

EVALUACIÓN "IN SITU" DE LA TÉCNICA A COMPRESIÓN
DE MORTEROS HISTÓRICOS MEDIANTE LA **TÉCNICA PNT-g**

TRABAJO FINAL DE MASTER. Presentado por **Santiago José Martínez García.**
Tutorizado por Jaime Llinares Millán y Arturo Martínez Boquera.



Gracias a AIDICO, Instituto Tecnológico de la Construcción, por permitirme desarrollar esta investigación y usar todos sus equipos e instrumentación.



ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN.

1.1 PLANTEAMIENTO GENERAL.

1.2 OBJETIVOS.

1.3 METODOLOGÍA.

1.3.1 ESTADO DE LA CUESTIÓN.

1.3.2 EXPERIMENTACIÓN.

2 TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS Y LIGERAMENTE DESTRUCTIVAS DESTINADAS AL DIAGNÓSTICO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE FÁBRICA.

3 CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MORTEROS MEDIANTE PNT-g

3.1 MORTEROS HISTÓRICOS.

3.2 DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA - EQUIPO.

3.3 DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS.

3.3.1 DOSIFICACIONES DE MORTERO.

3.3.2 DESCRIPCIÓN CONSTRUCTIVA MUROS Y PILAS DE PRUEBA.

3.3.3 TOMA DE DATOS.

3.4 ENSAYOS PNT-g.

4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

5 CONCLUSIONES.

6 BIBLIOGRAFÍA



1. INTRODUCCIÓN.

1.1 PLANTEAMIENTO GENERAL

Durante los procesos de conservación, restauración y rehabilitación del patrimonio histórico construido, se hace necesaria la evaluación de las propiedades mecánicas y resistentes de sus materiales estructurales, la comprobación de su estabilidad y durabilidad, así como el conocimiento de sus propiedades intrínsecas.

Por tanto, estudio de estos aspectos es ineludible a la hora de establecer un diagnóstico y una intervención debidamente razonadas.

Los materiales que constituyen los elementos estructurales de muros, bóvedas y cúpulas pertenecientes a edificios históricos, suelen estar formados por fábricas de ladrillo cerámico o sillares de piedra tomados con de mortero de cal. Para el conocimiento del estado actual de estas fabricas se requiere una evaluación de sus condiciones de estabilidad y durabilidad para posteriormente proceder a la valoración de una posible intervención.

La pérdida de las propiedades estructurales que sufren estos materiales, tales como grietas, desprendimientos, desplazamiento etc. así como de sus condiciones estéticas y físico-químicas (suciedad, eflorescencias, lixiviación, etc) dependen tanto de su antigüedad, de la interacción con agentes externos como pudieran ser el clima, la polución y el propio ser humano. El deterioro que sufren las propiedades de estos materiales nos obliga, en la mayoría de los casos, a intervenir con el fin de recuperar, total o parcialmente, los elementos degradados y frenar en la medida de lo posible el envejecimiento inevitable al que están sometidos.

Antes de cualquier intervención, es preciso obtener la mayor cantidad de información del edificio o del elemento a restaurar. Para acometer esta tarea se requiere de la realización de ensayos previos que en la mayoría de casos suponen una degradación adicional del elemento, provocadas durante la ejecución de extracción de catas de material. Precisamente, para dar respuesta a esta posible merma progresivamente de han desarrollado técnicas menos agresivas que nos permiten la caracterización del material del que están construidos y de igual modo escoger la manera más razonable de actuar.



En términos globales las técnicas empleadas se pueden dividir en 3 grupos:

- Técnicas destructivas.
- Técnicas quasi-destructivas.
- Técnicas no destructivas.

Las técnicas destructivas, como se ha apuntado anteriormente, y como su propio nombre indica, requieren de la degradación del elemento a evaluar, por lo que al ser invasivas son las menos aconsejables. Aunque en ciertas ocasiones pudieran ser necesarias al ser el único modo de obtener la información deseada. Las técnicas casi destructivas son aquellas que sin alterar totalmente el elemento si lo dañan parcialmente. Por el contrario, las técnicas no destructivas son técnicas más novedosas que nos permiten obtener información con degradación nula del elemento evaluado.

La combinación de las diferentes técnicas que actualmente se tienen al alcance nos permite poder valorar el estado del patrimonio histórico y mejorar la elección del proceso de intervención y restauración.

Partiendo de la evidencia enunciada referente a que cualquier intervención sobre el patrimonio construido necesita de una toma de datos previa que informe sobre el estado estructural, físico-químico y estético de elementos que lo componen y así establecer un diagnóstico que nos permita elegir el mejor procedimiento de restauración, el presente trabajo final de master se centra en una técnica no destructiva que aborda la caracterización de la capacidad de carga de morteros históricos. La técnica escogida es el Penetrometro PNT-g



1.2 OBJETIVOS.

La técnica penetrómetro PNT-g consiste en la evaluación 'in situ' de la capacidad mecánica de morteros históricos, los cuales tienen una resistencia a compresión relativamente baja.

Según N. Gucci y R. Barsotti *"para morteros de resistencias a compresión por debajo de 4 Mpa, la prueba PNT-G tiene una alta resolución y precisión. Sin embargo en morteros por encima de 4Mp, para conseguir una mejor evaluación, se precisa caracterizar el mortero con el fin de conocer el tipo de arena utilizada"*¹.

Precisamente el penetrómetro PNT-g obtiene la resistencia a compresión del mortero relacionándola con la energía que se invierte al perforar con una broca una pequeña cavidad en la junta de mortero de la fábrica.

Visto el planteamiento general y la relevancia que el penetrómetro PNT-G puede suponer en determinadas ocasiones, el objetivo es evaluar la eficacia de la técnica no destructiva PNT-g mediante ensayos en morteros de cal aérea, cal hidráulica y mixtos de resistencias a compresión entorno a 4 Mpa, tanto en muros de fábrica, muros de sillería como en ternas de ladrillo fabricadas ad oc. Para ello, se utilizara la curva de correlación aportada por Gucci y Barsotti que relaciona la energía consumida en Julios con la resistencia a compresión del mortero.

Es objeto final de este trabajo es comparar los resultados de las lecturas del PNT-g sobre las diferentes dosificaciones de morteros de cal aérea, cal hidráulica y mixtos con los resultados obtenidos de los ensayos a compresión en una prensa hidráulica y así, determinar la viabilidad de la técnica en diferentes medios.

Curva de correlación a analizar $PG = 134f_m - 22$, donde:

PG: Energía de perforación. 1 unidad= 0,006 J

Fm: Resistencia a compresión del mortero.

En otras líneas de investigación se podría tratar de obtener una curva de correlación propia a raíz de los resultados obtenidos en este trabajo.

¹ Gucci, N., Barsotti, R.: A non destructive technique for the determination of mortar load capacity in situ, *Materials and Structures, Materials and Structures*, 28, 1995, pp. 276-283.



1.3 METODOLOGÍA.

1.3.1 ESTADO DE LA CUESTIÓN.

A continuación se presenta una breve exposición en la que se va a describir y analizar los estudios ya realizados que investigan la obtención de la resistencia a compresión del mortero a través de la técnica PNT-g

Hasta la fecha las investigaciones realizadas con el penetrómetro pueden dividirse en dos ámbitos: el primero sería el relativo al campo teórico y el segundo al campo experimental. Además existen trabajos relacionados con las técnicas no destructivas aplicadas a la edificación en los que se menciona la técnica PNT-g

En cuanto al funcionamiento teórico de la técnica, lo escrito hasta el momento puede resumirse en el artículo "A non-destructive technique for the determination of mortar load capacity in situ" publicado en la revista Materials and Structures, 28,1995 pág. 276-283 por Natale Gucci y Riccardo Barsotti. En él, se establecen los parámetros de medida óptimos para poder correlacionar la energía consumida al perforar una pequeña cavidad en la junta de mortero de la fábrica con la resistencia a compresión del mortero dándose finalmente una interpretación teórica. Se describe el equipo; componentes uso y funcionamiento y se calibra en diferentes tipos de morteros. Finalmente, los valores experimentales se ajustan a unas funciones de correlación y se discuten los resultados.

A nivel experimental existen diversos estudios que se numeran a continuación.

- 1. "Un'esperienza applicativa sull'uso del penetrometro PNT-G nelle costruzioni in muratura: l'edificio TREMA per caratterizzazioni sismiche nel laboratorio ENEA- Casaccia" De Natale Gucci, Chiara Cei, Anna De Falco y Mauro Sassu.

Este texto se centra en la aplicación de la técnica PNT-G sobre el edificio construido en el laboratorio de ENEA para el proyecto TREMA aplicando el procedimiento indicado en el artículo ya mencionado "A non-destructive technique for the determination of mortar load capacity in situ"



En la prueba, se ensayan 26 puntos de inspección del edificio a escala, con 15 medidas penetromicas por cada punto. Como conclusión y contrastando los resultados experimentales con la metodología del "Blind Test" que consiste en ensayos a compresión en muestras con el mismo mortero, se puede afirmar que el penetrómetro PNT-G tiene la capacidad de funcionar para morteros débiles del orden de 4Mpa.



Imagen 1.1 Edificio a escala para el proyecto TREMA.

- 2. *"Prove di compressione e taglio in situ su pannelli in muratura: La tecnica dei maschi murari contrapposti"*, De Luca Angelini, Maria Luisa Beconcini y Mauro Sassu.

El artículo detalla y examina el ensayo a compresión y cortadura "in situ" de dos muestras contrapuestas y aisladas previamente del muro de mampostería de un edificio de los años 30. En la descripción de la campaña experimental se detallan las características del edificio y los motivos del deterioro del mismo. A su vez se indica que por medio de la técnica PNTG se determina que el mortero tiene una calidad y una consistencia pobres.



Imagen 1.2 Ensayo a compresión y cortadura.

- 3. "Comparison of non-destructive in situ techniques for vertical load strength assessment in masonry walls", escrito por N.Gucci, M Sassu, P.P Rossi y A. Pulcini. en la revista *Dynamics, Repairs & Restoration*.

En el artículo se hacen comparaciones entre dos técnicas no destructivas, Los gatos planos (*flat jacks*) y el PNT-G y se plantea un método para determinar las leyes de respuesta a la tensión-deformación de muros de mampostería sometidos a cargas verticales por medio de estas dos técnicas.

1.3.2 EXPERIMENTACIÓN.

El presente trabajo se basa en la comprobación de la fiabilidad por experimentación de la técnica no destructiva PNT-G en morteros de resistencias a compresión del orden de 4 MPa. Para ello se propone como método más adecuado la utilización del equipo en diferentes muestras de mortero y no la verificación teórica de la técnica.

Básicamente consta de las siguientes fases:

- En primer lugar repasa las técnicas que actualmente se emplean para la valoración y diagnóstico estructural del patrimonio construido.
- En segundo lugar se procede a estudiar la técnica PNT-G y su puesta en práctica.
- Finalmente se hará una valoración de los resultados obtenidos.



2. TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS Y LIGERAMENTE DESTRUCTIVAS DESTINADAS AL DIAGNOSTICO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE FÁBRICA.

El análisis de arquitecturas históricas presenta importantes desafíos debido a la complejidad y variabilidad de los materiales de construcción y las diferentes técnicas constructivas empleadas en las diferentes épocas. Por ello es necesario aplicar técnicas que, sin dañar el patrimonio histórico, nos permitan realizar un diagnóstico con resultados objetivos y cuantificables. Para este fin existe una amplia variedad de técnicas no destructivas o ligeramente destructivas. Gran parte de ellas quedan enumeradas y descritas en la tesis doctoral desarrollada por Ignacio Lombillo Vozmediano bajo el título "Investigación teórico-experimental sobre ensayos ligeramente destructivos (MD) utilizados para la caracterización mecánica in situ de estructuras de fábrica del patrimonio construido".²

El presente trabajo de investigación no tiene como objetivo desarrollar cada una de ellas, sino crear el marco general de las diferentes posibilidades existentes para así particularizar en lo que realmente se basa este trabajo: la técnica del PNT-g. Para ello, se muestra a continuación la tabla que clasifican las técnicas no destructivas y ligeramente destructivas desarrolladas en la tesis anteriormente mencionada.

La tabla se divide en grupos de acuerdo a la naturaleza de la técnica:

- Basadas en aspectos tensionales.
- Aplicadas a la caracterización de morteros.
- De inspección visual o endoscopia.
- Basadas en la propagación de ondas.
- Tomográficas.
- Dinámicas.
- Monitorización.

En cada uno de los grupos se explican las diferentes técnicas posibles y los fundamentos, objetivos, ventajas e inconvenientes de cada una de ellas. También se evalúa la precisión, el manejo la especialización del operario, la dificultad de interpretación y el coste económico.

² Lombillo Vozmediano, I.: *Tesis Doctoral titulada "Investigación teórico - experimental sobre Ensayos ligeramente destructivos (mdt) utilizados para la caracterización mecánica in situ de estructuras de fábrica del Patrimonio construido*. Universidad de Cantabria, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Santander mayo 2010.



GRUPO	TÉCNICA	FUNDAMENTO	OBJETIVOS	VENTAJAS	INCONVENIENTES	Precisión (1-5)	Portabilidad/Manejo (1-5)	Especialización del operario (1-5)	Dificultad de Interpretación (1-5)	Precio (Alto/Medio/Bajo)	Ambito (Local/Global)
Técnicas basadas en aspectos tensionales	Gatos plano simple	Liberación de tensiones	Nivel tensional local asociado a un determinado plano de corte	Resultados cuantitativos aplicables directamente al cálculo, útil en la fase de calibración de modelos numéricos	Supone realizar un pequeño daño reparable	5	4	4	3	M	L
	Gatos plano doble	Ensayo a "compresión simple" de una probeta real de fábrica.	Características deformacionales estáticas. Estimación de la resistencia a compresión.	Resultados cuantitativos aplicables directamente al cálculo. Datos de entrada para modelos numéricos. En combinación con el simple puede valorarse el coeficiente de seguridad de la fábrica.	Supone realizar un pequeño daño reparable y un proceso de ensayo relativamente tedioso	5	4	4	4	A	L
	Resistencia al corte de la junta de mortero de fábricas ("shove test" o "push test").	Ensayo a "corte", bajo diferentes niveles de carga vertical, de una probeta real de fábrica	Índice de la resistencia in situ a corte en las juntas horizontales de fábricas sin reforzar. Relación ζ - σ .	Resultados cuantitativos aplicables directamente al cálculo. Útil en la fase de calibración de modelos numéricos.	Supone realizar un pequeño daño reparable y un proceso de ensayo tedioso	4	4	4	4	A	L
	Hole drilling	Tensiones residuales.	Nivel tensional (calibración de modelos numéricos).	Resultados cuantitativos aplicables directamente al cálculo, útil en la fase de calibración de modelos numéricos. Posibilidad de obtención de estados a tracción.	Necesidad de conocer las características de deformabilidad del punto de ensayo de cara a poder estimar el nivel tensional con cierto rigor. Requiere ensayos complementarios.	2-5	4	5	5	A	L
	FrEd	Liberación de tensiones y ensayo a "compresión simple" de una probeta real de fábrica.	Nivel tensional en servicio. Identificación de las características deformacionales estáticas. Estimación de la deformación en rotura.	Resultados cuantitativos aplicables directamente al cálculo. Datos de entrada para modelos numéricos y útil para su calibración. Valoración del coeficiente de seguridad de la fábrica.	Supone realizar mayor daño y un proceso de ensayo tedioso. A priori solo parece útil en estructuras de fábrica de ladrillo	4	3	4	4	A	L
	Ensayo UIC	Rotura a compresión de un testigo (D150mm) extraído de la fábrica conteniendo ladrillo y mortero	Estimación de la resistencia a compresión y características deformacionales estáticas.	Resultados cuantitativos aplicables directamente al cálculo. Datos de entrada para modelos numéricos.	Supone realizar mayor daño. La muestra puede dañarse durante el proceso de extracción. A priori solo parece útil en el caso de empleo de morteros de cierta resistencia y fábricas de ladrillo. El ensayo parece estimar a la baja la resistencia a compresión.	3	5	3	3	M	L
	Presurómetro o dilatómetro de fábricas	Registro de la presión suministrada y del incremento de volumen generado. La sonda ejerce una tensión radial conocida contra el material que la rodea.	Módulo presiométrico y estimación de la resistencia a rotura	Resultados cuantitativos aplicables directamente al cálculo. Datos de entrada para modelos numéricos. Complementa el ensayo de gato plano doble en el caso de núcleos internos entre dos hojas de fábrica externas.	En función del dilatómetro empleado el daño es más o menos importante. Igualmente, suele requerirse plasificar localmente la fábrica circunstancia que requiere disponer de dispositivos de capacidad importante.	3	5	4	4	M	L

Tabla 2.1 Clasificación de técnicas no destructivas y ligeramente destructivas

GRUPO	TÉCNICA	FUNDAMENTO	OBJETIVOS	VENTAJAS	INCONVENIENTES	Precisión (1-5)	Portabilidad/Manejo (1-5)	Especialización del operario (1-5)	Dificultad de interpretación (1-5)	Precio (Alto/Medio/Bajo)	Ambito (Local/Globa)	
Técnicas aplicadas a la caracterización de morteros	Resistencia a la penetración	Relacionan la resistencia del material con la penetración de un útil en su seno.	Orden de magnitud de la calidad del material	Ensayo rápido, simple y de coste reducido	Ofrece una indicación cualitativa de la calidad del material. Requiere de correlaciones previas.	2	5	2	2	B	L	
	Impacto mediante esfera	Energía absorbida en un impacto sobre el material	Orden de magnitud de la calidad del material	Ensayo rápido, simple y de coste reducido	Ofrece una indicación cualitativa de la calidad del material. Requiere de correlaciones previas.	2	5	2	2	B	L	
	Esclerometría de morteros.	Energía absorbida en un impacto sobre el material	Orden de magnitud de la calidad del material	Ensayo rápido, simple y de coste reducido	Valores indicativos de la calidad del mortero. Requiere de correlaciones previas.	2	5	2	3	B	L	
	Resistencia al arrancamiento, "pull-out test" o "helix test"	Fuerza necesaria para el arrancamiento de un útil introducido en una junta de mortero de la fábrica	Proporciona la resistencia al arrancamiento del mortero. Orden de magnitud de la calidad del material.	Ensayo rápido, simple y de coste reducido	Ofrece una indicación cualitativa de la calidad del material. Requiere de correlaciones previas.	3	5	2	1	B	L	
	"Bond test method"	Aplicación de carga excéntrica	Proporciona una estimación de la resistencia a flexión de la junta de mortero.	Resultados cuantitativos aplicables directamente al cálculo.	Proceso de ensayo tedioso.	3	4	4	3	B	L	
	Resistencia a la perforación	Microdrilling	Correlaciona la resistencia al avance con la resistencia mecánica.	Orden de magnitud de la calidad del mortero.	Ensayo rápido y simple. Mayor coste.	Valores indicativos de la calidad del mortero. Requiere de correlaciones previas.	3	4	4	3	M	L
		PNT-G.	Correlacionar la resistencia del mortero de cal con la energía necesaria para realizar la perforación	Orden de magnitud de la calidad del mortero.	Ensayo rápido y simple. Mayor coste.	Valores indicativos de la calidad del mortero. Requiere de correlaciones previas.	3	5	2	3	M	L
	Ensayo de Resistencia a compresión o "confinement method"	Endoscopios rígidos o baroscopios; Endoscopios flexibles; Videoscopia	Ensayo a compresión de una porción de mortero confinada entre dos volúmenes de material cementicio de mayor rigidez	Resistencia a compresión del mortero y, si la muestra es suficientemente extensa, características de deformabilidad del mortero.	Resultados cuantitativos aplicables directamente al cálculo.	Necesaria la obtención de muestras. Ensayo tedioso dada la fragilidad de los morteros a ensayar	4	5	3	2	B	L
			Visualización del aspecto interno de una perforación	Tamaño de defectos, observar cavidades, composición de las hojas de un muro, etc.	Posibilidad de "observar y registrar" lo que no se ve. Detección preventiva.	Aunque existe una amplia gama de equipos y precios, los adecuados en calidad y prestaciones tienen un precio elevado. En el uso habitual del equipo es posible el daño o la pérdida de las cabezas de visión	5	4	4	3	A	L

Tabla 2.1 Clasificación de técnicas no destructivas y ligeramente destructivas

GRUPO	TÉCNICA	FUNDAMENTO	OBJETIVOS	VENTAJAS	INCONVENIENTES	Precisión (1-5)	Portabilidad/Manejo (1-5)	Especialización del operario (1-5)	Dificultad de interpretación (1-5)	Precio (Alto/Medio/Bajo)	Ambito (Local/Global)	
Técnicas basadas en la propagación de ondas	Ensayo directo ultrasónico	Medida del tiempo de propagación de la onda ultrasónica. No son adecuados para evaluar materiales muy heterogéneos.	Estimación, mediante correlaciones de propiedades físicas (densidad) y mecánicas. Rangos de velocidades relacionados con la calidad del material.	Ensayo rápido y de empleo relativamente fácil	Da un orden de magnitud cualitativo de la calidad de la fábrica y de ciertas propiedades mecánicas. Difícil interpretación de los resultados.	3	4	4	5	A	L/G	
		Medida del tiempo de propagación de la onda ultrasónica. Más adecuado para evaluar materiales heterogéneos.	Calificar la fábrica, detectar la presencia de vacíos y defectos, controlar la eficacia de una inyección, etc.	Ensayo rápido y de empleo relativamente fácil	Da un orden de magnitud cualitativo de la calidad de la fábrica y de ciertas propiedades mecánicas. Difícil interpretación de los resultados.	3	4	3	5	A	L/G	
	Acústicas	Impacto eco	Reflexiones de la onda acústica, sónica o ultrasónica, en interfaces con diferente impedancia acústica.	Calificar la fábrica, detectar la presencia de interfasas, vacíos y defectos, etc.	Ensayo rápido y de empleo relativamente fácil. Puede llegar a cuantificar geometría y localizar defectología con cierta precisión.	Conlleva una complejidad importante de interpretación de los resultados.	3	4	4	5	A	L
		Emisión acústica	Detección de ondas de energía transitoria emitidas por un material como consecuencia de la redistribución de tensiones	Evaluación de daño en fábricas, monitorización de la evolución del daño presente en fábricas	Ensayo rápido	Dificultad de interpretación. Permite evaluar el nivel de daño presente en la estructura.	4	3	5	5	A	L
	Electromagnéticas	Termografía Infrarroja	Visualización de las radiaciones infrarrojas del espectro electromagnético invisibles al ojo humano.	Localización de humedades, identificación de estructuras ocultas, localización de huecos cegados, identificación de grietas, etc.	No implica contacto físico. Ensayo rápido.	Ofrece resultados muy visuales y, en general, de fácil interpretación.	4	5	4	3	A	L/G
			Basada en el estudio de las reflexiones de las ondas electromagnéticas de alta frecuencia. Los impulsos emitidos se reflejan entre las interfaces de materiales con propiedades dieléctricas diferentes.	Localizar la posición de grandes vacíos e inclusiones de materiales diferentes como acero, madera, etc., identificar el estado de conservación o daño de estructuras, definir la presencia y nivel de humedad, etc.	Ensayo rápido y de empleo relativamente fácil. Puede llegar a cuantificar geometría y localizar defectología con cierta precisión.	Dificultad importante en la elaboración e interpretación de los datos.	3	3	4	5	A	L/G
	Técnicas geoelectricas	Técnicas geoelectricas	Resistividad eléctrica	Detectar huecos y defectos, control de procesos de inyección, etc.	Puede llegar a cuantificar geometría y localizar defectología con cierta precisión.	Implica la realización de perforaciones	3	2	4	5	A	L/G

Tabla 2.1 Clasificación de técnicas no destructivas y ligeramente destructivas

GRUPO	TÉCNICA	FUNDAMENTO	OBJETIVOS	VENTAJAS	INCONVENIENTES	Precisión (1-5)	Portabilidad/Manejo (1-5)	Especialización del operario (1-5)	Dificultad de interpretación (1-5)	Precio (Alto/Medio/Bajo)	Ambito (Local/Global)
	Técnicas tomográficas.	Técnica computacional que utiliza un método iterativo para el procesado de una gran cantidad de datos. La tomografía reproduce la estructura interna de un objeto a partir de mediciones (acústicas, radar, etc.) recogidas desde su superficie externa.	Mapas de distribución de una propiedad física en el interior de la fábrica. Permite zonificar la fábrica desde un punto de vista de su calidad, detectar la presencia de vacíos y defectos, etc.	Información completa del elemento/Localiza con precisión huecos, defectos	Difícil localizar cavidades de tamaño reducido	4	4	4	3	L/G	
	Caracterización dinámica	Obtención de las frecuencias principales	Evaluar las características dinámicas de estructuras de fábrica	Resultados cuantitativos aplicables directamente al cálculo. Utilidad en la calibración de modelos numéricos.	Ensayo relativamente complejo y en general de duración importante.	5	4	4	5	A G	
	Monitorización	Control de la evolución en el tiempo de una determinada propiedad	Conocimiento de la evolución temporal de los movimientos de la estructura, de la temperatura, etc.	Resultados cuantitativos aplicables en la fase de calibración de modelos numéricos. Permiten establecer criterios de seguridad de uso.	Necesidad de duración muy importante para poder establecer conclusiones significativas.	5	4	4	4	A G	

Tabla 2.1 Clasificación de técnicas no destructivas y ligeramente destructivas

3. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MORTEROS MEDIANTE PNT-g.

3.1 MORTEROS HISTÓRICOS.

Llamamos mortero a la mezcla obtenida de combinar un aglutinante, arena y agua y entre muchas aplicaciones se utiliza para unir las piedras y ladrillos que componen las fábricas. Esta mezcla, inicialmente plástica, endurece progresivamente aumentando su resistencia mecánica. Los morteros se denominan según sea su aglomerante y su origen está unido al descubrimiento de la cal y el yeso.

La arquitectura ha evolucionado desde el inicio de la civilización según se ha ido perfeccionando el material aglutinante, desde las primeras mezclas de barro hasta los hormigones y morteros de alta resistencia de hoy en día.

Está demostrado que morteros con cientos y miles de años han resistido a la descomposición por el paso del tiempo y a otros factores de deterioro. La diferencia de durabilidad y grado de degradación entre morteros se atribuye a aspectos tecnológicos característicos del periodo específico en el que se hizo y tienen que ver con los métodos de unión, el tipo de proporción de los agregados, el sistema de aplicación, así como la habilidad de los artesanos.³

La reproducción correcta de mezclas de morteros históricos con sus diferentes composiciones es una tarea muy complicada y es casi imposible extraer muestras de edificios históricos sin alterar las propiedades mecánicas del material, además no existe una evaluación general de caracterización de este tipo de morteros, por lo que los diseños y mezclas de estos se hacen siguiendo las indicaciones trazadas en los tratados de arquitectura y fuentes documentales impresas. En la tabla 3.1 se muestran como ejemplo 24 mezclas diferentes de morteros históricos de cal y puzolana.⁴

3 Manjón Miguel J.L., Martínez Martínez J.A.: Evolución de la composición de los morteros en los puentes de fábrica. *Actas del V Congreso nacional de Historia de la Construcción*, Burgos, 2007, pp. 623-630.

4 Sala E., Giustina I., Plizzari GA.: Lime mortar with natural pozzolana: Historical issues and mechanical behavior, *Structural Analysis of Historic Construction - D'Ayala & Fodde*, Taylor & Francis Group, London, 2008, pp. 957-963.



Referencia	Periodo	Pozzolana	Cal	Arena	Granito	Piedra pomez	Volcanic Breccia
Vitruvio	(I century B.C.)	2	1				
Martini F. di Giorgio	1480-82	1	2				
Viviani Q.	1830	12	9	6			6
" "	1830	2	1	1			
Valadier G.	1831	5/6	1/6				
Quatremere de Quincy	1832	3	1				
" "	1832	2	1				
Cavaliere San Bertolo N.	1832	0.85	0.15				
" "	1832	0.75	0.25				
" "	1832	0.70	0.30				
" "	1832	0.55	0.45				
" "	1832	0.64	0.36				
" "	1832	0.78	0.22				
de Cesare F.	1855	2	1				
" "	1855	6	5	3	6		
" "	1855	4	4	3	9		
" "	1855	57	11	8			
" "	1855	3.5	6			3.5	9
Claudel J. & Laroque L.	1863	0.2	0.25	0.94			
" "	1863	0.45	0.89	1.00			
" "	1863	0.04	0.36	1			
Curioni G.	1864	2	4	1			
" "	1864	3	1				
" "	1864	1	1	2			

Tabla 3.0

La catalogación de morteros históricos es muy amplia y no siempre clara, además viene condicionada por el tipo de cal o yeso y por los materiales pétreos del área geográfica en el que se encuentre, por lo que este apartado abordara el sentido amplio y genérico del mortero, diferenciando entre morteros de cal aérea, cal hidráulica y de cemento. Véase a continuación la diferenciación entre estos tres tipos:

Morteros de cal aérea:

Los morteros de cal aérea como conglomerante han sido los más utilizados a lo largo de la historia tanto para revestir paramentos y unir piedras y ladrillos para la formación de los muros como para la creación artística en la pintura mural. Su uso actualmente ha quedado relegado principalmente en forma de lechada para encalar paredes y en forma de mortero para la rehabilitación de edificios.

En la época romana este tipo de morteros tal y como se indica en Los Diez libros de Arquitectura de Marco Vitrubio Polión (25 a.C-35 d.C) se realizaba mezclando 1 parte de cal con 3 partes de arena o bien dependiendo de la calidad de la arena con 2 partes de cal por 5 partes de arena 4 Proporciones que se has venido utilizando hasta el descubrimiento del cemento moderno.⁵

La cal aérea es un compuesto que endurece con el aire una vez pierde el agua de amasado. El ciclo de la cal aérea comienza con la extracción de la caliza, el Carbonato de Calcio. La caliza se cuece o calcina aproximadamente a 1000° C perdiendo dióxido de Carbono y quedando la cal viva (Oxido de Calcio) que se apagara al introducir el agua para su amasado, hidratando el compuesto. La cal apagada o hidratada es la que fragua al perder el agua de amasado y endurece con el paso del tiempo al entrar en contacto con el dióxido de carbono de la atmosfera, recuperando muy lentamente su estado inicial, el carbonato de calcio o caliza. Es entonces cuando se dice que el mortero ha carbonatado. Este hecho es importante a la hora de hacer muestras para ensayarlas porque el proceso es lento pudiendo durar años y alcanza la resistencia optima mucho mas tarde que en morteros de cal hidráulica o cemento.

El ciclo que hemos visto anteriormente se resume con estas fórmulas:

- Caliza= $\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{O}_2 \rightarrow$ cocción \rightarrow Cal Viva= CaO
- Cal viva = $\text{CaO} \rightarrow$ Hidratación, amasado \rightarrow Cal apagada o hidratada= Ca(OH)_2
- Cal apagada o hidratada= $\text{Ca(OH)}_2 \rightarrow$ perdida de agua, atmósfera \rightarrow Caliza= CaCO_3

Morteros de cal hidráulica:

En un principio la extracción de caliza con impurezas, las calizas margosas, era símbolo de mala calidad de la cal, pero hay ciertas impurezas, como las arcillas que proporcionan hidraulicidad a las cales, es decir, que el mortero de cal hidráulica puede endurecer bajo el agua o en contacto con esta. Y no sólo eso, esta

⁵ Manjón Miguel J.L., Martínez Martínez J.A.: Evolución de la composición de los morteros en los puentes de fábrica, pp. 623-630.



clase de cales dan mayores resistencias mecánicas y durabilidad que las calizas puras. A mediados del siglo XVIII se observó que las cales fabricadas con este tipo de calizas con arcillas mejoraban considerablemente el mortero y ya en el siglo XIX Louis Vicat experimentó con diferentes cales concluyendo que con cierta proporción de arcillas en la caliza da por cocción cales hidráulicas llegando a fabricar cales artificiales (cemento) mezclando íntimamente caliza y arcilla con unas proporciones determinadas y cocinando el conjunto.

El uso de cales hidráulicas revolucionó el desarrollo de la construcción a partir del siglo XVIII pero ya los romanos 22 siglos antes (400 A.C) se dieron cuenta que mezclando la cal apagada con fragmentos molidos de tejas y cerámica o rocas volcánicas, las cuales contienen silicatos, daban cierta hidraulicidad a la mezcla. Apreciaron este hecho y lo mejoraron moliendo más y más los fragmentos cerámicos. Desarrollaron un mortero con unas características sin igual hasta la fecha, el mortero que hoy en día denominamos como mortero romano. Además de la época romana, como apuntan J.L Manjon y J.A Martinez, en la época medieval, comienza a utilizarse una forma inicial de mortero de cemento, obtenida mediante la adición de arcilla a la mezcla de cal apagada, agua y arena que venían utilizando los constructores romanos.⁶

Morteros de cemento:

El cemento nace inmediatamente después de las cales hidráulicas. Los cementos modernos se desarrollan a partir del siglo XIX, Louis Vicat y Joseph Aspidin están ligados a la historia de los cementos modernos⁵, investigaron mezclas artificiales de calizas y arcillas con unas proporciones precisas cocinando la mezcla a altas temperaturas, lograron sin depender del azar de las proporciones naturales de las cales margosas conseguir como resultado el cemento moderno, un producto sintético diseñado para adquirir unas propiedades determinadas. En 1945-47 Isaac Jonson logra clinkerizar la mezcla fundiendo los componentes hasta combinarlos, siendo el clinker la base de los cementos portland.

A los cementos se le pueden adicionar otros componentes como son las puzolanas naturales, las cenizas volantes, el humo de sílice o

⁶ Manjón Miguel J.L., Martínez Martínez J.A.: Evolución de la composición de los morteros en los puentes de fábrica, pp. 623-630.



los filleres calizos, adiciones que en sí mismas no poseen ninguna característica de hidráulica, pero que contienen componentes que mejoran o modifican algunas propiedades físicas y/o químicas de la mezcla.

Los principales componentes de un cemento portland de principios del siglo XIX podían ser: Cal: 57-67 %, Sílice: 20-28 %, Oxido de Hierro: 4-9 %, Alúmina: 1-6 %, Magnesia: <3 %, Álcalis: <3 %

Y una composición de un cemento moderno podría ser la siguiente: Cal: 62,5 %, Sílice: 21 %, Oxido de Hierro: 2,5 %, Alúmina: 6,5 %, Magnesia: 2 %, Álcalis: 0,5 %

En la actualidad hay una gran cantidad de cementos que tienen una gran variedad de aplicaciones y usos. A continuación se enumeran los más comunes:

El cuadro 1 de la norma "UNE-EN 197-1: 2000 - Cementos Comunes: Definiciones, Denominaciones, Designaciones, Composición, Clasificación y Especificaciones de los mismos" representa los tipos de cemento más comunes con sus correspondientes denominaciones y designaciones.

Tipos de cemento	Denominaciones	Designaciones
I	Cemento Portland	CEM I
II	Cemento Portland con adiciones	CEM II
III	Cemento Portland con escorias de horno alto	CEM III
IV	Cemento puzolánico	CEM IV
V	Cemento compuesto	CEM V

Tabla 3.1

El cuadro 2 subdivide los cementos en subtipos según las adiciones o mezcla de adiciones que acompañan al clinker "K".

Adiciones	
Denominaciones	Designaciones
Escoria de horno alto	S
Humo de sílice	D
Puzolana natural	P
Puzolana natural calcinada	Q
Ceniza volante silícea	V
Ceniza volante calcárea	W
Esquisto calcinado	T
Caliza L	L
Caliza LL	LL

Tabla 3.2



El cuadro 3 engloba los tipos y subtipos de cementos según las adiciones que contienen.

Tipo de cemento	Subtipo	Denominación	Designación	
CEM I	Sin subtipo	Cemento Portland	CEM I	
CEM II	A B	Cemento Portland con escoria de horno alto	CEM II/A-S CEM II/B-S	
	Sólo A	Cemento Portland con humo de sílice	CEM II/A-D	
	A B	Cemento Portland con puzolana natural	CEM II/A-P CEM II/B-P	
	A B	Cemento Portland con puzolana natural calcinada	CEM II/A-Q CEM II/B-Q	
	A B	Cemento Portland con ceniza volante silicea	CEM II/A-V CEM II/B-V	
	A B	Cemento Portland con ceniza volante calcárea	CEM II/A-W CEM II/B-W	
	A B	Cemento Portland con esquistos calcinados	CEM II/A-T CEM II/B-T	
	A B	Cemento Portland con caliza L	CEM II/A-L CEM II/B-L	
	A B	Cemento Portland con caliza LL	CEM II/A-LL CEM II/B-LL	
	A B	Cemento Portland mixto con todas las adiciones	CEM II/A-M CEM II/B-M	
	CEM III	A B C	Cemento con escoria de horno alto	CEM III/A CEM III/B CEM III/C
	CEM IV	A B	Cemento puzolánico con D, P, Q, V, W	CEM IV/A CEM IV/B
CEM V	A B	Cemento compuesto co S, P, Q, V	CEM V/A CEM V/B	

Tabla 3.3

En el cuadro 4 se representan los 27 cementos más comunes con sus componentes principales.

Tipo princip.	Denominación de los 27 productos (tipos de cementos comunes)	Composición (proporción en masa) ¹⁾														
		Componentes principales										Consist. minorit.				
		Clinker K	Escoria de horno alto S	Humo de sílice D ²⁾	Puzolana		Cenizas volantes		Esquistos calcinados T	Caliza						
natural P	natural calcinada Q				silíceas V	calcáreas W	L	LL								
CEM I	Cemento Portland	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5		
CEM II	Cemento Portland con escoria	CEM II/A-S CEM II/B-S	80-94 65-79	6-20 21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5 0-5	
	Cemento Portland con humo de sílice	CEM II/A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
	Cemento Portland con puzolana	CEM II/A-P CEM II/B-P CEM II/A-Q CEM II/B-Q	80-94 65-79 80-94 65-79	-	-	6-20 21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5 0-5 0-5 0-5	
	Cemento Portland con ceniza volante	CEM II/A-V CEM II/B-V CEM II/A-W CEM II/B-W	80-94 65-79 80-94 65-79	-	-	-	-	6-20 21-35	-	-	-	-	-	-	0-5 0-5 0-5 0-5	
	Cemento Portland con esquistos calcinados	CEM II/A-T CEM II/B-T	80-94 65-79	-	-	-	-	-	-	6-20 21-35	-	-	-	-	0-5 0-5	
	Cemento Portland con caliza	CEM II/A-L CEM II/B-L CEM II/A-LL CEM II/B-LL	80-94 65-79 80-94 65-79	-	-	-	-	-	-	-	6-20 21-35	-	-	6-20	0-5 0-5 0-5 0-5	
	Cemento Portland compuesto ³⁾	CEM II/A-M CEM II/B-M	80-94 65-79	<----- 6-20 -----> <----- 21-35 ----->										0-5 0-5		
	CEM III	Cemento con escoria de horno alto	CEM III/A CEM III/B CEM III/C	35-64 20-34 5-19	36-65 66-80 81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5 0-5 0-5
	CEM IV	Cemento puzolánico ³⁾	CEM IV/A CEM IV/B	65-89 45-64	-	<----- 11-35 -----> <----- 36-35 ----->					-	-	-	-	0-5 0-5	
	CEM V	Cemento compuesto ³⁾	CEM V/A CEM V/B	40-64 20-38	18-30 31-50	-	<----- 18-30 -----> <----- 31-50 ----->		-	-	-	-	-	-	0-5 0-5	

¹⁾ Los valores de la tabla se refieren a la suma de los componentes principales y minoritarios (núcleo de cemento).
²⁾ El porcentaje de humo de sílice está limitado al 10 %.
³⁾ En cementos Portland compuestos CEM II/A-M y CEM II/B-M, en cementos puzolánicos CEM IV/A y CEM IV/B y en cementos compuestos CEM V/A y CEM V/B los componentes principales además del clinker deben ser declarados en la designación del cemento (véase el apartado 8 de la norma).

Tabla 3.4



En el cuadro 5 figura la resistencia a compresión en MPa (N/mm²) y los ordena según la clase resistente.

Clase de resistencia	Resistencia a compresión MPa (N/mm ²)			
	Resistencia inicial		Resistencia normal	
	2 días	7 días	28 días	
32.5 N	---	≥ 16.0	≥ 32.5	≤ 52.5
32.5 R	≥ 10.0	---		
42.5 N		≥ 20.0	---	≥ 42.5
42.5 R	---			
52.5 N	---		≥ 52.5	---
52.5 R	≥ 30.0			

Tabla 3.5

En el cuadro 18 de la norma UNE-EN 197-1: 2000 figuran las aplicaciones de los cementos más comunes.

Cementos de la norma UNE-EN 197-1:2000	
Tipos Aplicaciones	
CEM I	<ul style="list-style-type: none"> • Aptos para hormigones de muy altas resistencias • Para obras públicas especiales en hormigón pretensado • Para prefabricación de elementos de hormigón
CEM II	<ul style="list-style-type: none"> • Aptos para hormigones y morteros en general
CEM III	<ul style="list-style-type: none"> • Aptos para hormigones en ambientes agresivos por <ul style="list-style-type: none"> • Sulfatos de terrenos • Agua de mar (Particularmente si responden a UNE 80 303-1 ó 2)
CEM IV	<ul style="list-style-type: none"> • Aptos para hormigones y morteros en general, en ambientes ácidos moderadamente agresivos • Para obras hidráulicas (Especialmente si responden a UNE 80 303-3)
CEM V	<ul style="list-style-type: none"> • Aptos para estabilización de suelos y terrenos • En bases tratadas para carreteras y para firmes de hormigón • Para grandes macizos de hormigón de presas (hormigón compactado con rodillo)

Tabla 3.6

3.2 DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA EQUIPO.

La resistencia del mortero de unión en las fábricas de ladrillo o mampostería, se calcula in situ con la técnica PNT-g a partir de la energía que se consume al hacer un orificio con un taladro en la junta de mortero. A esta energía consumida se le resta la energía que se disipa por la aceleración del motor y cuando se encuentra a ralentí. Este valor está relacionado con la fuerza de adherencia entre los granos de arena del mortero, particularmente si, como ocurre a menudo en morteros históricos, las propiedades mecánicas del agente de unión son inferiores a las de la arena. Si por el contrario, la parte conglomerante tiene mayor resistencia que los áridos, una parte del trabajo necesario para hacer la cavidad se consume no sólo para romper los lazos de unión entre el conglomerante y la arena sino también para fragmentar parte de estos últimos, tanto que, la técnica PNT-G es según Gucci y Barssotti fiable en morteros de calidades pobres debido a que la broca se "abre paso" a través del conglomerante sin tener que pulverizar los granos de arena.

Para calibrar el equipo Gucci y Barssotti realizan un gran número de pruebas sobre la junta de mortero de 12 muretes. Utilizan 3 brocas diferentes y ensayan dos profundidades distintas con el fin de determinar que cavidad es la apropiada (tamaño de la broca y profundidad de penetración) y obtener una curva de calibración idónea que relacione la energía de perforación con la resistencia del mortero. El ensayo consta de 740 pruebas con brocas de 4,5 y 6 milímetros a una profundidad de penetración de 5 y 10 milímetros. Para la formación de las 12 pilas de prueba, escogen 12 morteros de composiciones diferentes, morteros de cal hidráulica y morteros mixtos de cal hidráulica y cemento portland con dos tipos de arena diferentes, arena normal y arena con un solo tamaño de árido como se puede observar en las tablas 3.7 Y 3.8.

Mortar type	Compr. strength f_m (MPa)	Composition cement/lime/sand	Cavity depth 5 mm						Cavity depth 10 mm	
			Diameter 4 mm		Diameter 5 mm		Diameter 6 mm		Diameter 4 mm	
			Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
1	0.47	0/1/3	28	5	121	21	185	51	300	31
2	1.11	0/1/2	117	10	232	29	550	34	1153	105
3	0.26	0/1/4	19	4	37	5	242	47	87	12
4	2.23	1/2/9	373	41	610	79	695	94	2745	196
5	1.48	0.5/2/9	183	34	170	39	342	30	1380	103
6	0.68	0.25/2/9	100	13	104	14	210	25	483	75
7	9.27	1/1/5	803	41	1362	246	1730	324	2649	229
8	12.83	1/0.5/4	854	70	1300	146	2159	271	3149	254
9	22.40	1/0/3	1515	200	2280	228	2824	317	3806	288
10	1.08	0/1/3	130	24	135	25	351	105	883	127
11	13.07	1/1/5	1310	245	2149	518	2152	227	5087	717
12	16.13	1/0.5/4	2081	240	2973	305	3284	375	7591	856

Tabla 3.7 Resultados experimentales.



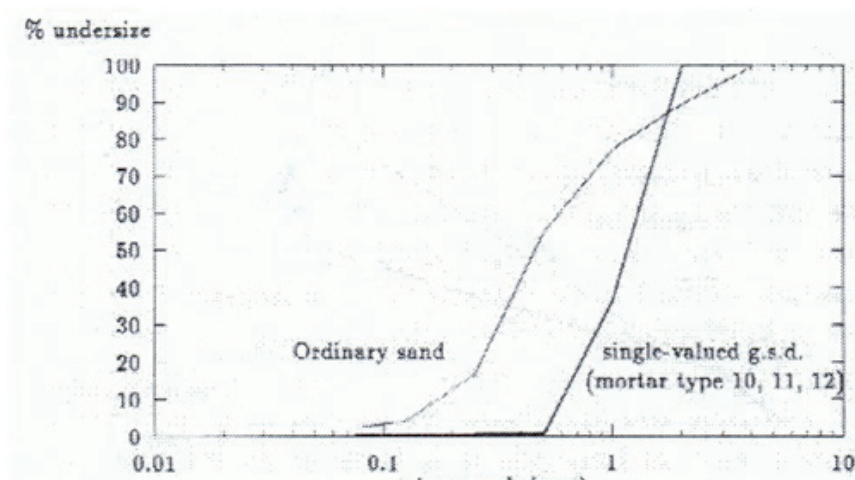


Tabla 3.8 Granulometría.

Una vez extraídas las probetas de dichos morteros, se ensayan en una prensa hidráulica para determinar su resistencia a compresión.

Como se ha comentado anteriormente, el ensayo se realiza sobre las pilas de ladrillo con las tres brocas de diámetros distintos quedando registradas 740 lecturas que se relacionan con la resistencia a compresión de las probetas de mortero obtenidas de los ensayos en la prensa. En la siguiente tabla se pueden ver los valores medios de los resultados experimentales para cada una de las alternativas.

Mortar type	Compr. strength f_m (MPa)	Composition cement/lime/sand	Cavity depth 5 mm						Cavity depth 10 mm	
			Diameter 4 mm		Diameter 5 mm		Diameter 6 mm		Diameter 4 mm	
			Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
1	0.47	0/1/3	28	5	121	21	185	51	300	31
2	1.11	0/1/2	117	10	232	29	550	34	1153	105
3	0.26	0/1/4	19	4	37	5	242	47	87	12
4	2.23	1/2/9	373	41	610	79	695	94	2745	196
5	1.48	0.5/2/9	183	34	170	39	342	30	1380	103
6	0.68	0.25/2/9	100	13	104	14	210	25	483	75
7	9.27	1/1/5	803	41	1362	246	1730	324	2649	229
8	12.83	1/0.5/4	854	70	1300	146	2159	271	3149	254
9	22.40	1/0/3	1515	200	2280	228	2824	317	3806	288
10	1.08	0/1/3	130	24	135	25	351	105	883	127
11	13.07	1/1/5	1310	245	2149	518	2152	227	5087	717
12	16.13	1/0.5/4	2081	240	2973	305	3284	375	7591	856

Tabla 3.9 Valores experimentales PNT-g

Finalmente, los valores experimentales son ajustados a una función que correlaciona la energía de perforación con la resistencia del mortero como se detalla en las siguientes graficas.

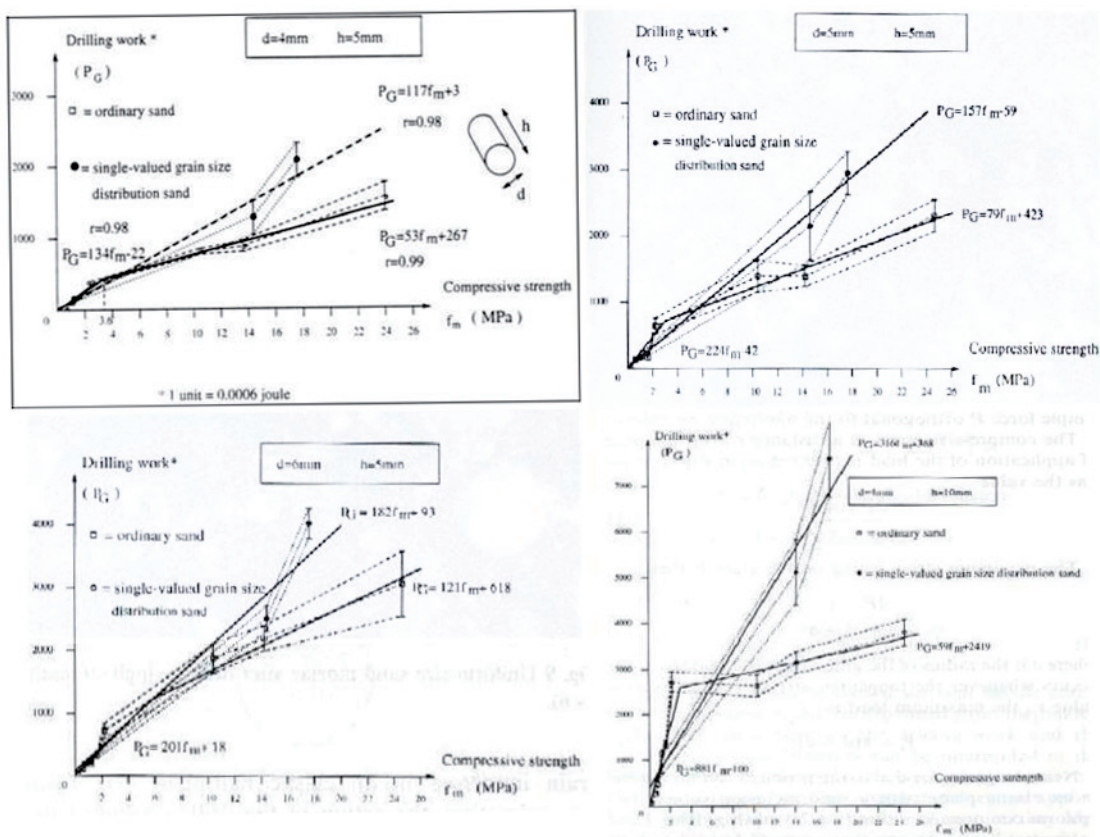


Tabla 3.10 Energía de perforación Vs Resistencia a compresión del mortero para tres cavidades diferentes.

De los resultados obtenidos se concluye que la broca de 4 mm de diámetro a una profundidad de penetración de 5 mm, es la que menos dispersión de da. Además, de lo examinado en el microscopio electrónico se deduce que en morteros inferiores a 4 Mpa, la broca no rompe el grano de arena si no que se abre paso por el conglomerante pudiendo establecerse que para morteros de resistencias del orden de 4 Mpa independientemente del tipo de arena o conglomerante utilizado, cada 134 unidades de medida del PNT-g equivale a 1 MPa (siendo 1 unidad = 0,0006 Julios).

En morteros por encima de 4 Mpa se observa que el taladro tiene que romper el grano de arena y el cemento. Por lo que la energía consumida es la suma de las dos y la dispersión de resultados es mayor.

Como resultado de todo lo anterior, la técnica PNT-G evalúa de manera fiable la resistencia a compresión del mortero, cuando se trata de morteros con resistencias a compresión menores o iguales a 4Mpa. Dando como función de correlación:

Donde PG es la energía de perforación (1 unidad= 0,0006J) Dato que se registra en el display del equipo y Fm la resistencia a compresión del mortero.

Una vez vista la calibración del equipo, se procede a describir el dispositivo y sus componentes.

El equipo PNT-G se compone de un taladro conectado a un adquisidor electrónico que se encarga de medir la energía consumida al perforar una cavidad de 5 mm de profundidad y 4 mm de diámetro con una broca de punta de diamante. La energía va contando en la pantalla del adquisidor y se detiene automáticamente cuando la broca llega a la profundidad de 5 mm, siendo necesario que el operario anote dichas lecturas en algún soporte ajeno al equipo.

El manejo del dispositivo es muy sencillo, el equipo cuenta con un nivel de gota para mantener el taladro lo mas ortogonal posible al muro. Según Gucci y Barssoti, la presión que pudiera ejercer el operario durante el proceso no influye en los resultados.

Una vez hecha la campaña de medidas, se hace un análisis estadístico de las lecturas obtenidas para valorar si contiene valores ilógicos. Valores extremadamente altos o bajos o posibles errores de transcripción que pudieran influir sobre la media y afectar a la distribución de la variable. Finalmente se introduce el valor medio en la función de correlación y se obtiene el valor de resistencia a compresión del mortero ensayado.

En la siguientes imágenes se puede ver el dispositivo PNT-g, y como su uso deja una mínima huella sobre la junta del mortero de la fábrica.



Imágenes 3.11 y 3.12



Imágenes 3.13 y 3.14

3.3 DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS

Este apartado comprende una descripción detallada de la campaña experimental realizada con el penetrómetro PNT-g así como una descripción pormenorizada y secuencial de todas las acciones llevadas a cabo para este fin.

Con el objeto de tener el máximo de lecturas posibles sobre diferentes modelos, y aprovechando el inicio de la fase de experimentación del proyecto "Patrimonio 3: desarrollo de metodologías no destructivas y procesado de señal de aplicación a muros históricos: diagnóstico previo y posterior a la consolidación como refuerzo" financiado por IMPIVA (Instituto de la Mediana y Pequeña Industria Valenciana) que se iba a llevar a cabo en el laboratorio de AIDICO, (Instituto tecnológico de la Construcción) se desarrolló una campaña experimental que constaba de las siguientes partes.

1-Aplicación de la técnica PNT-g para su correlación con resistencias mecánicas sobre la reproducción de muros históricos característicos de la zona de Valencia en el laboratorio de AIDICO localizado en el parque tecnológico de Paterna, Valencia. La reproducción consta de dos muros de fábrica y dos muros de sillería.



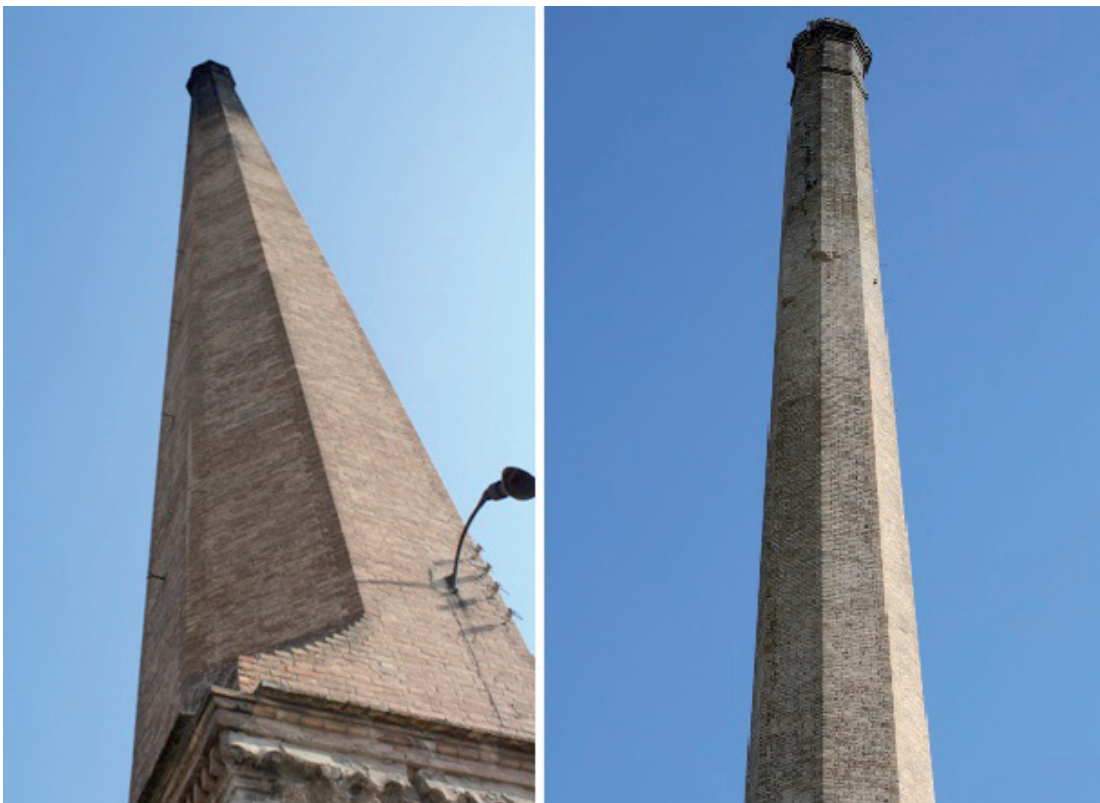
Imágenes 3.15 y 3.16

Paralelamente se construyeron 8 pilas de ladrillo, exclusivamente para el ensayo de la técnica.



Imagen 3.17

2- En segunda instancia se aplico la técnica PNT-g sobre dos chimeneas de finales del siglo XIX pertenecientes a unas antiguas fábricas de ladrillares y tejas localizadas en el camí de San Onofre y en el camí de Fondo respectivamente, de la localidad de Aldaya, Valencia.



Imágenes 3.18 y 3.19.

3.3.1 DOSIFICACIONES DE MORTERO.

Como se ha apuntado en anteriores apartados, la prueba penetrómica PNT-g tiene mayor probabilidad de éxito cuando se experimenta en morteros históricos, morteros de baja resistencia mecánica en el que el conglomerante no es capaz de mantener la integridad del conjunto conglomerante-árido tras realizar una perforación con el taladro. Por este motivo se ha pretendido ensayar la técnica en morteros de resistencias esperadas de aproximadamente 4 Mpa. Para ello, se formularon diferentes dosificaciones y se ensayaron en la prensa con el fin de determinar sus resistencias a compresión.

Se propusieron las siguientes dosificaciones.

DOSIFICACIONES MORTEROS	
Mortero	Componentes Cemento/Cal/Arena
M1	0/1/3
M2	0/1/2
M3	1/1/5
M4	1/2/9

Tabla 3.20.

Se propusieron dos tipos de cales: cal aérea y cal hidráulica (NHL5) y un cemento blanco 22,5N de baja resistencia para los morteros mixtos.

DOSIFICACIONES MORTEROS			
CAL AEREA		CAL HIDRAULICA	
Mortero	Componentes Cemento/Cal/Arena	Mortero	Componentes Cemento/Cal/Arena
Ma1	0/1/3	Mh1	0/1/3
Ma2	0/1/2	Mh2	0/1/2
Ma3	1/1/5	Mh3	1/1/5
Ma4	1/2/9	Mh4	1/2/9

Tabla 3.21.



Imagen 3.22

A su vez se usaron dos tipos de arena; arena de sílice normalizada y arena natural lavada 0/4. El primer tipo de arena se usó únicamente para la preparación de muestras de ensayo. Siguiendo las especificaciones de la norma española UNE 80-101-88 (Métodos de ensayo de cementos: determinación de resistencias mecánicas) adaptada a la norma europea CEN-EN 196-1. El segundo tipo de arena (arena natural) se destinó tanto para la confección de las probetas como para las pilas de prueba y los muros.

En las siguientes tablas se muestran las dosificaciones propuestas para la fabricación de las probetas tanto con cal aérea y cal hidráulica como con arena normalizada y arena natural lavada 0/4. Se optó por una relación agua/aglomerante de 0,5 teniendo en cuenta la trabajabilidad de la mezcla.

De las dosificaciones propuestas con arena normalizada tan solo se ensayaron dos tipos, la MA4 y la MH1.

DOSIFICACIONES PROPUESTAS EN ARENA NORMALIZADA

MORTEROS DE CAL AEREA/ ARENA NORMALIZADA SILICE											
CAL											
Mortero	Compon	ARENA	AR/CaI	CAL	% ARENA ADSORCION		W/C	AGUA	Vol/l		
MA1	0/1/3	1350	3	126	0,045	60,75	0,5	123,8	1,32375		
MA2	0/1/2	1350	2	189	0,045	60,75	0,5	155,3	1,50525		
MIXTO											
Mortero	Compon	ARENA	AR/CaI	CAL	AR/Cto	CTO	% ARENA ADSORCION		W/C	AGUA	Vol/l
MA3	1/1/5	1350	5	75,6	5	270	0,045	60,75	0,5	233,55	1,49
MA4	1/2/9	1350	4,5	84	9	150	0,045	60,75	0,5	177,75	1,38
MORTEROS DE CAL HIDRAULICA/ ARENA NORMALIZADA SILICE											
CAL											
Mortero	Compon	ARENA	AR/CaI	CAL	% ARENA ADSORCION		W/C	AGUA	Vol/l		
MH1	0/1/3	1350	3	275,7	0,045	60,75	0,5	198,6	1,3986		
MH2	0/1/2	1350	2	413,55	0,045	60,75	0,5	267,5	1,61753		
MIXTO											
Mortero	Compon	ARENA	AR/CaI	CAL	AR/Cto	CTO	% ARENA ADSORCION		W/C	AGUA	Vol/l
MH3	1/1/5	1350	5	165,42	5	270	0,045	60,75	0,5	278,46	1,54
MH4	1/2/9	1350	4,5	183,8	9	150	0,045	60,75	0,5	227,65	1,43

Tabla 3.23.

DOSIFICACIONES PROPUESTAS EN ARENA NATURAL LAVADA 0/4

MORTEROS DE CAL AEREA / ARENA NATURAL LAVADA 0/4											
CAL											
Mortero	Compon	ARENA	AR/CaI	CAL	% ARENA ADSORCION		W/C	AGUA	Vol/l		
MAR1	0/1/3	1350	3	126	0,045	60,75	0,5	123,8	1,32375		
MAR2	0/1/2	1350	2	189	0,045	60,75	0,5	155,3	1,50525		
MIXTO											
Mortero	Compon	ARENA	AR/CaI	CAL	AR/Cto	CTO	% ARENA ADSORCION		W/C	AGUA	Vol/l
MAR3	1/1/5	1350	5	75,6	5	270	0,045	60,75	0,5	233,55	1,49
MAR4	1/2/9	1350	4,5	84	9	150	0,045	60,75	0,5	177,75	1,38
MORTEROS DE CAL HIDRAULICA / ARENA NATURAL LAVADA 0/4											
CAL											
Mortero	Compon	ARENA	AR/CaI	CAL	% ARENA ADSORCION		W/C	AGUA	Vol/l		
MHR1	0/1/3	1350	3	275,7	0,045	60,75	0,5	198,6	1,3986		
MHR2	0/1/2	1350	2	413,55	0,045	60,75	0,5	267,5	1,61753		
MIXTO											
Mortero	Compon	ARENA	AR/CaI	CAL	AR/Cto	CTO	% ARENA ADSORCION		W/C	AGUA	Vol/l
MHR3	1/1/5	1350	5	165,42	5	270	0,045	60,75	0,5	278,46	1,54
MHR4	1/2/9	1350	4,5	183,8	9	150	0,045	60,75	0,5	227,65	1,43

Tabla 3.24

Se obtuvo la densidad gravimétrica (o densidad aparente) de los áridos, las cales y el cemento siguiendo las indicaciones de ensayos de la Norma Española UNE.31.298.94 que se basa en el cálculo de la densidad de una muestra relacionando su volumen y su peso.

	densidad		Vol		masa	
Densidad aparente cemento	1,5	g/cc	0,00067	l	1	gr
Densidad aparente cal aerea	0,42	g/cc	0,00238	l	1	gr
Densidad aparente cal hidraulica	0,919	g/cc	0,00109	l	1	gr
Densidad aparente Arena	1,5	g/cc	0,00067	l	1	gr
Densidad agua	1	g/cc	0,001	l	1	gr

Tabla 3.25

De cada amasada que se realizó para construir los muros y las pilas se obtuvo un grupo de 3 probetas de mortero prismáticas de 160x40x40 mm de las cuales una se destinó para el ensayo de compresión, otra probeta se usó para el ensayo con PNT-g y la tercera quedó de reserva. Las muestras se almacenaron a temperatura y humedad ambiente, las mismas condiciones atmosféricas a las que se iban a exponer los muros y las pilas de prueba.

La rotura de las probetas se realizó en el laboratorio de materiales básicos de AIDICO y se usó una prensa hidráulica de la marca IBERTEST.

ESQUEMA GENERAL PARA ENSAYO DE PROBETAS		
AMASADA 1	AMASADA 2	AMASADA 3
PROBETA 1A y 1B ROTURA PRENSA	PROBETA 2A y 2B- ROTURA PRENSA	PROBETA 3A y 3B ROTURA PRENSA
ENSAYO con PNT-G	ENSAYO con PNT-G	ENSAYO con PNT-G
RESERVA	RESERVA	RESERVA

Tabla 3.26

Para el cálculo de la resistencia a compresión, se coloca la probeta en los platos de carga y la máquina aplica una precarga inicial, a continuación, se aplica una carga que va aumentando a velocidad constante hasta la rotura de la muestra. La resistencia a compresión (Mpa) se calcula dividiendo la carga máxima soportada (KN) por su sección transversal. El valor final es la media de las resistencias a compresión de las muestras ensayadas.

La rotura de las probetas se realizó en el laboratorio de materiales básicos de AIDICO y se usó una prensa hidráulica de la marca IBERTEST.

Para el cálculo de la resistencia a compresión, se coloca la probeta en los platos de carga y la máquina aplica una precarga inicial, a continuación, se aplica una carga que va aumentando a velocidad constante hasta la rotura de la muestra. La resistencia a compresión (Mpa) se calcula dividiendo la carga máxima soportada (KN) por su sección transversal. El valor final es la media de las resistencias a compresión de las muestras ensayadas.

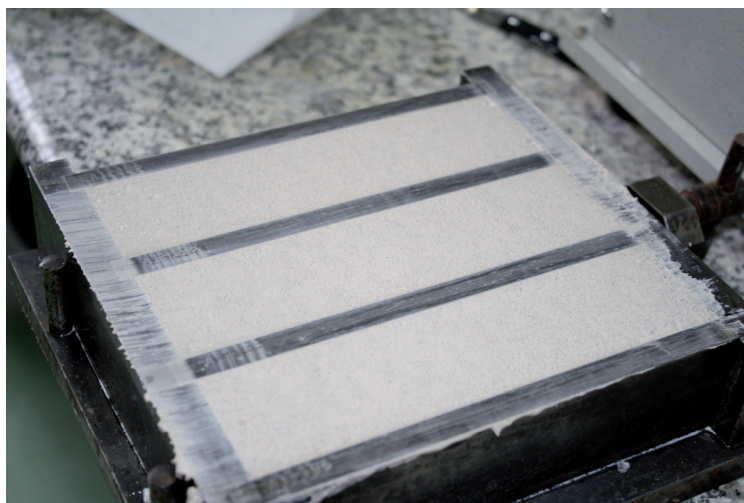


Imagen 3.27 Molde para la fabricación de probetas de mortero.

Los valores de resistencias a compresión de las dosificaciones propuestas son las siguientes:

DOSIFICACIONES PROPUESTAS EN ARENA NORMALIZADA.

TABLA Dosificación del mortero fabricado MA4			
Cemento	BI 22.5x	150gr	1
Cal	Cal aerea	84 gr	2
Arena	normalizada	1350 gramos	9
Agua	177.5 gr Relación A/C 0,5		
Fecha:	24/11/2009		

Tabla 3.27

TABLA Ensayo de la resistencia a compresion del mortero MA4						
	Probeta 1		Probeta 2		Probeta 3	
Probeta	1A	1B	2A	2B	3A	3B
Carga máx, F (KN)	6,95	6,74	8,89	9,57	9,37	9,54
Resistencia (Mpa)	4,34	4,21	5,55	5,48	5,85	5,96
Fecha:	27/11/2009		30/11/2009		21/12/2009	
	3 días		6 días		28 días	
	Resistencia Mpa					
	4,28		5,515		5,91	

Tabla 3.28

TABLA Dosificación del mortero fabricado MH1			
Cemento	BI 22.5x	0 gr	0
Cal	Cal Hidraulica	275,7 gr	1
Arena	normalizada	1350 gramos	3
Agua	198,6 gr Relación A/C 0,5		
Fecha:	24/11/2009		

Tabla 3.29

TABLA Ensayo de la resistencia a compresion del mortero MH1						
	Probeta 1		Probeta 2		Probeta 3	
Probeta	1A	1B	2A	2B	3A	3B
Carga máx, F (KN)	3,866	3,41	4,13	3,78	2,59	
Resistencia (Mpa)	2,416	2,13	2,58	2,36	1,61	1,78
Fecha:	30/11/2009		27/11/2009		21/12/2009	
	3 días		6 días		28 días	
	Resistencia Mpa					
	2,27		2,47		1,70	

Tabla 3.30



DOSIFICACIONES PROPUESTAS EN ARENA NATURAL LAVADA 0/4

TABLA Dosificación del mortero fabricado amasada 1 MA1			
Cemento	BI 22.5x	0	0
Cal	Cal aerea	126 gr	1
Arena	Lavada 0/4	1350 gramos	3
Agua	123,75 gr Relación A/C 0,5		
Fecha:	27/11/2009		

Tabla 3.31

TABLA Ensayo de la resistencia a compresion del mortero amasada 1 MA1						
	Probeta 1		Probeta 2		Probeta 3	
Probeta	1A	1B	2A	2B	3A	3B
Carga máx, F (KN)	2,324	2,29	2,42	2,40		
Resistencia (Mpa)	1,45	1,43	1,51	1,5		
Fecha:	29/12/2009		26/02/2010			
	30 días		90 días			
	Resistencia Mpa					
	1,44		1,505			

Tabla 3.32

TABLA Dosificación del mortero fabricado amasada 2 MA1			
Cemento	BI 22.5x	0	0
Cal	Cal aerea	126 gr	1
Arena	Lavada 0/4	1350 gramos	3
Agua	123,75 gr Relación A/C 0,5		
Fecha:	27/11/2009		

Tabla 3.33

TABLA Ensayo de la resistencia a compresion del mortero amasada 2 MA1						
	Probeta 1		Probeta 2		Probeta 3	
Probeta	1A	1B	2A	2B	3A	3B
Carga máx, F (KN)	5,59	5,63	5,63	5,55	5,37	5,48
Resistencia (Mpa)	3,49	3,51	3,51	3,46	3,35	3,42
Fecha:	29/12/2009		29/12/2009		29/12/2009	
	30 días		30 días		30 días	
	Resistencia Mpa					
	3,50		3,485		3,385	

Tabla 3.34

TABLA Dosificación del mortero fabricado MA2			
Cemento	BI 22.5x	0 gr	0
Cal	Cal aerea	189 gr	1
Arena	Lavada 0/4	1350 gramos	2
Agua	155,25 gr Relación A/C 0,5		
Fecha:	27/11/2009		

Tabla 3.35

TABLA Ensayo de la resistencia a compresion del mortero MA2						
	Probeta 1		Probeta 2		Probeta 3	
Probeta	1A	1B	2A	2B	3A	3B
Carga máx, F (KN)	1,80	1,88	2,01	1,97		
Resistencia (Mpa)	1,12	1,17	1,25	1,23		
Fecha:	29/12/2009		26/02/2010			
	30 días		90 días			
	Resistencia Mpa					
	1,15		1,24			

Tabla 3.36

TABLA Dosificación del mortero fabricado MA3			
Cemento	BI 22.5x	270 gr	1
Cal	Cal aerea	75,6 gr	1
Arena	Lavada 0/4	1350 gramos	5
Agua	233,55 gr Relación A/C 0,5		
Fecha:	27/11/2009		

Tabla 3.37

TABLA Ensayo de la resistencia a compresion del mortero MA3						
	Probeta 1		Probeta 2		Probeta 3	
Probeta	1A	1B	2A	2B	3A	3B
Carga máx, F (KN)	7,71	7,92	10,05	10,07	14,49	14,36
Resistencia (Mpa)	4,81	4,94	6,25	6,26	9,01	8,93
Fecha:	29/12/2009		28/01/2010		26/02/2010	
	3 días		30 días		60 días	
	Resistencia Mpa					
	4,88		6,255		8,97	

Tabla 3.38

TABLA Dosificación del mortero fabricado MA4			
Cemento	BI 22.5x	150gr	1
Cal	Cal aerea	84 gr	2
Arena	Lavada 0/4	1350 gramos	9
Agua	177.5 gr Relación A/C 0,5		
Fecha:	27/11/2009		

Tabla 3.39

TABLA Ensayo de la resistencia a compresion del mortero MA4						
	Probeta 1		Probeta 2		Probeta 3	
Probeta	1A	1B	2A	2B	3A	3B
Carga máx, F (KN)	3,42	3,46	6,77	6,75	7,14	7,22
Resistencia (Mpa)	2,14	2,16	4,23	4,22	4,46	4,51
Fecha:	29/12/2009		28/01/2010		26/02/2010	
	3 días		30 días		60 días	
	Resistencia Mpa					
	2,15		4,225		4,485	

Tabla 3.40



TABLA Dosificación del mortero fabricado MH1			
Cemento	BI 22.5x	0 gr	0
Cal	Cal hidraulica	275,7 gr	1
Arena	Lavada 0/4	1350 gramos	3
Agua	198,6 gr Relación A/C 0,5		
Fecha:	30/11/2009		

Tabla 3.41

TABLA Ensayo de la resistencia a compresion del mortero MH1						
	Probeta 1		Probeta 2		Probeta 3	
Probeta	1A	1B	2A	2B	3A	3B
Carga máx, F (KN)	2,74	2,69	1,36	1,25		
Resistencia (Mpa)	1,71	1,68	0,85	0,78		
Fecha:	29/12/2009		28/02/2010			
	30 dias		90 dias			
	Resistencia Mpa					
	1,70		0,815			

Tabla 3.42

TABLA Dosificación del mortero fabricado MH2			
Cemento	BI 22.5x	0 gr	0
Cal	Cal hidraulica	413,55 gr	1
Arena	Lavada 0/4	1350 gramos	2
Agua	267,53 gr Relación A/C 0,5		
Fecha:	30/11/2009		

Tabla 3.43

TABLA Ensayo de la resistencia a compresion del mortero MH2						
	Probeta 1		Probeta 2		Probeta 3	
Probeta						
Carga máx, F (KN)	3,30	3,35	1,74	1,72		
Resistencia (Mpa)	2,06	2,09	1,08	1,07		
Fecha:	29/12/2009		28/02/2010			
	30 dias		90 dias			
	Resistencia Mpa					
	2,08		1,075		0,00	

Tabla 3.44

TABLA Dosificación del mortero fabricado MH3			
Cemento	BI 22.5x	270 gr	1
Cal	Cal hidraulica	165,42 gr	1
Arena	Lavada 0/4	1350 gramos	5
Agua	278,46 gr Relación A/C 0,5		
Fecha:	30/11/2009		

Tabla 3.45



TABLA Ensayo de la resistencia a compresion del mortero MH3						
	Probeta 1		Probeta 2		Probeta 3	
Probeta	1A	1B	2A	2B	3A	3B
Carga máx, F (KN)	17,38	17,51	21,44	21,42	24,12	23,88
Resistencia (Mpa)	11	11,08	13,57	13,56	15,36	15,21
Fecha:	03/12/2009		10/12/209		29/12/2009	
	3 días		7 días		28 días	
	Resistencia Mpa					
	11,04		13,565		15,29	

Tabla 3.45

TABLA Dosificación del mortero fabricado MH4			
Cemento	BI 22.5x	150 gr	1
Cal	Cal Hidraulica	183,8 gr	2
Arena	normalizada	1350 gramos	9
Agua	227,65 gr Relación A/C 0,5		
Fecha:	30/11/2009		

Tabla 3.46

TABLA Ensayo de la resistencia a compresion del mortero MH4						
	Probeta 1		Probeta 2		Probeta 3	
Probeta	1A	1B	2A	2B	3A	3B
Carga máx, F (KN)	10,50	10,77	12,85	12,88	16,01	15,98
Resistencia (Mpa)	6,56	6,73	8,03	8,05	10	9,98
Fecha:	03/12/2009		10/12/209		29/12/2009	
	3 días		7 días		28 días	
	Resistencia Mpa					
	6,65		8,04		9,99	

Tabla 3.47

3.3.2 DESCRIPCIÓN CONSTRUCTIVA DE LOS MUROS Y PILAS DE PUREBA.

Para construir los muros de fábrica, se propusieron las dosificaciones apuntadas anteriormente. Tras los ensayos a compresión en la prensa hidráulica, se optó por la dosificación 0/1/3, sin cemento, con una parte de arena por tres partes de cal aérea. Para la construcción de los muros de sillería se optó por una dosificación 0/1/3 sin cemento, con una parte de arena por tres partes de cal hidráulica NHL5. Dosificaciones, que en ambos casos, aportan bajas resistencias a compresión, lo cual es característico de los morteros empleados en muros históricos. Sin embargo, debido el largo tiempo de endurecimiento del mortero de y tras haber comprobado que los sillares tenían un peso muy elevado, se optó por incluir una parte de cemento blanco 22,5 N para la construcción del segundo muro de sillería.

DOSIFICACIONES MUROS		
CAL AEREA-ARENA NATURAL LAVADA 0/4		
Mortero	Componentes	Muro
	Cemento/Cal/Arena	
Ma1	0/1/3	Muro fabrica 1
Ma1	0/1/3	Muro fabrica 2
Mh1	0/1/3	Muro silleria 1
Mh1b	1/1/3	Muro silleria 2

Tabla 3.48

Los dos muros de fábrica son de un pie de espesor y sus dimensiones son 3,00 m de longitud, por 2,30 m de altura, por 0,24 m de espesor. Están contruidos con ladrillos cerámicos macizos de 24x11x2 cm colocados dos a soga y uno a tizón.



Imágenes 3.49 y 3.50 Detalle muro de fábrica y el visión general del mismo.

Durante la ejecución de los muros se sacaron muestras de las amasadas para el control de la resistencia a compresión del mortero.

MURO FABRICA 1 MA1			
Cemento	Bl 22.5x	0 gr	0
Cal	Cal Aerea	2333 gr	1
Arena	Lavada 0/4	25000 gramos	3
Agua	Relación A/C 0,5		
Fecha:	02/02/2009		

Tabla 3.51

Ensayo de la resistencia a compresion del mortero MURO FABRICA 1 MA1						
	Probeta 1		Probeta 2		Probeta 3	
Probeta	1A	1B	2A	2B	3A	3B
Carga máx, F (KN)	5,598	5,621	5,648	5,542	5,374	5,508
Resistencia (Mpa)	3,499	3,513	3,517	3,464	3,358	3,442
Fecha:	02/03/2009		02/03/2009		02/03/2009	
	28 dias		28 dias		28 dias	
	Resistencia Mpa					
	3,47					

Tabla 3.52

MURO FABRICA 2 MA1			
Cemento	Bl 22.5x	0 gr	0
Cal	Cal Aerea	2333 gr	1
Arena	Lavada 0/4	25000 gramos	3
Agua	Relación A/C 0,5		
Fecha:	19/02/2009		

Tabla 3.53

Ensayo de la resistencia a compresion del mortero MURO FABRICA 2 MA1						
	Probeta 1		Probeta 2		Probeta 3	
Probeta	1A	1B	2A	2B	3A	3B
Carga máx, F (KN)	5,312	5,621	5,648	5,542	5,374	5,508
Resistencia (Mpa)	3,32	3,56	2,87	3,05	3,15	3,22
Fecha:	19/03/2009		19/03/2009		19/03/2009	
	28 dias		28 dias		28 dias	
	Resistencia Mpa					
	3,20					

Tabla 3.54



**MÉTODOS DE ENSAYO DE LOS MORTEROS PARA ALBAÑILERÍA.
PARTE 11. DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN Y A COMPRESIÓN DEL
MORTERO ENDURECIDO UNE-EN 1015-11: 2000.**

Nº ALBARÁN: MUR01																						
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"></td> <td style="width: 25%; text-align: center;">MÁXIMO</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">MÍNIMO</td> </tr> <tr> <td>TEMPERATURA °C. Nº equipo:</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		MÁXIMO	MÍNIMO	TEMPERATURA °C. Nº equipo:																	
	MÁXIMO	MÍNIMO																				
TEMPERATURA °C. Nº equipo:																						
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"></td> <td style="width: 25%; text-align: center;">Fecha</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">Hora</td> </tr> <tr> <td>Preparación probetas</td> <td style="text-align: center;">2-2-09</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Desmoldeo: <input type="checkbox"/> 2 días <input type="checkbox"/> 5 días</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Salida 95%</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ensayo</td> <td style="text-align: center;">2-3-09</td> <td></td> </tr> </table>		Fecha	Hora	Preparación probetas	2-2-09		Desmoldeo: <input type="checkbox"/> 2 días <input type="checkbox"/> 5 días			Salida 95%			Ensayo	2-3-09							
	Fecha	Hora																				
Preparación probetas	2-2-09																					
Desmoldeo: <input type="checkbox"/> 2 días <input type="checkbox"/> 5 días																						
Salida 95%																						
Ensayo	2-3-09																					
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 80%;">EQUIPO</th> <th style="width: 20%;">Nº equipo</th> </tr> <tr> <td>Molde</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cámara 95 % humedad</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cámara 65 % humedad</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Prensa Flexión</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Prensa Compresión</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Papel filtro absorbente</td> <td></td> </tr> </table>	EQUIPO	Nº equipo	Molde		Cámara 95 % humedad		Cámara 65 % humedad		Prensa Flexión		Prensa Compresión		Papel filtro absorbente								
EQUIPO	Nº equipo																					
Molde																						
Cámara 95 % humedad																						
Cámara 65 % humedad																						
Prensa Flexión																						
Prensa Compresión																						
Papel filtro absorbente																						
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN																						
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 25%;">PROBETA</th> <th style="width: 12.5%;">1</th> <th style="width: 12.5%;">2</th> <th style="width: 12.5%;">3</th> </tr> <tr> <td>Carga máxima, F (kN)</td> <td style="text-align: center;">0'092</td> <td style="text-align: center;">0'152</td> <td style="text-align: center;">0'155</td> </tr> </table>	PROBETA	1	2	3	Carga máxima, F (kN)	0'092	0'152	0'155													
PROBETA	1	2	3																			
Carga máxima, F (kN)	0'092	0'152	0'155																			
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN																						
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 12.5%;">PROBETA</th> <th style="width: 12.5%;">1A</th> <th style="width: 12.5%;">1B</th> <th style="width: 12.5%;">2A</th> <th style="width: 12.5%;">2B</th> <th style="width: 12.5%;">3A</th> <th style="width: 12.5%;">3B</th> </tr> <tr> <td>Carga máxima, F (kN)</td> <td style="text-align: center;">5'918</td> <td style="text-align: center;">5'621</td> <td style="text-align: center;">5'648</td> <td style="text-align: center;">5'542</td> <td style="text-align: center;">5'814</td> <td style="text-align: center;">5'508</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">Res. 3'499</td> <td style="text-align: center;">3'513</td> <td style="text-align: center;">3'517</td> <td style="text-align: center;">3'464</td> <td style="text-align: center;">3'358</td> <td style="text-align: center;">3'442</td> </tr> </table>	PROBETA	1A	1B	2A	2B	3A	3B	Carga máxima, F (kN)	5'918	5'621	5'648	5'542	5'814	5'508		Res. 3'499	3'513	3'517	3'464	3'358	3'442
PROBETA	1A	1B	2A	2B	3A	3B																
Carga máxima, F (kN)	5'918	5'621	5'648	5'542	5'814	5'508																
	Res. 3'499	3'513	3'517	3'464	3'358	3'442																
VELOCIDAD PRENSA: N/A Escala: 1(N)																						

Imagen 3.55 Ficha del ensayo de resistencia a compresión del mortero

En el caso de los muros a escala de sillería sus dimensiones totales son 2,87 m de longitud por 2,20 m de altura y 0,20 m de espesor. Están constituidos por sillares de piedra de 40x30x20 cm de una cantera de Godella Valencia.



Imágenes 3.56 y 3.57 Construcción del muro de sillería.

Los resultados de la resistencia a compresión de las amasadas del mortero utilizado para la construcción de los muros de sillería se muestran en las tablas siguientes:

MURO SILLERIA 1 AMASADA 1			
Cal	Cal Hidraulica	6717 gr	1
Arena	Lavada 0/4	25000 gramos	3
Agua	3700 gr Relación A/C 0,5		
Fecha:	01/12/2009		

Tabla 3.58

Ensayo de la resistencia a compresion MURO SELLERIA 1 AMASADA 1								
Probeta	Probeta 1		Probeta 2		Probeta 3		Media	SD
	1A	2A	2A	2B	3A	3B		
Carga máx, F (KN)	2,73	2,45	3,3	3,46	2,79	fallo		
Resistencia (Mpa)	1,709	1,53	2,06	2,16	1,74	fallo		
Fecha:	03/12/2009		11/12/2009		13/01/2010			
	3 días		7 días		40 días			
	Resistencia Mpa							
	1,62		2,11		1,74			

Tabla 3.59

MURO SILLERIA 1 AMASADA 2			
Cal	Cal Hidraulica	6717 gr	1
Arena	Lavada 0/4	25000 gramos	3
Agua	3700 gr Relación A/C 0,5		
Fecha:	02/12/2009		

Tabla 3.60

Ensayo de la resistencia a compresion MURO SILLERIA 1 AMASADA 2								
Probeta	Probeta 1		Probeta 2		Probeta 3		Media	SD
	1A	2A	2A	2B	3A	3B		
Carga máx, F (KN)	2,62	3,71	fallo					
Resistencia (Mpa)	1,63	2,32	fallo					
Fecha:	11/12/2009		13/01/2010					
	3 días		40 días					
	Resistencia Mpa							
	1,98		fallo					

Tabla 3.61



MURO SILLERIA2 AMASADA 1			
Cal	Cal Hidraulica	6717 gr	1
Arena	Lavada 0/4	25000 gramos	3
Agua	3700 gr Relación A/C 0,5		
Fecha:	03/12/2009		

Tabla 3.62

Ensayo de la resistencia a compresion MURO SILLERIA 2 AMASADA 1								
Probeta	Probeta 1		Probeta 2		Probeta 3		Media	SD
	1A	2A	2A	2B				
Carga máx, F (KN)	2,74	3,05	2,31	2,19				
Resistencia (Mpa)	1,71	1,87	1,44	1,37				
Fecha:	11/12/2009		13/01/2010					
	7 dias		40 dias					
	Resistencia Mpa							
	1,79		1,41					

Tabla 3.63

MURO SILLERIA 2 AMASADA 2			
Cal	Cal Hidraulica	6717 gr	1
Arena	Lavada 0/4	25000 gramos	3
Agua	3700 gr Relación A/C 0,5		
Fecha:	03/12/2009		

Tabla 3.64

TABLA Ensayo de la resistencia a compresion MURO SILLERIA 2 AMASADA 2								
Probeta	Probeta 1		Probeta 2		Probeta 3		Media	SD
	1A	2A	2A	2B	3A	3B		
Carga máx, F (KN)	3,44	3,16	2,79	2,37				
Resistencia (Mpa)	2,15	1,97	1,74	1,48				
Fecha:	11/12/2009		13/01/2010					
	7 dias		40 dias					
	Resistencia Mpa							
	2,06		1,61					

Tabla 3.65



MURO SILLERIA 2 AMASADA 3			
Cemento	Bl 22.5x	150 gr	1
Cal	Cal Hidraulica	6717 gr	1
Arena	Lavada 0/4	25000 gramos	3
Agua	3700 gr Relación A/C 0,5		
Fecha:	03/12/2009		

Tabla 3.66

Ensayo de la resistencia a compresion MURO SILLERIA 2 AMASADA 3								
	Probeta 1		Probeta 2		Probeta 3		Media	SD
Probeta	1A	1B	2A	2B	3A	3B		
Carga máx, F (KN)	3,46	3,5	2,81	2,97				
Resistencia (Mpa)	2,16	2,19	1,76	1,85				
Fecha:	11/12/2009		13/01/2010					
	7 días		40 días					
	Resistencia Mpa							
	2,18		1,81					

Tabla 3.67

MURO SILLERIA 2 AMASADA 4			
Cemento	Bl 22.5x	150 gr	1
Cal	Cal Hidraulica	6717 gr	1
Arena	Lavada 0/4	25000 gramos	3
Agua	3700 gr Relación A/C 0,5		
Fecha:	03/12/2009		

Tabla 3.68

Ensayo de la resistencia a compresion MURO SILLERIA 2 AMASADA 4								
	Probeta 1		Probeta 2		Probeta 3			SD
Probeta	1A	1B	2A	2B	3A	3B	3C	
Carga máx, F (KN)	2,85	3,88	2,37	2,68	1,75	1,55	1,82	
Resistencia (Mpa)	1,77	2,11	1,48	1,67	1,09	0,973	1,13	
Fecha:	11/12/2009		13/01/2010		16/02/2010			
	7 días		40 días		74 días			
	Resistencia a compresion							
	1,94		1,58		1,06			

Tabla 3.69

Para la construcción de las pilas de prueba se opto por las siguientes dosificaciones, todas ellas con arena natural lavada 0/4.

DOSIFICACIONES PILAS DE PRUEBA		
CAL AEREA- ARENA NATURAL LAVADA 0/4		
Mortero	Componentes	PILA
	Cemento/Cal/Arena	
Ma1	0/1/3	1
Ma2	0/1/2	2
Ma3	1/1/5	5
Ma4	1/2/9	7

Tabla 3.70

DOSIFICACIONES PILAS DE PRUEBA		
CAL HIDRAULICA- ARENA NATURAL LAVADA 0/4		
Mortero	Componentes	PILA
	Cemento/Cal/Arena	
Mh1	0/1/3	3
Mh2	0/1/2	4
Mh3	1/1/5	6
Mh4	1/2/9	8

Tabla 3.71

Se construyeron 8 pilas de ladrillo, una por cada dosificación propuesta. Se usó ladrillo panal de 12x9x24 dejando 1 cm de junta de mortero.



Imagen 3.70 Cuatro de las ocho pilas de ladrillo.

Control de las resistencias a compresión del mortero empleado durante la ejecución de las pilas.

CONTROL AMASADAS PILAS DE PRUEBA

Dosificación del mortero fabricado Pila1 MA1			
Cemento			
Cal	Cal Aerea	1120 gr	1
Arena	Lavada 0/4	12000 gramos	3
Agua	1371 gr Relación A/C 0,74		
Fecha:	18/01/2010		

Tabla 3.72

Ensayo de la resistencia a compresion del mortero Pila 1 MA1									
	Probeta 1			Probeta 2			Probeta 3		
Probeta	1A	1B	1C	2A	2B	2C	3A	3B	3C
Carga máx, F (KN)	2,18	2,19	fallo	2,36	2,12	2,12			
Resistencia (Mpa)	1,36	1,37	fallo	1,47	1,32	1,32			
Fecha:	16/02/2010			14/04/2010					
	30 d			90 dias					
	Resistencia a compresion Mpa								
	1,37			1,37					

Tabla 3.73

Dosificación del mortero fabricado Pila 2 MA2			
Cemento			
Cal	Cal Aerea	1680 gr	1
Arena	Lavada 0/4	12000 gramos	2
Agua	2000 gr Relación A/C 0,92		
Fecha:	19/01/2010		

Tabla 3.74

Ensayo de la resistencia a compresion del mortero Pila 2 MA2									
	Probeta 1			Probeta 2			Probeta 3		
Probeta	1A	1B	1C	2A	2B	2C	3A	3B	3C
Carga máx, F (KN)		1,73	1,71	1,91	1,98	1,75			
Resistencia (Mpa)	1,74	1,36	1,07	1,19	1,23	1,09			
Fecha:	16/02/2010			14/04/2010					
	30 d			90 dias					
	Resistencia a compresion Mpa								
	1,39			1,17					

Tabla 3.75



Dosificación del mortero fabricado Pila3 MH1			
Cemento			
Cal	Cal Hidraulica	2450 gr	1
Arena	Lavada 0/4	12000 gramos	3
Agua	1813 gr Relación A/C 0,74 muy fluido		
Fecha:	19/01/2010		

Tabla 3.76

Ensayo de la resistencia a compresion del mortero Pila 3 MH1									
	Probeta 1			Probeta 2			Probeta 3		
Probeta	1A	1B	1C	2A	2B	2C	3A	3B	3C
Carga máx, F (KN)	2,68	1,68	1,86	1,02	0,999	1,02			
Resistencia (Mpa)	1,67	1,05	1,16	0,64	0,62	0,63			
Fecha:	16/02/2010			14/04/2010					
	30 d			90 dias					
	Resistencia a compresion Mpa								
	1,29			0,63					

Tabla 3.77

Dosificación del mortero fabricado Pila 4 MH2			
Cemento			
Cal	Cal Hidraulica	3676 gr	1
Arena	Lavada 0/4	12000 gramos	2
Agua	2000 gr Relación A/C 0,55		
Fecha:	19/01/2010		

Tabla 3.78

Ensayo de la resistencia a compresion del mortero Pila 4 MH2									
	Probeta 1			Probeta 2			Probeta 3		
Probeta	1A	1B	1C	2A	2B	2C	3A	3B	3C
Carga máx, F (KN)	3,25	3,06	3,03	1,64	1,64	1,68			
Resistencia (Mpa)	2,03	1,91	1,89	1,02	1,02	1,05			
Fecha:	16/02/2010			14/04/2010					
	30 d			90 dias					
	Resistencia a compresion Mpa								
	1,94			1,03					

Tabla 3.79



Dosificación del mortero fabricado Pila 5 MA3			
Cemento	Bl 22.5	2400 gr	1
Cal	Cal Aerea	672 gr	1
Arena	Lavada 0/4	12000 gramos	5
Agua	1700 gr Relación A/C 0,55		
Fecha:	19/02/2010		

Tabla 3.80

Ensayo de la resistencia a compresión del mortero Pila 5 MA3									
	Probeta 1			Probeta 2			Probeta 3		
Probeta	1A	1B	1C	2A	2B	2C	3A	3B	3C
Carga máx, F (KN)	7,16	7,62	7,23	13,43	9,01	8,2	12,56	12,87	13,65
Resistencia (Mpa)	4,47	4,76	4,51	8,39	5,63	5,12	7,85	8,01	8,47
Fecha:	22/02/2010			23/03/2010			24/04/2010		
	30 d			60 días			90 días		
	Resistencia a compresion Mpa								
	4,58			6,38			8,11		

Tabla 3.81

TABLA Dosificación del mortero fabricado Pila 6 MH3			
Cemento	Bl 22.5	2400 gr	1
Cal	Cal Hidraulica	1470 gr	1
Arena	Lavada 0/4	12000 gramos	5
Agua	2240 gr Relación A/C 0,55		
Fecha:	19/02/2010		

Tabla 3.82

Ensayo de la resistencia a compresión del mortero Pila 6 MH3									
	Probeta 1			Probeta 2			Probeta 3		
Probeta	1A	1B	1C	2A	2B	2C	3A	3B	3C
Carga máx, F (KN)	16,79	17,26	16,88				23,76	24,1	23,46
Resistencia (Mpa)	10,59	10,78	10,55	14,51	fallo	fallo	14,85	15,37	14,6
Fecha:	22/02/2010			02/03/2010			23/03/2010		
	3 días			13 días			30 días		
	Resistencia a compresion Mpa								
	10,64			14,51			14,94		

Tabla 3.83

Dosificación del mortero fabricado Pila 7 MA4			
Cemento	BI 22.5	1333 gr	1
Cal	Cal Aerea	746 gr	2
Arena	Lavada 0/4	12000 gramos	9
Agua	1148 gr Relación A/C 0,55		
Fecha:	15/03/2010		

Tabla 3.84

Ensayo de la resistencia a compresion del mortero Pila 7 MA4									
	Probeta 1			Probeta 2			Probeta 3		
Probeta	1A	1B	1C	2A	2B	2C	3A	3B	3C
Carga máx, F (KN)	3,90	fallo	4,09	5,98	5,14	3,60			
Resistencia (Mpa)	2,45	Fallo	2,57	3,76	3,23	2,26			
Fecha:	18/03/2010			27/04/2010					
	3 dias			28 dias					
	Resistencia a compresion Mpa								
	2,51			3,08					

Tabla 3.85

Dosificación del mortero fabricado Pila 8 MH4			
Cemento	BI 22.5	1333 gr	1
Cal	Cal Hidraulica	1470 gr	2
Arena	Lavada 0/4	12000 gramos	9
Agua	1374 gr Relación A/C 0,55		
Fecha:	15/03/2010		

Tabla 3.86

Ensayo de la resistencia a compresion del mortero Pila 8 MH4									
	Probeta 1			Probeta 2			Probeta 3		
Probeta	1A	1B	1C	2A	2B	2C	3A	3B	3C
Carga máx, F (KN)	9,2	9,77	10,33	6,18	7,36	8,26			
Resistencia (Mpa)	5,75	6,1	6,46	3,86	4,6	5,16			
Fecha:	22/03/2010			27/04/2010					
	3d			28 dias					
	Resistencia a compresion Mpa								
	6,10			4,54					

Tabla 3.87



3.3.3 TOMA DE DATOS.

Antes de proceder al ensayo del mortero con la técnica PNT-G, se ha de inspeccionar el elemento a evaluar y planificar la campaña de medidas. Generalmente, el elemento se divide en varias zonas de inspección dependiendo del tamaño o área a estudiar y se le asignan unos puntos de ensayo por cada zona. En cada punto se determina el número de lecturas a realizar.

Se utilizaron diversas tablas excel para facilitar la toma de medidas del PNT-g y su posterior análisis. Subsiguientemente se uso el programa SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) para el análisis estadístico de los datos en sustitución del programa Excel.

Las tablas 3.88 y 3.89 son para la toma de lecturas registradas por el PNT-g y la correlación con la resistencia a compresión del mortero a través de la expresión $PG = 134fm + 22$.

TABLA 1 Lectura del penetrometro PNT-G [1 unidad = 0,006 J] PG= 134fm-22																		
Lectura		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Media	DevSt.
punto	zona																	
1	cara E																	
2																		
3	cara S																	
4																		
5	cara O																	
6																		
7	cara N																	
8																		
fecha:																		

TABLA 2 Resistencia a compresión del mortero [Mpa] PNT-G [1 unidad = 0,006 J] PG= 134fm-22																		
Lectura		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Media	DevSt.
punto	zona																	
1	cara E																	
2																		
3	cara S																	
4																		
5	cara O																	
6																		
7	cara N																	
8																		
Resistencia evaluada según la expresión $f_m = (PG+22)/134$ Mpa]																		

Tablas 3.88 y 3.89

Las tablas 3.90 y 3.91 se utilizaron para el análisis estadístico de los datos recogidos.

Con el fin de eliminar valores incoherentes que pudieran afectar a la desviación de la variable, se opto por obtener la media de las lecturas de cada punto de inspección y quitar aquellos valores que estuvieran un cuarto por encima o por debajo de ese valor medio.

TABLA 3 Analisis estadístico de los datos de lectura del PNT-G																
Lectura		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Media	Dev St.	1/4 media	m+1/4	m-1/4
punto	zona															
1	cara E															
2																
3																
4	cara S															
5																
6	cara O															
7																
8	cara N															
9																
10																

TABLA 4 Resistencia a compresión del mortero [Mpa]																
Lectura		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Media	Dev St.			
punto	zona															
1	cara E															
2																
3																
4	cara S															
5																
6	cara O															
7																
8	cara N															
9																
10																

Resistencia evaluada según la expresión $f_m = (PG+22)/134$ Mpa

Tablas 3.90 y 3.91

Las tablas 3.92 y 3.94 muestran los valores definitivos de la resistencia a compresión del mortero una vez eliminados los valores no aptos.

Lectura		1	2	3	4	5	6	Media	Dev St.
punto	zona								
1	4								
2									
3									
4	1								
5									
6	3								
7									
8	2								
9									

Lectura		1	2	3	4	5	6	Media	Dev St.
punto	zona								
1	4								
2									
3									
4	1								
5									
6	3								
7									
8	2								
9									

Resistencia evaluada según la expresión $f_m = (PG+22)/134$ Mpa

Tablas 3.92 y 3.93

3.4 ENSAYOS PNT-g

En este apartado se muestran los ensayos realizados con la técnica del PNT-g sobre los diferentes soportes ya mencionados con anterioridad.

- MUROS DE FÁBRICA

Los muros de fábrica se dividieron en 18 zonas cada uno. De las 18 zonas se escogieron 10 puntos de inspección, siete en el frente del muro y tres en el canto. En cada punto se hicieron 15 medidas de las que se obtuvieron 15 lecturas en el PNT-G lo que hace un total de 150 medidas por cada muro.

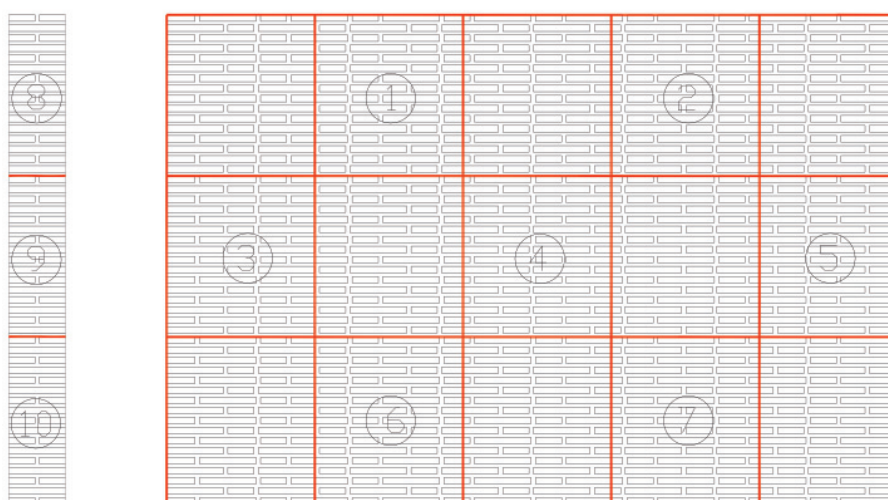


Imagen 3.94 Zonas inspección muro de fabrica de ladrillo. Perfil y Alzado.

MURO DE FABRICA 1

Las lecturas obtenidas con el PNT-g sobre el muro de fábrica 1 son las que se reflejan en la tabla 3.95.

La correlación de las lecturas del PNT-g (PG) con la resistencia a compresión del mortero (fm) se obtiene al aplicar la función $PG = 134fm - 22$. En la tabla 3.96 queda reflejado el resultado de aplicar la formula sobre las lecturas del PNT-g.

A continuación se hace un análisis estadístico de los datos obtenidos con el fin de mejorar la desviación y dispersión de resultados. Los datos en verde de la tabla 3.97 son los que se dan por favorables, el resto de lecturas se rechazan.

Una vez analizado los datos, se aplica de nuevo la formula de correlación y se obtiene finalmente la resistencia a compresión del mortero. Ver tablas 3.98 y 3.99.

TABLA 1 Lectura del penetrometro PNT-G [1 unidad = 0,006 J] MURO DE FABRICA 1

Lectura punto	zona	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Media	Dev.St.
		1	634	343	544	379	158	320	408	252	347	534	280	292	389	331	447	377,20
2	547	946	264	366	472	428	340	395	510	258	411	215	344	316	197	400,60	182,63	
3	376	242	378	539	478	216	328	224	623	485	323	298	579	287	278	376,93	132,68	
4	401	369	210	552	563	537	542	325	392	521	679	656	143	405	311	440,40	155,58	
5	455	186	530	338	213	463	533	290	340	220	471	203	257	529	378	360,40	128,78	
6	271	648	539	330	373	252	263	322	500	613	500	366	417	341	497	415,47	127,05	
7	367	750	505	391	298	358	441	398	268	295	488	529	479	610	790	464,47	156,18	
8	492	526	522	340	398	417	256	378	519	343	312	476	296	572	610	430,47	108,84	
9	506	415	310	766	313	681	329	518	338	369	457	600	568	391	609	478,00	143,38	
10	669	584	223	378	531	596	288	255	538	422	538	522	509	522	359	462,27	133,88	

Lectura del penetrometro PNT-G PG= 134fm-22

Fecha: 15/09/2009

Tabla 3.95

TABLA 2 Resistencia a compresión del mortero [Mpa] MURO DE FABRICA 1

Lectura punto	zona	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Media	Dev.St.
		1	4,90	2,72	4,22	2,99	1,34	2,55	3,21	2,04	2,75	4,15	2,25	2,34	3,07	2,63	3,50	2,98
2	4,25	7,22	2,13	2,90	3,69	3,36	2,70	3,11	3,97	2,09	3,23	1,77	2,73	2,52	1,63	3,15	1,36	
3	2,97	1,97	2,99	4,19	3,73	1,78	2,61	1,84	4,81	3,78	2,57	2,39	4,49	2,31	2,24	2,98	0,99	
4	3,16	2,92	1,73	4,28	4,37	4,17	4,21	2,59	3,09	4,05	5,23	5,06	1,23	3,19	2,49	3,45	1,16	
5	3,56	1,55	4,12	2,69	1,75	3,62	4,14	2,33	2,70	1,81	3,68	1,68	2,08	4,11	2,99	2,85	0,96	
6	2,19	5,00	4,19	2,63	2,95	2,04	2,13	2,57	3,90	4,74	3,90	2,90	3,28	2,71	3,87	3,26	0,95	
7	2,90	5,76	3,93	3,08	2,39	2,84	3,46	3,13	2,16	2,37	3,81	4,11	3,74	4,72	6,06	3,63	1,17	
8	3,84	4,09	4,06	2,70	3,13	3,28	2,07	2,99	4,04	2,72	2,49	3,72	2,37	4,43	4,72	3,38	0,81	
9	3,94	3,26	2,48	5,88	2,50	5,25	2,62	4,03	2,69	2,92	3,57	4,64	4,40	3,08	4,71	3,73	1,07	
10	5,16	4,52	1,83	2,99	4,13	4,61	2,31	2,07	4,18	3,31	4,18	4,06	3,96	4,06	2,84	3,61	1,00	

Resistencia evaluada según la expresión $f_{fm} = (PG+22)/134$ [Mpa]

Tabla 3.96

Tabla 3 Análisis estadístico de los datos de lectura del PNT-G MUJO DE FABRICA 1

Lectura punto	zona	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Media	DevSt.	1/4 media	m+1/4	m-1/4
		1	158	252	280	292	320	331	343	347	379	389	408	447	534	544	634	377,20	123,12	94,30	471,50
2	197	215	258	264	316	340	344	366	395	411	428	472	510	547	946	400,60	182,63	100,75	500,75	300,45	
3	216	224	242	278	287	298	323	328	376	378	478	485	539	579	623	376,93	132,68	94,23	471,17	282,70	
4	143	210	311	325	369	392	401	405	521	537	542	552	563	666	679	440,40	155,58	110,10	550,50	330,30	
5	186	203	213	220	257	290	338	340	378	455	463	471	529	530	533	360,40	128,78	90,10	450,50	270,30	
6	252	263	271	322	330	341	366	373	417	497	500	500	539	613	648	415,47	127,05	103,87	519,33	311,60	
7	268	295	298	358	367	391	398	441	479	488	505	529	610	750	790	464,47	156,18	116,12	580,58	348,35	
8	256	296	312	340	343	378	398	417	476	492	519	522	526	572	610	430,47	108,84	107,62	538,08	322,85	
9	310	313	329	338	369	391	415	457	506	518	568	600	609	681	766	478,00	143,38	119,50	597,50	358,50	
10	223	255	288	359	378	422	509	522	522	531	538	538	584	596	669	462,27	133,88	115,57	577,83	346,70	

Tabla 3.97

Tablas 5 y 6 Resultados de los análisis de la resistencia a compresión del mortero [Mpa]

Lectura punto	zona	1	2	3	4	5	6	Media	DevSt.
		1	331	343	347	379	389	408	366,17
2	340	344	366	395	411	428	380,67	36,27	
3	287	298	323	328	376	378	331,67	38,29	
4	392	401	405	521	537		451,20	71,40	
5	290	338	340	378	455		360,20	61,51	
6	341	366	373	417	497	500	415,67	68,69	
7	391	398	441	479	488		439,40	44,69	
8	378	398	417	476	482	519	446,67	56,77	
9	391	415	457	506	518		457,40	55,32	
10	422	509	522	522	531		501,20	44,96	

Tablas 3.98 y 3.99.

Lectura punto	zona	1	2	3	4	5	6	Media	DevSt.
		1	2,63	2,72	2,75	2,99	3,07	3,21	2,90
2	2,70	2,73	2,90	3,11	3,23	3,36	3,00	0,27	
3	2,31	2,39	2,57	2,61	2,97	2,99	2,64	0,29	
4	3,09	3,16	3,19	4,05	4,17		3,53	0,53	
5	2,33	2,69	2,70	2,99	3,56		2,85	0,46	
6	2,71	2,90	2,95	3,28	3,87	3,90	3,27	0,51	
7	3,08	3,13	3,46	3,74	3,81		3,44	0,33	
8	2,99	3,13	3,28	3,72	3,84	4,04	3,50	0,42	
9	3,08	3,26	3,57	3,94	4,03		3,58	0,41	
10	3,31	3,96	4,06	4,06	4,13		3,90	0,34	

Resistencia evaluada según la expresión $f_{fm} = (P/G+22)/134$ [Mpa]

3,26 Mpa

Mediante la técnica PNT-g se ha obtenido una resistencia a compresión del mortero del muro de fábrica 1 de 3,26 Mpa.

Se repetirá el mismo modus operandi con el resto de muestras a ensayar.

MURO DE FABRICA 2

Las lecturas obtenidas con el PNT-g sobre el muro de fábrica 2 y su correlación con la resistencia a compresión del mortero son las que se muestran en las tablas 3.100, 3.101, 3.102, 3.03 y 3.04, que aparecen a continuación.

De este modo, al igual que anteriormente, mediante la técnica PNT-g se obtiene una resistencia a compresión del mortero del muro de fábrica 2 de 1,60 Mpa.



TABLA 1 Lectura del penetrometro PNT-G [1 unidad = 0,006 J] MURO DE FABRICA 2

Lectura punto	zona	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Media	Dev.St.
		ALZADO		177	127	257	184	145	348	156	194	247	125	479	247	114	527	173
ALZADO		324	270	259	302	256	198	260	338	73	286	108	112	213	236	204	229,27	79,42
ALZADO		226	207	293	165	296	283	249	185	241	290	290	154	234	192	325	242,00	53,26
ALZADO		75	150	294	220	208	122	127	195	345	99	106	226	166	177	232	182,80	74,58
ALZADO		335	175	188	231	168	161	22	141	126	337	164	149	313	157	175	189,47	84,26
ALZADO		156	206	182	160	92	156	219	282	305	116	392	126	104	204	168	191,20	81,98
ALZADO		184	84	283	203	107	287	99	268	178	149	191	296	300	77	298	200,27	83,99
PERFIL		106	449	157	312	131	310	204	260	112	168	298	307	243	280	195	235,47	94,47
PERFIL		226	209	262	252	275	131	274	225	446	228	265	262	236	156	254	246,73	68,95
PERFIL		183	261	206	219	216	407	138	167	257	281	208	334	190	324	157	236,53	74,44

Lectura del penetrometro PNT-G PG= 134fm-22

Fecha: 15/09/2009

TABLA 2 Resistencia a compresión del mortero [Mpa] MURO DE FABRICA 2

Lectura punto	zona	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Media	Dev.St.
		ALZADO		1,49	1,11	2,08	1,54	1,25	2,76	1,33	1,61	2,01	1,10	3,74	2,01	1,01	4,10	1,46
ALZADO		2,58	2,18	2,10	2,42	2,07	1,64	2,10	2,69	0,71	2,30	0,97	1,00	1,75	1,93	1,69	1,88	0,59
ALZADO		1,85	1,71	2,35	1,40	2,37	2,28	2,02	1,54	1,96	2,33	2,33	1,31	1,91	1,60	2,59	1,97	0,40
ALZADO		0,72	1,28	2,36	1,81	1,72	1,07	1,11	1,62	2,74	0,90	0,96	1,85	1,40	1,49	1,90	1,53	0,56
ALZADO		2,66	1,47	1,57	1,89	1,42	1,37	0,33	1,22	1,10	2,68	1,39	1,28	2,50	1,34	1,47	1,58	0,63
ALZADO		1,33	1,70	1,52	1,36	0,85	1,33	1,80	2,27	2,44	1,03	3,09	1,10	0,94	1,69	1,42	1,59	0,61
ALZADO		1,54	0,79	2,28	1,68	0,96	2,31	0,90	2,16	1,49	1,28	1,59	2,37	2,40	0,74	2,39	1,66	0,63
PERFIL		0,96	3,51	1,34	2,49	1,14	2,48	1,69	2,10	1,00	1,42	2,39	2,46	1,98	2,25	1,62	1,92	0,70
PERFIL		1,85	1,72	2,12	2,04	2,22	1,14	2,21	1,84	3,49	1,87	2,14	2,12	1,93	1,33	2,06	2,01	0,51
PERFIL		1,53	2,11	1,70	1,80	1,78	3,20	1,19	1,41	2,08	2,26	1,72	2,66	1,58	2,58	1,34	1,93	0,56

Resistencia evaluada según la expresión $f_{fm} = (PG+22)/134$ [Mpa]

Tablas 3.100 y 3.101

TABLA 3 Analisis estadístico de los datos de lectura del PNT-G MURO DE FABRICA 2

Lectura punto	zona	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15										Media	DevSt	1/4 media	m+1/4	m-1/4					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10						11	12	13	14	15
ALZADO	1	114	125	127	145	156	173	177	184	194	247	247	257	348	479	527	233,33	126,08	58,33	291,67	175,00
	2	73	108	112	198	204	213	236	256	259	260	270	286	302	324	338	229,27	79,42	57,32	286,58	171,95
	3	154	165	185	192	207	226	234	241	249	283	290	290	296	296	325	242,00	53,26	60,50	302,50	181,50
	4	75	99	106	122	127	150	166	177	195	208	220	226	232	294	345	182,80	74,58	45,70	228,50	137,10
	5	22	126	141	149	157	161	164	168	175	175	206	219	231	313	335	189,47	84,26	47,37	236,83	142,10
	6	92	104	116	126	156	156	160	168	182	204	206	219	282	305	392	191,20	81,98	47,80	239,00	143,40
	7	77	84	99	107	149	178	184	191	203	268	283	287	296	298	300	200,27	83,99	50,07	250,33	150,20
	8	106	112	131	157	168	195	204	243	260	280	298	307	310	312	449	235,47	94,47	58,87	294,33	176,60
	9	131	156	209	225	226	228	236	252	254	262	262	265	274	275	446	246,73	68,95	61,68	308,42	185,05
	10	138	157	167	183	190	206	208	216	219	257	261	281	324	334	407	236,53	74,44	59,13	295,67	177,40

Tabla 3.102

TABLAS 5 y 6 Resultados de los analisis de la resistencia a compresión del mortero [Mpa]

Lectura punto	zona	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12										Media	DevSt				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			11	12		
ALZADO	1					177	184	194	247	247	257					217,67	36,37
	2	198	204	213	236	256	259	260	270	286						242,44	31,19
	3	185	192	207	226	234	241	249	283	290	290	293	296			248,83	41,11
	4				150	166	177	195	208	220	226					191,71	28,49
	5	149	157	161	164	168	175	175	188	231						174,22	24,15
	6			156	156	160	168	182	204	206	219					181,38	25,24
	7				178	184	191	203								189,00	10,74
	8				195	204	243	260	280							236,40	36,28
	9	209	225	226	228	236	252	254	262	262	265	274	275			247,33	21,76
	10			183	190	206	216	219	257	261	281					224,56	33,93
ALZADO	1																
	2																
	3																
	4																
	5																
	6																
	7																
	8																
	9																
	10																
Resistencia evaluada según la expresión $f_m = (PG+22)/134$ [Mpa]																	
																1.60	Mpa

Tablas 3.103 y 3.04

- MUROS DE SILLERIA

Los muros de sillería también se dividieron en 18 zonas cada uno. De las 18 zonas se tomaron para los ensayos 10 aéreas de inspección, siete en el frente del muro y tres en el canto. En cada punto se hicieron 15 medidas de las que se obtuvieron 15 lecturas en el PNT-G lo que hace un total de 150 medidas por cada muro.

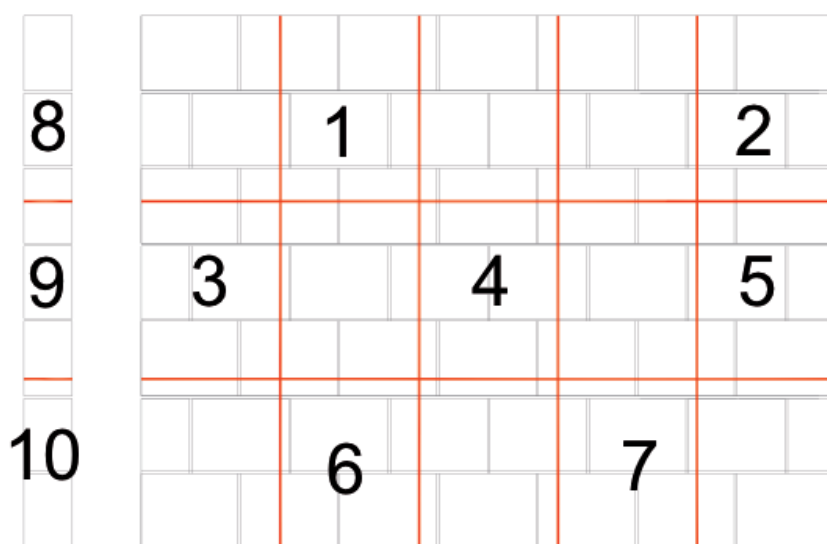


Imagen 3.105 Zonas inspección muro de sillería. Perfil y Alzado.

MURO DE SILLERIA 1

Las lecturas obtenidas con el PNT-g sobre el muro de sillería 1 y su correlación con la resistencia a compresión del mortero son las que se muestran en las tablas 3.106, 3.107, 3.108, 3.109 y 3.110.

Así, mediante la técnica PNT-g se obtiene una resistencia a compresión del mortero del muro de sillería 1 de 3,29 Mpa.

MURO DE SILLERIA 3

Las lecturas obtenidas con el PNT-g sobre el muro de sillería 2 y su correlación con la resistencia a compresión del mortero son las que se muestran en las tablas 3.111, 3.112, 3.113, 3.114 y 3.115.

Así, mediante la técnica PNT-g se obtiene una resistencia a compresión del mortero del muro de sillería 2 de 3,25 Mpa.

Véase a continuación dichas tablas.

Prueba penetrométrica con PNT-G para la determinación de la resistencia a compresión de la junta de mortero del MURO SILLERIA 1

TABLA 1 Lectura del penetrometro PNT-G [1 unidad = 0,006 J] MURO SILLERIA 1

Lectura punto	zona	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Media	Dev.St.
		1	139	286	396	168	243	177	300	379	417	171	241	289	189	203	230	255,20
2	234	436	365	400	485	612	399	287	422	260	354	306	289	280	353	365,47	98,96	
3	337	371	216	350	489	270	471	444	275	266	468	328	248	286	252	338,07	91,35	
4	386	313	361	286	338	238	384	362	426	412	358	432	332	227	479	355,60	70,15	
5	516	542	307	335	504	543	330	433	705	803	272	666	567	506	574	506,87	152,23	
6	708	1025	568	653	308	386	926	506	581	392	773	346	649	442	754	601,13	212,37	
7	380	596	380	274	357	261	353	394	252	208	192	298	421	277	203	323,07	105,74	
8	779	982	946	604	596	527	650	626	514	543	537	694	437	408	546	625,93	166,03	
9	576	601	400	545	511	938	388	630	575	334	345	558	438	391	405	509,00	154,35	
10	356	386	625	529	339	356	420	343	398	374	381	479	294	341	408	401,93	84,82	

Lectura del penetrometro PNT-G PG= 134fm-22

Fecha: 02/02/2010

TABLA 2 Resistencia a compresión del mortero [Mpa]

Lectura punto	zona	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Media	Dev.St.
		1	1,20	2,30	3,12	1,42	1,98	1,49	2,40	2,99	3,28	1,44	1,96	2,32	1,57	1,68	1,88	2,07
2	1,91	3,42	2,89	3,15	3,78	4,73	3,14	2,31	3,31	2,10	2,81	2,45	2,32	2,25	2,80	2,89	0,74	
3	2,68	2,93	1,78	2,78	3,81	2,18	3,68	3,48	2,22	2,15	3,66	2,61	2,01	2,30	2,04	2,69	0,68	
4	3,04	2,50	2,86	2,30	2,69	1,94	3,03	2,87	3,34	3,24	2,84	3,39	2,64	1,86	3,74	2,82	0,52	
5	4,01	4,21	2,46	2,66	3,93	4,22	2,63	3,40	5,43	6,16	2,19	5,13	4,40	3,94	4,45	3,95	1,14	
6	5,45	7,81	4,40	5,04	2,46	3,04	7,07	3,94	4,50	3,09	5,93	2,75	5,01	3,46	5,79	4,65	1,58	
7	3,00	4,61	3,00	2,21	2,83	2,11	2,80	3,10	2,04	1,72	1,60	2,39	3,31	2,23	1,68	2,58	0,79	
8	5,98	7,49	7,22	4,67	4,61	4,10	5,01	4,84	4,00	4,22	4,17	5,34	3,43	3,21	4,24	4,84	1,24	
9	4,46	4,65	3,15	4,23	3,98	7,16	3,06	4,87	4,46	2,66	2,74	4,33	3,43	3,08	3,19	3,96	1,15	
10	2,82	3,04	4,83	4,11	2,69	2,82	3,30	2,72	3,13	2,96	3,01	3,74	2,36	2,71	3,21	3,16	0,63	

Resistencia evaluada según la expresión $f_m = (PG+22)/134$ Mpa]

Tablas 3.106 y 3.107

TABLA 3 Analisis estadístico de los datos de lectura del PNT-G MURO SILLERIA 1

Lectura punto	zona	Media														m+1/4	m-1/4				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			15			
1		139	168	171	177	189	203	230	241	243	286	289	300	379	396	417	255,20	87,76	63,80	319,00	191,40
2		234	260	280	287	289	306	353	354	365	399	400	422	436	485	612	365,47	98,96	91,37	456,83	274,10
3		216	248	252	266	270	275	286	328	337	350	371	444	468	471	489	338,07	91,35	84,52	422,58	253,55
4		227	238	286	313	332	338	358	361	362	384	386	412	426	432	479	355,60	70,15	88,90	444,50	266,70
5		272	307	330	335	433	504	506	516	542	543	567	574	666	705	803	506,87	152,23	126,72	633,58	380,15
6		198	346	386	392	442	506	568	581	649	653	708	754	773	926	1025	601,13	212,37	150,28	751,42	450,85
7		192	203	208	252	261	274	277	298	353	357	380	380	394	421	596	323,07	105,74	80,77	403,83	242,30
8		408	437	514	527	537	543	546	596	604	626	650	694	779	946	982	625,93	166,03	156,48	782,42	469,45
9		334	345	388	391	400	405	438	511	545	558	575	576	601	630	938	509,00	154,35	127,25	636,25	381,75
10		294	339	341	343	356	356	374	381	386	398	408	420	479	529	625	401,93	84,82	100,48	502,42	301,45

Tabla 3.108

TABLAS 5 y 6 Resultados de los analisis de la resistencia a compresión del mortero [Mpa]

Lectura punto	zona	Media										Dev St.
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1		203	230	241	243	286	289	248,67	33,30			
2		289	306	353	354	365	399	344,33	40,29			
3		270	275	286	328	337	350	307,67	34,70			
4		338	358	361	362	384	386	364,83	17,92			
5		504	506	516	542	543	567	529,67	25,02			
6		506	568	581	649	653	708	610,83	72,65			
7		274	277	298	353	357	380	323,17	45,71			
8		537	543	546	596	604	626	575,33	37,92			
9		405	438	511	545	558	575	505,33	69,04			
10		356	356	374	381	386	398	375,17	16,79			

Tablas 3.109 y 3.110

Lectura punto	zona	Media										DevSt.
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1		1,68	1,88	1,96	1,98	2,30	2,32	2,02	0,25			
2		2,32	2,45	2,80	2,81	2,89	3,14	2,73	0,30			
3		2,18	2,22	2,30	2,61	2,68	2,78	2,46	0,26			
4		2,69	2,84	2,86	2,87	3,03	3,04	2,89	0,13			
5		3,93	3,94	4,01	4,21	4,22	4,40	4,12	0,19			
6		3,94	4,40	4,50	5,01	5,04	5,45	4,72	0,54			
7		2,21	2,23	2,39	2,80	2,83	3,00	2,58	0,34			
8		4,17	4,22	4,24	4,61	4,67	4,84	4,46	0,28			
9		3,19	3,43	3,98	4,23	4,33	4,46	3,94	0,52			
10		2,82	2,82	2,96	3,01	3,04	3,13	2,96	0,13			

Resistencia evaluada según la expresión $f_m = (PG+22)/134$ Mpa

3,29 Mpa

Prueba penetrométrica con PNT-G para la determinación de la resistencia a compresión de la junta de mortero del MURO SILLERIA 2

TABLA 1 Lectura del penetrometro PNT-G [1 unidad = 0,006 J]

punto	Lectura zona	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Media	Dev.St.
		1	440	429	518	349	566	345	355	435	453	459	441	361	348	350	485	422,27
2	471	382	482	458	412	467	417	330	454	415	391	424	319	379	360	410,73	50,67	
3	346	448	270	296	445	344	430	359	340	349	497	297	275	288	302	352,40	71,06	
4	369	308	276	542	472	326	225	555	320	246	457	238	180	576	520	374,00	134,57	
5	517	283	585	462	288	308	275	354	360	442	407	491	292	254	298	374,40	103,32	
6	359	426	358	538	580	518	585	381	458	341	441	322	417	491	480	446,33	85,13	
7	458	367	570	272	270	198	436	374	290	280	296	506	356	451	366	366,00	102,23	
8	779	982	946	604	596	527	650	626	514	543	537	694	437	408	546	625,93	166,03	
9	576	601	400	545	511	938	388	630	575	334	345	558	438	391	405	509,00	154,35	
10	356	386	625	529	339	356	420	343	398	374	381	479	294	341	408	401,93	84,82	

Lectura del penetrometro PNT-G PG= 134fm-22

Fecha: 09/02/2010

TABLA 2 Resistencia a compresión del mortero [Mpa]

punto	Lectura zona	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Media	Dev.St.
		1	3,45	3,37	4,03	2,77	4,39	2,74	2,81	3,41	3,54	3,59	3,46	2,86	2,76	2,78	3,78	3,32
2	3,68	3,01	3,76	3,58	3,24	3,65	3,28	2,63	3,55	3,26	3,08	3,33	2,54	2,99	2,85	3,23	0,38	
3	2,75	3,51	2,18	2,37	3,49	2,73	3,37	2,84	2,70	2,77	3,87	2,38	2,22	2,31	2,42	2,79	0,53	
4	2,92	2,46	2,22	4,21	3,69	2,60	1,84	4,31	2,55	2,00	3,57	1,94	1,51	4,46	4,04	2,96	1,00	
5	4,02	2,28	4,53	3,61	2,31	2,46	2,22	2,81	2,85	3,46	3,20	3,83	2,34	2,06	2,39	2,96	0,77	
6	2,84	3,34	2,84	4,18	4,49	4,03	4,53	3,01	3,58	2,71	3,46	2,57	3,28	3,83	3,75	3,50	0,64	
7	3,58	2,90	4,42	2,19	2,18	1,64	3,42	2,96	2,33	2,25	2,37	3,94	2,82	3,53	2,90	2,90	0,76	
8	5,98	7,49	7,22	4,67	4,61	4,10	5,01	4,84	4,00	4,22	4,17	5,34	3,43	3,21	4,24	4,84	1,24	
9	4,46	4,65	3,15	4,23	3,98	7,16	3,06	4,87	4,46	2,66	2,74	4,33	3,43	3,08	3,19	3,96	1,15	
10	2,82	3,04	4,83	4,11	2,69	2,82	3,30	2,72	3,13	2,96	3,01	3,74	2,36	2,71	3,21	3,16	0,63	

Resistencia evaluada según la expresión $f_{fm} = (PG+22)/134$ Mpa]

Tablas 3.111 y 3.112

Tabla 3 Análisis estadístico de los datos de lectura del PNT-G

Lectura punto	zona	Puntos de lectura															Media	Dev St	1/4 media	m+1/4	m-1/4	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15						
1	ALZADO	345	348	349	350	355	361	429	435	440	441	453	459	485	518	566	422,27	69,32	105,57	527,83	316,70	
2		319	330	360	379	382	391	412	415	417	424	454	458	467	471	482	410,73	50,67	102,68	513,42	308,05	
3		270	275	288	296	297	302	340	344	346	349	359	430				352,40	71,06	88,10	440,50	264,30	
4		180	225	238	246	276	308	320	326	326	369	457	472	520	542	555	374,00	134,57	93,50	467,50	280,50	
5		254	275	283	288	292	298	308	354	354	360	407	442	462	491	517	585	374,40	103,32	93,60	468,00	280,80
6		322	341	358	359	381	417	426	441	458	480	491	518	538	580	585	446,33	85,13	111,58	557,92	334,75	
7		198	270	272	280	290	296	356	366	367	374	436	451	458	506	570	366,00	102,23	91,50	457,50	274,50	
8		408	437	514	527	537	543	546	596	604	626	650	694	779	946	982	625,93	166,03	156,48	782,42	469,45	
9		334	345	388	391	400	405	438	511	545	558	575	576	601	630	938	509,00	154,35	127,25	636,25	381,75	
10		294	339	341	343	356	356	374	381	386	398	408	420	479	529	625	401,93	84,82	100,48	502,42	301,45	

Tabla 3.113

Tablas 5 y 6 Resultados de los análisis de la resistencia a compresión del mortero [Mpa] MURO SILLERIA 2

Lectura punto	zona	Puntos de lectura															Media	Dev St			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15					
1	ALZADO	345	348	349	350	355	361	429	435	440	441	453	459	485	518		412,00		58,93		
2		319	330	360	379	382	391	412	415	417	424	454	458	467	471	482	410,73		50,67		
3		270	275	288	296	297	302	340	344	346	349	359	430				324,67		45,56		
4							308	320	326	326	369	457					356,00		60,97		
5				283	288	292	298	308	354	354	360	407	442	462			349,40		67,11		
6		341	358	359	381	417	426	441	458	480	491	518	538				434,00		65,42		
7				280	290	296	356	366	367	374	436	451					357,33		60,92		
8				514	527	537	543	546	596	604	626	650	694	779			601,45		81,81		
9				388	391	400	405	438	511	545	558	575	576	601	630		501,50		91,09		
10				339	341	343	356	374	381	386	398	408	420	479			381,75		40,75		
1	ALZADO	274	276	277	278	281	286	337	341	345	346	354	359	378	403		3,24		0,04		
2		254	263	285	299	301	308	324	326	328	333	355	358	365	368	376	3,23		0,22		
3		218	222	231	237	238	242	270	273	275	277	284	337				2,59		0,10		
4							246	255	260	292	357						2,82		#DIV/0!		
5				228	231	234	239	246	281	285	320	346	361				2,77		0,05		
6		271	284	284	301	328	334	346	358	375	383	403	418				3,40		0,22		
7						225	233	237	282	290	296	342	353				2,83		0,06		
8				400	410	417	422	424	461	467	484	501	534				4,65		0,09		
9				306	308	315	319	343	398	423	433	446	465				3,91		0,06		
10				269	271	272	282	296	301	304	313	321	330	374			3,01		0,06		
Resistencia evaluada según la expresión $f_m = (F/G+22)/134$ Mpa																	3,25				

Tablas 3.114 y 3.15

- PILAS DE PRUEBA

Las pilas de prueba se dividieron en cuatro zonas, una por cada alzado y se definieron 6 puntos de inspección, 2 en cada alzado principal y 1 por cada testa. En cada área de inspección se tomaron 15 lecturas lo que hace un total de 90 medidas en cada pila.

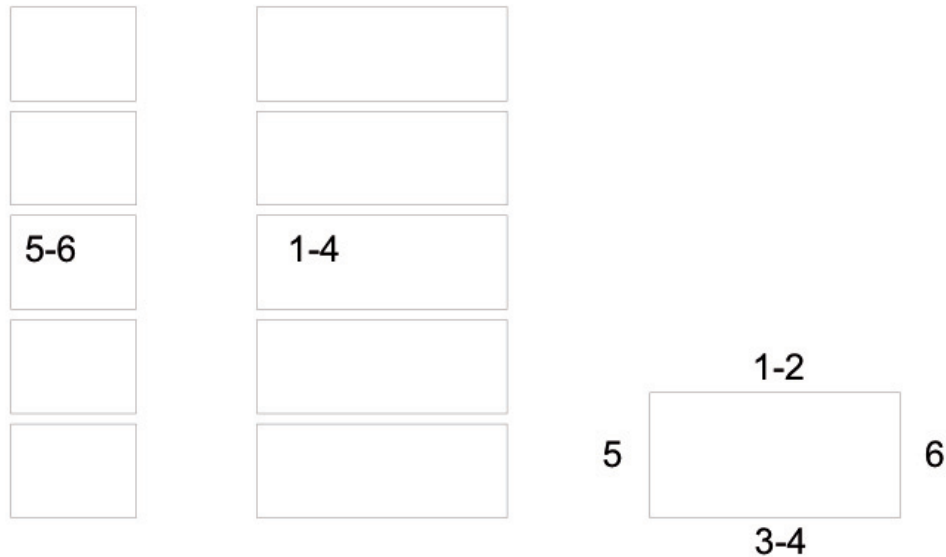


Imagen 3.116 Zonas inspección pilas de prueba. Perfil, Alzado y Planta

PILA 1- Mortero MA1

Las lecturas obtenidas con el PNT-g sobre la pila de prueba numero 1 y su correlación con la resistencia a compresión del mortero son las que se muestran en las tablas 3.117, 3.118, 3.119, 3.120, 3.121.

Así, mediante la técnica PNT-g se obtiene una resistencia a compresión del mortero de la pila 1 de 5,73 Mpa.

PILA 2- Mortero MA2

Las lecturas obtenidas con el PNT-g sobre la pila de prueba numero 2 y su correlación con la resistencia a compresión del mortero son las que se muestran en las tablas 3.122, 3.123, 3.124, 3.125, 3.126.

Así, mediante la técnica PNT-g se obtiene una resistencia a compresión del mortero de la pila 2 de 7,59 Mpa.

Véase a continuación dichas tablas.

Prueba penetrométrica con PNT-G para la determinación de la resistencia a compresión de la junta de mortero de la PILA 1 MA1 Cal aérea 1/3

TABLA 1 Lectura del penetrometro PNT-G [1 unidad = 0,006 J] PILA 1-MA1

Lectura punto	zona	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Media	Dev.St.
		1	Alzado	434	333	539	444	508	526	344	600	738	550	751	1182	874	498	322
2	Alzado	790	800	461	291	885	733	545	398	590	484	1502	1680	880	697	1381	807,80	412,07
3	Alzado	557	510	923	585	1088	670	830	787	812	978	676	650	815	847	945	778,20	167,21
4	Alzado	587	1125	932	972	825	566	710	737	845	1052	949	1100	879	213	733	815,00	238,31
5	canto	1398	700	940	1600	791	700	924	719	1169	868	1105	625	861	815	620	922,33	284,80
6	canto	618	825	1200	620	765	456	715	790	1202	875	475	675	550	733	539	735,87	225,98

Lectura del penetrometro PNT-G PG= 134fm-22

Fecha: 29/03/2010

TABLA 2 Resistencia a compresión del mortero [Mpa] PILA 1-MA1

Lectura punto	zona	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Media	Dev.St.
		1	Alzado	3,40	2,65	4,19	3,48	3,96	4,09	2,73	4,64	5,67	4,27	5,77	8,99	6,69	3,88	2,57
2	Alzado	6,06	6,13	3,60	2,34	6,77	5,63	4,23	3,13	4,57	3,78	11,37	12,70	6,73	5,37	10,47	6,19	3,08
3	Alzado	4,32	3,97	7,05	4,53	8,28	5,16	6,36	6,04	6,22	7,46	5,21	5,01	6,25	6,49	7,22	5,97	1,25
4	Alzado	4,54	8,56	7,12	7,42	6,32	4,39	5,46	5,66	6,47	8,01	7,25	8,37	6,72	1,75	5,63	6,25	1,78
5	canto	10,60	5,39	7,18	12,10	6,07	5,39	7,06	5,53	8,89	6,64	8,41	4,83	6,59	6,25	4,79	7,05	2,13
6	canto	4,78	6,32	9,12	4,79	5,87	3,57	5,50	6,06	9,13	6,69	3,71	5,20	4,27	5,63	4,19	5,66	1,69

Resistencia evaluada según la expresión $f_m = (PG+22)/134$ [Mpa]

Tablas 3.117 y 3.118

TABLA 3 Analisis estadístico de los datos de lectura del PNT-G PILA 1-MA1

Lectura punto	zona		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Media	Dev.St.	1/4 media	m+1/4	m-1/4		
	1	322	333	344	434	444	498	508	526	539	550	550	600	600	738	751	874	1182	576,20	230,48	144,05	720,25	432,15	
2	291	398	461	484	545	590	697	733	790	800	880	880	880	885	1381	1502	1680	807,80	412,07	201,95	1009,75	605,85		
3	510	557	585	650	670	676	787	812	815	830	847	830	847	923	945	978	1088	778,20	167,21	194,55	972,75	583,65		
4	213	566	587	710	733	737	825	845	879	932	949	932	949	972	1052	1100	1125	815,00	238,31	203,75	1018,75	611,25		
5	620	625	700	700	719	791	815	861	868	924	940	940	940	1105	1169	1398	1600	922,33	284,80	230,58	1152,92	691,75		
6	456	475	539	550	618	620	675	715	733	765	790	790	790	825	875	1200	1202	735,87	225,98	183,97	919,83	551,90		
																		772,57		193,14		965,71		579,4

Tabla 3.119

TABLAS 5 y 6 Resultados de los analisis de la resistencia a compresión del mortero [Mpa] PILA 1- MA1

Lectura punto	zona		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Media	Dev.St.				
	1	434	444	498	508	526	539	550	550	550	600	600	600	600	600	738	751	874	576,20	230,48			
2	585	650	670	676	787	812	815	830	847	830	847	830	847	923	945	978	1088	778,20	167,21				
3	700	700	719	791	815	861	868	924	940	940	940	940	940	1105	1169	1398	1600	922,33	284,80				
4	550	550	618	620	675	715	733	765	790	790	790	790	790	825	875	1200	1202	735,87	225,98				
5	4,53	5,01	5,16	5,21	6,04	6,22	6,25	6,36	6,49	6,49	6,49	6,49	6,49	7,05	7,22	7,22	5,96	0,87					
6	5,39	5,39	5,53	6,07	6,25	6,59	6,64	7,06	7,18	7,18	7,18	7,18	7,18	8,41	8,41	8,41	6,45	0,95					
																		5,73		Mpa		579,4	

Resistencia evaluada según la expresión $f_{m} = (PG+22)/134$ Mpa

Tablas 3.120 y 3.121

Prueba penetrométrica con PNT-G para la determinación de la resistencia a compresión de la junta de mortero de la PILA 2 MA2 Cal aérea 1/2

TABLA 1 Lectura del penetrometro PNT-G [1 unidad = 0,006 J] PILA 2-MA2

Lectura		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Media	Dev.St.
punto	zona																	
1	Alzado	1558	686	739	533	688	785	499	1020	1196	298	777	414	735	864	474	751,07	321,98
2		1622	3477	414	1000	1009	735	864	775	474	775	885	929	650	524	939	1004,80	741,78
3		825	388	621	3140	645	473	828	480	746	705	535	654	900	719	452	807,40	662,92
4		593	749	873	765	456	874	900	867	743	200	444	1783	983	655	1233	807,87	367,20
5	canto	4344	3773	2465	1127	1029	499	785	777	864	686	1348	1147	1677	1168	1376	1537,67	1131,80
6		2151	1076	1016	1226	1533	1987	2799	1345	1500	1322	985	899	101	223	765	1261,87	696,84

Lectura del penetrometro PNT-G PG= 134fm-22

Fecha: 29/03/2010

TABLA 2 Resistencia a compresión del mortero [Mpa] PILA 2-MA2

Lectura		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Media	Dev.St.	
punto	zona																		
1	Alzado	11,79	5,28	5,68	4,14	5,30	6,02	3,89	7,78	9,09	2,39	5,96	3,25	5,65	6,61	3,70	5,77	2,40	
2		12,27	26,11	3,25	7,63	7,69	5,65	6,61	5,95	5,95	3,70	5,95	6,77	7,10	5,01	4,07	7,17	7,66	5,54
3		6,32	3,06	4,80	23,60	4,98	3,69	6,34	6,34	3,75	5,73	5,43	4,16	5,04	6,88	5,53	3,54	6,19	4,95
4		4,59	5,75	6,68	5,87	3,57	6,69	6,88	6,88	6,63	5,71	1,66	3,48	13,47	7,50	5,05	9,37	6,19	2,74
5	canto	32,58	28,32	18,56	8,57	7,84	3,89	6,02	5,96	6,61	5,28	10,22	8,72	12,68	8,88	10,43	11,64	8,45	
6		16,22	8,19	7,75	9,31	11,60	14,99	21,05	10,20	11,36	10,03	7,51	6,87	0,92	1,83	5,87	9,58	5,20	

Resistencia evaluada según la expresión $f_m = (PG+22)/134$ [Mpa]

Tablas 3.122 y 3.123

TABLA 3 Analisis estadístico de los datos de lectura del PNT-G PILA 2-MA2

Lectura punto	zona	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Media	DevSt.	1/4 media	m+1/4	m-1/4	
		1	298	414	474	499	533	686	688	735	739	777	785	864	864	1020	1196	1558	751,07	321,98	187,77	938,83
2	Alzado	414	474	524	650	735	775	864	885	929	939	1000	1000	1009	1622	3477	1004,80	741,78	251,20	1256,00	753,60	
3		388	452	473	480	535	621	645	705	719	746	825	828	828	900	3140	807,40	662,92	201,85	1009,25	605,55	
4		200	444	456	593	655	743	749	765	867	873	874	900	983	1233	1783	807,87	367,20	201,97	1009,83	605,90	
5	canto	499	686	777	785	864	1029	1127	1147	1168	1348	1376	1677	2465	3773	4344	1537,67	1131,80	384,42	1922,08	1153,25	
6		101	223	765	899	985	1016	1076	1226	1322	1345	1500	1533	1987	2151	2799	1261,87	696,84	315,47	1577,33	946,40	
																	1028,44			257,11	1285,56	771,33

Tabla 3.124

TABLAS 5 y 6 Resultados de los analisis de la resistencia a compresión del mortero [Mpa] PILA 2- MA2

Lectura punto	zona	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Media	DevSt.	
		1	686	775	621	743	655	985	1016	1076	1226	1322	1345	1500	1677	1168	1348	1376	1500
2	Alzado	686	775	621	743	655	985	1016	1076	1226	1322	1345	1500	1677	1168	1348	1376	1500	1533
3		686	775	621	743	655	985	1016	1076	1226	1322	1345	1500	1677	1168	1348	1376	1500	1533
4		686	775	621	743	655	985	1016	1076	1226	1322	1345	1500	1677	1168	1348	1376	1500	1533
5	canto	686	775	621	743	655	985	1016	1076	1226	1322	1345	1500	1677	1168	1348	1376	1500	1533
6		686	775	621	743	655	985	1016	1076	1226	1322	1345	1500	1677	1168	1348	1376	1500	1533
																	753,43	62,12	
																	897,00	90,19	
																	738,11	95,41	
																	823,22	101,26	
																	1392,25	211,02	
																	1250,38	211,33	
Lectura punto	zona	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Media	DevSt.	
		1	5,28	4,80	5,71	7,75	5,30	5,65	6,02	6,61	5,68	6,77	7,10	7,63	7,69	6,88	6,46	6,59	0,46
2	Alzado	5,28	4,80	5,71	7,75	5,30	5,65	6,02	6,61	5,68	6,77	7,10	7,63	7,69	6,88	6,46	6,59	0,46	
3		5,28	4,80	5,71	7,75	5,30	5,65	6,02	6,61	5,68	6,77	7,10	7,63	7,69	6,88	6,46	6,59	0,46	
4		5,28	4,80	5,71	7,75	5,30	5,65	6,02	6,61	5,68	6,77	7,10	7,63	7,69	6,88	6,46	6,59	0,46	
5	canto	5,28	4,80	5,71	7,75	5,30	5,65	6,02	6,61	5,68	6,77	7,10	7,63	7,69	6,88	6,46	6,59	0,46	
6		5,28	4,80	5,71	7,75	5,30	5,65	6,02	6,61	5,68	6,77	7,10	7,63	7,69	6,88	6,46	6,59	0,46	
																	7,27	0,39	
																	5,67	0,71	
																	6,46	0,63	
																	10,55	1,57	
																	9,78	1,47	
																	7,59	Mpa	

Resistencia evaluada según la expresión $f_{rm} = (PG+22)/134$ Mpa

Tablas 3.125 y 3.126

PILA 3- Mortero MH1

Las lecturas obtenidas con el PNT-g sobre la pila de prueba numero 3 y su correlación con la resistencia a compresión del mortero son las que se muestran en las tablas 3.127, 3.128, 3.129, 3.130, 3.131.

Así, mediante la técnica PNT-g se obtiene una resistencia a compresión del mortero de la pila 3 de 9,27 Mpa.

PILA 4- Mortero MH2

Las lecturas obtenidas con el PNT-g sobre la pila de prueba numero 4 y su correlación con la resistencia a compresión del mortero son las que se muestran en las tablas 3.132, 3.133, 3.134, 3.135, 3.136.

Así, mediante la técnica PNT-g se obtiene una resistencia a compresión del mortero de la pila 4 de 31,76 Mpa.

PILA 5- MA3 y PILA 6 MH3

En las pilas 5 y 6 no se pudo concluir el ensayo debido a la dureza del mortero, al PNT-g le costaba mucho tiempo perforar los 5 mm y el adquisidor no paraba de contar por lo que las lecturas eran ilógicas. Se desecharon las pilas cuyas dosificaciones en volumen fueron 1/1/5 tanto con cal aérea como con cal hidráulica.

PILA 7- Mortero MA4

Las lecturas obtenidas con el PNT-g sobre la pila de prueba numero 3 y su correlación con la resistencia a compresión del mortero son las que se muestran en las tablas 3.137, 3.138, 3.139, 3.140, 3.141.

Así, mediante la técnica PNT-g se obtiene una resistencia a compresión del mortero de la pila 7 de 37,74 Mpa.

PILA 8- Mortero MH4

Las lecturas obtenidas con el PNT-g sobre la pila de prueba numero 8 y su correlación con la resistencia a compresión del mortero son las que se muestran en las tablas 3.142, 3.143, 3.144, 3.145, 3.146.

Así, mediante la técnica PNT-g se obtiene una resistencia a compresión del mortero de la pila 8 de 22,16 Mpa.

Véase a continuación dichas tablas.



Prueba penetrométrica con PNT-G para la determinación de la resistencia a compresión de la junta de mortero de la PILA 3 MH1 Cal hidráulica 1/3

TABLA 1 Lectura del penetrometro PNT-G [1 unidad = 0.006 MJ] PILA 3-MH1

Lectura		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Media	Dev.St.	
punto	zona																		
1	Alzado	993	1129	2462	2613	1396	927	1567	761	2790	1193	830	683	865	310	180	1246,60	798,30	
2		767	1585	769	1387	2211	722	1508	2766	1266	456	1262	1904	734	294	870	1233,40	683,57	
3		526	1215	1182	1517	1905	946	484	207	150	712	1125	611	808	980	879	883,13	471,15	
4		484	683	545	1629	1566	608	2153	2100	1722	2608	1200	1941	3470	6413	950	1871,47	1512,51	
5		canto	302	1710	529	792	2672	2282	996	1074	2011	1246	835	202	2732	1262	408	1270,20	835,44
6			851	927	1093	775	1263	2615	2543	1169	2017	1731	278	936	420	832	1027	1231,80	698,32

Lectura del penetrometro PNT-G PG= 134fm-22

Fecha: 29/03/2010

TABLA 2 Resistencia a compresión del mortero [Mpa] PILA 3-MH1

Lectura		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Media	Dev.St.	
punto	zona																		
1	Alzado	7,57	8,59	18,54	19,66	10,58	7,08	11,86	5,84	20,99	9,07	6,36	5,26	6,62	2,48	1,51	9,47	5,96	
2		5,89	11,99	5,90	10,51	16,66	5,55	11,42	20,81	9,61	3,57	9,58	14,37	5,64	2,36	6,66	9,37	5,10	
3		4,09	9,23	8,99	11,49	14,38	7,22	3,78	1,71	1,28	5,48	8,56	4,72	6,19	7,48	6,72	6,75	3,52	
4		3,78	5,26	4,23	12,32	11,85	4,70	16,23	15,84	13,01	19,63	9,12	14,65	26,06	48,02	7,25	14,13	11,29	
5		canto	2,42	12,93	4,11	6,07	20,10	17,19	7,60	8,18	15,17	9,46	6,40	1,67	20,55	9,58	3,21	9,64	6,23
6			6,51	7,08	8,32	5,95	9,59	19,68	19,14	8,89	15,22	13,08	2,24	7,15	3,30	6,37	7,83	9,36	5,21

Resistencia evaluada según la expresión $f_{fm} = (PG+22)/134$ Mpa

Tablas 3.127 y 3.128

TABLA 3 Analisis estadístico de los datos de lectura del PNT-G PILA 3-MH1

Lectura	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Media	Dev.St.	1/4 media	m+1/4	m-1/4
punto																				
zona	180	310	683	761	830	865	927	993	1129	1193	1396	1567	2462	2613	2790	1246,60	798,30	311,65	1558,25	934,95
1	294	456	722	734	767	769	870	1262	1266	1387	1508	1585	1904	2211	2766	1233,40	683,57	308,35	1541,75	925,05
2	150	207	484	526	611	712	808	879	946	980	1125	1182	1215	1517	1905	883,13	471,15	220,78	1103,92	662,35
3	484	545	608	683	950	1200	1566	1629	1722	1941	2100	2153	2608	3470	6413	1871,47	1512,51	467,87	2339,33	1403,60
4	202	302	408	529	792	835	996	1074	1246	1262	1710	2011	2282	2672	2732	1270,20	835,44	317,55	1587,75	952,65
5	278	420	775	832	851	927	936	1027	1093	1169	1263	1731	2017	2543	2615	1231,80	698,32	307,95	1539,75	923,85
6																1289,43		322,36	1611,79	967,08

Tabla 3.129

TABLAS 5 y6 Resultados de los analisis de la resistencia a compresión del mortero [Mpa]PILA 3-MH1

Lectura	1	2	3	4	5	6	7	Media	Dev.St.
punto									
zona									
1			993	1129	1193	1396		1177,75	167,70
2			1262	1266	1387	1508		1355,75	116,91
3	712	808	879	946	980			865,00	107,98
4		1566	1629	1722	1941	2100	2153	1851,83	248,38
5		996	1074	1246	1262			1144,50	130,55
6	927	936	1027	1093	1169	1263		1069,17	132,54

Lectura	1	2	3	4	5	6	7	Media	Dev.St.
punto									
zona									
1			7,57	8,59	9,07	10,58		8,95	1,25
2			9,58	9,61	10,51	11,42		10,28	0,87
3	5,48	6,19	6,72	7,22	7,48	0,16		5,54	2,73
4		11,85	12,32	13,01	14,65	15,84	16,23	13,98	1,85
5		7,60	8,18	9,46	9,58			8,71	0,97
6	7,08	7,15	7,83	8,32	8,89	9,59		8,14	0,99

Resistencia evaluada según la expresión $f_{cm} = (PG+22)/134$ Mpa] **9,27 Mpa**

Tablas 3.130 y 3.131

Prueba penetrométrica con PNT-G para la determinación de la resistencia a compresión de la junta de mortero de la PILA 4 MH2 Cal hidráulica 1/2

TABLA 1 Lectura del penetrometro PNT-G [1 unidad = 0.006 J] PILA 4-MH2

Lectura		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Media	Dev.St.
punto	zona																	
1	Alzado	5398	2398	2866	5218	3562	5807	7230	5620	3888	4884	4959	6788	9686	4253	4512	5137,93	1822,96
2		7662	8500	6500	7346	6802	4256	3205	5330	5092	7344	5336	3450	5621	2158	973	5305,00	2163,39
3		2123	1390	5616	450	6946	2926	1579	2412	7324	1485	4648	5276	6495	3870	3962	3766,80	2213,83
4		3646	3523	1044	4175	3500	3197	3260	2640	1976	3980	1738	2125	3903	1225	1181	2740,87	1102,54
5		4241	2727	7466	7860	4449	4539	5015	3640	4722	3208	5563	2326	3801	6233	1778	4504,53	1748,10
6		3201	5613	4356	3305	5210	5016	7555	6778	5335	876	945	3444	9721	7123	4490	4864,53	2381,43

Lectura del penetrometro PNT-G
 PG= 134fm-22

Fecha: 29/03/2010

TABLA 2 Resistencia a compresión del mortero [Mpa] PILA 4-MH2

Lectura		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Media	Dev.St.
punto	zona																	
1	Alzado	40,45	18,06	21,55	39,10	26,75	43,50	54,12	42,10	29,18	36,61	37,17	50,82	72,45	31,90	33,84	38,51	13,60
2		57,34	63,60	48,67	54,99	50,93	31,93	24,08	39,94	38,16	54,97	39,99	25,91	42,11	16,27	7,43	39,75	16,14
3		16,01	10,54	42,07	3,52	52,00	22,00	11,95	18,16	54,82	11,25	34,85	39,54	48,63	29,04	29,73	28,27	16,52
4		27,37	26,46	7,96	31,32	26,28	24,02	24,49	19,87	14,91	29,87	13,13	16,02	29,29	9,31	8,98	20,62	8,23
5		31,81	20,51	55,88	58,82	33,37	34,04	37,59	27,33	35,40	24,10	41,68	17,52	28,53	46,68	13,43	33,78	13,05
6		24,05	42,05	32,67	24,83	39,04	37,60	56,54	50,75	39,98	6,70	7,22	25,87	72,71	53,32	33,67	36,47	17,77

Resistencia evaluada según la expresión $f_{fm} = (PG+22)/134$ Mpa

Tablas 3.132 y 3.133

TABLA 3 Analisis estadístico de los datos de lectura del PNT-g PILA4-MH2

Lectura	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Media	Dev.St.	1/4 media	m+1/4	m-1/4
punto																				
zona																				
1	2398	2866	3562	3888	4253	4512	4884	4959	5218	5398	5620	5807	6788	7230	9686	5137,93	1822,96	1.284,48	6422,42	3853,45
2	973	2158	3205	3450	4256	5092	5336	5621	6502	6802	7344	7344	7346	7662	8500	5305,00	2163,39	1.326,25	6631,25	3978,75
3	450	1390	1485	1579	2123	2412	2926	3870	3962	4648	5276	5616	6495	6946	7324	3766,80	2213,83	941,70	4708,50	2825,10
4	1044	1181	1225	1738	1976	2125	2640	3197	3260	3500	3523	3646	3903	3980	4175	2740,87	1102,54	685,22	3426,08	2055,65
5	1778	2326	2727	3208	3640	3801	4241	4449	4539	4722	5015	5563	6233	7466	7860	4504,53	1748,10	1.126,13	5630,67	3378,40
6	876	945	3201	3305	3444	4356	4490	5016	5210	5335	5613	6778	7123	7555	9721	4864,53	2381,43	1.216,13	6080,67	3648,40
																4386,61		1096,65	5483,26	3290

Tabla 3.134

TABLAS 5 y6 Resultados de los analisis de la resistencia a compresión del mortero [Mpa] PILA 4-MH2

Lectura	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Media	Dev.St.
punto											
zona											
1	3888	4253	4512	4884	4959	5218	5398	5620	5807	4948,78	638,92
2	3450	4256	5092	5330	5336	5621				4847,50	828,54
3				2926	3870	3962	4648			3851,50	707,93
4				2125	2640	3197	3260			2805,50	532,39
5				3801	4241	4449	4539	4722	5015	4618,57	563,60
6				4356	4490	5016	5210	5335	5613	5003,33	491,35
Lectura											
punto											
zona											
1	29,18	31,90	33,84	36,61	37,17	39,10	40,45	42,10	43,50	37,10	4,77
2	25,91	31,93	38,16	39,94	39,99	42,11				36,34	6,18
3				22,00	29,04	29,73	34,85			28,91	5,28
4				16,02	19,87	24,02	24,49			21,10	3,97
5				28,53	31,81	33,37	34,04	35,40	37,59	34,63	4,21
6				32,67	33,67	37,60	39,04	39,98	42,05	32,17	14,50
										31,71	Mpa

Resistencia evaluada según la expresión $f_{fm} = (PG+22)/134$ Mpa

Tablas 3.135 y 3.136

Prueba penetrométrica con PNT-G para la determinación de la resistencia a compresión de la junta de mortero de la PILA 7 MA4 Cal aérea 1/2/9

TABLA 1 Lectura del penetrometro PNT-G [1 unidad = 0.006 J] PILA 7-MA4

Lectura		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Media	Dev.St.	
punto	zona																		
1	Alzado	4277	4622	4916	3562	5259	4507	5233	4216	4696	4060	5058	5234	5160	2023	2345	4344,53	1008,76	
2		5100	5206	6345	4707	3501	5117	5559	6322	5801	4200	3845	3456	4123	5132	1764	4678,53	1224,04	
3		5469	6059	1345	5858	4045	6182	6219	1903	4329	5498	5253	5602	5346	6145	5115	4957,87	1496,79	
4		6450	5449	4671	6436	6774	5153	6718	5243	5071	4056	3207	4882	4634	5858	6745	5423,13	1069,38	
5		canto	7334	3201	5763	5091	5193	3740	1103	3378	5591	5127	4990	4837	5719	6301	6461	4921,93	1543,69
6			901	4598	4207	6442	7232	6226	6384	4523	5958	6473	6337	6010	1654	1745	4991	4912,07	1997,67

Lectura del penetrometro PNT-G PG= 134fm-22

Fecha: 29/03/2010

TABLA 2 Resistencia a compresión del mortero [Mpa] PILA 7-MA4

Lectura		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Media	Dev.St.	
punto	zona																		
1	Alzado	32,08	34,66	36,85	26,75	39,41	33,80	39,22	31,63	35,21	30,46	37,91	39,22	38,67	15,26	17,66	32,59	7,53	
2		38,22	39,01	47,51	35,29	26,29	38,35	41,65	47,34	43,46	31,51	28,86	25,96	30,93	38,46	13,33	35,08	9,13	
3		40,98	45,38	10,20	43,88	30,35	46,30	46,57	14,37	32,47	41,19	39,37	41,97	40,06	46,02	38,34	37,16	11,17	
4		48,30	40,83	35,02	48,19	50,72	38,62	50,30	39,29	38,01	30,43	24,10	36,60	34,75	43,88	50,50	40,64	7,98	
5		canto	54,90	24,05	43,17	38,16	38,92	28,07	8,40	25,37	41,89	38,43	37,40	36,26	42,84	47,19	48,38	36,90	11,52
6			6,89	34,48	31,56	48,24	54,13	46,63	47,81	33,92	44,63	48,47	47,46	45,01	12,51	13,19	37,41	36,82	14,91

Resistencia evaluada según la expresión $f_{fm} = (PG+22)/134$ [Mpa]

Tablas 3.137 y 3.138

TABLA 3 Analisis estadístico de los datos de lectura del PNT-g PILA 7-MA4

Lectura		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Media	Dev.St.	1/4 media	m+1/4	m-1/4	
punto	zona																					
1	Alzado	2023	2345	3562	4060	4216	4277	4507	4622	4696	4916	5058	5160	5233	5234	5259	4344,53	1008,76	1.086,13	5430,67	3258,40	
2		1764	3456	3501	3845	4123	4200	4707	5100	5117	5132	5206	5559	5801	6322	6345	4678,53	1224,04	1.169,63	5848,17	3508,90	
3		1345	1903	4045	4329	5115	5253	5346	5498	5498	5602	5858	6059	6145	6182	6219	4957,87	1496,79	1.239,47	6197,33	3718,40	
4	canto	3207	4056	4634	4671	4882	5071	5153	5243	5449	5858	6436	6450	6718	6745	6774	5423,13	1069,38	1.355,78	6778,92	4067,35	
5		1103	3201	3378	3740	4837	4990	5091	5127	5193	5591	5719	5763	6301	6461	7334	4921,93	1543,69	1.230,48	6152,42	3691,45	
6		901	1654	1745	4207	4523	4598	4991	5958	6010	6226	6337	6384	6442	6473	7232	4912,07	1997,67	1.228,02	6140,08	3684,05	
																	4873,01		1218,25	6091,26	3654,8	

Tabla 3.139

TABLAS 5 y 6 Resultados de los analisis de la resistencia a compresión del mortero [Mpa] PILA 7-MA4

Lectura		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	10	Media	Dev.St.			
punto	zona																			
1	Alzado	3562	4060	4216	4277	4507	4622	4696	4916	5058	5160	5233	5234	5259	4676,92	534,04				
2		4045	4329	5115	5253	5346	5469	5498	5602	5858	6059	6145	6182	4993,89	562,61					
3		4634	4671	4882	5071	5153	5243	5449	5858	6436	6450	6718	6745	5408,42	671,07					
4															5698,77	828,75				
5	canto	3740	4837	4990	5091	5127	5193	5591	5719	5763					5116,78	612,54				
6		4207	4523	4598	4991	5958	6010								5047,83	767,10				
Lectura		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	8	9	10	8	9	10	Media	Dev.St.	
punto	zona																			
1	Alzado	26,75	30,46	31,63	32,08	33,80	34,66	35,21	36,85	37,91	38,67	39,22	39,22	39,41	33,80	3,67				
2				30,93	31,51	35,29	38,22	38,35	38,46	39,01	41,65	43,46			36,68	3,78				
3		30,35	32,47	38,34	39,37	40,06	40,98	41,19	41,97	43,88	45,38	46,02	46,30		39,40	4,71				
4		34,75	35,02	36,60	38,01	38,62	39,29	40,83	43,88	48,19	48,30	50,30	50,50	50,72	40,35	4,95				
5	canto		28,07	36,26	37,40	38,16	38,43	38,92	41,89	42,84	43,17	0,16			38,35	4,57				
6			31,56	33,92	34,48	37,41	44,63	45,01							37,83	5,72				
																	37,74	Mpa		

Resistencia evaluada según la expresión $f_{fm} = (PG+22)/134$ Mpa

Tablas 3.140 y 3.141

Prueba penetrométrica con PNT-G para la determinación de la resistencia a compresión de la junta de mortero de la PILA 8 MH4 Cal hidráulica 1/2/9

TABLA 1 Lectura del penetrometro PNT-G [1 unidad = 0.006.J] PILA 8-MH4

Lectura		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Media	Dev.St.	
punto	zona																		
1	Alzado	5067	4441	3759	3293	4467	3736	2973	3102	3001	2521	2832	2493	2347	4673	4172	3525,13	873,95	
2		1047	1982	531	947	1543	1329	2713	1559	1636	3347	2293	2699	3149	2029	1576	1892,00	818,73	
3		3397	3685	4130	4705	3589	3095	3174	3263	1943	1978	4133	2982	3229	2613	2651	3237,80	764,74	
4		3011	3456	1263	2772	2887	2733	4076	2375	2759	2777	1832	2034	3217	2215	1662	2604,60	728,17	
5		canto	4618	3166	1848	1944	3199	3355	4067	3376	3990	3879	4665	3178	4638	4672	5014	3707,27	968,11
6			3065	3528	4266	3719	2144	1379	1687	2378	3276	1463	2802	2835	3712	3334	3690	2885,20	897,45

Lectura del penetrometro PNT-G PG= 134fm-22

Fecha: 29/03/2010

Tabla 3.142

TABLA 2 Resistencia a compresión del mortero [Mpa] PILA 8-MH4

Lectura		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Media	Dev.St.	
punto	zona																		
1	Alzado	37,98	33,31	28,22	24,74	33,50	28,04	22,35	23,31	22,56	18,98	21,30	18,77	17,68	35,04	31,30	26,47	6,52	
2		7,98	14,96	4,13	7,23	11,68	10,08	20,41	11,80	12,37	25,14	17,28	20,31	23,66	15,31	11,93	14,28	6,11	
3		25,51	27,66	30,99	35,28	26,95	23,26	23,85	24,51	14,66	14,93	31,01	22,42	24,26	19,66	19,95	24,33	5,71	
4		22,63	25,96	9,59	20,85	21,71	20,56	30,58	17,89	20,75	20,89	13,84	15,34	24,17	16,69	12,57	19,60	5,43	
5		canto	34,63	23,79	13,96	14,67	24,04	25,20	30,51	25,36	29,94	29,11	34,98	23,88	34,78	35,03	37,58	27,83	7,22
6			23,04	26,49	32,00	27,92	16,16	10,46	12,75	17,91	24,61	11,08	21,07	21,32	27,87	25,04	27,70	21,70	6,70

Tabla 3.143

TABLA.3 Analisis estadístico de los datos de lectura del PNT-g PILA 8-MH4

Lectura punto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Media	Dev.St.	1/4 media	m+1/4	m-1/4
zona	2347	2493	2521	2832	2973	3001	3102	3293	3736	3759	4172	4441	4467	4673	5067	3525,13	873,95	881,28	4406,42	2643,85
Alzado	531	947	1047	1329	1543	1559	1576	1636	1982	2029	2293	2699	2713	3149	3347	1892,00	818,73	473,00	2365,00	1419,00
	1943	1978	2613	2651	2982	3095	3174	3229	3263	3397	3589	3685	4130	4133	4705	3237,80	764,74	809,45	4047,25	2428,35
	1263	1662	1832	2034	2215	2375	2733	2759	2772	2777	2887	3011	3217	3456	4076	2604,60	728,17	651,15	3255,75	1953,45
canto	1848	1944	3166	3178	3199	3355	3376	3879	3990	4067	4618	4638	4665	4672	5014	3707,27	968,11	926,82	4634,08	2780,45
	1379	1463	1687	2144	2378	2802	2835	3065	3276	3334	3528	3690	3712	3719	4266	2885,20	897,45	721,30	3606,50	2163,90
																2975,33		743,83	3719,17	2231,5

Tabla 3.144

TABLAS 5 y 6 Resultados de los analisis de la resistencia a compresión del mortero [Mpa] PILA 8-MH4

Lectura punto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Media	Dev.St.
zona	2832	2973	3001	3102	3293	3736	3759	4172			3358,50	476,35
Alzado	1543	1559	1576	1636	1982	2029	2293				1802,57	297,14
	2613	2651	2982	3095	3174	3229	3263	3397	3589	3685	3167,80	353,55
	2034	2215	2375	2733	2759	2772	2777	2887	3011	3217	2678,00	364,27
canto	3166	3178	3199	3355	3376	3879	3990	4067	4618		3647,56	512,52
	2378	2802	2835	3065	3276	3334	3528				3031,14	391,00

Lectura punto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Media	Dev.St.
zona	21,30	22,35	22,56	23,31	24,74	28,04	28,22	31,30			25,23	3,55
Alzado	11,68	11,80	11,93	12,37	14,96	15,31	17,28				13,62	2,22
	19,66	19,95	22,42	23,26	23,85	24,26	24,51	25,51	26,95	27,66	23,80	2,64
	15,34	16,69	17,89	20,56	20,75	20,85	20,89	21,71	22,63	24,17	20,15	2,72
canto	23,79	23,88	24,04	25,20	25,36	29,11	29,94	30,51	34,63		27,38	3,82
	17,91	21,07	21,32	23,04	24,61	25,04	26,49				22,78	2,92

Resistencia evaluada según la expresión $f_{m} = (PG+22)/134$ Mpa

Tablas 3.145 y 3.146

- CHIMENEAS ALDAIA

CHIMENEA CAMI DE FONDO

La chimenea del Cami de Fondo se dividió en 4 zonas, una por cada alzado. Se escogieron para los ensayos 9 aéreas de inspección teniendo en cuenta el estado de las juntas de mortero. En cada área de inspección se tomaron 15 lecturas lo que hace un total de 135 medidas.

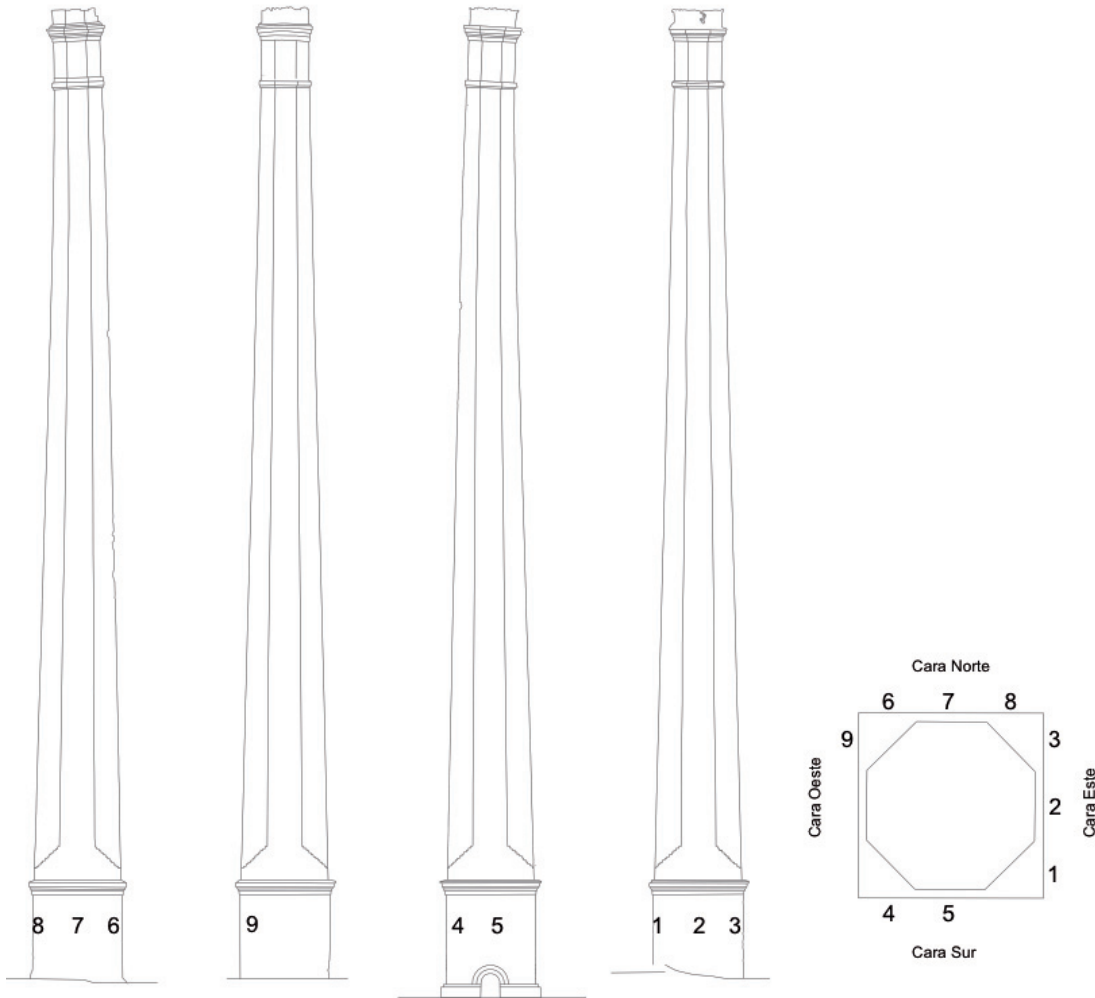


Imagen 3.146 Zonas inspección Chimenea Cami de Fondo. De izquierda a derecha: Alzado Norte, Alzado Oeste, Alzado Sur, Alzado este y Planta.

Las lecturas obtenidas con el PNT-g sobre la chimenea del Cami de Fondo y su correlación con la resistencia a compresión del mortero son las que se muestran en las tablas 3.147, 3.148, 3.149, 3.150 y 3.151.

Mediante la técnica PNT-g se ha obtenido una resistencia a compresión del mortero del muro de la chimenea del Cami de Fondo de 1,83 Mpa.

Prueba penetrométrica con PNT-G para la determinación de la resistencia a compresión de la junta de mortero de la chimenea camí de fondo (Aldaia)

TABLA 1 Lectura del penetrometro PNT-G [1 unidad = 0,006 J] CHIMENEA CAMI DE FONDO

punto	Lectura		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		Media	Dev.St.		
	zona																																			
Este	1	117	1115	125	423	136	98	150	105	92	93	26	79	69	351	498	231,80	281,21	Sur	2	193	194	509	297	243	340	168	87	408	137	184	431	559	88	269,33	148,90
	3	104	205	141	156	111	236	211	154	104	229	435	105	182	100	199	178,13	86,01		4	148	310	56	179	156	136	239	264	462	168	302	104	332	129	202,33	113,96
	5	153	101	167	157	81	165	198	184	90	133	174	118	135	164	169	145,93	35,07		6	165	130	153	202	177	205	128	116	245	286	101	180	128	139	170,33	51,03
Norte	7	253	153	115	261	131	237	175	183	300	295	354	227	307	282	266	235,93	70,53	Oeste	8	297	302	320	361	171	403	475	133	240	117	254	459	133	376	287,13	115,49
	9	459	272	157	313	270	93	337	342	208	137						258,80	111,37																		

Lectura del penetrometro PNT-G PG= 134fm-22

Fecha: 15/09/2009

TABLA 2 Resistencia a compresión del mortero [Mpa]

punto	Lectura		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		Media	Dev.St.		
	zona																																			
ESTE	1	1,04	8,49	1,10	3,32	1,18	0,90	1,28	0,95	0,85	0,86	0,36	0,75	0,68	2,78	3,88	1,89	2,10	SUR	2	1,67	1,60	1,61	3,96	1,98	2,70	1,42	0,81	3,21	1,19	1,54	3,38	4,34	0,82	2,17	1,11
	3	0,94	1,69	1,22	1,33	0,99	1,93	1,74	1,31	0,94	1,87	3,41	0,95	1,52	0,91	1,65	1,49	0,64		4	1,27	2,48	0,58	0,54	1,33	1,18	1,95	2,13	3,61	1,42	2,42	0,94	2,64	1,13	1,67	0,85
	5	1,31	0,92	1,41	1,34	0,77	1,40	1,64	1,54	0,84	1,16	1,46	1,04	1,17	1,39	1,43	1,25	0,26		6	1,40	1,13	1,31	1,67	1,49	1,69	1,12	1,03	1,99	2,30	0,92	1,51	1,12	1,20	1,44	0,38
NORTE	7	2,05	1,31	1,02	2,11	1,14	1,93	1,47	1,53	2,40	2,37	2,81	1,86	2,46	2,27	2,15	1,92	0,53	OESTE	8	2,38	2,42	2,55	2,86	1,44	3,17	3,71	1,16	1,96	1,04	2,06	3,59	1,16	2,97	2,31	0,86
	9	3,59	2,19	1,34	2,50	2,18	0,86	2,68	2,72	1,72	1,19						2,10	0,83																		

Resistencia evaluada según la expresión $f_{fm} = (PG+22)/134$ [Mpa]

Tablas 3.147 y 3.148

TABLA 3 Analisis estadístico de los datos de lectura del PNT-G

Lectura punto	zona	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Media	Dev St.	1/4 media	m+ 1/4	m- 1/4
		1	ESTE	26	69	79	92	93	98	105	117	125	136	150	351	423	498	1115	231,80	281,21	57,95
2	ESTE	87	88	137	168	184	193	194	202	243	297	340	408	431	509	559	269,33	148,90	67,33	336,67	202,00
3	ESTE	100	104	104	105	111	141	154	156	182	199	205	211	229	236	435	178,13	86,01	44,53	222,67	133,60
4	SUR	50	56	104	129	136	148	156	168	179	239	264	302	310	332	462	202,33	113,96	50,58	252,92	151,75
5	SUR	81	90	101	118	133	135	153	157	164	165	167	169	174	184	198	145,93	35,07	36,48	182,42	109,45
6	NORTE	101	116	128	128	130	139	153	165	177	180	202	202	205	245	286	170,33	51,03	42,58	212,92	127,75
7	NORTE	115	131	153	175	183	227	237	253	261	266	282	295	300	307	354	235,93	70,53	58,98	294,92	176,95
8	OESTE	117	133	133	171	240	254	266	297	302	320	361	376	403	459	475	287,13	115,49	71,78	358,92	215,35
9	OESTE	93	137	157	208	270	272	313	337	342	459						268,80	111,37	64,70	323,50	194,10

Tabla 3.149

TABLAS 5 y 6 Resultados resistencia a compresión del mortero [Mpa]

Lectura punto	zona	1	2	3	4	5	6	Media	Dev St.
		1	ESTE	202	243	297	340		
2	ESTE	141	154	166	182	199	205	172,83	26,29
3	ESTE	148	156	168	179	239	202	182,00	33,72
4	SUR	153	157	164	165	167	169	162,50	6,19
5	SUR	153	165	177	180	200	202	179,50	19,21
6	NORTE	227	237	253	261	266	282	254,33	19,98
7	NORTE	240	254	266	297	302	320	279,83	31,13
8	OESTE	208	270	272	313	337		280,00	49,21

Lectura punto	zona	1	2	3	4	5	6	Media	Dev St.
		1	ESTE	1,67	1,98	2,38	2,70		
2	ESTE	1,22	1,31	1,33	1,52	1,65	1,69	1,45	0,20
3	ESTE	1,27	1,33	1,42	1,50	1,95	1,67	1,52	0,25
4	SUR	1,31	1,34	1,39	1,40	1,41	1,43	1,38	0,05
5	SUR	1,31	1,40	1,49	1,51	1,66	1,67	1,50	0,14
6	NORTE	1,86	1,93	2,05	2,11	2,15	2,27	2,06	0,15
7	NORTE	1,96	2,06	2,15	2,38	2,42	2,55	2,25	0,23
8	OESTE	1,72	2,18	2,19	2,50	2,68		2,25	0,37
9	OESTE							1,83	Mpa

Resistencia evaluada según la expresión $f_m = (PG+22)/134$ Mpa

Tablas 3.150 y 3.151

CHIMENEA SAN ONOFRE

La chimenea de San Onofre se dividió en 4 zonas, una por cada alzado. Se escogieron para los ensayos 10 aéreas de inspección teniendo en cuenta el estado de las juntas de mortero. En cada área de inspección se tomaron 15 lecturas lo que hace un total de 150 medidas.

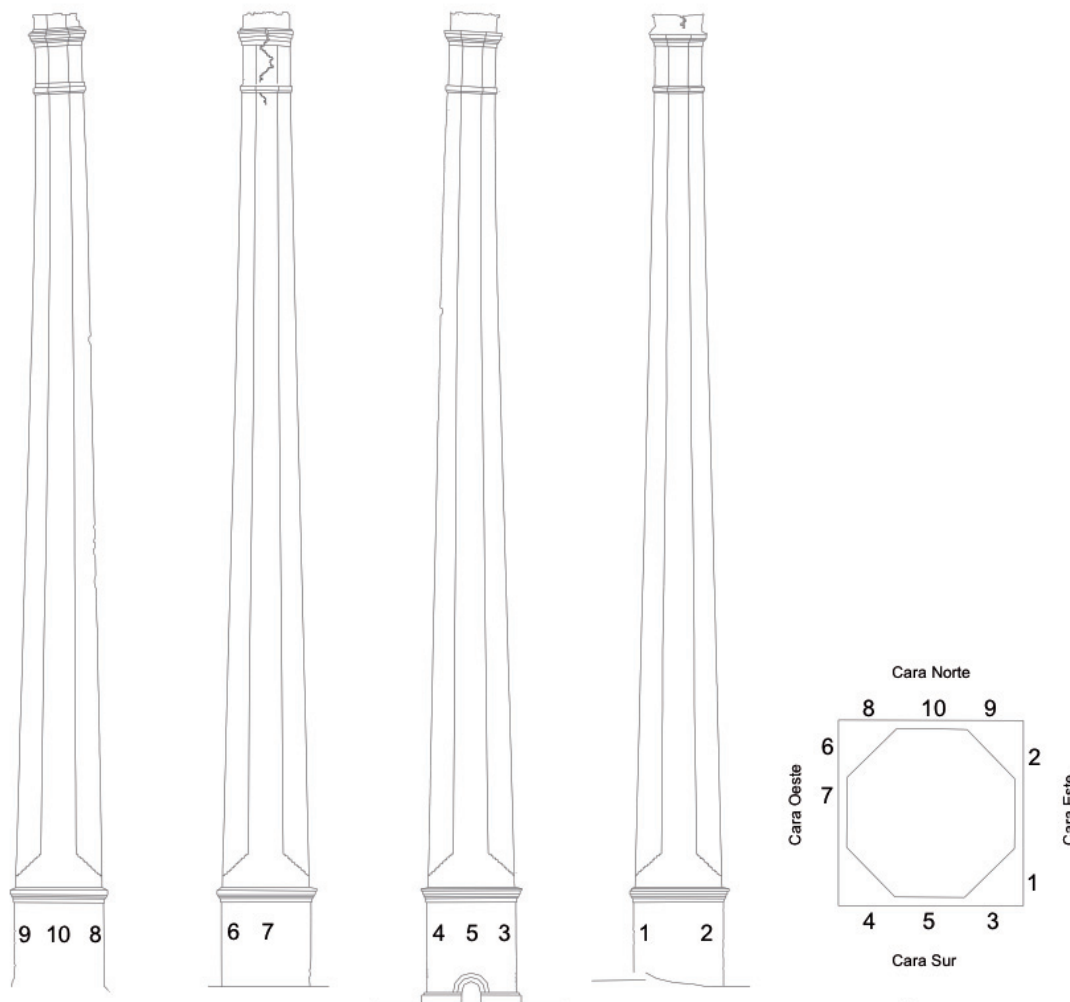


Imagen 3.152 Zonas inspección Chimenea San Onofre. De izquierda a derecha: Alzado Norte, Alzado Oeste, Alzado Sur, Alzado este y Planta.

Las lecturas obtenidas con el PNT-g sobre la chimenea San Onofre y su correlación con la resistencia a compresión del mortero son las que se muestran en las tablas 3.153, 3.154, 3.155, 3.156 y 3.157.

Mediante la técnica PNT-g se ha obtenido una resistencia a compresión del mortero del muro de la chimenea del Cami de Fondo de 1,69 Mpa.

Prueba penetrométrica con PNT-G para la determinación de la resistencia a compresión de la junta de mortero de la chimenea San Onofre (Aldaia)

TABLA 1 Lectura del penetrometro PNT-G [1 unidad = 0,006 J]

Lectura		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Media	Dev.St.	
punto	zona																		
1	cara E	174	108	80	103	108	57	167	121	189	141	95	161	131	163	162	130,67	38,55	
2		136	177	140	126	185	161	151	162	85	170	77	157	183	164	114	145,87	33,19	
3		200	144	191	190	200	168	180	168	243	124	242	211	270	115	208	190,27	43,13	
4	cara S	251	195	119	249	320	229	320	228	240	268	330	220	216	255	180	241,33	55,80	
5		153	159	90	147	110	123	81	155	82	123	96	106	100	204	104	122,20	34,80	
6	cara O	203	137	132	176	171	276	146	205	116	262	184	146	156	168	157	175,67	45,30	
7		183	122	104	145	250	106	175	106	173	144	130	168	146	191	152	153,00	39,07	
8		371	375	257	255	358	297	226	217	230	339	219	193	168	240	330	271,67	67,92	
9	cara N	190	340	350	250	350	313	249	288	363	249	292	195	335	360	251	291,67	58,53	
10		288	254	352	362	308	368	362	321	330	305	375	400	284	217	263	319,27	51,60	

Lectura del penetrometro PNT-G PG= 134fm-22

Fecha: 27/09/2009

TABLA 2 Resistencia a compresión del mortero [Mpa]

Lectura		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Media	Dev.St.	
punto	zona																		
1	cara E	1,46	0,97	0,76	0,93	0,97	0,59	1,41	1,07	1,57	1,22	0,87	1,37	1,14	1,38	1,37	1,14	0,29	
2		1,18	1,49	1,21	1,10	1,54	1,37	1,29	1,37	0,80	1,43	0,74	1,34	1,53	1,39	1,01	1,25	0,25	
3		1,66	1,24	1,59	1,58	1,66	1,42	1,51	1,42	1,98	1,09	1,97	1,74	1,78	1,02	1,72	1,58	0,32	
4	cara S	2,04	1,62	1,05	2,02	2,55	1,87	2,55	1,87	1,96	2,16	2,63	1,81	2,18	2,07	1,51	1,97	0,42	
5		1,31	1,35	0,84	1,26	0,99	1,08	0,77	1,32	0,78	1,08	0,88	0,96	0,91	1,69	0,94	1,08	0,26	
6	cara O	1,68	1,19	1,15	1,48	1,44	2,22	1,25	1,69	1,03	2,12	1,54	1,25	1,33	1,42	1,34	1,48	0,34	
7		1,53	1,07	0,94	1,25	2,03	0,96	1,47	0,96	1,46	1,24	1,13	1,42	1,25	1,59	1,30	1,31	0,29	
8		2,93	2,96	2,08	2,07	2,84	2,38	1,85	1,78	1,88	2,69	1,80	1,60	1,42	1,96	2,63	2,19	0,51	
9	cara N	1,58	2,70	2,78	2,03	2,78	2,50	2,02	2,31	2,87	2,02	2,34	1,62	2,66	2,85	2,04	2,34	0,44	
10		2,31	2,06	2,79	2,87	2,46	2,91	2,87	2,56	2,63	2,44	2,96	3,15	2,28	1,78	2,13	2,55	0,39	

Resistencia evaluada según la expresión $f_m = (PG+22)/134$ [Mpa]

Tablas 3.153 y 3.154

TABLA 3 Analisis estadístico de los datos de lectura del PNT-G

Lectura punto	zona	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Media	Dev.St.	1/4 media	m+1/4	m-1/4
		1	57	80	95	103	108	108	108	121	131	141	161	162	163	167	174	189	130,67	38,55	32,67
2	77	85	114	126	136	140	151	157	157	161	162	164	170	177	183	185	145,87	33,19	36,47	182,33	109,40
3	115	124	144	168	168	180	190	190	191	200	200	208	211	242	243	270	190,27	43,13	47,57	237,83	142,70
4	119	180	195	216	220	228	229	240	240	249	251	255	268	320	320	330	241,33	55,80	60,33	301,67	181,00
5	81	82	90	96	100	104	106	110	110	123	123	147	153	155	159	204	122,20	34,80	30,55	152,75	91,65
6	116	132	137	146	146	156	157	157	168	171	176	184	203	205	262	276	175,67	45,30	43,92	219,58	131,75
7	104	106	106	122	130	144	145	145	146	152	168	173	175	183	191	250	153,00	39,07	38,25	191,25	114,75
8	168	193	217	219	226	230	240	255	257	297	297	330	339	358	371	375	271,67	67,92	67,92	339,58	203,75
9	190	195	249	249	250	251	288	292	292	313	335	340	350	350	360	363	291,67	58,53	72,92	364,58	218,75
10	217	254	263	284	288	305	308	321	321	330	352	362	362	368	375	400	319,27	51,60	79,82	399,08	239,45

Tabla 3.155

TABLAS 5 y 6 Resultados resistencia a compresión del mortero [Mpa]

Lectura punto	zona	1	2	3	4	5	6	Media	Dev.St.
		1	108	121	131	141	161	162	137,33
2	140	151	157	161	162	164	155,83	9,02	
3	168	180	190	191	200	200	188,17	12,37	
4	220	228	229	240	249	251	236,17	12,48	
5	100	104	106	110	123	123	111,00	9,84	
6	146	156	157	168	171	176	162,33	11,22	
7	145	146	152	168	173	175	159,83	13,73	
8	226	230	240	255	257	297	250,83	25,90	
9	288	292	313	335	340	350	319,67	26,01	
10	305	308	321	330	352	362	329,67	23,23	

Lectura punto	zona	1	2	3	4	5	6	Media	Dev.St.
		1	0,97	1,07	1,14	1,22	1,37	1,37	1,19
2	1,21	1,29	1,34	1,37	1,37	1,39	1,33	0,07	
3	1,42	1,51	1,58	1,59	1,66	1,66	1,57	0,09	
4	1,81	1,87	1,87	1,96	2,02	2,04	1,93	0,09	
5	0,91	0,94	0,96	0,99	1,08	1,08	0,99	0,07	
6	1,25	1,33	1,34	1,42	1,44	1,48	1,38	0,08	
7	1,25	1,25	1,30	1,42	1,46	1,47	1,36	0,10	
8	1,85	1,88	1,96	2,07	2,08	2,38	2,04	0,19	
9	2,31	2,34	2,50	2,66	2,70	2,78	2,65	0,19	
10	2,44	2,46	2,56	2,63	2,79	2,87	2,62	0,17	

Resistencia evaluada según la expresión $f_{tm} = (P_G + 22) / 134$ [Mpa]

Tablas 3.156 y 3.157

- PROBETAS DE MORTERO

Se descarto aplicar el PNT-g sobre las probetas de mortero prismáticas de 160x40x40 mm de las diferentes dosificaciones porque al intentar perforarlas se descomponía la pieza, siendo irrealizable el ensayo.



Imagen 3.158



Imagen 3.159



Imagen 3.160

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Durante la realización de este trabajo final de máster, se ha estudiado la relación entre la energía que se gasta al perforar una cavidad de 4 mm de diámetro y 5 mm de profundidad en la junta de mortero de diferentes soportes y la resistencia a compresión de dicho mortero. Todo ello no tiene otro propósito que confrontar la técnica PNT-g en morteros de baja calidad. A continuación se presentan los resultados obtenidos.

Como se puede observar en las siguientes tablas, las resistencias a compresión de los diferentes morteros analizados en general no exceden de los 4 Mpa. Solamente algunos morteros mixtos en los que se le ha incluido en la mezcla cemento blanco 22,5 N, sobrepasan dicha resistencia. Por tanto, las dosificaciones de morteros propuestas para cotejar la técnica PNT-g son favorables para este fin.

DOSIFICACIONES MORTEROS	
Mortero	Componentes
	Cemento/Cal/Arena
M1	0/1/3
M2	0/1/2
M3	1/1/5
M4	1/2/9

Tabla 4.1 Morteros propuestos

PROPUESTA MORTEROS		
RESISTENCIAS A COMPRESION MORTEROS ARENA NATURAL		
CAL AEREA		
Mortero	Componentes	Resistencia
	Cemento/Cal/Arena	MPa
Ma1	0/1/3	3,85
Ma2	0/1/2	1,24
Ma3	1/1/5	8,97
Ma4	1/2/9	4,48
CAL HIDRAULICA		
Mortero	Componentes	Resistencia
	Cemento/Cal/Arena	MPa
Mh1	0/1/3	0,85
Mh2	0/1/2	1,08
Mh3	1/1/5	15,29
Mh4	1/2/9	9,99

Tabla 4.2 Resistencias a compresión morteros propuestos con arena natural

PROPUESTA MORTEROS		
RESISTENCIA A COMPRESION MORTEROS ARENA NORMALIZADA		
CAL AEREA		
Mortero	Componentes	Resistencia
	Cemento/Cal/Arena	MPa
Ma1	0/1/3	NO ENSAYO
Ma2	0/1/2	NO ENSAYO
Ma3	1/1/5	NO ENSAYO
Ma4	1/2/9	5,91
CAL HIDRAULICA		
Mortero	Componentes	Resistencia
	Cemento/Cal/Arena	MPa
Mh1	0/1/3	1,70
Mh2	0/1/2	NO ENSAYO
Mh3	1/1/5	NO ENSAYO
Mh4	1/2/9	NO ENSAYO

Tabla 4.3 Resistencias a compresión morteros propuestos con arena normalizada.

RESISTENCIA A COMPRESION MUROS DE FABRICA			
CAL AEREA			
Mortero	Componentes	MURO	Resistencia
	Cemento/Cal/Arena		Mpa
Ma1	0/1/3	1	3,47
Ma1	0/1/3	2	3,20

Tabla 4.4 Resistencias a compresión mortero MUROS de FABRICA.

RESISTENCIA A COMPRESION MUROS DE SILLERIA					
CAL HIDRAULICA					
Mortero	Componentes	MURO	Resistencia		
	Cemento/Cal/Arena		Mpa		
Mh1	0/1/3	1	1,74	1,98	1,86
Mh1	0/1/3	2	1,41	1,61	1,51
Mh1b	1/1/3	2	1,81	1,06	1,43

Tabla 4.5 Resistencias a compresión mortero MUROS de SILLERIA.

RESISTENCIA A COMPRESION PILAS DE PRUEBA				
CAL AEREA- ARENA NATURAL LAVADA 0/4				
Mortero	Componentes	PILA	Resistencia	
	Cemento/Cal/Arena		Mpa	
Ma1	0/1/3	1	1,37	
Ma2	0/1/2	2	1,17	
Ma3	1/1/5	5	8,11	
Ma4	1/2/9	7	3,08	
CAL HIDRAULICA- ARENA NATURAL LAVADA 0/4				
Mortero	Componentes	PILA	Resistencia	
	Cemento/Cal/Arena		Mpa	
Mh1	0/1/3	3	0,63	
Mh2	0/1/2	4	1,03	
Mh3	1/1/5	6	14,94	
Mh4	1/2/9	8	4,54	

Tabla 4.6 Resistencias a compresión mortero PILAS de PRUEBA.



Como parte de la investigación, se muestran a continuación los resultados obtenidos tras aplicar la técnica PNT-g sobre las diferentes muestras de mortero y los diferentes soportes.

RESISTENCIA A COMPRESION MORTERO MUROS DE FABRICA PNT-g [fm= (PG+22)/134 Mpa]				
CAL AEREA				
Mortero	Componentes	MURO FABRICA	Lectura PNT-g	Resistencia (Fm)
	Cemento/Cal/Arena		PG	Mpa
Ma1	0/1/3	1	415	3,26
Ma1	0/1/3	2	193	1,60

Tabla 4.7 Resistencias a compresión del mortero obtenidas mediante la técnica PNT-g MUROS de FABRICA.

RESISTENCIA A COMPRESION MORTERO MUROS DE SILLERIA PNT-g [fm= (PG+22)/134 Mpa]				
CAL HIDRAULICA				
Mortero	Componentes	MUROSILLERIA	Lectura PNT-g	Resistencia (Fm)
	Cemento/Cal/Arena		PG	Mpa
Mh1	0/1/3	1	418	3,29
Mh1	0/1/3	2	414	3,25

Tabla 4.8 Resistencias a compresión del mortero obtenidas mediante la técnica PNT-g MUROS de SILLERIA.

RESISTENCIA A COMPRESION MORTERO PILAS DE PRUEBA PNT-g [fm= (PG+22)/134 Mpa]				
CAL AEREA- ARENA NATURAL LAVADA 0/4				
Mortero	Componentes	PILA	Lectura PNT-g	Resistencia (Fm)
	Cemento/Cal/Arena		PG	Mpa
Ma1	0/1/3	1	746	5,73
Ma2	0/1/2	2	995	7,59
Ma3	1/1/5	5	FALLO	FALLO
Ma4	1/2/9	7	5035	37,74
CAL HIDRAULICA- ARENA NATURAL LAVADA 0/4				
Mortero	Componentes	PILA	Lectura PNT-g	Resistencia (Fm)
	Cemento/Cal/Arena		PG	Mpa
Mh1	0/1/3	3	1220	9,27
Mh2	0/1/2	4	4227	31,71
Mh3	1/1/5	6	FALLO	FALLO
Mh4	1/2/9	8	2947	22,16

Tabla 4.9 Resistencias a compresión del mortero obtenidas mediante la técnica PNT-g PILAS de PRUEBA.

RESISTENCIA A COMPRESION CHIMENEAS ALDAIA PNT-g [fm= (PG+22)/134 Mpa]			
CHIMENEAS INDUSTRIALES		Lectura PNT-g	Resistencia (Fm)
		PG	Mpa
1	CAMI DE FONDO	217	1,78
2	SAN ONOFRE	199	1,65

Tabla 4.10 Resistencias a compresión del mortero obtenidas mediante la técnica PNT-g CHIMENEAS INDUSTRIALES.

Por otro lado, si comparamos los resultados de los ensayos de resistencia a compresión de los diferentes morteros con los obtenidos al experimentar la técnica PNT-g, se observa que dichos resultados no se ajustan a lo esperado al inicio de la investigación, ya que hay una gran dispersión en la correlación energía-resistencia, sobre todo en las pilas de prueba, y no tanto en los muros y chimeneas industriales, los cuales están dando valores de resistencia a compresión máximas de 4 MPa, valor característico de los morteros empleados en muros históricos.

COMPARACION DE LA RESISTENCIA A COMPRESION MORTERO MUROS DE FABRICA PNT-g - PRENSA HIDRAULICA					
CAL AEREA					
Mortero	Componentes	MURO FABRICA	Lectura PNT-g	Resistencia (Fm)	Resistencia Prensa
	Cemento/Cal/Arena		PG	Mpa	Mpa
Ma1	0/1/3	1	415	3,26	3,47
Ma1	0/1/3	2	193	1,60	3,20

Tabla 4.11 Comparación entre PNT-g y ensayo a compresión del mortero de MUROS de FABRICA.

COMPARACION DE LA RESISTENCIA A COMPRESION MORTERO MUROS DE SILLERIA PNT-g - PRENSA HIDRAULICA					
CAL HIDRAULICA					
Mortero	Componentes	MUROSILLERIA	Lectura PNT-g	Resistencia (Fm)	Resistencia Prensa
	Cemento/Cal/Arena		PG	Mpa	Mpa
Mh1	0/1/3	1	418	3,29	1,86
Mh1	0/1/3	2	414	3,25	1,51

Tabla 4.12 Comparación entre PNT-g y ensayo a compresión del mortero de MUROS de SILLERIA.

COMPARACION DE LA RESISTENCIA A COMPRESION MORTERO PILAS DE PRUEBA PNT-g - PRENSA HIDRAULICA					
CAL AEREA- ARENA NATURAL LAVADA 0/4					
Mortero	Componentes	PILA	Lectura PNT-g	Resistencia (Fm)	Resistencia Prensa
	Cemento/Cal/Arena		PG	Mpa	Mpa
Ma1	0/1/3	1	746	5,73	1,37
Ma2	0/1/2	2	995	7,59	1,17
Ma3	1/1/5	5	FALLO	FALLO	8,11
Ma4	1/2/9	7	5035	37,74	3,08
CAL HIDRAULICA- ARENA NATURAL LAVADA 0/4					
Mortero	Componentes	PILA	Lectura PNT-g	Resistencia (Fm)	Resistencia Prensa
	Cemento/Cal/Arena		PG	Mpa	Mpa
Mh1	0/1/3	3	1220	9,27	0,63
Mh2	0/1/2	4	4227	31,71	1,03
Mh3	1/1/5	6	FALLO	FALLO	14,94
Mh4	1/2/9	8	2947	22,16	4,54

Tabla 4.13 Comparación entre PNT-g y ensayo a compresión del mortero de PILAS de PRUEBA.

COMPARACION DE LA RESISTENCIA A COMPRESION MORTERO PNT-g - PRENSA HIDRAULICA			
SOPORTE	PG	FM	RS
MURO DE FABRICA 1	415	3,26	3,47
MURO DE FABRICA 2	193	1,60	3,20
MURO DE SILLERIA 1	418	3,28	1,86
MURO DE SILLERIA 2	414	3,25	1,51
PILA 1	746	5,73	1,37
PILA 2	995	7,59	1,17
PILA 3	1220	9,27	0,63
PILA 4	4227	31,71	1,03
PILA 5	X	X	8,11
PILA 6	X	X	14,94
PILA 7	5035	37,74	3,08
PILA 8	2947	22,16	4,54
CHIMENEA 1	217	1,78	X
CHIMENEA 2	199	1,65	X

PG = Lectura PNT-g

Fm = Resistencia a compresión mortero aplicando la formula de correlación [fm= (PG+22)/134 Mpa]

Rs = Resistencia a compresión mortero tras el ensayo en la prensa hidráulica.

Tabla 4.14 Resumen de comparación entre PNT-g y ensayo a compresión del mortero.

Una explicación sobre la desviación en la correlación energía-resistencia que han sufrido las pilas de prueba podría estar en la relación geométrica entre la altura y la anchura de las mismas, ya que el hecho de ser poco estables dificulta mucho la toma de datos. Otra posible explicación sería la poca superficie de junta de mortero existente lo que evita el poder alejarse entre los diferentes grupos de medidas. Aún suponiendo estas posibles causas como responsables de la dispersión en los resultados, no se explica que la experimentación de la técnica en las pilas de prueba no haya seguido la tendencia que si han mostrado los diferentes muros, esto es bajas resistencias a compresión igual a bajas lecturas en el penetrómetro, sin entrar a comparar la exactitud en la correlación energía-resistencia a compresión, por lo que en futuras investigaciones sería conveniente repetir la campaña de medidas sobre las pilas y modificar los parámetros geométricos de las mismas

Un parámetro importante que se deduce del análisis de los resultados, es la lectura que aparece en la pantalla del dispositivo, (PG). De la lectura que se da "in situ" es de entre 440 a 640, se puede afirmar que la resistencia a compresión del mortero analizado va a ser con toda seguridad baja. Véase a continuación las gráficas que muestran la relación entre las lecturas PNT-g y la resistencia a compresión aplicando la función de correlación y la resistencia a compresión de la prensa respectivamente.

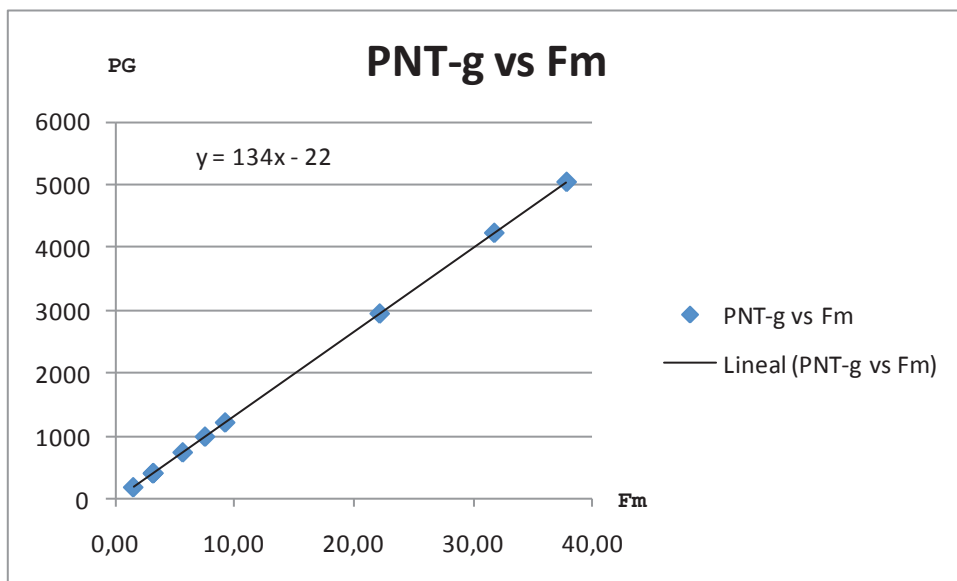


Figura 4.15 Lecturas PNT-g vs Resistencias a compresión aplicando función de correlación.

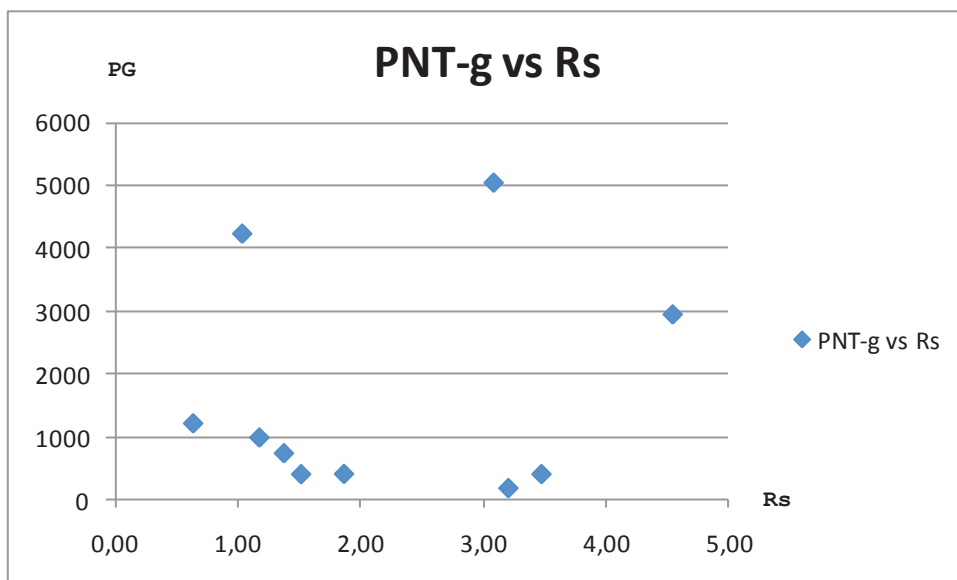


Figura 4.16 Lecturas PNT-g vs Resistencias a compresión de la prensa.

5. CONCLUSIONES.

El propósito de este trabajo de investigación fue evaluar la eficacia por experimentación de la caracterización mecánica de morteros históricos mediante la técnica PNT-g. Para ello se plantearon distintas dosificaciones de morteros de resistencias a compresión bajas que se utilizaron para la construcción de diferentes soportes y con ello conseguir una variedad lo suficientemente amplia como para establecer conclusiones.

El cuerpo del trabajo se dividió principalmente en dos partes:

- 1- La primera parte fue encontrar dosificaciones de mortero que dieran resistencias a compresión del orden de 4Mpa. Tras los ensayos de las diferentes muestras se puede concluir que este objetivo se cumplió satisfactoriamente, dando pie a poder experimentar la técnica PNT-g como se planteo en los objetivos. Sin embargo, analizando los resultados, podemos ver que los morteros de cal hidráulica sin cemento no han dado las resistencias esperadas y que su evolución en el tiempo, lejos de mejorar, ha empeorado, no pudiendo dar explicación de esta tendencia a la baja. Además, en los morteros en los que se ha incluido cemento en la dosificación han dado valores de resistencias más altas. Aunque era de esperar, este hecho ha supuesto el tener que descartar varios ensayos por superar el límite máximo planteado inicialmente.
- 2- En segundo lugar se propuso aplicar el PNT-g sobre diversos soportes utilizando las diferentes muestras de mortero y así, determinar la viabilidad de la técnica. En esta fase experimental del trabajo se puede concluir que la técnica ha funcionado correctamente en los muros de fábrica y sillería y aparentemente, pues no se han podido cotejar las medidas, en las chimeneas industriales. Sin embargo, como se ha adelantado en el discusión de resultados, las pilas de prueba han dado resultados muy dispersos y poco lógicos.

Por lo tanto, dentro de las conclusiones que se pueden establecer, podría afirmarse que, además de los aspectos tanto de diseño de soportes como de dosificaciones de mortero, hay varios factores que influyen de manera notable en el resultado final del ensayo mediante esta técnica. El primer factor que afecta en gran medida a la lectura que da el dispositivo es la posición y fuerza que el



operario ejerce al introducir la broca en la junta del mortero. Si no se aplica una mínima fuerza contra el soporte, el adquisidor electrónico que porta el equipo, no deja de contar 'energía consumida' por lo que la lectura PG del penetrometro estará dando valores de resistencia a compresión más altos de los que en realidad pudieran ser. Si por el contrario el operario aplica una fuerza excesiva contra el soporte, la broca penetrara más pronto los 5 mm de profundidad que es cuando se para automáticamente y la lectura lo que estaría dando son resistencias a compresión más bajas. Sería más objetivo que el equipo contara con un accesorio que registrara la fuerza que ejerce el operario y avisara si se está aplicando la presión correctamente.

A su vez, otro factor de suma importancia que influye drásticamente en los resultados de las lecturas es el estado en el que se encuentra la junta de mortero. Hay ocasiones, que en un mismo punto de inspección, la junta esta mal llagueada con irregularidades o desperfectos. Durante el proceso desarrollado en este trabajo de investigación, se ha podido constatar que al penetrar con la broca las lecturas sobre este tipo de juntas dan por norma general valores más bajos. Bajo mi punto de vista, este hecho no pasaría con tanta frecuencia si la profundidad de penetración fuese mayor, ya que se salvaría esta zona superficial de mortero que está más expuesta y frecuentemente más deteriorada.

Finalmente y hablando en términos globales, se puede concluir diciendo que la caracterización mecánica de morteros en muros mediante la técnica PNT-g es útil y fiable para establecer, con carácter general si un mortero es de baja calidad, pero debería respaldarse con otras técnicas o ensayos si lo que se quiera dar es un valor más concreto de resistencia a compresión.



6. BIBLIOGRAFIA.

- Angelini, L., Beconcini. ML., Sassu M.: Prove di compressione e taglio in sito su pannelli in muratura: la tecnica dei maschi murari contrapposti. Dipartimento di Ingegneria Strutturale - Università di Pisa - via Diotisalvi. *Progetto RELUIS*, 2006.
- Bei, G.E. : Soil mortar's evaluation characteristics for their use in conservation practice, *Structural Analysis of Historic Construction* - D'Ayala & Fodde, Taylor & Francis Group, London, 2008, pp. 891-898.
- Elsen, J., Cizer, O., Van Balen, K., Van Gemert, D.: Blended lime-cement mortars for conservation purposes: Microstructure and strength development, *Structural Analysis of Historic Construction* - D'Ayala & Fodde, Taylor & Francis Group, London, 2008, pp. 965-972.
- Gucci, N., Moretti, A.: An instrument to an in situ measure of mortar resistance, *Bollettino degli Ingegneri della Toscana*, n.9, 1989.
- Gucci, N., Barsotti, R.: A non destructive technique for the determination of mortar load capacity in situ, *Materials and Structures*, *Materials and Structures*, 28, 1995, pp. 276-283.
- Gucci, N., Sassu, M.: Rossi, P.P., Pulcini, A., Comparison of non-destructive in situ techniques for vertical load strength assessment in masonry walls, *Structural Studies of Historical Buildings IV Computational Mechanical Publications*, Southampton (UK) vol. 2, 1995, pp. 349-356.
- Gucci N., Sassu M.: Strength of masonry structures: evaluation with less destructive methods, the penetrometer PNT-G, *L'Edilizia*, n.2, Vol. XVI, 2002, pp. 36-40.
- Gucci N., Cei C., De Falco A., Sassu M.: Un'esperienza applicativa sull'uso del penetrometro PNT-G nelle costruzioni in muratura: l'edificio, *TREMA per caratterizzazioni sismiche nel laboratorio ENEA - Casaccia*.
- Hendrickx, R., Van Balen, K., Van Gemert D.: Assessing workability of mortar by means of rheological parameters and desorptivity, *Structural Analysis of Historic Construction* - D'Ayala & Fodde, Taylor & Francis Group, London, 2008, pp. 973-979.



- Lombillo Vozmediano, I.: *Tesis Doctoral titulada "Investigación teórico - experimental sobre Ensayos ligeramente destructivos (mdt) utilizados para la caracterización mecánica in situ de estructuras de fábrica del Patrimonio construido*. Universidad de Cantabria, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Santander mayo 2010
- Lorenzo, J.: *La caratterizzazione meccanica della muratura parte prima: Prove penometriche*, pp. 115-168.
- Lawrence, R.M.H., Walker, P: *The impact of the water/lime ratio on the structural characteristics of air lime mortars*. *Structural Analysis of Historic Construction - D' Ayala & Fodde*, Taylor & Francis Group, London, 2008, pp. 885-889.
- Manjón Miguel J.L., Martínez Martínez J.A.: *Evolución de la composición de los morteros en los puentes de fábrica*. *Actas del V Congreso nacional de Historia de la Construcción*, Burgos, 2007, pp. 623-630.
- Noland, J.L., Atkinson, R.H., Baur, J.C.: *An investigation into Methods of non-destructive evaluation of masonry structures*, *Report National Science Foundation*, National Technical information service report N° PB 82218074, Springfield, Virginia, 1982.
- Ramon Rosell, J.R.: *Algunas consideraciones sobre la Cal y sus Morteros*, *II JORNADAS FICAL Fórum Ibérico de la Cal*, FICAL Laboratori de Materials EPSEB, Grup de Recerca GICITED, UPC, Barcelona, enero, 2012, pp. 6-16.
- Sala E., Giustina I., Plizzari GA.: *Lime mortar with natural pozzolana: Historical issues and mechanical behavior*, *Structural Analysis of Historic Construction - D' Ayala & Fodde*, Taylor & Francis Group, London, 2008, pp. 957-963.
- Russo S., Celebrin M., Massaria L.: *Indagine non distruttiva su volte e paramenti murari del Palazzo di Diocleziano di Spalato*, *La tutela del patrimonio architettonico nel bacino del Mediterraneo*, Bari, (2002).
- de Vekey R.C.: *Non-Destructive Test Methods for Masonry Structures*. *Proc. Actas 8th Int. Brick Maso. Conf.*, Dublin, Vol.2, 1988, pp. 1673-1681.



- de Vekey R.C., Sassu M.: Comparison of non-destructive in situ mechanical tests on masonry mortars: the PNT-G method and the Helix method, *Actas 11th IB2MaC, Shangay - China, 1997*, vol. 1, pp. 40-56.
- Vitrubio: Los diez libros de Arquitectura. Traducido por Joseph Ortiz y Sanz. Madrid: Imprenta Real, 1787.
- VV.AA.: *Strumenti e sistemi per controllo dighe e grandi strutture*. Ed. pizzi. www.pizzi-intruments.it
- VV.AA. *Actas del 6th.International. Conference on the Conservation of Earthen Architecture Adobe 90 Preprints*, Las Cruces, New Mexico, U.S.A. October 14-19, 1990.
- VV.AA. UNE-EN 197-1: 2000-Cementos Comunes: Definiciones, Denominaciones, Designaciones, Composición, Clasificación y Especificaciones de los mismos.
- VV.AA. UNE 80-101-88. Métodos de ensayo de cementos: determinación de resistencias mecánicas.
- VV.AA. Jornadas técnicas internacionales REHABEND 2008 Tecnologías de la Rehabilitación y Gestión del Patrimonio Construido, Valencia octubre 2008.

