce a que se disminuya la tensión de unión. Vale la pena señalar que estas cuatro etapas están presentes, hasta cierto punto, a lo largo de la longitud de la unión. Sin embargo, los mecanismos de transferencia de fuerza involucrados actúan secuencialmente en un punto fijo dado en la longitud de la unión.

2. Capítulo II

Estado del Arte

Para ilustrar el uso y alcance de la técnica de emisiones acústicas, a continuación, se presentan algunas investigaciones representativas que se han realizado en los últimos años sobre diferentes elementos estructurales.

2.1 Investigaciones realizadas a nivel mundial con EA

2.1.1 Moment Tensor Analysis of Acoustic Emission for Cracking Mechanisms in Concrete. (Ohtsu M. et al.1998)

Se realizó un análisis cuantitativo de las formas de onda de emisión acústica (EA), que se desarrolló como un código SiGMA (Función simplificada de Green para el análisis del momento torsor). Mediante el análisis, se localizan las grietas de las fuentes de EA, clasificadas en grietas de tracción y grietas de corte, y se determinan sus orientaciones. Para una aplicación práctica en concreto, los procedimientos experimentales y analíticos se reexaminan sobre la base de la teoría de fondo del momento torsor. Para aplicar el análisis de SiGMA a las formas de onda EA registradas, se discute y establece un procedimiento experimental básico. En la prueba de tracción de un modelo de concreto reforzado (RC) en forma de L, se investiga la evaluación no destructiva (NDE) de los mecanismos de fisuración. Para mejorar la precisión de las soluciones SiGMA, se desarrolla un análisis posterior. Las soluciones no confiables se descartan, en función de la discrepancia entre las soluciones de SiGMA del experimento y las de las formas de onda sintetizadas. Los mecanismos en la zona de fractura se estudian en una prueba de flexión en una viga de mortero con muescas.

2.1.2 Use of acoustic emission to identify damage modes in glass fibre reinforced polyester. (Huguet et al., 2002)

El propósito de este ensayo fue el uso de los parámetros de la señal de emisión acústica para identificar y caracterizar los diversos mecanismos de daño en el compuesto de poliéster reforzado con fibra de vidrio. Los datos de la emisión acústica se utilizan como entradas en un mapa auto organizado de Kohonen que separa automáticamente las señales de emisión acústica, lo que permite una correlación con el modo de falla. Estos resultados abren perspectivas para el reconocimiento de daños en tiempo real en materiales compuestos complejos.

2.1.3 Acoustic emission monitoring of fatigue crack propagation. (Roberts & Talebzadeh, 2003)

Se realizó la monitorización de la propagación de grietas por fatiga en muestras de sección compacta y vigas de sección en T de acero y acero soldado, utilizando un sistema avanzado de emisión acústica con ubicación precisa de la fuente. Las muestras de sección compactas se sometieron a relaciones de carga del 0,1, 0,3, 0,5 y 0,7, mientras que las vigas de sección T se sometieron a una relación de carga de 0,3. Los resultados de este ensayo indican que las tasas de recuento de emisiones acústicas, para pequeños porcentajes del rango de carga aplicada muy cerca a la carga máxima, muestran una correlación razonable con la propagación de las grietas. En base a estas correlaciones, es posible predecir la vida útil restante de las estructuras dañadas por fatiga a partir de los resultados del monitoreo de emisiones acústicas a corto plazo.

2.1.4 Predicting the ultimate bending capacity of concrete beams from the “relaxation ratio” analysis of EA signals. (Colombo et al., 2005)

Se realizaron experimentos en vigas de concreto reforzado (RC), representadas en vigas de puente. Las vigas se cargaron en ciclos por arriba del fallo mientras que se registraban las emisiones acústicas (EA) generadas. El análisis de las señales EA se llevó a cabo en base a un nuevo parámetro propuesto, denominado "relación de relajación". Esto cuantifica la energía EA registrada durante las fases de descarga y carga de una prueba de ciclo y mostró una clara correlación con la carga de falla a flexión de las vigas de RC. Se observó un cambio en la tendencia cuando la carga

alcanzó aproximadamente el 45% de la carga de flexión final. Los resultados parecían estar influenciados por factores como la resistencia del concreto y la velocidad de carga, y se necesita más trabajo para extender los resultados a las pruebas a gran escala de las vigas del puente.

Más allá de la amplia variedad de estudios realizados internacionalmente, en Colombia el uso de esta técnica en estructuras civiles es prácticamente nulo y solo hasta hace poco se han empezado a reportar resultados de investigaciones en ambientes de laboratorio.

Además, aunque ya existen en la literatura científica reportes sobre el uso de esta técnica para analizar procesos de deslizamiento de barras de acero (Gallego A. et al. 2015), su uso en muros reforzados con GFRP apenas se empieza a explorar en la comunidad internacional.

2.1.5 Classification of cracking mode in concrete by acoustic emission parameters. (Aggelis, 2011)

Se realizó un monitoreo de las emisiones acústicas en varios tipos de concreto durante la flexión. Las señales emitidas en las diferentes etapas de fractura exhiben firmas distintas. Específicamente, los parámetros de frecuencia y forma de las ondas adquiridas cambian durante el experimento, siguiendo de cerca la secuencia de los mecanismos de fractura desde el micro craqueo por tracción hasta el macro craqueo y la extracción de la fibra.

El estudio arroja luz sobre el proceso de fractura de materiales cementosos, y permite una advertencia contra la falla final. La simplicidad del esquema lo hace aplicable in situ.

2.1.6 Acoustic emission monitoring of a reinforced concrete shear wall by b-value–based outlier análisis. (Farhidzadeh et al., 2013)

El objetivo de este estudio fue diseñar y validar un sistema de monitoreo capaz de ofrecer una evaluación de daños rápida y automatizada en muros de corte de concreto armado. El sistema propuesto se basa en una amplia gama de transductores

piezoeléctricos para recibir emisiones acústicas distribuidas a través del muro y un algoritmo de reconocimiento de patrones estadísticos, capaz de identificar las condiciones estructurales críticas y así informar la necesidad de la reparación y garantizar un funcionamiento seguro de la estructura.

El sistema propuesto fue validado en un muro de corte de concreto reforzado a gran escala sometida a una carga cíclica cuasi estática.

2.1.7 Assessment of progressive damages in concrete with acoustic emission technique. (Shah et al., 2014)

Esta investigación describe un estudio experimental en el que se aplicó la técnica de emisión acústica (EA) para evaluar los daños en el concreto. Se produjeron muestras cúbicas de tamaño estándar (150x150x150 mm) y cilíndricas (100x200 mm) con tres diferentes relaciones de agua-cemento (a/c). Las muestras cilíndricas se probaron para medir la resistencia a la compresión del concreto. Las muestras cúbicas se sometieron a varios ciclos de carga y descarga, mientras que la evaluación de la emisión acústica se realizó con sensores EA para escuchar la amplia gama de eventos. Para evaluar el deterioro del concreto, se examinó cuidadosamente la aparición de los efectos de Kaiser y Felicity en cada etapa de carga y descarga. Se observó que los golpes EA aumentan a medida que aumenta el daño. Además, se trazaron valores normalizados de la relación de Felicity para examinar cualquier correlación entre la técnica de emisión acústica y la carga aplicada para evaluar el crecimiento de daños en el concreto.

2.1.8 Analysis of the Acoustic Emission in a Reinforced Concrete beam using a four points bending test. (Guzmán et al., 2015)

Se analizó el estudio del comportamiento mecánico de una viga de concreto reforzado y se evaluó con una prueba de flexión registrada en cuatro puntos. Para este propósito, se realizó una configuración de dos de los sensores de emisión acústica (EA), sintonizados en 150 kHz, al mismo tiempo. La curva de variación de carga se implementó utilizando una celda de carga y un LVDT. La viga de concreto utilizada fue realizada con una alta resistencia a la compresión, más de 60 MPa sin refuerzo

de corte. Se evaluaron diferentes niveles de daño en función de los parámetros de EA medidos en función del porcentaje de carga. El objetivo de este estudio es identificar parámetros de EA, como el valor “b” parámetro importante para indicar el estado en el que se produce el daño y el valor RA, que podrían ser relevantes en el comportamiento mecánico de la viga.

2.1.9 Acoustic emission characteristics of reinforced concrete beams with varying percentage of tension steel reinforcement under flexural loading. (Vidya Sagar, 2017)

Se realizaron modelos de vigas T de concreto reforzado (RC) se probaron bajo carga cíclica incremental hasta el fallo a flexión. Simultáneamente, se registraron las emisiones acústicas (EA) conocidas como ondas de tensión elásticas transitorias liberadas durante el proceso de fractura en las mismas muestras. Estos modelos de viga T se fundieron con un porcentaje diferente de refuerzo de acero (área de refuerzo de acero como porcentaje del área efectiva de la sección transversal de la viga). Los anchos de grietas dependieron del esfuerzo de tracción en el refuerzo de acero presente en un miembro estructural. Debido a que la apertura de grietas es una función del esfuerzo de tensión en las barras de acero, el porcentaje de acero en los miembros de RC influye en el EA liberada durante el proceso de fractura. En este estudio, se informa sobre los daños en modelos de vigas T, las cuales tienen un porcentaje diferente de refuerzo de acero al utilizado en pruebas de emisión acústica. Se ha propuesto una relación entre la energía total EA liberada y el porcentaje de acero en vigas de RC. A medida que se aumentaba el porcentaje de acero en los modelos de prueba, el número de ciclos de carga entra en la zona de daños graves.

2.1.10 Acoustic emission monitoring of reinforced concrete beams subjected to four-point-bending. (Prem & Murthy, 2017)

El objetivo del estudio fue aplicar la técnica de emisión acústica (EA) y estudiar el mecanismo de daño de las vigas de concreto reforzado (RC) bajo flexión en cuatro puntos. Los experimentos de laboratorio se realizan en tres tipos de vigas de RC con un área de refuerzo del 42, 64 y el 93% de la sección transversal.

El daño en las vigas se clasifica en cuatro zonas que simbolizan la formación de microgrietas, grietas visibles, deformación del acero y trituración de concreto. Los parámetros de EA, como la amplitud, el tiempo de aumento, el recuento, la duración y la frecuencia promedio, se cuantifican en cada nivel de daño y se realiza un análisis paramétrico entre la frecuencia promedio y el valor de RA.

Los resultados mostraron que a medida que aumentaba el nivel de daño, aumentaban los valores de los parámetros de EA, como conteo, golpes, tiempo de aumento, energía de emisión acústica y duración, excepto la frecuencia promedio. Estos resultados coincidieron con los resultados de la observación visual según los modos de crack. La adecuación de la clasificación de grietas también se evalúa mediante el modelo de mezcla gaussiana (GMM), un enfoque basado en la probabilidad. GMM se utiliza como modelo paramétrico para superar la aleatoriedad encontrada en el conjunto de datos generado por las pruebas EA.

2.1.11 Damage monitoring of three-point bending concrete specimens by acoustic emission and resonant frequency analysis. (Lacidogna et al., 2019)

Se realizó el proceso de propagación de grietas con modelos de vigas de concreto con muesca, probado en el laboratorio con flexión en tres puntos, se controló mediante la técnica de Emisión Acústica (EA) y la extracción de frecuencias resonantes. El proceso de carga se realizó en condiciones controladas por desplazamiento hasta el fallo final de la muestra. Se usó el análisis de frecuencia promedio vs. El valor RA, para caracterizar el modo de propagación de grietas, mientras que la energía de EA acumulada y la variación en las frecuencias de flexión, se seleccionaron como los parámetros principales para monitorear el progreso del daño debido al avance de la grieta. Además, se implementaron modelos de elementos finitos para reproducir la curva de esfuerzo-deflexión y así evaluar las frecuencias resonantes para diferentes profundidades de muesca. Por lo tanto, se aplicó un procedimiento inverso para estimar el avance de la grieta en función de las frecuencias medidas y calculadas.

2.2 Investigaciones realizadas a nivel nacional con EA

2.2.1 Caracterización experimental de daño en vigas de concreto sometidas a carga cíclica usando emisión acústica. (Panesso, Samboni, Romero , Marulanda, & Thomson, 2016)

En esta investigación se indagó la integridad estructural de los elementos de concreto en puentes por diferentes tipos de afectaciones y factores como deterioro, sobrecargas y eventos sísmicos.

Mediante ensayos de emisión acústica se analizó la información obtenida de las vigas de concreto las cuales fueron sometidas a una carga cíclica. Además, se implementó una metodología para la clasificación del nivel de daño en estos elementos y se comparó mediante inspecciones visuales, concluyendo que los resultados obtenidos de la emisión acústica concuerdan con las inspecciones realizadas después de cada ciclo de carga.

2.3 Conclusión a razón de su estado de arte

A partir de todos estos estudios puede apreciarse que la técnica de emisiones acústicas es la adecuada para estudiar en tiempo real los procesos dinámicos (movimientos internos), como es el micro-fisuramiento originado en la naturaleza heterogénea del material, adicional esta técnica puede ser utilizada en diversos materiales con diferentes características geométricas.

3. Capítulo III

Objetivos

3.1 Objetivo General

Detectar y caracterizar mediante la técnica de emisiones acústicas las microfisuras producidas antes y durante el proceso de deslizamiento de las barras de GFRP en muros de mampostería en concreto sometidos a esfuerzos cíclicos fuera del plano.

3.2 Objetivos específicos

- Realizar las gráficas de frecuencia promedio, ángulo de elevación y de energía para identificar la existencia de fisuras a partir del número de emisiones detectadas (actividad acústica).
- Realizar el análisis paramétrico de emisiones acústicas para determinar qué tipo de fisuramiento se presenta.
- Analizar y verificar por medio del potenciómetro y de los parámetros con emisiones acústicas la presencia de microfisuras debido al desplazamiento de las barras.

4. Capítulo III

Programa Experimental

Utilizando los equipos suministrados por la Escuela Colombiana Julio Garavito y utilizando sus instalaciones como en el laboratorio de materiales, se dispuso para la implementación de este ensayo con el método de emisiones acústicas, seleccionado como el idóneo para establecer las diferentes etapas del proceso de microfisuramiento producido por el deslizamiento de las barras en los muros de mampostería en concreto, después de analizar las metodologías usadas actualmente a nivel mundial.

4.1 Metodología

Para alcanzar el desarrollo de los objetivos propuestos y cubrir el alcance de la presente investigación fue necesario desarrollar un programa experimental que consistió en analizar ocho (8) de los veintiuno (21) muros de mampostería en concreto reforzados con GFRP, construidos de antemano como parte de un proyecto del grupo GIMECI, cada muro presento las mismas características geométricas como dimensionales, estos prototipos prismáticos se realizaron con dimensiones 1,2 m de ancho x 2,2 m de altura con un espesor de 0,20 m (ver Figura 7), los bloques de mampostería de concreto que lo componen tienen una resistencia a la compresión de la mampostería (f'_m) de 10 MPa y 17 MPa, adicionalmente el mortero utilizado para unir las unidades de mampostería tiene una resistencia a la compresión esperada (f'_{cp}) de 12.5 MPa tipo S, y mortero de relleno que se usó fue un "grout" fluido con una resistencia a la compresión esperada (f'_{cr}) de 28 MPa para los muros de (f'_m) de 10 MPa y un (f'_{cr}) de 32 MPa para los muros de (f'_m)= 17 MPa.

Los muros de mampostería van reforzados en sus cavidades con barras de GFRP de diámetro #4 y #5, las cuales presentan una resistencia a la tracción (f_{fu}) de 758 MPa, cada muro tuvo unas características particulares, con relación a su diámetro y su longitud de desarrollo (ver Tabla 1 y Figura 9), adicional en dos prototipos se ubicaron las barras desplazadas hacia la cara de las tensiones, mientras que en el resto de los muros se instalaron centradas.



Figura 7. Características del Muro. (Ensayo realizado por el grupo GIMECI de la Escuela Colombiana de Ingeniería)

Tabla 1: Identificación de muros experimental y características

NOMBRE INICIAL	NOMBRE FINAL	DESCRIPCIÓN				
		Diámetro de la barra	f' m (psi)	L muro (m)	ld (m)	Posición Refuerzo
M1	5-1500-C-T-1,18- A	barra No. 5	1500	1,2	1,18	centrada
M2	5-1500-C-T-1,18- B	barra No. 5	1500	1,2	1,18	centrada
M4	5-1500-C-C	barra No. 5	1500	1,2	completa	centrada
M9	4-1500-C-T-1,15-A	barra No. 4	1500	1,2	1,15	centrada
M10	4-1500-C-T-1,15-B	barra No. 4	1500	1,2	1,15	centrada
M13	4-1500-C-C	barra No. 4	1500	1,2	completa	centrada
M15	5-2500-C-T-- A	barra No.5	2500	1,2	1,23	centrada
M16	5-2500-C-T-- B	barra No.5	2500	1,2	1,23	centrada
M17	5-2500-C-C	barra No.5	2500	1,2	completa	centrada
M18	5-1500-D-T-1,18	barra No.5	1500	1,2	1,18	desplazada
M20	5-1500-D-C	barra No.5	1500	1,2	completa	desplazada

(Arley & Gómez, 2020)

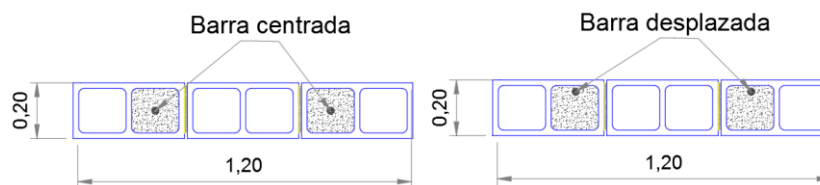


Figura 8. Ubicación de las barras en las dovelas del muro

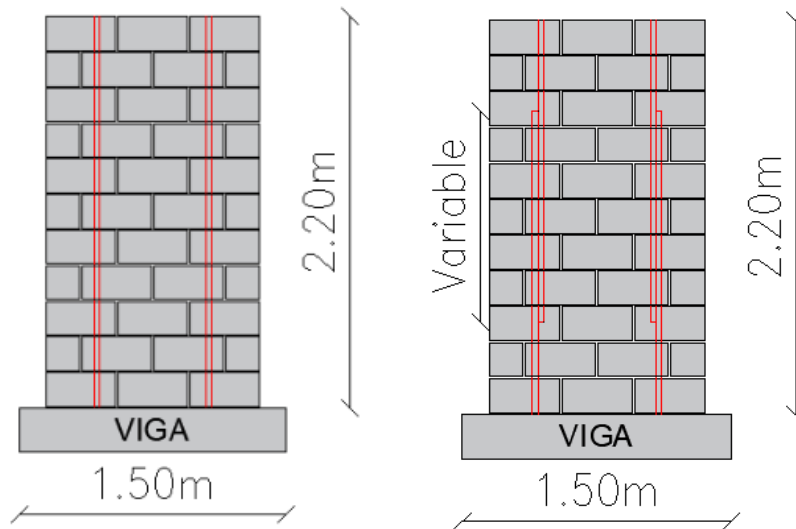


Figura 9. Posicionamiento de las barras de GFRP dentro del Muro. (Arley & Gómez, 2020)

Como el proceso de este ensayo es detectar y caracterizar mediante la técnica de emisiones acústicas las microfisuras producidas antes y durante el proceso de deslizamiento de las barras de GFRP, se inició colocando un sensor piezoeléctrico de banda ancha, implantados con el uso de una cinta directamente sobre la superficie del elemento estructural (ver Figura 11), luego se instaló en la parte superior del muro otro sistema de registro el cual corresponde a un potenciómetro de desplazamiento lineal, el cual se implanto en la barra de refuerzo para que la punta tenga contacto con el mortero de relleno y así pueda registrar algún desplazamiento, provocando una variación en la señal eléctrica para que pueda ser detectada por un equipo de adquisición de datos. Los potenciómetros disponibles pueden medir desplazamientos hasta 14 mm con una precisión de 0,05 mm.

El sensor se ubicó sobre la superficie del muro lo más cerca posible de la barra conectada al potenciómetro, así las emisiones que se generen sobre esta barra serán las adquiridas con mayor intensidad por el equipo. Sin embargo, ubicaciones alternativas del sensor podrán ser analizadas durante los ensayos las cuales deben corresponder con la prueba realizada de la "mina rota" (Ernst, R., & Dual, J. 2014) (ver Figura 10), para comprobar que

en cualquier punto del muro prototipo de 2,50 m de altura y 1,20 m de ancho, se puede detectar el mínimo ruido por el método de EA.

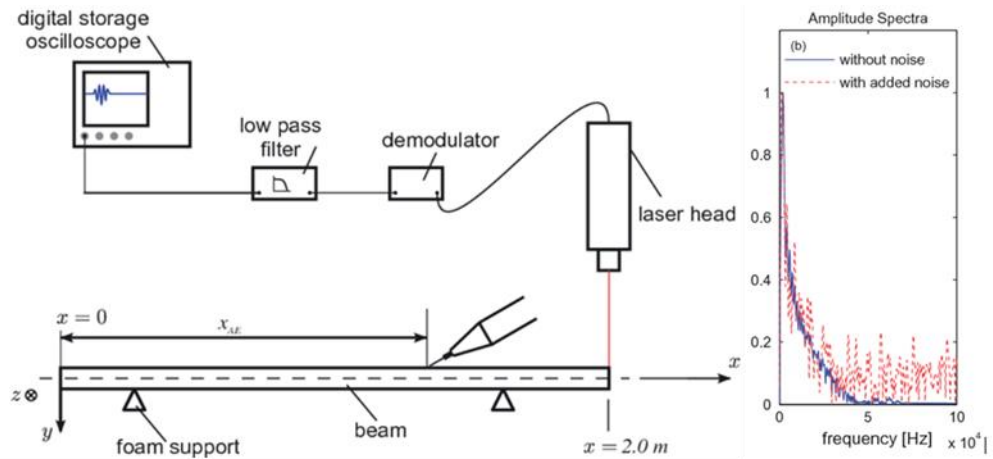


Figura 10. Las puntas de los lápices se rompieron en diferentes ubicaciones x_{AE} para detectar registros. (Ernst & Dual, 2014)



Figura 11. Colocación del sensor de Emisión Acústica. (Ensayo realizado por el grupo GIMECI de la Escuela Colombiana de Ingeniería)

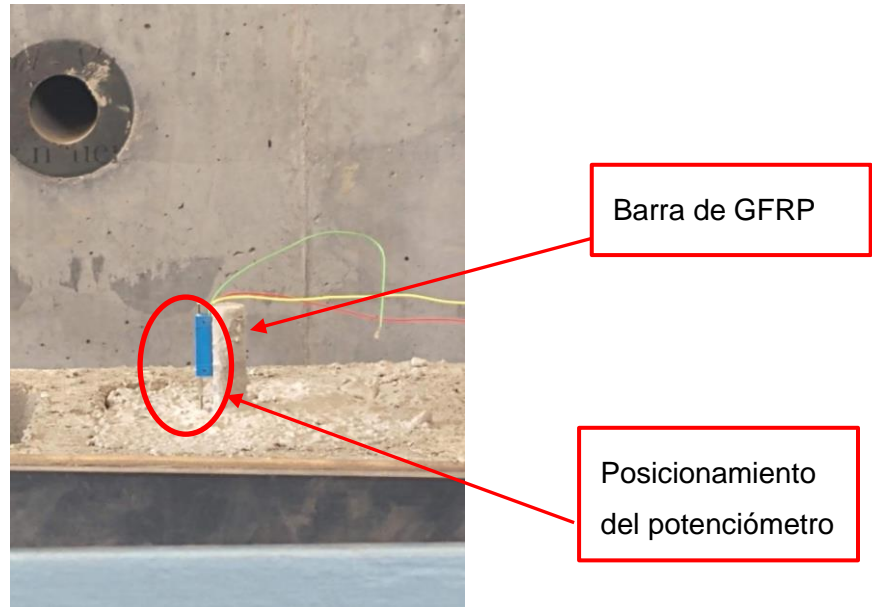


Figura 12. Colocación del potenciómetro. (Ensayo realizado por el grupo GIMECI de la Escuela Colombiana de Ingeniería)

Después de haber colocado la instrumentación para la obtención de los datos de Emisión Acústica (EA), se sometió el muro a una fuerza aplicada en dos puntos la cual fue ejercida con una Bomba hidráulica manual soportada contra el muro de reacción (ver Figura 13), con el fin de desarrollar un esfuerzo de flexión en este, se procura llevar hasta el límite de su resistencia con el fin de poder revelar el deslizamiento de la barra y así se desarrollen microfisuramientos internos que produzcan una variación en la señal eléctrica.

La detección de las emisiones se llevó a cabo en tiempo real con un equipo mono canal adquirido recientemente por la Escuela Colombiana de Ingeniería. Este equipo tiene una amplificación interna en el sensor de 60 dB, un filtro de frecuencia entre 20 kHz y 2.0 MHz y una tasa de adquisición de 20 MHz. La señal fue almacenada en un computador portátil para ser posteriormente analizada con algún software de análisis de datos (ver Figura 14). Los sensores de banda ancha se consideran apropiados porque, aunque su sensibilidad máxima es menor que la de los resonantes, el tamaño limitado de las muestras compensa la atenuación de la onda.

El análisis inicial estará basado en la determinación de la actividad acústica, y los parámetros RA y AF como funciones del tiempo. La comparación de estos con la curva de carga y la señal proveniente del potenciómetro brindará criterios para establecer las

diferentes etapas del proceso de microfisuramiento. Otros parámetros como la energía de las emisiones comparada con su tiempo de duración podrán ser usados con fines de clasificación, tal y como se ha propuesto recientemente (Clavijo et al., 2019).

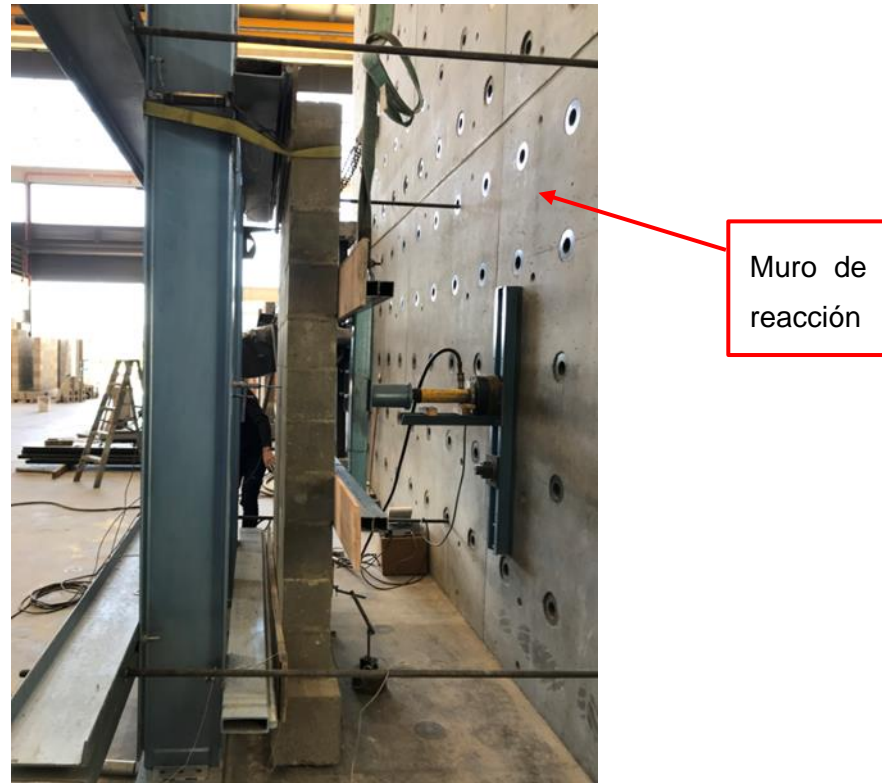


Figura 13. Muro sometido a esfuerzos de flexión debido a las cargas aplicadas. (Ensayo realizado por el grupo GIMECI de la Escuela Colombiana de Ingeniería)

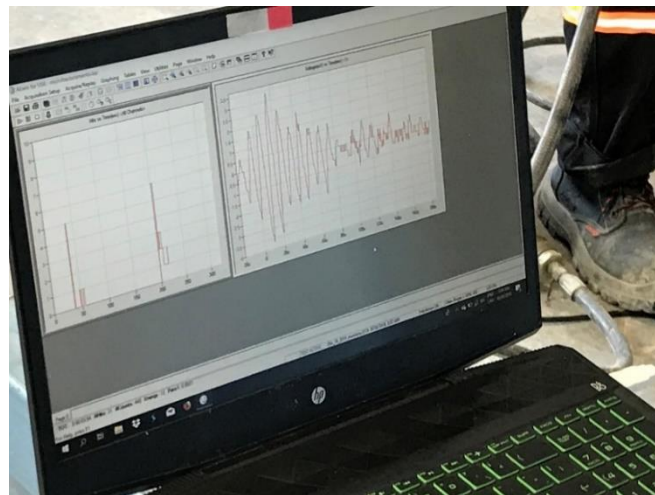


Figura 14. Almacenamiento y registro de datos de EA.

En la Figura 15 se resume todo el proceso de una forma simplificada para poder obtener los datos de EA, y así poder detectar y caracterizar mediante esta metodología las microfisuras producidas antes y durante el proceso de deslizamiento de las barras de GFRP en los muros de mampostería en concreto sometidos a carga perpendicular a su plano.

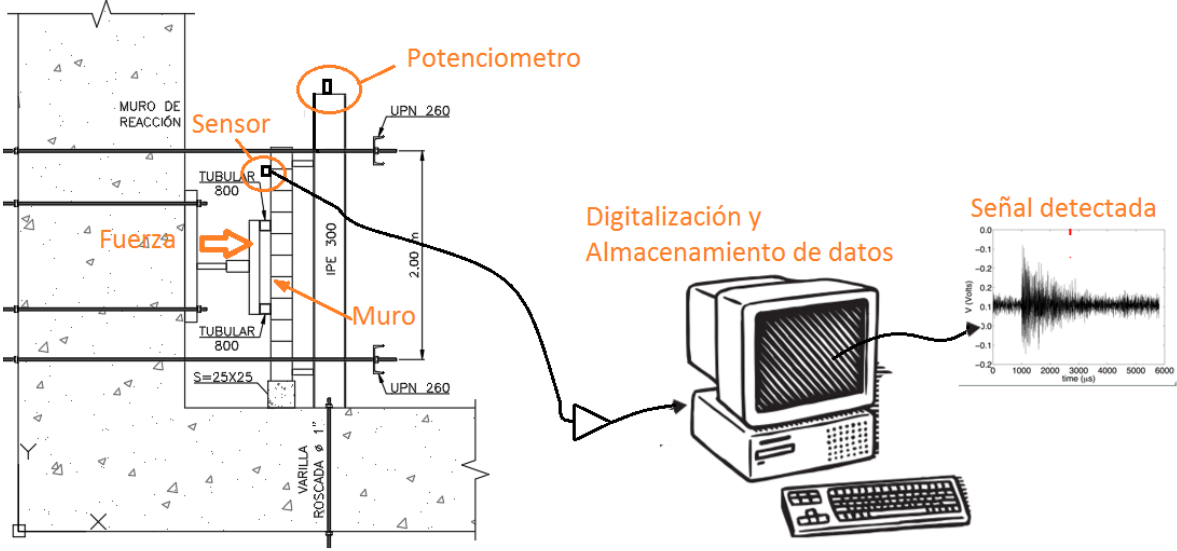


Figura 15. Esquema experimental de un equipo de emisiones acústicas.

5. Capítulo V

Resultados y Análisis

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos para todos los ensayos y su análisis en el marco del análisis paramétrico. A partir de la representación gráfica de los parámetros AF y RA, se realiza la clasificación de las emisiones para determinar la relevancia de los procesos de tensión y corte durante los ensayos.

5.1 Resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio

Esta actividad consistió en realizar una interpretación y caracterización de todos los datos obtenidos de los ensayos. De acuerdo con los registros almacenados en el equipo se realizaron las gráficas representativas para conocer el comportamiento de las emisiones asociadas con el conteo, Amplitud y su tiempo de Ascenso. a razón de estos valores para cada muro mencionado en la Tabla 1, se realizaron las tres gráficas más representativas que son la energía, valor RA y FA, cada una de estas se elaboraron en función del tiempo de duración de la frecuencia de la señal y adicional se introdujeron los ciclos de carga y descarga que se realizaron durante los ensayos; los resultados obtenidos de acuerdo a esto destacaron lo siguiente:

En las Figura 16, 18, 21, 24, 27, 30, 33 y 36, se muestra el comportamiento del parámetro Frecuencia Promedio (AF) como una función del tiempo para todo el proceso cíclico de carga y descarga. Se aprecia que cuando el micro agrietamiento empieza a desarrollarse va acompañado de varias decenas de EA, las cuales son las mostradas como puntos en las gráficas. Estas se incrementan a medida que se llega a cada uno de los picos de los ciclos de carga (máxima carga aplicada), no obstante, también se reflejan algunas microfisuras en las descargas, pero en una menor proporción; Este comportamiento es muy similar en todos los muros analizados, confirmando de esta manera fisuramientos de tipo tensión a razón de este parámetro.

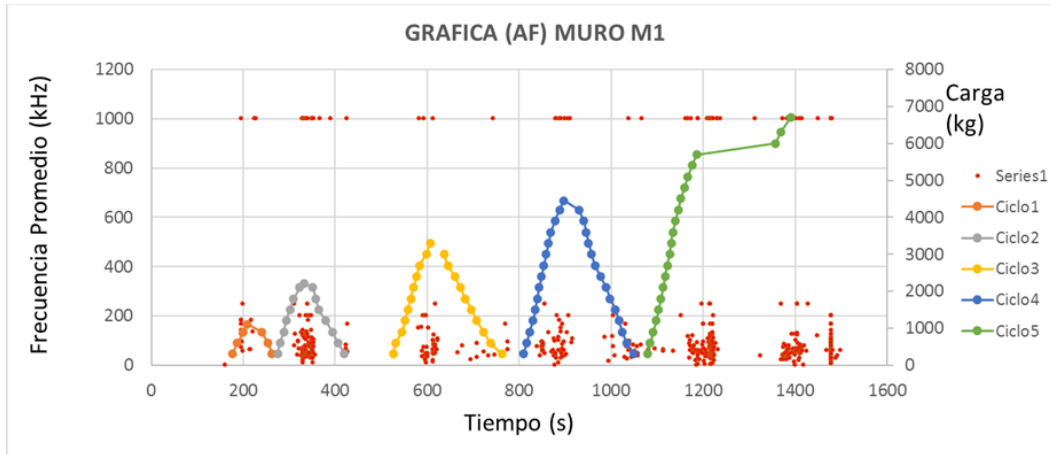


Figura 16. Gráfica Frecuencia Promedio Vs Tiempo con relación a la carga - M1.

En las Figura 17, 19, 22, 25, 28, 31, 34 y 37, se presenta el parámetro RA como una función del tiempo en cada ciclo de carga y descarga. Donde se evidenció una tendencia muy similar en todos los muros analizados, debido a que no se ve reflejado un aumento proporcional de este parámetro a medida que transcurre cada ciclo de carga, manteniendo una continuidad en las emisiones recibidas siempre por debajo de los 10 ms / dB, demostrando que no hay una evolución significativa de las micro- fisuras de tipo corte.

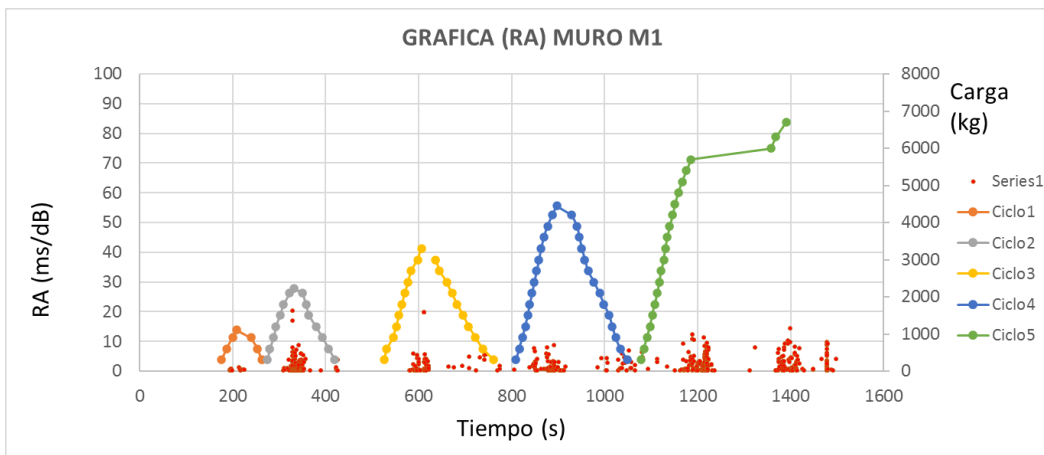


Figura 17. Gráfica RA Vs Tiempo con relación a la carga - M1.

En las Figura 18, 20, 23, 26, 29, 32, 35 y 38, se muestran las gráficas de energía de las emisiones (en unidades arbitrarias), se pudo apreciar que la cantidad de emisiones con alta energía aumenta a medida que se llega a cada uno de picos de los ciclos de carga. -

También se puede observar el efecto Kaiser a través de los intervalos de tiempo donde se presenta silencio acústico en los primeros ciclos de carga. Asimismo, el efecto Felicity también puede apreciarse justo al final del último ciclo de carga porque cuando el material ya está bastante fisurado a pesar de que hay esfuerzos bajos siguen apareciendo emisiones con cierto grado de energía, no obstante, este gráfico no nos permite ver qué tipo de evento nos generó la emisión. Se debe aclarar que este comportamiento se evidenció en todas las gráficas de energía realizadas para cada muro.

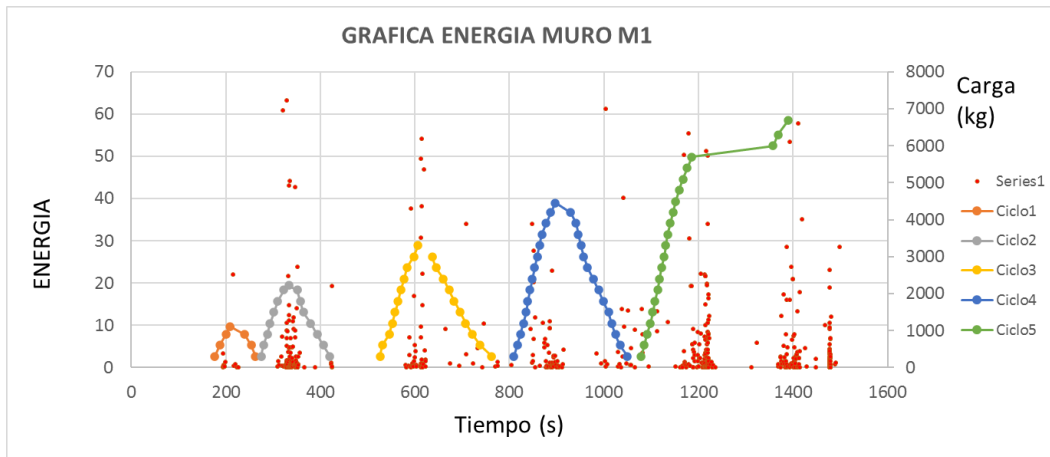


Figura 18. Gráfica Energía Vs Tiempo con relación a la carga - M1.

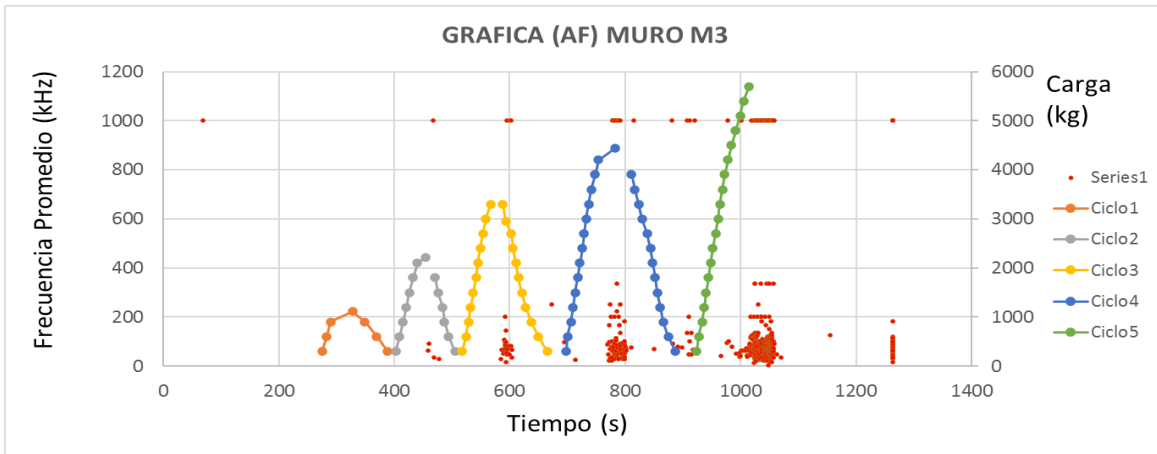


Figura 19. Gráfica Frecuencia Promedio Vs Tiempo con relación a la carga – M3.

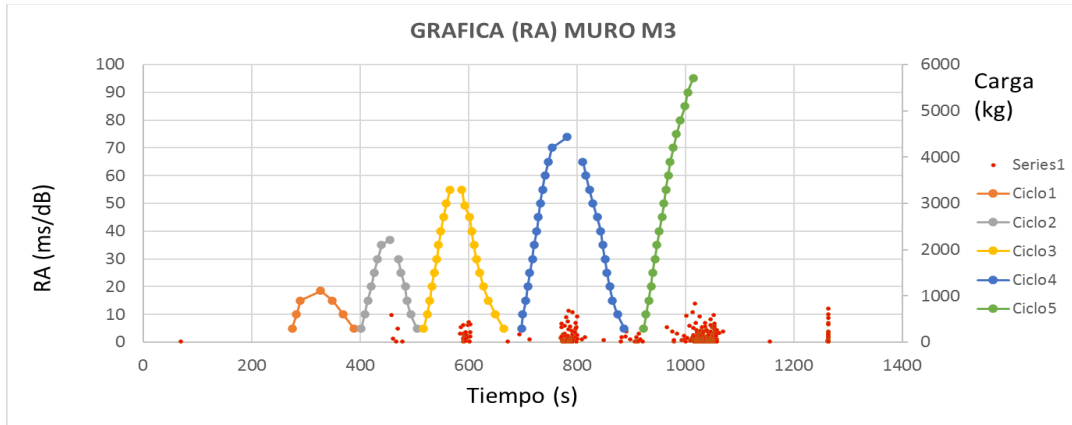


Figura 20. Grafica RA Vs Tiempo con relación a la carga – M3.

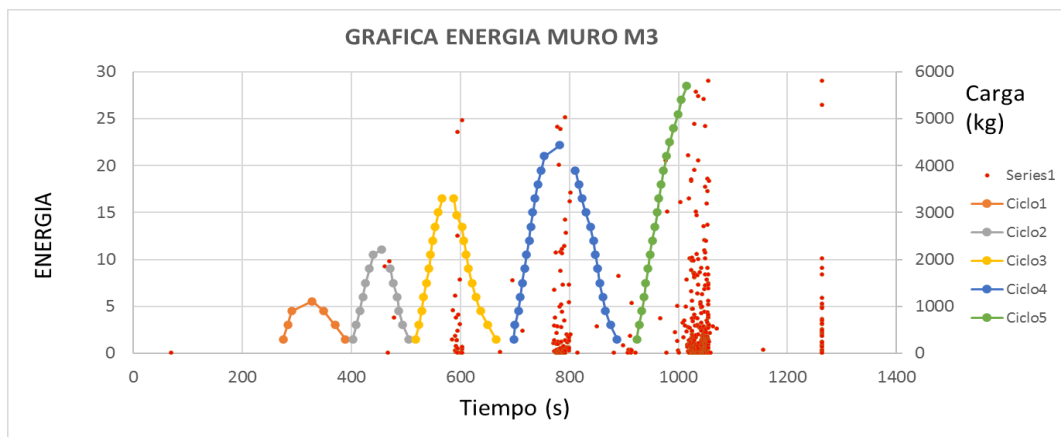


Figura 21. Grafica Energía Vs Tiempo con relación a la carga – M3.

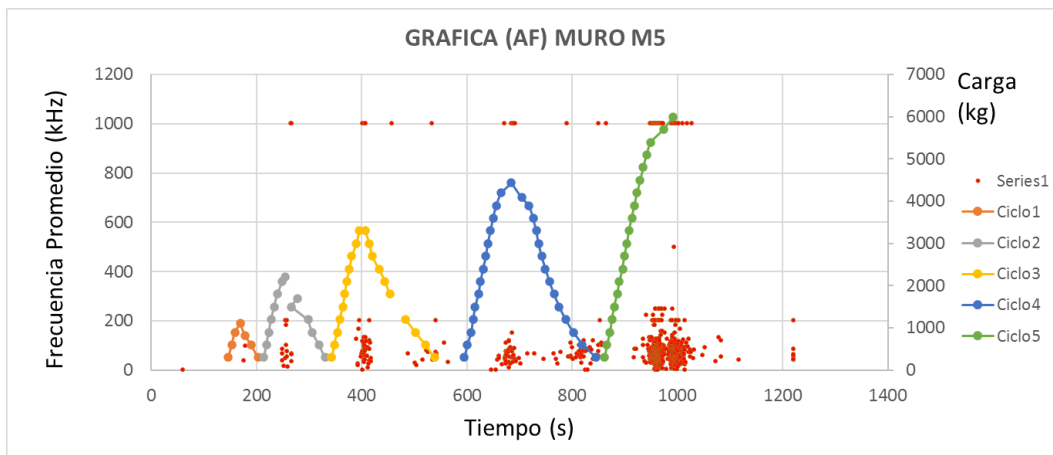


Figura 22. Grafica Frecuencia Promedio Vs Tiempo con relación a la carga – M5.

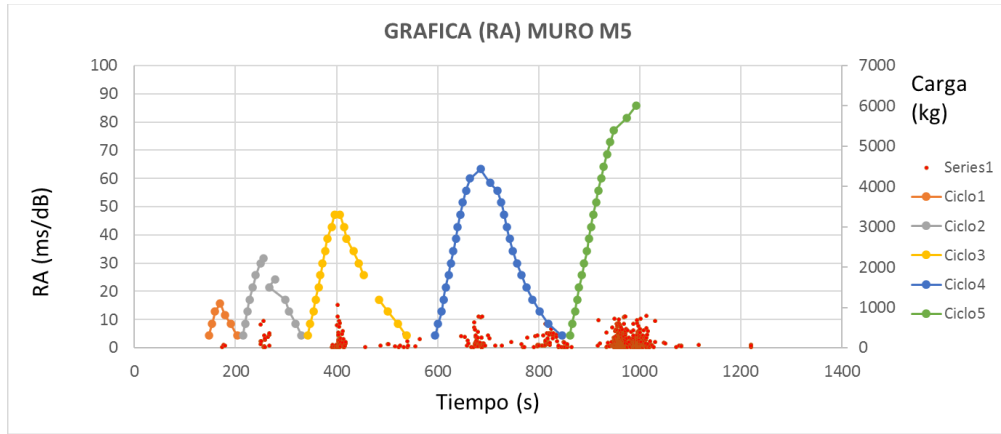


Figura 23. Gráfica RA Vs Tiempo con relación a la carga – M5.

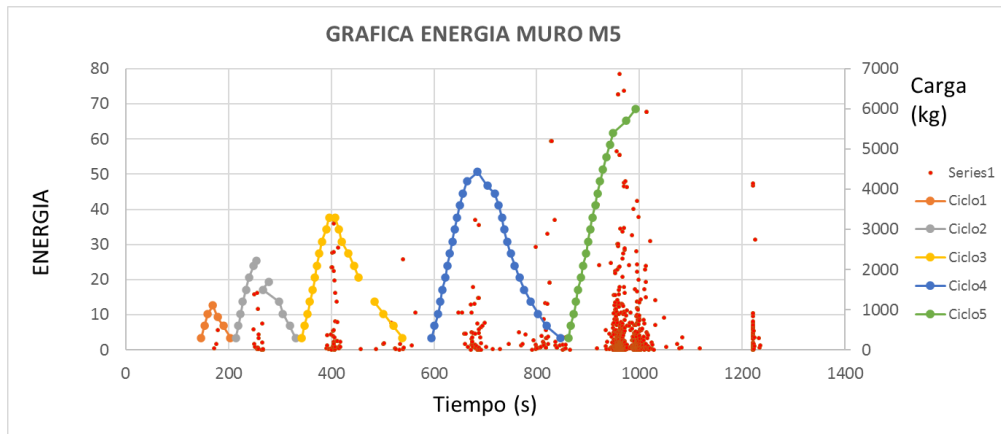


Figura 24. Gráfica Energía Vs Tiempo con relación a la carga – M5.

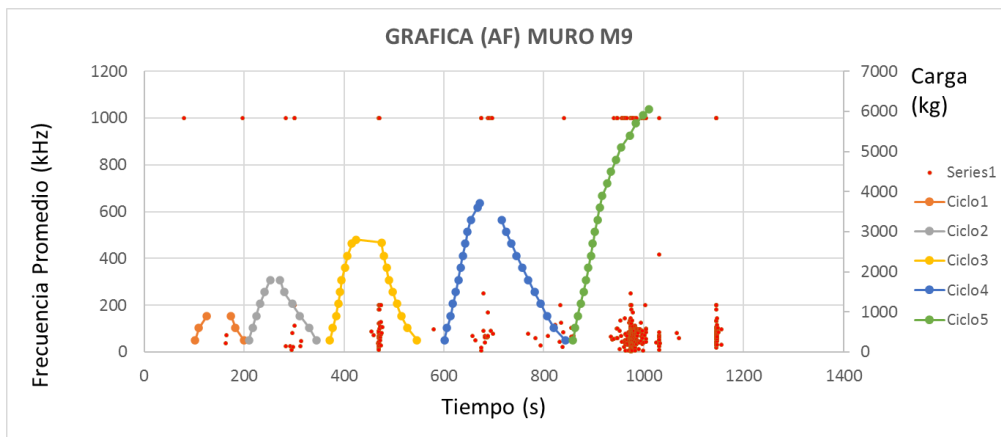


Figura 25. Gráfica Frecuencia Promedio Vs Tiempo con relación a la carga – M9.

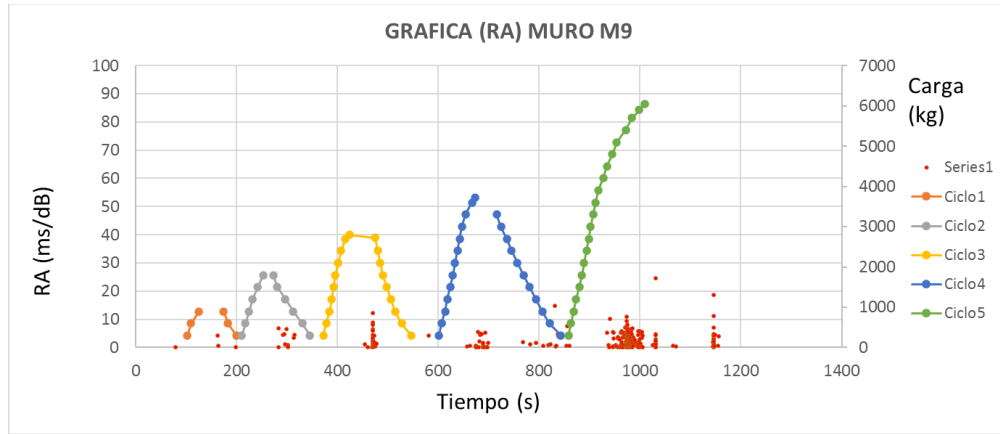


Figura 26. Grafica RA Vs Tiempo con relación a la carga – M9.

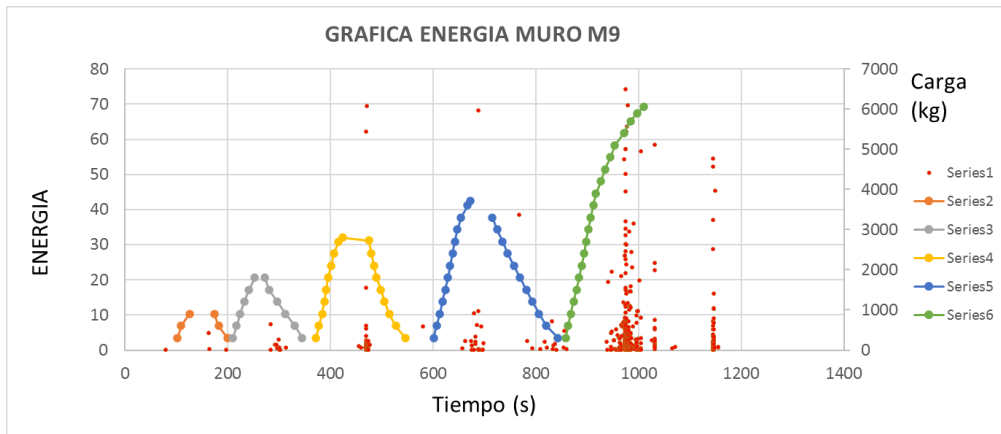


Figura 27. Grafica Energía Vs Tiempo con relación a la carga – M9.

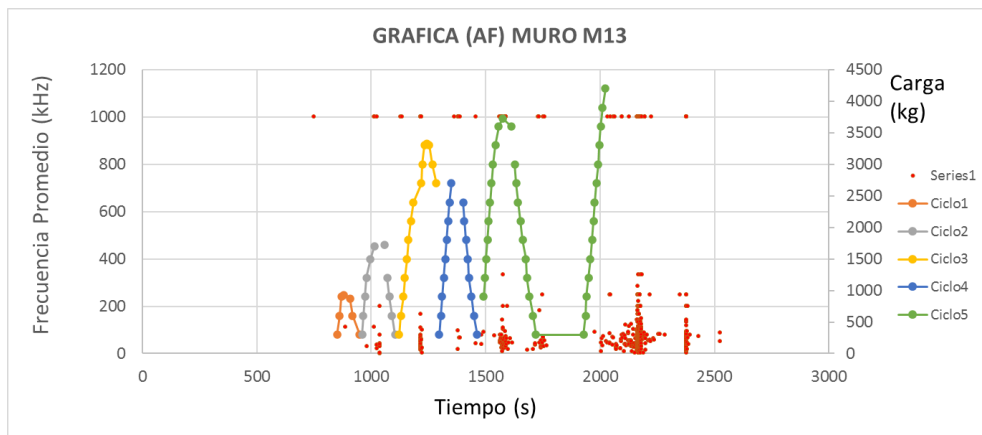


Figura 28. Grafica Frecuencia Promedio Vs Tiempo con relación a la carga - M13.

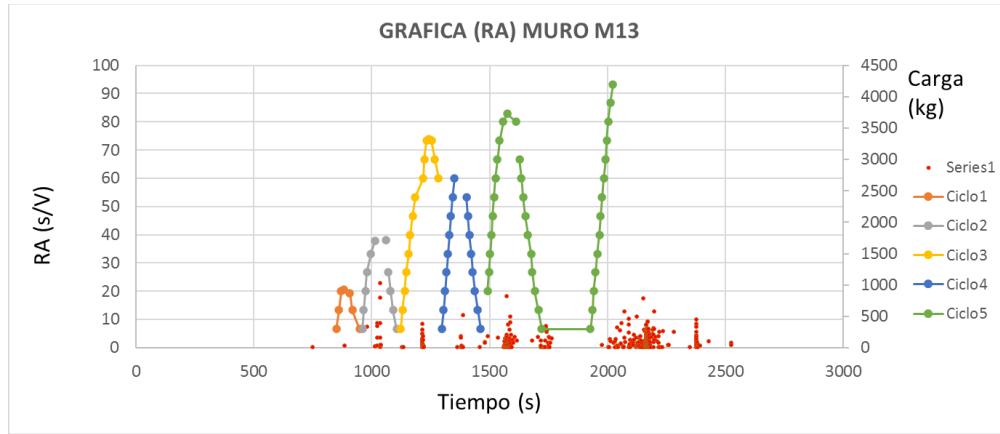


Figura 29. Grafica RA Vs Tiempo con relación a la carga - M13.

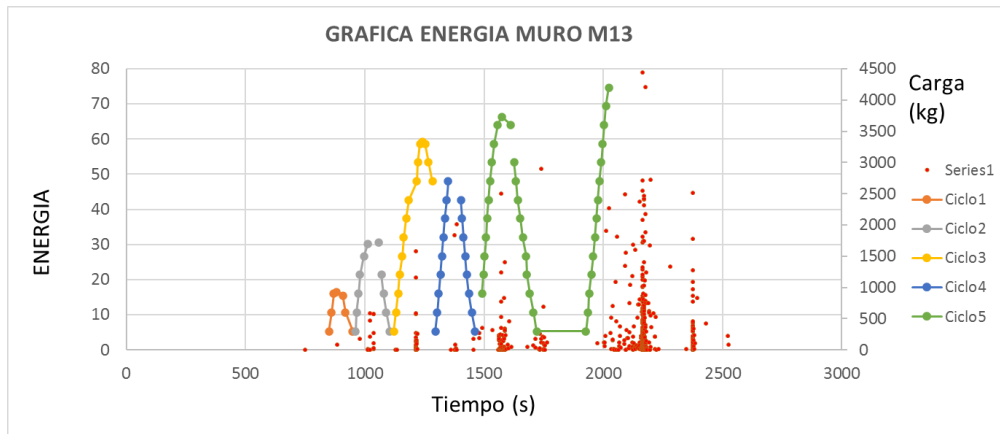


Figura 30. Grafica Energía Vs Tiempo con relación a la carga - M13.

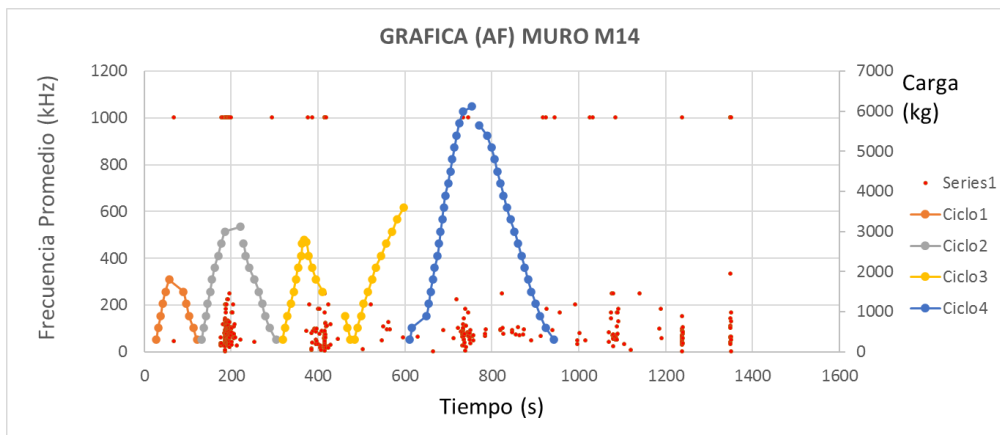


Figura 31. Grafica Frecuencia Promedio Vs Tiempo con relación a la carga - M14.

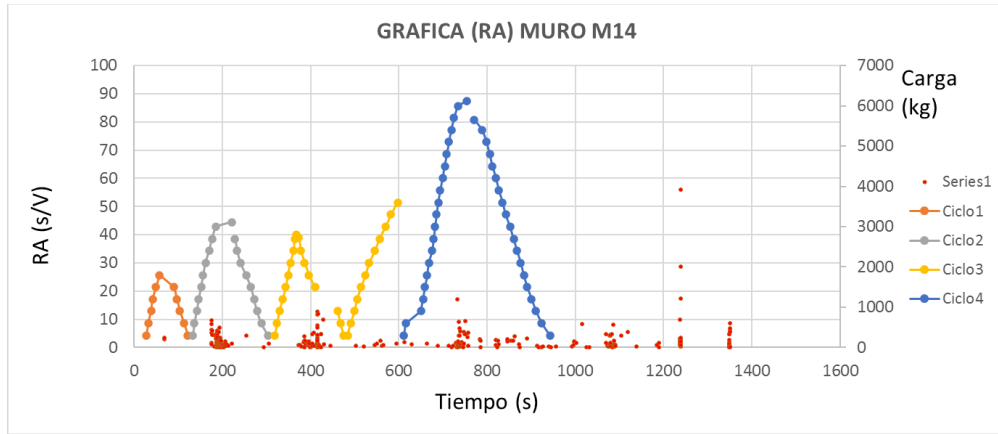


Figura 32. Grafica RA Vs Tiempo con relación a la carga - M14.

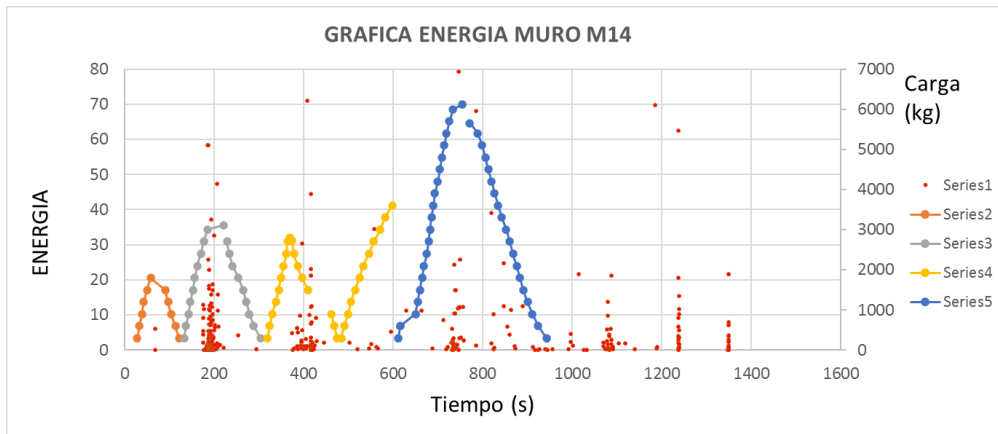


Figura 33. Grafica Energía Vs Tiempo con relación a la carga - M14.

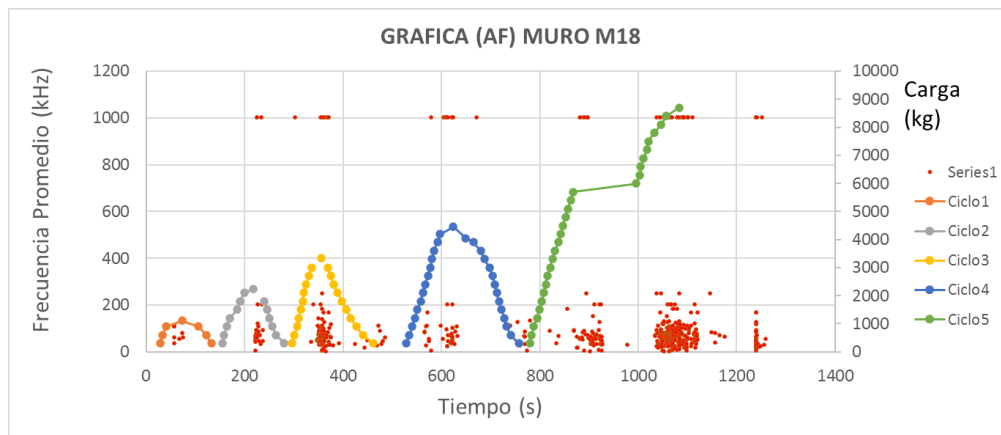


Figura 34. Grafica Frecuencia Promedio Vs Tiempo con relación a la carga - M18.

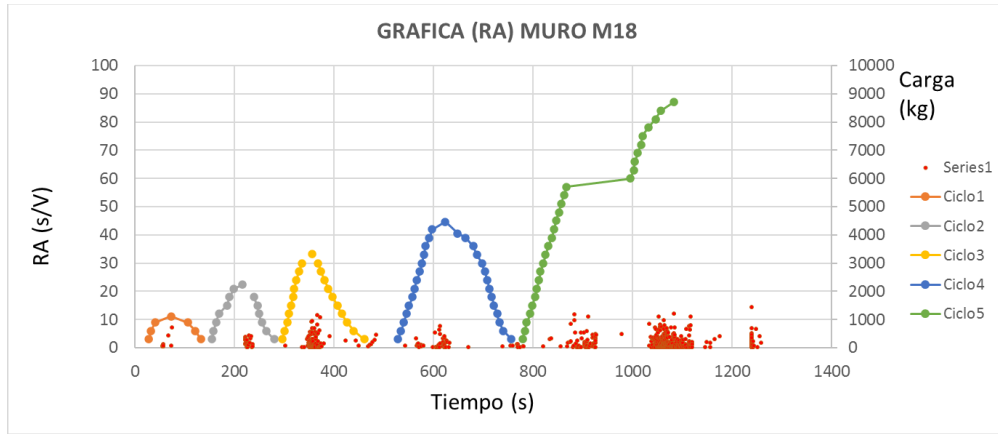


Figura 35. Grafica RA Vs Tiempo con relación a la carga - M18.

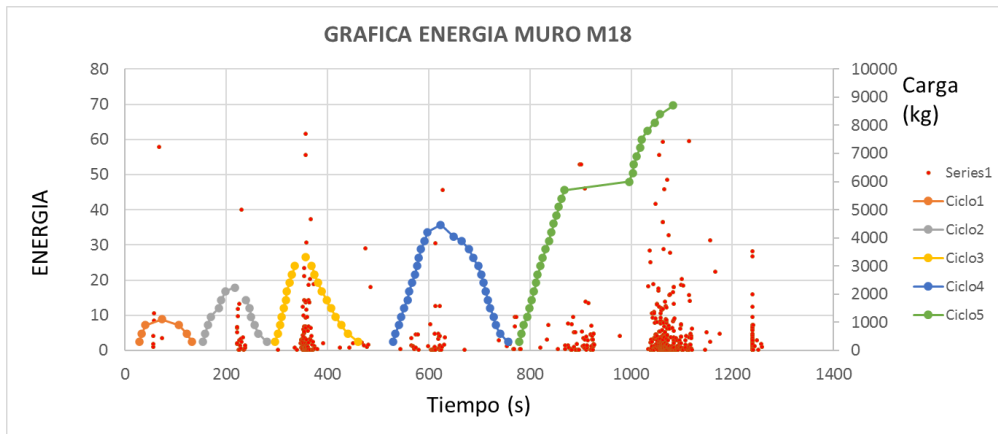


Figura 36. Grafica Energía Vs Tiempo con relación a la carga - M18.

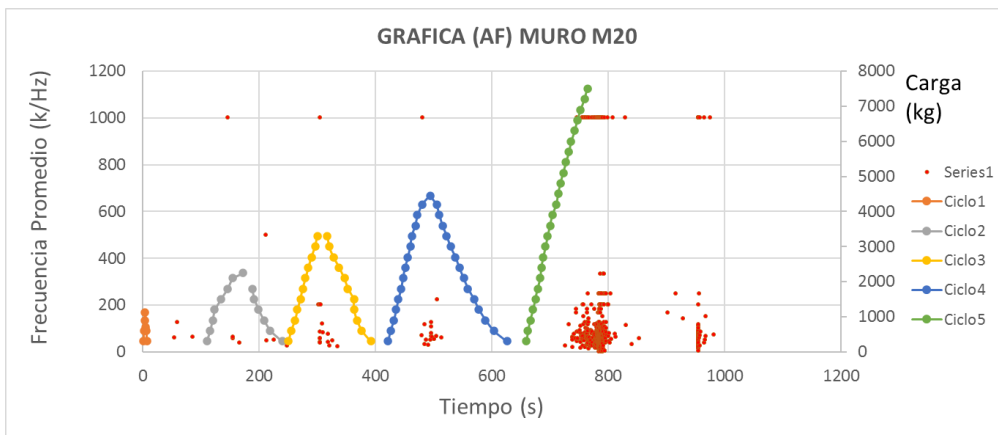


Figura 37. Grafica Frecuencia Promedio Vs Tiempo con relación a la carga – M20.

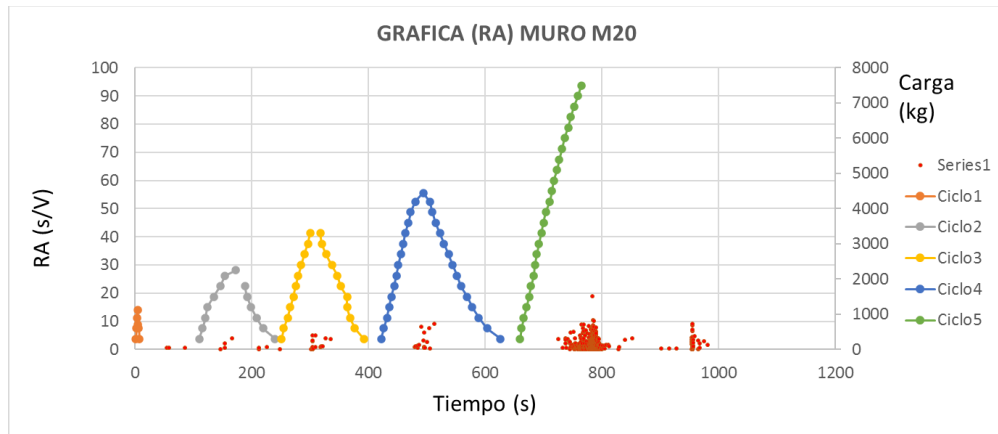


Figura 38. Gráfica RA Vs Tiempo con relación a la carga – M20.

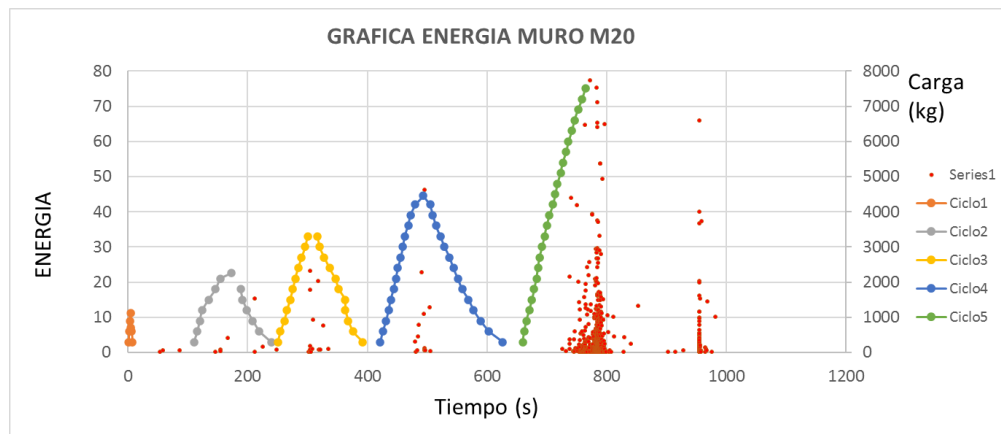


Figura 39. Gráfica Energía Vs Tiempo con relación a la carga – M20.

5.2 Análisis de resultados

De acuerdo al análisis paramétrico realizado con las emisiones detectadas en los ensayos de los muros M1, M3, M5, M9, M13, M14, M18 y M20, se evidenció la presencia de microfisuras de tensión en toda la etapa de carga. Por otro lado, las fisuras de corte o cizalladura no fueron representativas.

Se ha visto en los resultados que la señal de emisión acústica es diferente en función del modo de la grieta. El modo de falla a la tensión incluye el movimiento opuesto de los lados de la fisura, dando como resultado formas de onda EA con un tiempo de elevación corto y

alta frecuencia. Por el contrario, el tipo de fisuras por corte generalmente dan como resultado formas de onda más largas, con menor frecuencia y mayor tiempo de elevación.

En los resultados obtenidos no se evidenció comportamientos distintivos originados por las diferencias entre resistencias, los diámetros de las barras de GFRP o longitudes de traslapes, debido a que todos los muros experimentaron procesos similares de fisuramiento.

Es importante anotar que el potenciómetro no registró desplazamientos en todos los ensayos. Es posible que el posicionamiento propuesto en los ensayos no fuera el óptimo para obtener algún valor, y que reflejara este desplazamiento entre barras. Queda abierta esta inquietud para nuevas investigaciones.

Según lo analizado existe una relación inversa entre la frecuencia promedio AF y el valor de RA. El valor de AF en el modo de tensión es mayor que su valor en el modo de corte. Una explicación probable de lo mismo es la reducción del área de la sección transversal del muro en las últimas etapas del daño. Además, el valor de RA es una función del tiempo de subida y la amplitud y se evidenció que con el aumento del microfisuramiento, el tiempo de subida aumenta sustancialmente mientras que el aumento de amplitud es mínimo.

En la Figura 40, 40, 41, 42, 43, 44, 45 y 46, se presenta la gráfica del parámetro AF Vs RA con el fin de verificar la clasificación de las emisiones a nivel cualitativo de acuerdo con el tipo de evento que la originó (corte o tensión), en esta se pudo apreciar que las emisiones se agrupan más sobre el eje de la frecuencia promedio FA, en todos los muros analizados se evidenció una tendencia muy similar, lo que demuestra que la mayoría de las fisuras fueron de tensión. Siguiendo la metodología comúnmente usada en este tipo de análisis (Aggelis, 2011), es posible trazar una recta a 45° (en la escala usada en los gráficos) para separar los dos tipos de eventos. Aunque esta división está basada en argumentos cualitativos, permite de manera gráfica determinar los eventos más relevantes en este proceso.

Realizando un promedio en porcentaje de las emisiones acústicas (EA) percibidas en todos los ensayos, de acuerdo con la frecuencia promedio AF y del valor RA, da como resultado que el 92,2% son fisuras por tensión y el 7,8% son fisuras por corte.

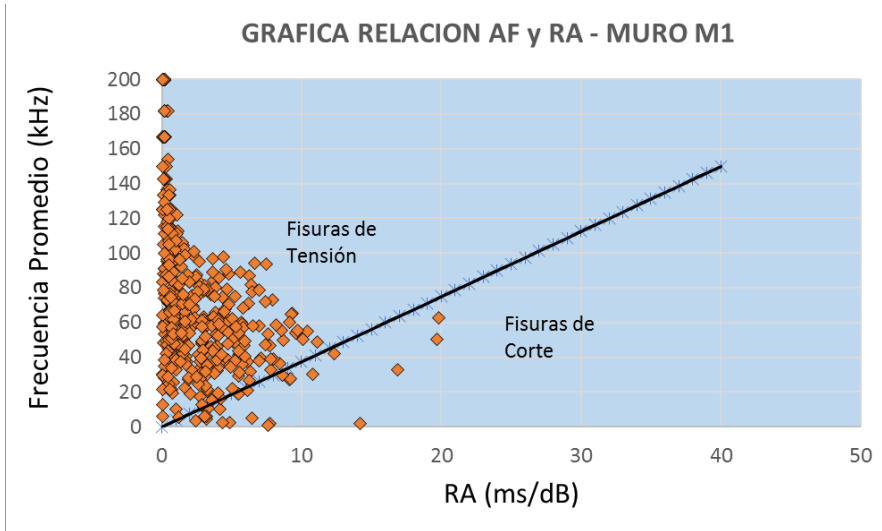


Figura 40. Grafica AF Vs RA – M1.

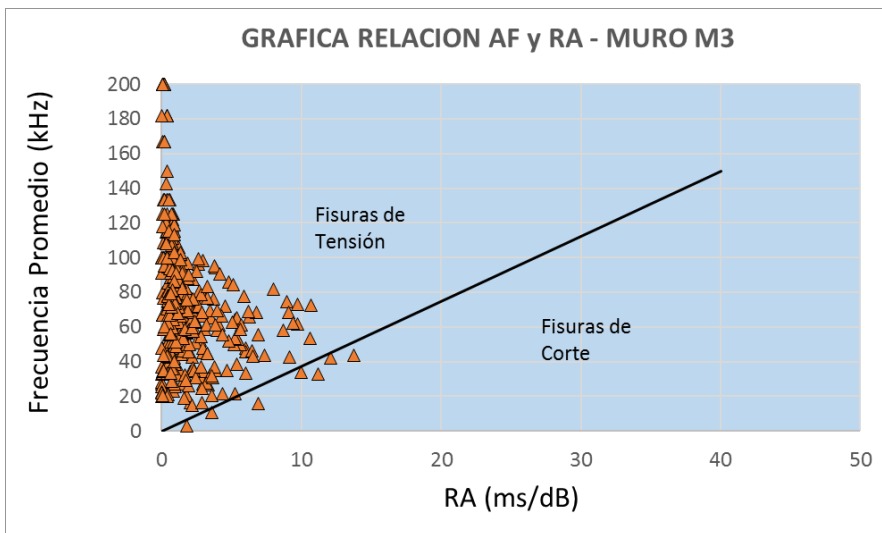


Figura 41. Grafica AF Vs RA – M3.

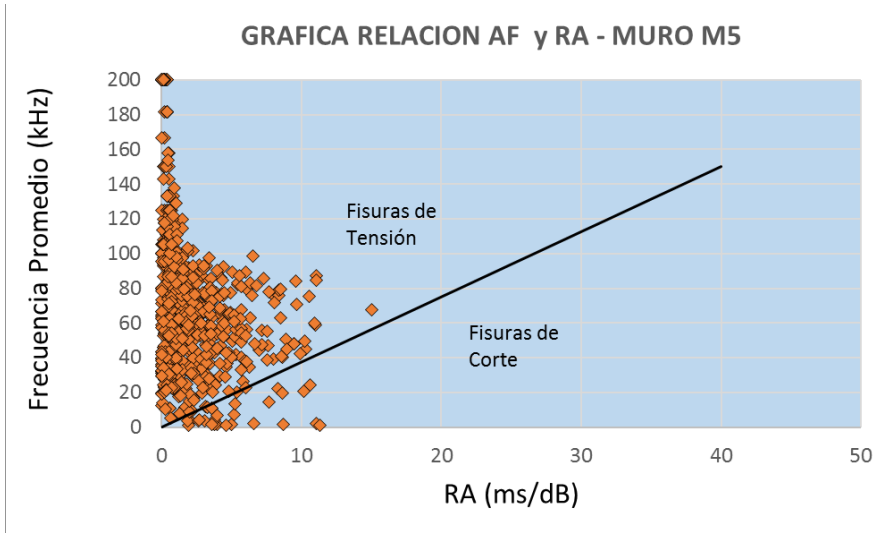


Figura 42. Grafica AF Vs RA – M5.

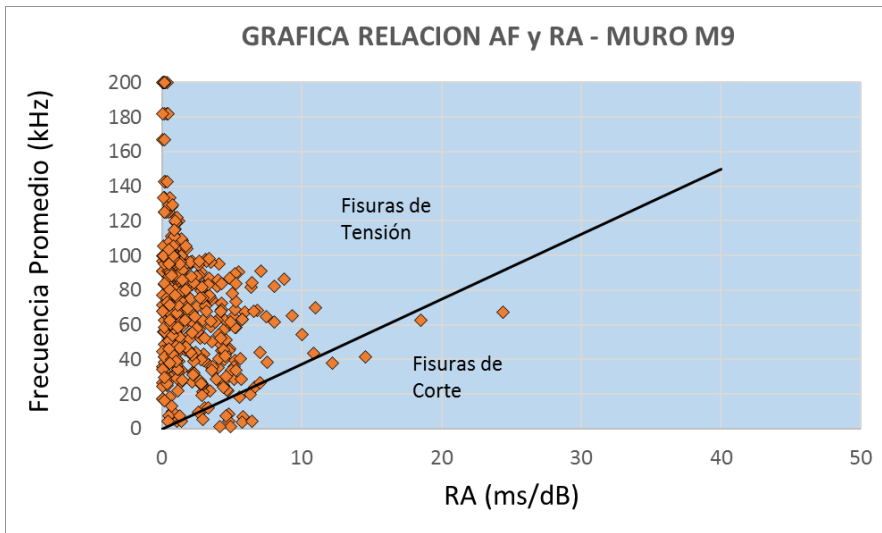


Figura 43. Grafica AF Vs RA – M9.

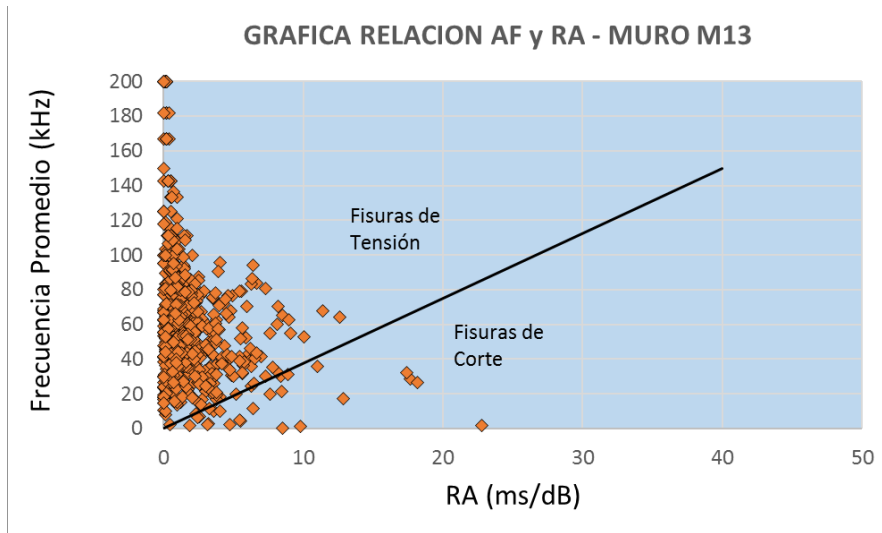


Figura 44. Grafica AF Vs RA – M13.

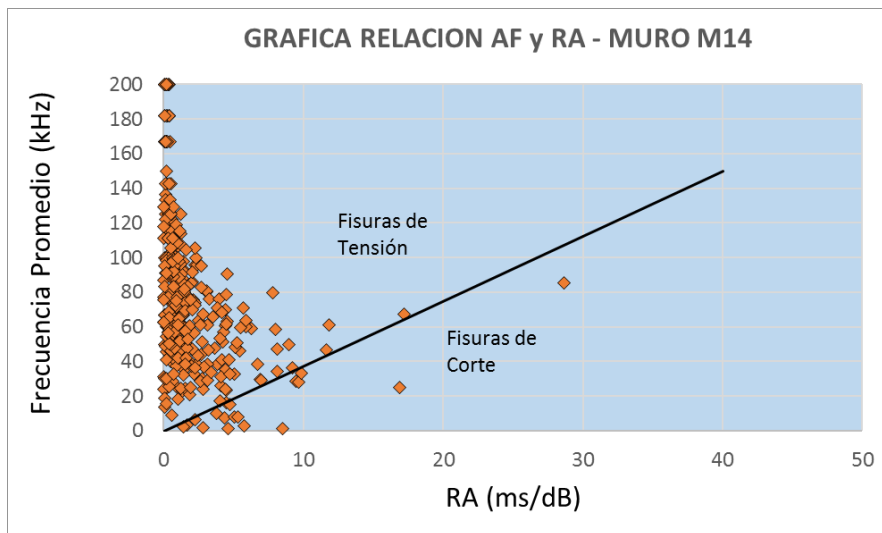


Figura 45. Grafica AF Vs RA – M14.

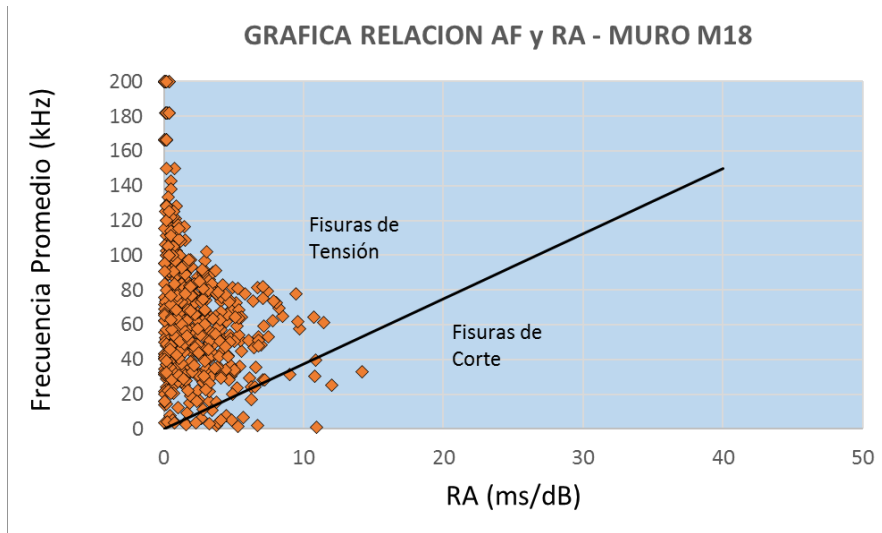


Figura 46. Grafica AF Vs RA – M18.

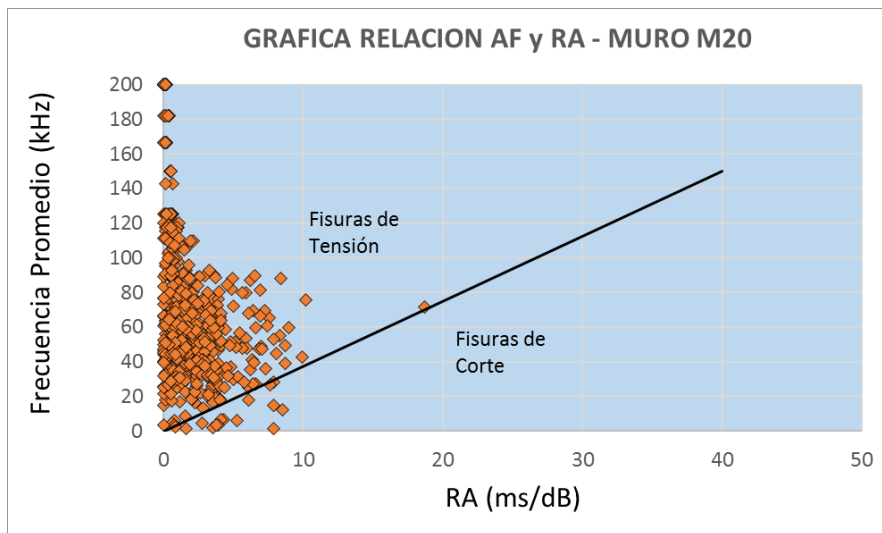


Figura 47. Grafica AF Vs RA – M20.

6. Capítulo VI

Conclusiones y Recomendaciones

El método presentado en este trabajo de investigación se muestra como una excelente herramienta para la medición del tipo de falla en elementos de mampostería con bloques de concreto reforzados con barras de GFRP.

Durante el desarrollo del trabajo se pudo comprobar que con la técnica de EA se puede realizar un análisis del microfisuramiento muy detallado en función del tiempo, porque se describe la evolución de fenómenos que se desarrollan entre su estado inicial y su estado final, representado el surgimiento y la formación de fisuras en el material, por lo tanto, se considera esta metodología ideal para la medición del daño o falla, sin importar el material o las propiedades que posea.

A partir de la técnica de emisiones acústicas fuimos capaces de detectar, más allá de la inspección visual, la generación de micro-fisuras durante el proceso de carga de los muros.

Corroboramos que las emisiones más energéticas se presentan durante los picos de carga, así como la presencia de zonas de silencio acústico alrededor de las zonas de esfuerzo mínimo durante los primeros ciclos.

Los resultados de las gráficas demuestran que las emisiones durante la etapa de carga exhiben un valor más alto de AF o frecuencia promedio que los valores de RA los cuales son más bajos, este comportamiento se mantiene hasta el final del ensayo, lo que demuestra que el muro está sometido a esfuerzos de tensión y que los esfuerzos de corte son mínimos.

Durante el ciclo de fallo se detectaron emisiones inclusive en esfuerzos bajos, evidencia del alto grado de deterioro del material.

Los mayores picos energéticos se observan donde se presenta la carga máxima, exhibiendo de esta manera fisuramientos internos, en esta etapa el concreto presenta unas tensiones importantes y la energía de las EA va aumentando su orden de magnitud en comparación con la etapa inicial.

Con base en los ensayos anteriores, se puede verificar en las gráficas de AF y RA que hay espacios en el tiempo donde no se presentan emisiones acústicas o son mínimas, estos se

dan en el transcurso o el lapso de la iniciación de la carga hasta cuando se llega a la carga límite, de igual manera sucede con la descarga donde inicia hasta la descarga total.

En las gráficas de energía se puede observar que en los primeros ciclos de carga la energía desarrollada en cada AE es mínima, pero esta va aumentando a medida que se va incrementando la carga.

A partir del análisis paramétrico fuimos capaces de clasificar, a nivel cualitativo, las emisiones de acuerdo con el tipo de evento que la originó (corte o tensión).

En los resultados obtenidos por emisiones acústicas no se pudo determinar donde se presentó la falla, si fue en los bloques de concreto, en el mortero de relleno o en el mortero de pega, toca determinarlo colocando un mayor número de sensores de acuerdo al tiempo de llegada de las señales de EA.

Es muy importante resaltar que este trabajo abre una puerta a la técnica de EA y da un avance a futuras investigaciones, tanto para analizar otros elementos estructurales de concreto reforzado con barras de GFRP o de acero, donde se pueda estudiar y resolver varias etapas que en este trabajo no se desarrollaron o no fueron concluyentes como la localización exacta de donde se presentó el daño, la existencia de algún deslizamiento entre las barras o la dimensión de las fisuras.

Se recomienda para otras investigaciones que el potenciómetro sea colocado en la parte donde se presenta la máxima flexión, esto con el fin de poder registrar algún desplazamiento entre las barras de refuerzo cuando se encuentran traslapadas.

Se recomienda dentro de lo posible, la inclusión en el programa de posgrado, una materia o curso especializado, en la que se imparta la evaluación de los materiales a partir de técnicas de medición con emisiones acústicas, conocer más profundamente la relación que tienen estas con las propiedades del material y como pueden ser utilizadas para la evaluación estructural.

Bibliografía

- Aggelis, D. G. (2011). Classification of cracking mode in concrete by acoustic emission parameters. *Mechanics Research Communications*, 38(3), 153–157. <https://doi.org/10.1016/j.mechrescom.2011.03.007>
- Arley, J., & Gómez, U. (2020). *Influencia de la longitud de traslapo en la capacidad a flexión de muros de mampostería reforzados internamente con barras de GFRP ante cargas fuera del plano . Influencia de la longitud de traslapo en el comportamiento a flexión de muros de mampostería reforzados internamente con barras de G.*
- Bhuiyan, M. Y., Lin, B., & Giurgiutiu, V. (2018). *Acoustic emission sensor effect and waveform evolution during fatigue crack growth in thin metallic plate. Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 29(7), 1275-1284.
- Carrión Viramontes, F. J., Lomelí González, M. G., Quintana Rodríguez, J. a, & Martínez Madrid, M. (2003). *La evaluación no destructiva de materiales estructurales y puentes*. 231, 1–202.
- Colombo, S., Forde, M. C., Main, I. G., & Shigeishi, M. (2005). Predicting the ultimate bending capacity of concrete beams from the “relaxation ratio” analysis of AE signals. *Construction and Building Materials*, 19(10), 746–754. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.06.004>
- Ernst, R., & Dual, J. (2014). Acoustic emission localization in beams based on time reversed dispersion. *ULTRASONICS*, April. <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2014.04.012>
- Farhidzadeh, A., Salamone, S., Luna, B., & Whittaker, A. (2013). Acoustic emission monitoring of a reinforced concrete shear wall by b-value-based outlier analysis. *Structural Health Monitoring*, 12(1), 3–13. <https://doi.org/10.1177/1475921712461162>
- Flores Jaramillo, C. A. (2018). Estudio sobre el uso de emisiones acústicas para la detección, localización y monitoreo de la evolución de grietas.
- Gallego, A., Benavent-Climent, A., & Suarez, E. (2016). Concrete-galvanized steel pull-out bond assessed by acoustic emission. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 28(2), 1–8. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001372](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001372)
- Guzmán, C., Torres, D., Hucailuk, C., & Filipussi, D. (2015). Analysis of the Acoustic Emission in a Reinforced Concrete Beam Using a Four Points Bending Test. *Procedia*

Materials Science, 8, 148–154. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2015.04.058>

- Huguet, S., Godin, N., Gaertner, R., Salmon, L., & Villard, D. (2002). Use of acoustic emission to identify damage modes in glass fibre reinforced polyester. *Composites Science and Technology*, 62(10–11), 1433–1444. [https://doi.org/10.1016/S0266-3538\(02\)00087-8](https://doi.org/10.1016/S0266-3538(02)00087-8)
- Lacidogna, G., Piana, G., & Carpinteri, A. (2019). Damage monitoring of three-point bending concrete specimens by acoustic emission and resonant frequency analysis. *Engineering Fracture Mechanics*, 210, 203–211. <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2018.06.034>
- Madarshahian, R., Soltangharaei, V., Anay, R., Caicedo, J. M., & Ziehl, P. (2019). Hsu-Nielsen source acoustic emission data on a concrete block. *Data in brief*, 23, 103813.
- Ohno, K., & Ohtsu, M. (2010). Crack classification in concrete based on acoustic emission. *Construction and Building Materials*, 24(12), 2339–2346. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.05.004>
- Prem, P. R., & Murthy, A. R. (2017). Acoustic emission monitoring of reinforced concrete beams subjected to four-point-bending. *Applied Acoustics*, 117, 28–38. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.08.006>
- Roberts, T. M., & Talebzadeh, M. (2003). Acoustic emission monitoring of fatigue crack propagation. *Journal of Constructional Steel Research*, 59(6), 695–712. [https://doi.org/10.1016/S0143-974X\(02\)00064-0](https://doi.org/10.1016/S0143-974X(02)00064-0)
- Shah, A. A., Ali, R., Naseer, A., & Zhang, C. (2014). Assessment of Progressive Damages in Concrete with Acoustic Emission Technique. *Advances in Applied Acoustics*, 3(0), 25. <https://doi.org/10.14355/aiaas.2014.03.004>
- Sidorova, A. (2010). *Método de emisión acústica*. 1948, 1–70. http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/12327/4/Capitulo3_Emission_acustica.pdf
- Usgame Sandoval, H. M., Pedraza Ramirez, C. A., & Quiroga Mendez, J. E. (2013). *Acoustic emission-based early fault detection in tapered roller bearings*. *Ingeniería e Investigación*, 33(3), 5-10.
- Verstrynge, E. (2018). Acoustic emission testing. In *Long-term Performance and Durability*

of Masonry Structures: Degradation Mechanisms, Health Monitoring and Service Life Design. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102110-1.00010-8>

Vidya Sagar, R. (2017). Acoustic emission characteristics of reinforced concrete beams with varying percentage of tension steel reinforcement under flexural loading. *Case Studies in Construction Materials*, 6, 162–176. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2017.01.002>

ACÚSTICAS, D. E. I. D. M., & SITU, P. I. 46º. CONGRESO ESPAÑOL DE ACÚSTICA ENCUESTRO IBÉRICO DE ACÚSTICA EUROPEAN SYMPOSIUM ONVIRTUAL ACOUSTICS AND AMBISONICS.

ANEXO A

TABLAS DE PARAMETROS DE EA Y CICLOS DE CARGA- MURO M20

Debido al volumen de datos adquiridos por el método de emisiones acústicas que representan cada uno de los ensayos para los diferentes muros, se escogió un muro en particular para adjuntar sus datos correspondientes, esto con el fin de evidenciar las gráficas realizadas en este análisis.

time (s)	Rise time (ms)	counts	Duration (ms)	Amplitude (dB)	Energy	AF (kHz)	RA (ms/dB)
54,17	16	1	17	28	1,98E-01	58,8	0,57
59,06	15	2	16	28	4,10E-01	125,0	0,54
86,31	15	1	16	24	4,10E-01	62,5	0,63
146,31	1	1	1	27	1,96E-02	1000,0	0,04
154,68	52	3	53	27	7,77E-01	56,6	1,93
154,76	14	1	16	28	3,57E-01	62,5	0,50
166,64	122	9	244	31	4,08E+00	36,9	3,94
212,00	1	1	2	28	1,08E-01	500,0	0,04
212,62	25	11	236	41	1,52E+01	46,6	0,61
225,82	21	3	59	32	1,55E+00	50,8	0,66
248,61	1	1	39	29	6,31E-01	25,6	0,03
302,31	1	1	5	27	1,32E-01	200,0	0,04
304,37	1	1	5	25	1,32E-01	200,0	0,04
304,38	1	1	1	26	8,38E-03	1000,0	0,04
304,40	11	5	88	28	1,72E+00	56,8	0,39
304,44	106	35	605	36	2,30E+01	57,9	2,94
304,51	103	31	733	34	1,76E+01	42,3	3,03
304,75	24	3	35	28	7,19E-01	85,7	0,86
304,84	179	50	1354	37	8,13E+01	36,9	4,84
305,63	5	1	5	27	1,02E-01	200,0	0,19
308,97	22	4	33	29	8,84E-01	121,2	0,76
310,13	157	22	269	32	9,33E+00	81,8	4,91
318,14	25	10	235	39	2,02E+01	42,6	0,64
318,94	25	3	40	27	8,08E-01	75,0	0,93

time (s)	Rise time (ms)	counts	Duration (ms)	Amplitude (dB)	Energy	AF (kHz)	RA (ms/dB)
321,65	25	1	40	25	8,08E-01	25,0	1,00
326,28	120	18	367	32	7,52E+00	49,0	3,75
335,14	94	2	94	26	8,64E-01	21,3	3,62
480,13	25	9	131	30	2,97E+00	68,7	0,83
481,48	25	1	1	26	0,00E+00	1000,0	0,96
484,49	15	3	26	29	5,67E-01	115,4	0,52
485,08	39	12	357	29	4,48E+00	33,6	1,34
486,68	47	15	299	32	7,78E+00	50,2	1,47
491,35	268	22	774	34	2,27E+01	28,4	7,88
495,14	98	24	472	32	1,09E+01	50,8	3,06
495,80	224	60	754	38	4,62E+01	79,6	5,89
495,86	20	4	37	30	1,14E+00	108,1	0,67
495,88	20	3	45	27	7,77E-01	66,7	0,74
496,08	11	2	16	28	4,69E-01	125,0	0,39
497,00	11	1	16	25	4,69E-01	62,5	0,44
500,61	158	127	2407	64	7,36E+03	52,8	2,47
505,00	264	24	367	35	1,28E+01	65,4	7,54
505,43	8	2	9	27	2,28E-01	222,2	0,30
513,83	386	76	1270	43	1,23E+02	59,8	8,98
726,09	94	3	114	27	8,91E-01	26,3	3,48
732,76	16	2	17	27	3,85E-01	117,6	0,59
738,54	104	2	104	27	9,84E-01	19,2	3,85
738,73	66	6	93	31	2,44E+00	64,5	2,13
738,81	116	35	592	36	2,15E+01	59,1	3,22
738,95	15	8	154	32	3,71E+00	51,9	0,47
741,34	133	61	793	38	4,38E+01	76,9	3,50
744,04	111	69	1204	40	1,01E+02	57,3	2,78
745,07	5	2	11	29	2,66E-01	181,8	0,17
745,69	1	1	6	28	2,15E-01	166,7	0,04
745,89	63	10	226	29	3,69E+00	44,2	2,17
745,98	63	1	1	25	0,00E+00	1000,0	2,52

time (s)	Rise time (ms)	counts	Duration (ms)	Amplitude (dB)	Energy	AF (kHz)	RA (ms/dB)
746,78	19	2	23	27	3,32E-01	87,0	0,70
747,16	184	16	298	31	5,99E+00	53,7	5,94
747,80	44	4	70	28	1,07E+00	57,1	1,57
749,43	24	3	35	28	6,90E-01	85,7	0,86
751,25	67	36	389	41	4,19E+01	92,5	1,63
752,07	25	2	25	26	3,96E-01	80,0	0,96
752,20	16	3	27	29	8,96E-01	111,1	0,55
752,34	164	3	168	27	1,07E+00	17,9	6,07
752,52	1	1	25	27	3,72E-01	40,0	0,04
753,46	40	23	340	38	2,00E+01	67,6	1,05
754,51	1	1	1	27	1,88E-02	1000,0	0,04
754,52	116	7	131	30	2,21E+00	53,4	3,87
754,86	70	26	350	34	1,42E+01	74,3	2,06
755,42	69	34	440	32	1,20E+01	77,3	2,16
755,96	4	4	161	28	1,51E+00	24,8	0,14
755,98	11	10	146	30	3,35E+00	68,5	0,37
756,22	40	11	215	36	9,13E+00	51,2	1,11
756,28	5	1	5	27	1,27E-01	200,0	0,19
756,38	30	16	243	32	5,20E+00	65,8	0,94
756,52	30	1	1	26	0,00E+00	1000,0	1,15
757,71	15	6	52	35	5,21E+00	115,4	0,43
757,75	14	3	20	28	5,31E-01	150,0	0,50
757,81	14	1	1	25	0,00E+00	1000,0	0,56
757,94	25	16	344	30	5,42E+00	46,5	0,83
758,16	4	2	10	29	3,04E-01	200,0	0,14
758,82	5	14	293	34	5,97E+00	47,8	0,15
759,74	1	1	1	26	1,75E-02	1000,0	0,04
759,75	38	6	100	29	1,85E+00	60,0	1,31
759,93	20	3	24	30	5,87E-01	125,0	0,67
760,00	11	4	199	31	2,04E+00	20,1	0,35
760,29	47	4	48	28	9,21E-01	83,3	1,68

time (s)	Rise time (ms)	counts	Duration (ms)	Amplitude (dB)	Energy	AF (kHz)	RA (ms/dB)
760,46	47	1	1	26	0,00E+00	1000,0	1,81
761,88	47	1	1	25	0,00E+00	1000,0	1,88
761,94	20	5	50	31	1,84E+00	100,0	0,65
762,06	13	13	192	33	4,85E+00	67,7	0,39
762,25	14	4	69	29	1,30E+00	58,0	0,48
762,60	25	2	25	26	3,51E-01	80,0	0,96
762,97	155	9	302	31	3,73E+00	29,8	5,00
763,15	20	5	86	32	2,39E+00	58,1	0,63
763,52	32	19	338	36	1,56E+01	56,2	0,89
763,61	1	2	16	27	2,77E-01	125,0	0,04
763,94	15	2	16	28	4,29E-01	125,0	0,54
763,98	5	3	46	30	1,04E+00	65,2	0,17
764,01	1	2	26	28	5,31E-01	76,9	0,04
764,12	10	2	11	29	2,74E-01	181,8	0,34
764,26	77	8	107	29	2,20E+00	74,8	2,66
764,28	127	15	248	32	6,07E+00	60,5	3,97
764,44	68	47	805	43	6,47E+01	58,4	1,58
764,50	115	6	183	28	2,27E+00	32,8	4,11
764,53	6	2	12	27	2,53E-01	166,7	0,22
764,55	1	1	1	27	1,82E-02	1000,0	0,04
764,55	30	5	51	29	1,38E+00	98,0	1,03
764,61	21	2	21	27	3,39E-01	95,2	0,78
764,62	114	8	222	28	2,94E+00	36,0	4,07
764,97	1	1	1	26	9,12E-03	1000,0	0,04
765,06	4	1	4	26	8,97E-02	250,0	0,15
765,34	30	6	51	29	1,41E+00	117,6	1,03
765,47	119	21	413	34	1,35E+01	50,8	3,50
765,48	48	7	224	31	3,04E+00	31,3	1,55
765,50	57	34	390	39	1,94E+01	87,2	1,46
765,78	271	15	386	31	7,12E+00	38,9	8,74
765,79	38	32	482	39	1,76E+01	66,4	0,97

time (s)	Rise time (ms)	counts	Duration (ms)	Amplitude (dB)	Energy	AF (kHz)	RA (ms/dB)
765,81	51	21	328	38	1,26E+01	64,0	1,34
765,85	1	2	137	29	9,67E-01	14,6	0,03
766,10	5	5	89	30	1,19E+00	56,2	0,17
766,15	19	3	21	28	5,52E-01	142,9	0,68
766,73	32	8	173	32	3,52E+00	46,2	1,00
766,88	4	2	16	27	3,78E-01	125,0	0,15
767,31	56	3	60	29	7,97E-01	50,0	1,93
767,55	179	10	210	30	3,40E+00	47,6	5,97
767,73	25	19	296	34	1,07E+01	64,2	0,74
767,77	158	9	188	28	2,93E+00	47,9	5,64
767,80	1	3	65	28	8,90E-01	46,2	0,04
767,86	1	1	1	25	0,00E+00	1000,0	0,04
768,30	267	36	593	36	2,41E+01	60,7	7,42
768,67	297	26	524	34	1,22E+01	49,6	8,74
769,06	87	2	88	27	1,01E+00	22,7	3,22
769,72	196	28	1103	32	2,19E+01	25,4	6,13
769,78	198	18	435	31	8,01E+00	41,4	6,39
769,82	117	11	236	30	4,24E+00	46,6	3,90
770,10	4	4	120	31	1,32E+00	33,3	0,13
770,29	64	8	260	31	3,03E+00	30,8	2,06
770,44	21	3	33	30	1,05E+00	90,9	0,70
771,92	25	4	51	31	1,56E+00	78,4	0,81
771,95	1	2	10	27	2,11E-01	200,0	0,04
771,99	1	1	1	25	0,00E+00	1000,0	0,04
772,02	187	39	444	38	2,55E+01	87,8	4,92
772,06	19	4	45	30	1,34E+00	88,9	0,63
772,17	29	11	295	32	4,12E+00	37,3	0,91
773,01	46	69	799	41	7,74E+01	86,4	1,12
773,12	178	5	184	27	2,15E+00	27,2	6,59
773,78	57	26	447	35	1,17E+01	58,2	1,63
774,28	62	28	465	32	1,36E+01	60,2	1,94

time (s)	Rise time (ms)	counts	Duration (ms)	Amplitude (dB)	Energy	AF (kHz)	RA (ms/dB)
774,32	1	1	1	26	2,48E-02	1000,0	0,04
774,71	145	117	1633	53	8,40E+02	71,6	2,74
775,99	216	41	513	38	3,93E+01	79,9	5,68
776,10	40	40	539	39	3,91E+01	74,2	1,03
776,15	5	2	17	29	5,88E-01	117,6	0,17
776,17	14	6	197	28	2,16E+00	30,5	0,50
776,36	14	1	1	26	0,00E+00	1000,0	0,54
776,46	19	4	144	29	1,55E+00	27,8	0,66
776,71	5	2	11	27	3,07E-01	181,8	0,19
777,51	259	16	290	31	5,02E+00	55,2	8,35
777,71	15	9	241	31	3,93E+00	37,3	0,48
777,96	4	5	162	31	2,14E+00	30,9	0,13
778,13	61	1	61	27	7,89E-01	16,4	2,26
778,14	29	13	246	34	5,74E+00	52,8	0,85
778,16	81	4	82	29	1,32E+00	48,8	2,79
778,21	201	99	1520	50	5,56E+02	65,1	4,02
778,22	1	1	1	26	1,75E-02	1000,0	0,04
778,75	164	11	194	30	3,95E+00	56,7	5,47
778,99	50	9	272	32	4,42E+00	33,1	1,56
779,02	10	5	44	29	1,45E+00	113,6	0,34
779,70	1	1	1	26	9,12E-03	1000,0	0,04
779,79	64	23	425	34	1,10E+01	54,1	1,88
779,86	63	13	232	37	9,63E+00	56,0	1,70
779,91	21	5	78	29	1,53E+00	64,1	0,72
779,98	131	79	1664	47	3,16E+02	47,5	2,79
780,13	43	8	265	31	3,41E+00	30,2	1,39
780,15	56	13	123	35	1,01E+01	105,7	1,60
780,21	16	3	33	29	7,46E-01	90,9	0,55
780,26	29	7	59	33	3,05E+00	118,6	0,88
780,70	29	1	59	25	3,05E+00	16,9	1,16
780,82	11	5	114	30	1,78E+00	43,9	0,37

time (s)	Rise time (ms)	counts	Duration (ms)	Amplitude (dB)	Energy	AF (kHz)	RA (ms/dB)
780,85	103	15	329	29	5,20E+00	45,6	3,55
781,01	5	3	26	28	5,19E-01	115,4	0,18
781,06	5	1	1	25	0,00E+00	1000,0	0,20
781,15	188	101	1123	52	7,36E+02	89,9	3,62
781,21	253	32	461	35	2,08E+01	69,4	7,23
781,27	143	15	256	32	6,14E+00	58,6	4,47
781,51	25	4	46	31	1,59E+00	87,0	0,81
781,72	1	3	68	28	8,71E-01	44,1	0,04
781,85	105	28	312	35	1,90E+01	89,7	3,00
781,86	195	13	267	28	4,03E+00	48,7	6,96
781,97	107	27	338	34	1,24E+01	79,9	3,15
781,99	102	12	173	33	6,45E+00	69,4	3,09
782,12	20	1	21	28	3,03E-01	47,6	0,71
782,13	78	11	148	33	4,26E+00	74,3	2,36
782,17	71	33	372	38	2,94E+01	88,7	1,87
782,30	19	3	29	27	5,69E-01	103,4	0,70
782,34	72	5	84	29	1,65E+00	59,5	2,48
782,40	38	17	200	36	1,02E+01	85,0	1,06
782,41	5	1	6	27	1,10E-01	166,7	0,19
782,44	92	18	314	31	6,74E+00	57,3	2,97
782,46	4	2	113	28	1,02E+00	17,7	0,14
782,49	61	5	82	30	1,60E+00	61,0	2,03
782,54	44	3	66	29	8,12E-01	45,5	1,52
782,54	20	10	171	29	3,01E+00	58,5	0,69
782,56	52	7	73	29	1,98E+00	95,9	1,79
782,57	77	27	384	37	2,01E+01	70,3	2,08
782,82	83	13	187	32	5,43E+00	69,5	2,59
782,84	1	1	1	26	9,12E-03	1000,0	0,04
782,88	3	2	30	27	3,72E-01	66,7	0,11
782,91	24	8	122	30	2,70E+00	65,6	0,80
783,02	1	1	46	27	3,19E-01	21,7	0,04

time (s)	Rise time (ms)	counts	Duration (ms)	Amplitude (dB)	Energy	AF (kHz)	RA (ms/dB)
783,04	82	13	388	31	5,52E+00	33,5	2,65
783,08	14	2	45	29	7,29E-01	44,4	0,48
783,10	1	1	1	26	8,38E-03	1000,0	0,04
783,26	115	11	124	31	3,86E+00	88,7	3,71
783,52	197	19	607	37	2,01E+01	31,3	5,32
783,59	197	1	607	25	2,01E+01	1,6	7,88
783,61	11	2	16	28	3,20E-01	125,0	0,39
783,65	4	7	214	32	3,02E+00	32,7	0,13
783,65	25	3	30	29	6,18E-01	100,0	0,86
783,74	39	3	44	26	7,19E-01	68,2	1,50
783,77	206	29	416	32	1,21E+01	69,7	6,44
783,77	84	31	488	39	2,66E+01	63,5	2,15
783,79	4	1	4	26	8,97E-02	250,0	0,15
783,86	20	2	20	27	3,53E-01	100,0	0,74
783,87	20	1	20	25	3,53E-01	50,0	0,80
783,89	1	1	12	27	1,71E-01	83,3	0,04
783,90	54	1	54	26	5,84E-01	18,5	2,08
783,91	1	4	45	27	8,79E-01	88,9	0,04
783,92	10	1	11	27	2,18E-01	90,9	0,37
783,93	10	1	1	25	0,00E+00	1000,0	0,40
783,96	242	71	816	39	7,52E+01	87,0	6,21
783,98	82	35	632	37	2,11E+01	55,4	2,22
783,98	55	5	62	30	1,60E+00	80,6	1,83
783,99	55	1	1	26	0,00E+00	1000,0	2,12
784,02	5	2	21	29	5,54E-01	95,2	0,17
784,04	83	17	418	32	6,24E+00	40,7	2,59
784,05	83	1	1	26	0,00E+00	1000,0	3,19
784,06	83	1	1	24	0,00E+00	1000,0	3,46
784,07	77	18	381	34	7,87E+00	47,2	2,26
784,08	19	4	88	30	1,47E+00	45,5	0,63
784,10	15	4	37	29	9,23E-01	108,1	0,52

time (s)	Rise time (ms)	counts	Duration (ms)	Amplitude (dB)	Energy	AF (kHz)	RA (ms/dB)
784,11	70	29	395	35	1,33E+01	73,4	2,00
784,12	5	2	16	26	2,77E-01	125,0	0,19
784,14	87	21	408	36	1,02E+01	51,5	2,42
784,15	84	24	271	34	9,45E+00	88,6	2,47
784,16	38	13	169	31	3,90E+00	76,9	1,23
784,17	103	7	108	30	2,31E+00	64,8	3,43
784,19	1	1	15	27	2,31E-01	66,7	0,04
784,21	1	1	1	27	1,04E-02	1000,0	0,04
784,21	91	11	178	29	3,28E+00	61,8	3,14
784,22	11	1	11	27	1,28E-01	90,9	0,41
784,24	15	4	87	29	1,32E+00	46,0	0,52
784,25	98	3	103	27	9,31E-01	29,1	3,63
784,26	190	35	677	37	2,82E+01	51,7	5,14
784,28	45	10	282	33	5,09E+00	35,5	1,36
784,29	25	2	25	28	3,98E-01	80,0	0,89
784,30	49	13	286	28	3,93E+00	45,5	1,75
784,31	1	1	4	27	1,01E-01	250,0	0,04
784,33	26	1	26	26	3,24E-01	38,5	1,00
784,34	21	2	45	27	4,98E-01	44,4	0,78
784,36	24	4	40	30	1,08E+00	100,0	0,80
784,37	37	42	564	36	2,41E+01	74,5	1,03
784,38	19	7	100	29	1,86E+00	70,0	0,66
784,39	5	1	6	28	1,95E-01	166,7	0,18
784,40	57	2	57	26	5,19E-01	35,1	2,19
784,42	177	79	1036	45	1,79E+02	76,3	3,93
784,43	749	102	1428	40	7,11E+01	71,4	18,73
784,45	113	8	134	29	2,44E+00	59,7	3,90
784,46	1	1	1	26	9,12E-03	1000,0	0,04
784,47	30	14	240	32	4,44E+00	58,3	0,94
784,48	48	10	224	32	5,15E+00	44,6	1,50
784,50	48	1	1	26	0,00E+00	1000,0	1,85

time (s)	Rise time (ms)	counts	Duration (ms)	Amplitude (dB)	Energy	AF (kHz)	RA (ms/dB)
784,51	35	12	276	33	6,00E+00	43,5	1,06
784,52	1	1	1	28	2,61E-02	1000,0	0,04
784,53	110	2	110	27	7,54E-01	18,2	4,07
784,55	11	2	37	29	6,07E-01	54,1	0,38
784,56	6	1	6	26	1,49E-01	166,7	0,23
784,57	6	1	6	26	1,49E-01	166,7	0,23
784,59	77	6	102	30	1,72E+00	58,8	2,57
784,60	152	36	730	37	2,95E+01	49,3	4,11
784,61	271	62	764	39	6,53E+01	81,2	6,95
784,63	65	37	423	39	2,91E+01	87,5	1,67
784,64	84	14	246	32	5,17E+00	56,9	2,63
784,65	45	5	66	28	1,15E+00	75,8	1,61
784,66	47	6	141	29	2,06E+00	42,6	1,62
784,68	61	3	61	27	6,93E-01	49,2	2,26
784,69	1	1	1	28	4,34E-02	1000,0	0,04
784,70	30	33	710	35	1,65E+01	46,5	0,86
784,71	33	6	50	29	1,46E+00	120,0	1,14
784,73	81	67	802	44	1,19E+02	83,5	1,84
784,74	179	5	185	28	2,09E+00	27,0	6,39
784,75	77	14	203	32	5,50E+00	69,0	2,41
784,77	100	71	886	47	2,36E+02	80,1	2,13
784,78	76	3	87	29	1,24E+00	34,5	2,62
784,79	1	2	11	27	2,74E-01	181,8	0,04
784,80	1	8	252	29	3,39E+00	31,7	0,03
784,82	5	1	5	26	6,70E-02	200,0	0,19
784,83	40	2	41	29	6,18E-01	48,8	1,38
784,84	40	1	1	26	0,00E+00	1000,0	1,54
784,86	40	1	1	26	0,00E+00	1000,0	1,54
784,87	220	14	389	30	5,66E+00	36,0	7,33
784,88	5	2	10	28	2,78E-01	200,0	0,18
784,89	29	4	34	29	8,32E-01	117,6	1,00

time (s)	Rise time (ms)	counts	Duration (ms)	Amplitude (dB)	Energy	AF (kHz)	RA (ms/dB)
784,91	1	1	1	27	4,12E-02	1000,0	0,04
784,93	5	1	6	27	1,25E-01	166,7	0,19
784,93	19	18	252	33	6,67E+00	71,4	0,58
784,95	1	1	1	27	1,04E-02	1000,0	0,04
784,96	76	12	290	32	4,60E+00	41,4	2,38
784,98	25	2	41	27	6,26E-01	48,8	0,93
784,98	15	4	55	29	1,19E+00	72,7	0,52
785,01	20	1	20	27	3,46E-01	50,0	0,74
785,01	11	1	11	27	1,65E-01	90,9	0,41
785,03	1	1	1	26	1,69E-02	1000,0	0,04
785,04	1	1	1	26	0,00E+00	1000,0	0,04
785,06	66	4	67	27	1,05E+00	59,7	2,44
785,06	25	13	370	33	6,54E+00	35,1	0,76
785,08	15	17	292	32	6,86E+00	58,2	0,47
785,09	57	5	123	30	1,84E+00	40,7	1,90
785,10	16	2	115	28	5,52E-01	17,4	0,57
785,11	37	1	37	27	2,63E-01	27,0	1,37
785,13	20	5	166	31	1,83E+00	30,1	0,65
785,14	20	1	166	26	1,83E+00	6,0	0,77
785,15	510	107	1414	50	4,64E+02	75,7	10,20
785,17	39	4	44	28	8,19E-01	90,9	1,39
785,19	39	1	44	25	8,19E-01	22,7	1,56
785,19	85	9	200	31	2,76E+00	45,0	2,74
785,21	85	1	1	26	0,00E+00	1000,0	3,27
785,22	93	20	225	36	1,61E+01	88,9	2,58
785,23	26	3	26	29	5,45E-01	115,4	0,90
785,25	311	43	487	37	3,75E+01	88,3	8,41
785,26	83	21	455	35	1,00E+01	46,2	2,37
785,27	212	24	401	32	8,70E+00	59,9	6,63
785,30	21	7	154	29	2,54E+00	45,5	0,72
785,30	259	18	400	32	7,49E+00	45,0	8,09

time (s)	Rise time (ms)	counts	Duration (ms)	Amplitude (dB)	Energy	AF (kHz)	RA (ms/dB)
785,31	4	2	30	27	3,85E-01	66,7	0,15
785,33	131	6	164	29	2,38E+00	36,6	4,52
785,34	131	1	164	25	2,38E+00	6,1	5,24
785,35	44	4	60	29	9,70E-01	66,7	1,52
785,37	72	50	737	43	6,39E+01	67,8	1,67
785,38	1	1	4	27	1,09E-01	250,0	0,04
785,39	44	4	48	30	9,32E-01	83,3	1,47
785,41	213	4	269	27	2,24E+00	14,9	7,89
785,42	11	2	11	28	3,40E-01	181,8	0,39
785,43	11	1	11	24	3,40E-01	90,9	0,46
785,44	48	78	883	51	5,28E+02	88,3	0,94
785,45	162	21	436	31	7,10E+00	48,2	5,23
785,47	25	19	329	31	5,78E+00	57,8	0,81
785,48	11	2	11	26	2,11E-01	181,8	0,42
785,49	124	11	151	32	4,46E+00	72,8	3,88
785,50	76	116	1720	56	1,83E+03	67,4	1,36
785,52	93	4	98	28	1,43E+00	40,8	3,32
785,53	1	3	25	27	5,49E-01	120,0	0,04
785,54	1	1	1	27	1,04E-02	1000,0	0,04
785,56	72	5	117	28	1,51E+00	42,7	2,57
785,57	64	42	687	38	2,54E+01	61,1	1,68
785,58	64	1	1	25	0,00E+00	1000,0	2,56
785,60	5	2	11	28	2,55E-01	181,8	0,18
785,61	5	1	1	26	0,00E+00	1000,0	0,19
785,62	125	4	126	27	1,42E+00	31,7	4,63
785,6326	113	47	775	36	26,564	60,6451613	3,13888889
785,65	16	2	16	28	4,05E-01	125,0	0,57
785,66	1	19	259	37	1,63E+01	73,4	0,03
785,67	1	1	1	25	0,00E+00	1000,0	0,04
785,68	182	52	788	45	1,30E+02	66,0	4,04
785,70	133	25	382	36	1,48E+01	65,4	3,69

time (s)	Rise time (ms)	counts	Duration (ms)	Amplitude (dB)	Energy	AF (kHz)	RA (ms/dB)
785,71	15	5	230	29	2,32E+00	21,7	0,52
785,72	15	1	230	24	2,32E+00	4,3	0,63
785,73	1	1	9	27	1,79E-01	111,1	0,04
785,75	104	16	513	33	8,88E+00	31,2	3,15
785,76	14	8	153	31	3,08E+00	52,3	0,45
785,78	5	2	50	29	6,36E-01	40,0	0,17
785,79	5	1	1	26	0,00E+00	1000,0	0,19
785,80	83	5	109	28	1,66E+00	45,9	2,96
785,81	29	2	31	29	5,80E-01	64,5	1,00
785,83	10	3	39	28	6,18E-01	76,9	0,36
785,84	215	15	226	31	5,95E+00	66,4	6,94
785,85	51	2	51	26	6,33E-01	39,2	1,96
785,86	68	15	284	33	6,66E+00	52,8	2,06
785,88	84	28	383	36	1,96E+01	73,1	2,33
785,89	65	10	91	30	3,42E+00	109,9	2,17
785,90	30	3	60	28	9,22E-01	50,0	1,07
785,92	24	1	24	26	2,11E-01	41,7	0,92
785,93	1	2	38	27	4,43E-01	52,6	0,04
785,94	1	1	1	25	0,00E+00	1000,0	0,04
785,96	103	10	148	33	3,54E+00	67,6	3,12
785,97	103	1	148	24	3,54E+00	6,8	4,29
785,99	103	1	148	25	3,54E+00	6,8	4,12
785,99	1	2	40	27	6,79E-01	50,0	0,04
786,01	1	1	6	27	1,52E-01	166,7	0,04
786,02	86	4	194	28	1,65E+00	20,6	3,07
786,04	10	1	10	26	1,52E-01	100,0	0,38
786,05	22	3	56	27	8,62E-01	53,6	0,81
786,06	41	6	66	31	2,52E+00	90,9	1,32
786,08	42	5	131	30	1,98E+00	38,2	1,40
786,08	1	1	1	26	8,38E-03	1000,0	0,04
786,10	82	12	224	32	4,34E+00	53,6	2,56

time (s)	Rise time (ms)	counts	Duration (ms)	Amplitude (dB)	Energy	AF (kHz)	RA (ms/dB)
786,11	1	1	5	27	1,36E-01	200,0	0,04
786,12	1	1	1	26	3,39E-02	1000,0	0,04
786,14	1	1	1	26	0,00E+00	1000,0	0,04
786,17	86	5	96	28	1,31E+00	52,1	3,07
786,17	1	1	1	26	8,38E-03	1000,0	0,04
786,21	30	23	331	32	9,30E+00	69,5	0,94
786,22	30	1	1	25	0,00E+00	1000,0	1,20
786,24	118	8	129	31	2,74E+00	62,0	3,81
786,25	1	1	1	28	6,42E-02	1000,0	0,04
786,26	26	7	163	29	2,07E+00	42,9	0,90
786,28	41	22	348	38	1,22E+01	63,2	1,08
786,29	6	14	323	30	4,97E+00	43,3	0,20
786,30	14	2	20	27	4,29E-01	100,0	0,52
786,32	66	5	204	29	1,84E+00	24,5	2,28
786,33	166	23	320	33	1,12E+01	71,9	5,03
786,36	1	1	1	26	1,75E-02	1000,0	0,04
786,37	39	17	322	34	6,64E+00	52,8	1,15
786,38	35	9	259	30	4,10E+00	34,7	1,17
786,41	34	9	262	30	3,59E+00	34,4	1,13
786,41	40	7	65	31	2,20E+00	107,7	1,29
786,42	65	3	94	27	7,97E-01	31,9	2,41
786,44	11	2	41	28	5,81E-01	48,8	0,39
786,45	39	44	516	38	3,71E+01	85,3	1,03
786,47	5	3	47	29	8,49E-01	63,8	0,17
786,51	80	14	229	36	7,24E+00	61,1	2,22
786,53	20	18	305	38	1,18E+01	59,0	0,53
786,57	20	1	305	26	1,18E+01	3,3	0,77
786,57	1	2	33	29	3,09E-01	60,6	0,03
786,59	67	5	139	29	1,87E+00	36,0	2,31
786,62	10	4	39	29	8,95E-01	102,6	0,34
786,63	3	1	3	27	6,55E-02	333,3	0,11

time (s)	Rise time (ms)	counts	Duration (ms)	Amplitude (dB)	Energy	AF (kHz)	RA (ms/dB)
786,65	125	11	213	31	3,62E+00	51,6	4,03
786,66	107	6	209	28	2,51E+00	28,7	3,82
786,67	45	77	1067	50	4,44E+02	72,2	0,90
786,73	4	1	4	27	7,93E-02	250,0	0,15
786,75	19	2	20	29	4,00E-01	100,0	0,66
786,76	85	6	145	30	2,09E+00	41,4	2,83
786,82	112	5	265	30	2,58E+00	18,9	3,73
786,85	35	5	45	31	1,70E+00	111,1	1,13
786,86	121	22	318	33	9,22E+00	69,2	3,67
786,87	5	3	27	30	7,26E-01	111,1	0,17
786,90	1	1	15	28	2,83E-01	66,7	0,04
786,91	159	16	312	33	6,23E+00	51,3	4,82
786,92	4	1	4	27	1,27E-01	250,0	0,15
786,98	11	3	29	28	7,02E-01	103,4	0,39
786,99	11	1	1	26	0,00E+00	1000,0	0,42
787,00	11	1	1	25	0,00E+00	1000,0	0,44
787,03	77	6	145	28	1,94E+00	41,4	2,75
787,06	5	1	5	27	1,49E-01	200,0	0,19
787,07	18	6	64	29	1,39E+00	93,8	0,62
787,11	309	22	513	31	9,65E+00	42,9	9,97
787,11	22	22	419	34	9,51E+00	52,5	0,65
787,13	22	1	419	25	9,51E+00	2,4	0,88
787,15	1	3	75	27	8,19E-01	40,0	0,04
787,17	1	1	1	25	0,00E+00	1000,0	0,04
787,20	15	3	60	31	1,09E+00	50,0	0,48
787,30	268	17	320	34	9,21E+00	53,1	7,88
787,32	75	16	463	31	7,81E+00	34,6	2,42
787,33	138	10	203	29	3,50E+00	49,3	4,76
787,38	1	1	1	27	3,20E-02	1000,0	0,04
787,46	44	2	45	28	6,78E-01	44,4	1,57
787,51	26	7	224	29	2,61E+00	31,3	0,90

time (s)	Rise time (ms)	counts	Duration (ms)	Amplitude (dB)	Energy	AF (kHz)	RA (ms/dB)
787,53	95	68	945	44	1,84E+02	72,0	2,16
787,55	25	3	30	28	7,31E-01	100,0	0,89
787,57	44	3	49	29	7,90E-01	61,2	1,52
787,58	72	6	108	28	1,85E+00	55,6	2,57
787,60	60	4	61	28	9,85E-01	65,6	2,14
787,64	62	6	116	29	1,43E+00	51,7	2,14
787,67	10	5	42	29	1,16E+00	119,0	0,34
787,68	36	6	142	30	2,45E+00	42,3	1,20
787,72	79	41	647	33	1,71E+01	63,4	2,39
787,72	41	8	119	30	2,12E+00	67,2	1,37
787,79	41	1	119	26	2,12E+00	8,4	1,58
787,80	1	1	5	28	1,61E-01	200,0	0,04
787,83	1	1	5	26	1,61E-01	200,0	0,04
787,84	29	2	30	28	4,52E-01	66,7	1,04
787,85	33	4	78	29	1,19E+00	51,3	1,14
787,89	20	20	283	34	9,19E+00	70,7	0,59
787,91	19	2	19	28	3,13E-01	105,3	0,68
787,92	5	1	5	26	1,08E-01	200,0	0,19
787,93	10	2	11	27	2,66E-01	181,8	0,37
787,97	61	11	166	31	3,85E+00	66,3	1,97
788,02	87	13	404	31	6,12E+00	32,2	2,81
788,04	24	2	25	27	3,77E-01	80,0	0,89
788,05	111	4	112	29	1,51E+00	35,7	3,83
788,06	30	4	96	30	1,43E+00	41,7	1,00
788,09	249	32	356	38	3,31E+01	89,9	6,55
788,09	28	7	234	28	2,45E+00	29,9	1,00
788,12	1	1	5	27	1,10E-01	200,0	0,04
788,12	1	1	40	27	3,75E-01	25,0	0,04
788,13	29	8	136	32	2,55E+00	58,8	0,91
788,17	1	1	5	28	1,16E-01	200,0	0,04
788,18	1	1	5	26	1,16E-01	200,0	0,04

time (s)	Rise time (ms)	counts	Duration (ms)	Amplitude (dB)	Energy	AF (kHz)	RA (ms/dB)
788,19	88	24	461	33	1,13E+01	52,1	2,67
788,23	88	1	461	25	1,13E+01	2,2	3,52
788,23	10	6	226	28	2,01E+00	26,5	0,36
788,25	10	1	1	25	0,00E+00	1000,0	0,40
788,26	46	20	390	36	1,33E+01	51,3	1,28
788,28	119	9	174	29	2,68E+00	51,7	4,10
788,30	1	1	1	28	4,54E-02	1000,0	0,04
788,30	69	5	123	29	1,38E+00	40,7	2,38
788,32	28	14	258	32	5,09E+00	54,3	0,88
788,33	101	8	138	29	2,20E+00	58,0	3,48
788,37	41	7	106	31	1,95E+00	66,0	1,32
788,44	53	11	213	34	6,74E+00	51,6	1,56
788,55	4	1	4	26	7,43E-02	250,0	0,15
788,57	87	5	124	29	1,82E+00	40,3	3,00
788,69	87	1	1	26	0,00E+00	1000,0	3,35
788,71	87	1	1	24	0,00E+00	1000,0	3,63
788,81	118	15	386	30	5,45E+00	38,9	3,93
789,01	83	42	627	36	2,89E+01	67,0	2,31
789,04	15	9	202	31	3,51E+00	44,6	0,48
789,07	28	14	197	32	4,90E+00	71,1	0,88
789,09	85	3	95	27	1,31E+00	31,6	3,15
789,11	16	5	46	32	2,22E+00	108,7	0,50
789,13	19	2	20	27	3,46E-01	100,0	0,70
789,16	1	1	4	28	1,20E-01	250,0	0,04
789,19	93	18	238	33	9,23E+00	75,6	2,82
789,23	93	1	1	26	0,00E+00	1000,0	3,58
789,38	9	4	34	29	9,74E-01	117,6	0,31
789,41	1	1	1	26	1,69E-02	1000,0	0,04
789,46	134	27	487	36	1,63E+01	55,4	3,72
789,49	227	23	486	33	1,04E+01	47,3	6,88
789,51	57	5	78	29	1,56E+00	64,1	1,97

time (s)	Rise time (ms)	counts	Duration (ms)	Amplitude (dB)	Energy	AF (kHz)	RA (ms/dB)
789,69	37	4	53	29	1,23E+00	75,5	1,28
789,71	39	28	431	37	1,69E+01	65,0	1,05
789,82	5	2	48	27	4,99E-01	41,7	0,19
789,83	99	11	206	31	4,41E+00	53,4	3,19
789,87	131	11	162	32	4,76E+00	67,9	4,09
789,87	131	1	1	25	0,00E+00	1000,0	5,24
789,89	49	4	79	30	1,44E+00	50,6	1,63
789,90	29	21	417	34	8,95E+00	50,4	0,85
789,92	39	56	742	39	5,36E+01	75,5	1,00
789,95	39	1	742	24	5,36E+01	1,3	1,63
789,99	100	7	110	29	2,29E+00	63,6	3,45
790,00	118	24	259	36	1,49E+01	92,7	3,28
790,05	102	3	182	29	1,14E+00	16,5	3,52
790,08	20	7	71	29	1,89E+00	98,6	0,69
790,09	1	13	276	34	6,82E+00	47,1	0,03
790,18	1	1	276	24	6,82E+00	3,6	0,04
790,18	43	3	44	28	6,15E-01	68,2	1,54
790,20	45	18	317	32	8,35E+00	56,8	1,41
790,22	1	1	22	27	2,47E-01	45,5	0,04
790,23	15	3	20	29	5,06E-01	150,0	0,52
790,24	41	5	55	28	1,26E+00	90,9	1,46
790,25	92	3	93	29	1,46E+00	32,3	3,17
790,26	11	1	11	27	1,07E-01	90,9	0,41
790,28	21	2	22	28	3,38E-01	90,9	0,75
790,29	1	1	1	27	2,09E-02	1000,0	0,04
790,30	30	7	98	32	2,87E+00	71,4	0,94
790,32	52	16	259	32	6,68E+00	61,8	1,63
790,32	1	1	1	26	9,12E-03	1000,0	0,04
790,35	22	10	206	33	3,53E+00	48,5	0,67
790,35	5	3	31	32	1,31E+00	96,8	0,16
790,37	63	5	89	30	1,32E+00	56,2	2,10

time (s)	Rise time (ms)	counts	Duration (ms)	Amplitude (dB)	Energy	AF (kHz)	RA (ms/dB)
790,38	40	2	40	27	4,32E-01	50,0	1,48
790,39	17	28	465	34	1,29E+01	60,2	0,50
790,40	214	24	354	35	1,56E+01	67,8	6,11
790,44	34	22	384	33	9,25E+00	57,3	1,03
790,45	222	8	297	29	3,55E+00	26,9	7,66
790,47	15	2	70	29	8,21E-01	28,6	0,52
790,50	75	9	107	31	2,95E+00	84,1	2,42
790,51	27	17	307	36	9,91E+00	55,4	0,75
790,54	175	7	196	28	2,52E+00	35,7	6,25
790,54	167	5	178	29	2,06E+00	28,1	5,76
790,56	19	2	36	26	4,15E-01	55,6	0,73
790,58	40	7	66	29	1,71E+00	106,1	1,38
790,59	28	36	596	36	2,79E+01	60,4	0,78
790,68	34	17	266	36	1,16E+01	63,9	0,94
790,72	48	12	186	30	3,38E+00	64,5	1,60
790,73	54	1	54	27	5,71E-01	18,5	2,00
790,74	29	19	400	33	8,30E+00	47,5	0,88
790,75	99	4	109	29	1,22E+00	36,7	3,41
790,81	1	1	1	26	8,38E-03	1000,0	0,04
790,82	1	1	15	26	1,85E-01	66,7	0,04
790,85	1	1	15	25	1,85E-01	66,7	0,04
791,03	16	2	41	29	8,66E-01	48,8	0,55
791,04	1	1	5	27	1,44E-01	200,0	0,04
791,29	66	8	135	30	2,66E+00	59,3	2,20
791,69	49	13	124	33	5,18E+00	104,8	1,48
791,70	4	3	33	26	5,18E-01	90,9	0,15
791,75	20	11	131	31	3,65E+00	84,0	0,65
792,01	1	1	3	27	9,07E-02	333,3	0,04
792,09	74	1	74	26	3,73E-01	13,5	2,85
792,17	114	3	118	28	1,10E+00	25,4	4,07
792,30	68	25	344	35	1,11E+01	72,7	1,94

time (s)	Rise time (ms)	counts	Duration (ms)	Amplitude (dB)	Energy	AF (kHz)	RA (ms/dB)
792,52	78	22	360	33	7,64E+00	61,1	2,36
792,69	3	1	3	27	7,39E-02	333,3	0,11
793,23	4	1	4	27	8,79E-02	250,0	0,15
793,29	15	2	16	27	2,14E-01	125,0	0,56
793,37	1	1	5	27	1,13E-01	200,0	0,04
793,43	1	1	5	25	1,13E-01	200,0	0,04
793,44	5	14	222	31	4,66E+00	63,1	0,16
793,71	5	3	49	28	8,29E-01	61,2	0,18
793,77	132	37	522	40	4,92E+01	70,9	3,30
793,87	1	1	1	26	9,12E-03	1000,0	0,04
793,91	25	9	84	31	2,96E+00	107,1	0,81
794,12	114	26	510	36	1,50E+01	51,0	3,17
794,16	95	23	304	34	9,26E+00	75,7	2,79
794,29	95	1	304	24	9,26E+00	3,3	3,96
794,45	95	1	304	25	9,26E+00	3,3	3,80
794,56	5	4	90	27	1,18E+00	44,4	0,19
795,07	96	87	994	54	1,52E+03	87,5	1,78
795,38	107	8	214	29	3,23E+00	37,4	3,69
795,42	50	5	115	29	1,72E+00	43,5	1,72
795,70	74	14	240	32	5,24E+00	58,3	2,31
795,93	1	1	4	27	9,51E-02	250,0	0,04
797,00	1	1	4	26	9,51E-02	250,0	0,04
797,11	6	2	16	27	3,01E-01	125,0	0,22
797,11	44	2	44	26	5,48E-01	45,5	1,69
797,12	14	4	50	29	9,41E-01	80,0	0,48
797,14	60	47	566	41	6,49E+01	83,0	1,46
797,15	16	7	157	29	2,33E+00	44,6	0,55
797,24	14	3	30	29	6,26E-01	100,0	0,48
797,68	44	5	71	29	9,94E-01	70,4	1,52
799,27	4	1	5	27	1,16E-01	200,0	0,15
799,52	4	1	1	25	0,00E+00	1000,0	0,16

time (s)	Rise time (ms)	counts	Duration (ms)	Amplitude (dB)	Energy	AF (kHz)	RA (ms/dB)
800,00	14	1	15	26	2,27E-01	66,7	0,54
800,03	1	1	5	28	1,44E-01	200,0	0,04
801,73	46	23	509	33	1,04E+01	45,2	1,39
801,86	59	33	424	48	1,58E+02	77,8	1,23
802,73	4	11	280	34	5,60E+00	39,3	0,12
804,72	4	1	4	26	7,76E-02	250,0	0,15
805,55	37	2	38	29	4,35E-01	52,6	1,28
808,18	37	1	1	26	0,00E+00	1000,0	1,42
812,15	50	20	258	35	1,00E+01	77,5	1,43
813,03	34	13	205	31	4,51E+00	63,4	1,10
829,09	1	1	1	26	8,38E-03	1000,0	0,04
830,44	24	7	61	36	4,17E+00	114,8	0,67
840,42	92	5	154	27	2,40E+00	32,5	3,41
853,03	134	20	358	35	1,32E+01	55,9	3,83
902,58	5	1	6	27	8,81E-02	166,7	0,19
915,88	4	1	4	27	1,17E-01	250,0	0,15
928,82	5	2	14	29	5,17E-01	142,9	0,17
954,89	75	3	135	28	1,36E+00	22,2	2,68
954,90	91	2	96	28	9,68E-01	20,8	3,25
955,00	113	5	277	28	2,96E+00	18,1	4,04
955,03	1	1	1	27	2,74E-02	1000,0	0,04
955,04	50	6	100	29	2,07E+00	60,0	1,72
955,06	21	7	145	30	2,61E+00	48,3	0,70
955,07	57	8	73	29	2,16E+00	109,6	1,97
955,08	51	16	272	32	5,56E+00	58,8	1,59
955,09	94	22	431	36	9,83E+00	51,0	2,61
955,10	118	3	119	27	1,31E+00	25,2	4,37
955,12	1	1	1	27	1,82E-02	1000,0	0,04
955,13	21	17	249	31	6,24E+00	68,3	0,68
955,14	88	8	149	30	2,74E+00	53,7	2,93
955,15	39	2	43	28	5,28E-01	46,5	1,39

time (s)	Rise time (ms)	counts	Duration (ms)	Amplitude (dB)	Energy	AF (kHz)	RA (ms/dB)
955,17	45	6	195	29	2,77E+00	30,8	1,55
955,18	21	1	22	28	2,75E-01	45,5	0,75
955,19	231	4	323	27	2,50E+00	12,4	8,56
955,21	231	1	1	26	0,00E+00	1000,0	8,88
955,22	105	35	464	36	2,02E+01	75,4	2,92
955,23	64	41	852	40	3,66E+01	48,1	1,60
955,24	1	1	1	27	1,88E-02	1000,0	0,04
955,26	44	5	170	28	1,77E+00	29,4	1,57
955,27	85	75	850	45	1,44E+02	88,2	1,89
955,28	1	1	1	27	1,96E-02	1000,0	0,04
955,30	122	20	334	34	9,65E+00	59,9	3,59
955,31	98	9	182	29	2,98E+00	49,5	3,38
955,32	57	70	896	50	4,13E+02	78,1	1,14
955,33	1	3	76	31	1,06E+00	39,5	0,03
955,35	1	1	1	25	0,00E+00	1000,0	0,04
955,36	202	10	253	31	3,90E+00	39,5	6,52
955,37	28	67	1219	43	6,58E+01	55,0	0,65
955,39	70	6	231	29	2,12E+00	26,0	2,41
955,40	70	1	231	25	2,12E+00	4,3	2,80
955,42	114	19	281	35	1,15E+01	67,6	3,26
955,42	4	1	5	28	1,29E-01	200,0	0,14
955,44	29	20	453	35	1,15E+01	44,2	0,83
955,45	57	7	181	30	2,74E+00	38,7	1,90
955,47	119	8	125	29	2,48E+00	64,0	4,10
955,48	97	3	97	27	1,14E+00	30,9	3,59
955,49	37	15	490	32	7,74E+00	30,6	1,16
955,50	124	12	149	31	4,63E+00	80,5	4,00
955,51	36	3	37	27	5,39E-01	81,1	1,33
955,53	16	7	78	31	2,87E+00	89,7	0,52
955,55	95	55	654	39	3,98E+01	84,1	2,44
955,55	25	11	215	30	3,86E+00	51,2	0,83

time (s)	Rise time (ms)	counts	Duration (ms)	Amplitude (dB)	Energy	AF (kHz)	RA (ms/dB)
955,57	82	33	437	37	1,98E+01	75,5	2,22
955,58	106	14	202	31	5,12E+00	69,3	3,42
955,60	92	13	252	31	5,24E+00	51,6	2,97
955,61	21	17	183	35	8,80E+00	92,9	0,60
955,62	10	1	10	27	1,80E-01	100,0	0,37
955,64	16	2	17	29	3,78E-01	117,6	0,55
955,67	67	4	179	30	1,85E+00	22,3	2,23
955,70	205	10	211	29	3,17E+00	47,4	7,07
955,71	12	12	240	31	4,04E+00	50,0	0,39
955,71	80	7	182	29	2,79E+00	38,5	2,76
955,75	80	1	1	25	0,00E+00	1000,0	3,20
955,88	78	8	109	32	3,33E+00	73,4	2,44
955,98	48	5	63	29	1,36E+00	79,4	1,66
955,98	109	27	402	36	1,61E+01	67,2	3,03
956,09	1	2	26	27	4,82E-01	76,9	0,04
956,16	4	1	4	26	7,00E-02	250,0	0,15
956,30	11	2	31	28	4,50E-01	64,5	0,39
956,48	118	24	375	35	1,52E+01	64,0	3,37
956,53	30	5	81	31	1,99E+00	61,7	0,97
956,54	41	6	100	30	1,46E+00	60,0	1,37
957,32	70	5	185	29	1,92E+00	27,0	2,41
957,37	24	2	29	28	5,64E-01	69,0	0,86
957,54	24	1	1	26	0,00E+00	1000,0	0,92
959,56	173	46	544	38	3,73E+01	84,6	4,55
965,18	1	1	1	27	3,13E-02	1000,0	0,04
965,25	87	4	107	29	1,24E+00	37,4	3,00
966,26	5	3	59	29	9,53E-01	50,8	0,17
968,03	15	3	20	28	4,33E-01	150,0	0,54
968,33	75	26	382	36	1,45E+01	68,1	2,08
975,70	75	1	1	26	0,00E+00	1000,0	2,88

CICLOS DE CARGA - MURO M20					
Ciclo 1		Ciclo 3		Ciclo 4 (Falla)	
CARGA (kg)	tiempo (seg)	CARGA (kg)	tiempo (seg)	CARGA (kg)	tiempo (seg)
300		3326		1800	558,5
600	37,5	3300	317	1500	569
900	44	3000	320	1200	577,5
1120	54,25	2700	327,5	900	589
705		2400	337	600	603
600	80	2100	346,5	300	626
300	91	1800	352	Ciclo 5 (Falla)	
Ciclo 2		1500	363	CARGA (kg)	tiempo (seg)
CARGA (kg)	tiempo (seg)	1200	363	300	659,5
300	110	900	368	600	662
600	115,5	600	376	900	666
900	120	300	392	1200	670,5
1200	123,5	Ciclo 4		1500	675
1500	134,5	CARGA (kg)	tiempo (seg)	1800	678,5
1800	146	300	421,5	2100	683
2100	154	600	426	2400	685
2250	172,5	900	431,5	2700	688
2100		1200	435,5	3000	692
1800	188	1500	439	3300	696
1500	191,5	1800	444	3600	700
1200	198,5	2100	447,5	3900	704
900	208	2400	451	4200	710,5
600	219	2700	455,5	4500	714
300	239,5	3000	459,5	4800	717,5
Ciclo 3		3300	462,5	5100	723
CARGA (kg)	tiempo (seg)	3600	468,5	5400	727
300	250,5	3900	472	5700	732
600	254,5	4200	480	6000	736
900	261,5	4450	493,5	6300	742
1200	265,5	4200	505	6600	746,5
1500	271	3900	509,5	6900	752,5
1800	275	3600	515	7200	759
2100	279,5	3300	522	7500	764,5
2400	284,5	3000	529	7800	
2700	290	2700	537	8100	
3000	296	2400	544	8400	
3300	300	2100	551,5	8700	